

Ejosat

Sayı/Issue 23

Nisan/April 2021

AVRUPA BİLİM & TEKNOLOJİ DERGİSİ
EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Dergi Sahibi

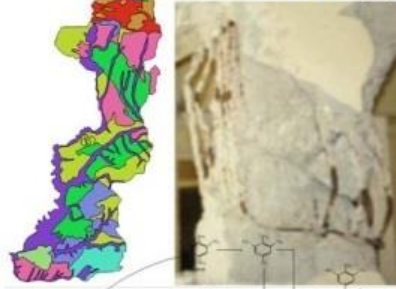
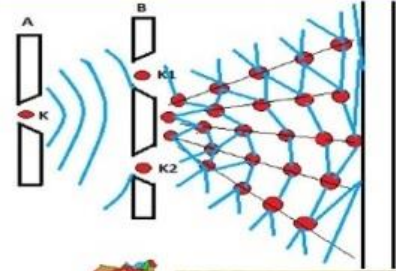
Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Editörler

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi



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

TRDİZİN



INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

Google
Scholar

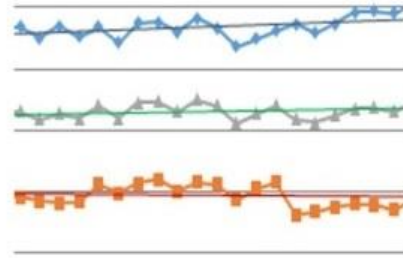
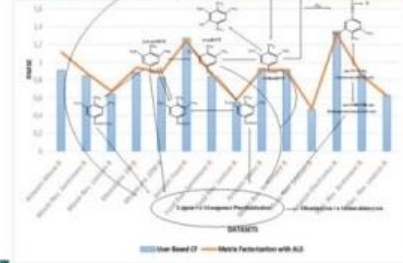
CiteFactor
Scientific Indexing Services

Dergi Sekreteri ve İletişim Bilgileri
Abdulkadir ŞAHİNER

E-posta: ejosat@outlook.com

Web Adresi: www.ejosat.com.tr

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



www.ejosat.com

ISSN: 2148 - 2683

AVRUPA BİLİM & TEKNOLOJİ DERGİSİ

EUROPEN JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

NİSAN/APRİL 2021 (23. SAYI/ISSUE) İÇİNDEKİLER LİSTESİ/TABLE OF CONTENTS

- Toprak İşleme ve Gübreleme Yapılmayan Meyve Ağaçlarında Bitki Besin Elementi Düzeylerinin Belirlenmesi / Sayfalar: 1-8
Ceren Ayşe BAYRAM, Gökhan BÜYÜK
- Oransal İntegral Türevsel Denetleyici Parametrelerinin Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri ile Ayarlanması / Sayfalar: 9-21
Oğuzhan ÇAKIR, Sinan TEKİN
- Protecting Mobile Service User Identity by Adding Additional Security Layer / Sayfalar: 22-30
Büşra ÖZDENİZCİ KÖSE, Onur BÜK, Hacı Ali MANTAR, Vedat COSKUN, Utku ERDEMİR
- Rejeneratif Endodontik Tedavide Biyomalzeme Seçimi ve Doku Mühendisliği Uygulamaları / Sayfalar: 31-42
Ozgul CARTI DÖRTERLER, Fatma AYHAN
- Kayseri Piyasasında Satışa Sunulan Endüstriyel Tip Fermente, Kasap ve Isıl İşlem Görmüş Sucukların Biyojen Amin Miktarlarının Belirlenmesi / Sayfalar: 43-51
Yasemin ÇELEBİ SEZER
- Coding, Robotics and Computational Thinking in Preschool Education: The Design of Magne-Board / Sayfalar: 52-61
Batikan Erdem DEMİR, Funda DEMİR
- The Effect of School/Workplace Closures on COVID-19 Related Incidents / Sayfalar: 62-69
Mustafa DEMİRBİLEK
- An Experimental Study on Structural and Thermal Stability of Water-Based Drilling Fluids / Sayfalar: 70-80
Ali ETTEHADİ
- Akıllı Şehirler için Özellik Çıkarımı ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Asfalt Durum İzleme Yaklaşımı / Sayfalar: 81-88
Mehmet BAYĞIN, Orhan YAMAN, Türker TUNCER
- Bazı Tahıl Benzeri Ürünlerin Besin İçeriği ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı / Sayfalar: 89-98
Esra DOĞU BAYKUT
- Türkçe Duruş Tespit Analizi / Sayfalar: 99-107
Kaan Kemal POLAT, Nilgün GÜLER BAYAZIT, Olcay Taner YILDIZ
- Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan FRP Kompozitin Yapısal Performansa Etkisi / Sayfalar: 108-119
Müslüm Murat MARAS
- Determination of Medicinal and Aromatic Plants Sold by Herbalists in Afyonkarahisar Province and Their Usage Purposes / Sayfalar: 120-125
Ayşe Gül SARIKAYA, Sinan KARABAY
- A Hybrid Benders Decomposition Algorithm and New Models for the Distributed Permutation Flowshop Scheduling Problem / Sayfalar: 126-148
Hanifi İŞGÜDER, Alper HAMZADAYI
- Evaluation of Augmented Reality Tools Performance in Digital Supply Chain Management: A Group Decision Making Method / Sayfalar: 149-162
Abdullah YILDIZBASI, Babek ERDEBİLLİ (B.D.ROUYENDEGH), Barış ÖZEN, Yavuz Selim ÖZDEMİR
- Epilepsi EEG Verilerinin Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Sınıflandırılması / Sayfalar: 163-172
Beyda ÇAĞLIYAN, Utku KÖSE
- Rezistif Süperiletken Arıza Akım Sınırlayıcılarının MATLAB/SIMULINK'te Modellenmesi / Sayfalar: 173-180
Yunus GÜRBÜZ, Rıfki TERZİOĞLU, Aziz DENİZ
- Değerli Metal Katalizörlerde Katalizör Destek Malzemesi Olarak Biyotabanlı Malzemelerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu / Sayfalar: 181-188
Elif YAMAN, Fatma GÖKMEN, Sinan TEMEL, Nurgül ÖZBAY, Gamzenur ÖZSİN
- Ters Basamaklı Eşikler Kullanılarak Tasarlanan Basamaklı Savakların Enerji Sönümlenme Oranlarının Sayısal Olarak İncelenmesi / Sayfalar: 189-196
Erdinc İKİNCİOĞULLARI
- Örnek Bir Binanın Isıl ve Çevresel Performansının Autodesk Revit Simülasyon Programı ile Analizi / Sayfalar: 197-206
Dilara AYTÜRK TULUKCU, Murat ORAL
- Klinik Uygulamalarda İleri Biyomedikal Görüntüleme Teknolojileri / Sayfalar: 207-221
Raziye Kübra KUMRULAR, Adem POLAT

- Siyah Karbon ile Stabilize Edilen Taban Zeminin Yol Esnek Üst Yapı Maliyetine Etkisi / Sayfalar: 222-235
Tacettin GEÇKİL, Talha SARICI, Bahadır KARABAŞ
- Evaluation of Supplier Selection Criteria with Fuzzy DEMATEL Method: An Application on the Pharmacy Industry / Sayfalar: 236-242
Burak LEBLEBİCİOĞLU, Abdulkadir KESKİN
- Use of Plasma Tube for the Emergency Tests in Clinical Chemistry Laboratory / Sayfalar: 243-247
Gülçin ŞAHİNGÖZ ERDAL, Nilgün İŞIKSAÇAN, Pinar KASAPOĞLU, Asuman GEDİKBAŞI, Murat KOŞER
- Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağlarının Nehir Akım Tahmininde Farklı Optimizasyonlarla Karşılaştırılması Ve Tekil Spektrum Analizinin Etkisi / Sayfalar: 248-253
Hüseyin Çağan KILINÇ
- A Performance Analysis for Face-to-Face, Distance and Hybrid Education Models Based on Student Satisfaction / Sayfalar: 254-271
Serap TEPE
- Katyon Değişim Reçinesi Kullanarak Sulu Çözümlerden Amonyum Giderimi / Sayfalar: 272-279
Nejdet DEĞERMENÇİ
- K-Ortalamalar Kümeleme Yöntemi İçin Çift K Başlatma Algoritması / Sayfalar: 280-287
Aziz Mahmut YÜCELEN, Abdullah BAYKAL
- Çevrenin Restoratif Kalitesinin Ölçümü: Algılanan Restoratiflik Ölçeğinin Türkçeye Uyarlanması / Sayfalar: 288-295
İrem ÖZÇİFÇİ, Işıl KAYMAZ, İlkden TAZEBAY, Ferhan ELMALI
- Türkiye'nin Orta Fırat Bölümü'nün Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Aylık Aydeniz Metodu Kullanılarak Kuraklık Analizi / Sayfalar: 296-303
Emre TOPÇU
- Bazı Ekmeklik Buğday (Triticum aestivum L.) Genotiplerinin Agromorfolojik Özellikleri Bakımından Biplot, Kümeleme ve Path Analizi Yöntemleri ile Değerlendirilmesi / Sayfalar: 304-311
Fatih DEMİREL, Ahmet Metin KUMLAY, Bünyamin YILDIRIM
- Approaches of Clients, Consultants and Contractors to Causes of Delays in Construction Projects / Sayfalar: 312-321
Mehmedali EGEMEN
- Tam Sayılı Doğrusal Programlama ile Araba Terminallerinde Kapasite Analizi: Bir Araba Terminalinde Uygulama / Sayfalar: 322-329
Güldem ELMAS
- Atıksularda Koronavirüslerin Varlığı, Aktıbeti Ve Giderimi: COVID-19 Üzerine Bir Derleme / Sayfalar: 330-340
Şeyma AKKURT, Merve OĞUZ
- İnsansız Gemilerin Güncel Statüleri / Sayfalar: 341-358
Firat BOLAT, Özgün KOŞANER
- Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter For High-Density Salt-and-Pepper Noise Removal in Grayscale Images / Sayfalar: 359-367
Samet MEMİŞ, Uğur ERKAN
- Su Altı Görüntülerinden Nesne Tespiti / Sayfalar: 368-375
Ekrem Eşref KILINÇ, Sedat METLEK
- Personel Seçiminde Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR Yöntemlerinin Uygulanması / Sayfalar: 376-385
Tülay KORKUSUZPOLAT, Nurcan KARA
- Rüzgar Türbin Kulesi Alternatiflerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi / Sayfalar: 386-393
Muhammet Ensar YİĞİT, Muhammet Enes AKPINAR
- İnsansız Hava Araçlarının Uçuş Süresinin Termal Hava Akımları Kullanılarak Arttırımı / Sayfalar: 394-400
Mehmet KONAR, Emin Tugay KEKEÇ
- Kanatlı-Borulu Isı Değiştiricilerinde Çukurlu/Çukurlu Kanat ile Isı Transfer Performansının Arttırılması / Sayfalar: 401-414
Ahmet Ümit TEPE
- Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmini için WEKA'da Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi / Sayfalar: 415-426
Şükran EBREN KARA, Rüya ŞAMLI
- DSP Tabanlı Fırçasız Doğru Akım Motorunun Bulanık Mantık ile Kontrolü / Sayfalar: 427-434
Ali BAHADIR, Ömer AYDOĞDU

In-Situ Strain Measurement on Al7075 Plate by Using High Energy Synchrotron Light Source / Sayfalar: 435-439

İlyas ŞAVKLIYILDIZ

In Vitro Germination and Seedling Development of An Endemic Medicinal Plant Hypericum adenotrichum Spach / Sayfalar: 440-447

Bengi ERDAĞ

The Experimental Research of the Additively Manufactured Ti4Al4V Parts with the Perspective of Mechanic Features / Sayfalar: 448-455

Tamer SARAÇYAKUPOĞLU

Forecasting The Biosorption of Crystal Violet Cationic Dye onto Biomass-driven Graphene-Like Porous Carbon Through Artificial Neural Network Approach / Sayfalar: 456-464

Ceren KARAMAN

Sağlık Teknikerliği Programı Öğrencilerinin Nükleer Fizik Kavramları ile ilgili Kavramsal Öğrenme Düzeylerinin Belirlenmesi / Sayfalar: 465-474

Erdoğan ÖZDEMİR, Onur YARAR

Fotobiyoreaktörde Işığın ve Beslemenin Alglerin Büyümelere Üzerine Etkilerinin Araştırılması / Sayfalar: 475-480

Nergiz UÇMAZ, Batuhan SERT, Cemalettin AYGÜN, Oguz SARIBIYIK

Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi / Sayfalar: 481-496

Onur SELÇUKHAN, Abdullah EKİNCİ

Determination of Hazards and Risks in a Solar Power Plant Using the Matrix Risk Analysis / Sayfalar: 497-511

Berna GÜR, Şenol YAVUZ, Ahmet Doğan ÇAKIR, Dursun Ali KÖSE

Lojistik Etkinlik: Türkiye ve OECD / Sayfalar: 512-517

Mehmet Fatih ACAR

Probiyotikler ve Kadın Sağlığı Üzerine Etkileri / Sayfalar: 518-523

Hatice Kübra YILMAZ, Kübra DERYA İPEK

Ülkemizde ve Bazı Ülkelerde Sulama Şebekelerinin Finansmanı ve Sulama Suyu Ücretleri / Sayfalar: 524-533

Cengiz KOÇ, Nedim ÖZDEMİR

Parçalayıcı Bıçaklı Atık Su Drenaj Pompasının Performans İncelemesi / Sayfalar: 534-539

Mehmet Salih CELLEK

Derin Öğrenme ile Bitki Hastalıklarının Tespiti / Sayfalar: 540-546

Muzaffer ASLAN

Kuvars Kumunun Kırılma Hızının Tanımlanmasında Öğütücü Ortam Boyutunun Etkisinin Araştırılması / Sayfalar: 547-551

Serhan HANER

Isı Transfer Silindirlerinde Halka Akış Kanalı Geometrisinin Isıl Performansa Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi / Sayfalar: 552-562

Ahmet YURTSEVEN

Akıllı Hava İstasyonu ile IoT Tabanlı Hava Durumu İzleme Sistemi / Sayfalar: 563-571

Hakan ÜÇGÜN, Zeynep Kübra KAPLAN, Uğur YÜZGEÇ

Su Kalitesinin İnsansız Hava Aracı Verileri ve Fiziko-Kimyasal Parametrelerin Analizi ile Belirlenmesi: Aydınlar (Gülüç) Çayı Örneği / Sayfalar: 572-582

Nizamettin ÖZDOĞAN, Umut Güneş SEFERCİK, Yağmur KILINÇ, Emine ÇALIŞKAN, Can ATALAY

Pedestrian and Mobile Robot Detection with 2D LIDAR / Sayfalar: 583-588

Ahmet Çağdaş SEÇKİN

Mobilya- Biçim- Tercih / Sayfalar: 589-600

Yaprak ÖZEL, Zerrin Funda ÜRÜK

Katalitik Ozonlanmanın Doğal Organik Maddenin Yapısına ve Trihalometan Oluşturma Potansiyeline Etkisi / Sayfalar: 601-607

Alper ALVER, Ahmet KILIÇ

Histopatolojik Görüntülerde Kanser Tespit ve Lokasyon Yöntemleri / Sayfalar: 608-616

Zehra BOZDAĞ, Muhammed Fatih TALU

Down Sendromlu Bireylerde Beslenme / Sayfalar: 617-626

Kardelen YOLDAŞ, Yasemin YILMAZER

Experimental Analysis of PV/T Collectors Assisted with PCM for Off-Grid Domestic Applications / Sayfalar: 627-636

Eda BAKIR, Fatih BAYRAK, Hakan ÖZTOP

The Importance of Solar Panel Maintenance An experimental study on effectiveness of PV panels cleaning with deionized pure water in Turkey / Sayfalar: 637-642

Mahmut TURHAN

- 1999 Marmara Depremi ve Güneş Tutulmasının Naive Bayes Sınıflayıcısı ile İstatistiksel Analizi / Sayfalar: 643-648
Seçil KARATAY, Muna ALGAHANI
- Mg-Sn-Zr Magnezyum Alaşımlarının Sıcak Pres Yöntemiyle Üretimi / Sayfalar: 649-655
Ali ERÇETİN
- Adıyaman Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi / Sayfalar: 656-665
Veli SÖNMEZ, Ahmet Metin KUMLAY
- Endüstri Kenti Karabük'ün Modern Mahallesi Yenişehir'de Konut Tipolojileri / Sayfalar: 666-677
Beyza ONUR
- İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeği; Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması / Sayfalar: 678-685
Zeynep Feride OLCAY
- The Role of Vulnerable Software Metrics on Software Maintainability Prediction / Sayfalar: 686-696
Canan BATUR ŞAHİN
- Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Oval Çentikli Çelik Plakanın Çekme Dayanımının Deneysel Olarak Araştırılması / Sayfalar: 697-701
Berkant DİNDAR
- Thermionic electron gun design and prototyping / Sayfalar: 702-709
Hakan CETİNKAYA, Aydın ÖZBEY, Alperen YÜNCÜ
- Toprak Üstü Yığın Siloda Sıkıştırma Tekniğinin Sıkıştırma Basıncı, Sıcaklık ve Sıkıştırma Süresi Üzerine Etkileri / Sayfalar: 710-716
Yavuz ODABAŞ, Fulya TAN
- Zeytin Yetiştiriciliğinde Enerji Kullanım Etkinliğinin ve Sera Gazı (GHG) Emisyonunun Belirlenmesi / Sayfalar: 717-724
Osman GÖKDOĞAN, Oktay ERDOĞAN
- Determination of Some Heavy Metals in Oil Sunflower Seeds Grown in The North of Turkey / Sayfalar: 725-729
Volkan GÜL, Sinan KUL
- Kaba Küme Akış Çizgelerinin Olasılıksal Yapısı / Sayfalar: 730-741
Mert BAL
- Süperiletken Manyetik Yataklı Doğrusal Fırlatıcı Sistemi için H-Formülü Yöntemi ile Manyetik Ray Konfigürasyonu Tasarımı / Sayfalar: 742-749
Sinan BAŞARAN, Mutlu ALTINKILIÇ, Ali Suat YILDIZ
- Meriç Nehri Havzası'nda Sıcaklık ve Yağış Değerlerinin Dönemsel Trend Analizi / Sayfalar: 750-760
İlker EROĞLU
- Mamdani Modeli tabanlı ANFIS ve Emisyon Tahmininde Uygulanması / Sayfalar: 761-768
Muhammet ÖZTÜRK, İsmail BAYEZİT, İbrahim OZKOL
- Evaluation of Coffeehouse Spaces' Interior Design Through Phenomenological and Ocular-Centered Methods / Sayfalar: 769-780
Didem ERTEN BİLGİÇ, Esmahan Betül ŞAHİN
- Sentetik Pap-Smear Hücre Çekirdeği Üretiminde Üretici Çekişmeli Ağların Kullanılması / Sayfalar: 781-786
Sara ALTUN, Fatih TALU
- Üretken Rakip Ağ ile Türkçe Metin Üretimi / Sayfalar: 787-792
Barış GÜCÜK, Rafet DURGUT, Oğuz FINDIK
- The Effect of Salt Stress on Root Development and Architecture in Common Grasspea (*Lathyrus sativus* L.) / Sayfalar: 793-799
Harun BEKTAŞ
- Bazı Siyah Üzüm ve Nar Ürünlerinin Antioksidan Özelliklerinin İncelenmesi / Sayfalar: 800-809
Gamze TOYDEMİR ŞEN
- İş Sağlığı Ve Güvenliği Kanunu Ve İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik Kapsamında İşverenin Yükümlülüğü / Sayfalar: 810-816
Mustafa Kağan İZMİRLİ, Zeynep Feride OLCAY, Ahmet Ebrar SAKALLI
- Bazalt/PANI Kompozitlerinin Dielektrik Özelliklerinin Tahmini için Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırılması / Sayfalar: 817-826
Önder EYECİOĞLU
- Somut ve Somut Olmayan Kültürel Miras Değerleriyle Çankırı Kenti ve Turizme Katkısı / Sayfalar: 827-836
Betül TÜLEK
- Characterization of E-glass/epoxy Modified with Recycled Rubber Particles and Multi-walled Carbon Nanotubes / Sayfalar: 837-843
Ali BALBAY, Yasin YILMAZ, Şenay BALBAY

Samsun ve Bafra Yağış Verilerinin Trend Analizi / Sayfalar: 844-850

Büşra KORKMAZ, Bahtiyar EFE

Yüksek Performanslı Hafif Betonlarda Donatı Çapı ile Aderans Gerilmesi Arasındaki İlişki / Sayfalar: 851-860

Esra TUGRUL TUNC, Kürşat Esat ALYAMAÇ, Ragip İNCE, Zülfü ULUCAN

COVID-19 Tracking Applications: A Human-Centric Analysis / Sayfalar: 861-867

Merih ANGIN, Pelin ANGIN

Patent Değerlendirme Sürecinde Doğrudan ve Dolaylı Göstergelerin Belirlenmesi ve Bir İklimlendirme

Firnasında Uygulanması / Sayfalar: 868-874

Selahattin BAL, Tuğrul TAŞCI

Erzincan'da Entomopatojen Fungusların Oluşumuna ve Dağılımına Etki Eden Toprak Faktörleri / Sayfalar: 875-881

Engin KILIÇ

The Effect of Temperature and Time Variables on Printing Quality in Sublimation Transfer Printing on Nylon and Polyester Fabric / Sayfalar : 882-891

Meral ÖZOMAY, Zafer ÖZOMAY



Toprak İşleme ve Gübreleme Yapılmayan Meyve Ağaçlarında Bitki Besin Elementi Düzeylerinin Belirlenmesi

Ceren Ayşe Bayram^{1*}, Gökhan Büyük²

^{1*} Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1570-273X), cerenaysenazik@gmail.com

² Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0522-3188), gbuyuk@adiyaman.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 26 Şubat 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.809953)

ATIF/REFERENCE: Bayram, C.A., Büyük, G. (2021). Toprak İşleme ve Gübreleme Yapılmayan Meyve Ağaçlarında Bitki Besin Elementi Düzeylerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 1-8.

Öz

Meyve bahçelerinde verimli ve kaliteli üretim yapabilmek doğru gübreleme programına bağlıdır. Çalışma, toprak işleme ve gübreleme yapılmayan meyve bahçelerinin beslenme durumu ve toprak bitki ilişkilerini ortaya koymak amacı ile 2019 Nisan-Eylül ayları arasında Adıyaman Üniversitesi uygulama bahçelerinde yürütülmüştür. Gübreleme programının hazırlanması da toprak ve yaprak analizlerine bağlı olduğu için yaprak ve toprak örnekleri alınarak gübre uygulanmayan meyve ağaçlarının beslenme durumları ortaya çıkarılmıştır. Yaprak örnekleri 2019 Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ve toprak örnekleri de Şubat 2019'da alınmıştır. Toprak analizlerinde organik madde içeriği üst toprakta %2.87 bulunurken alt toprakta %2.55 olarak tespit edilmiştir. Makro besin elementlerinden total azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) içerikleri üst toprakta sırasıyla %0.22, 5.3 kgda⁻¹ ve 193.0 kgda⁻¹ olarak ölçülmüş ve yeterli düzeyde bulunmuştur; alt topraklar da sırasıyla %0.24, 9.13 kgda⁻¹ ve 203.05 kgda⁻¹ olarak ölçülmüştür. Yaprak besin elementi (N, P, K, demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu), mangan (Mn)) ve düzeyleri örnek alma zamanına göre değişen oranlarda bulunurken, bazı bitki besleme noksanlıkları da tespit edilmiştir. Optimum değerler ile karşılaştırıldığında, N için Trabzon hurması, vişne, ayva ve erik türlerinde; P sonuçlarında kayısı, vişne, kiraz, elma ve badem türlerinde; K sonuçlarında da armut, ayva, elma ve erik türlerinde yeterli ve sınırlar içerisinde olduğu bulunmuştur. Mikro besin elementlerinden Fe için; Trabzon hurması, armut, ayva ve elma; Cu değerleri için; Trabzon hurması, kayısı, vişne, ayva ve elma türlerinde; Zn için; Trabzon hurması, armut ve erik türleri; Mn sonuçlarında yine Trabzon hurması, kayısı, kiraz, badem ve erik sonuçlarında yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Besin elementi içerikleri, Toprak işlemez, Gübresiz.

Determination of Plant Nutrition Level in Fruit Trees Without Tillage and Fertilization

Abstract

Producing yieldy and good quality production in orchards depends on the correct fertilization program. This study was carried out in Adıyaman University between April 2019 and September 2019 in order to reveal the nutritional status and soil-plant relations without soil tillage and fertilization. Since the preparation of the fertilization program depends on soil and leaf analysis; samples were taken and the nutritional status was revealed. Leaf samples were taken in April, May, June, July, August and September 2019, and soil samples were taken in February 2019. According to soil analysis, organic matter content was determined as 2.87% in the top soil and 2.55% in the subsoil. Nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) responses of the macro nutrients were measured as 0.22%, 5.3 kgda⁻¹ and 193.0 kgda⁻¹ in top soil and the results have been found sufficiently, these values in the subsoils were measured as 0.24%, 9.13 kgda⁻¹ and 203.05 kgda⁻¹, respectively. While the levels of leaf nutrients (N, P, K, iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn)) were found at varying rates depending on the sampling time also some plant nutrition deficiencies were determined. When compared with the optimum values, for N in types of persimmon, cherry, quince and plum; P results for apricot, sour cherry, cherry, apple and almond types; In the K results, it was found that it was sufficient and within the limits in pear, quince, apple and plum species. Persimmon, pear, quince, and apple for Fe; persimmon, apricot, sour cherry, quince and apple for Cu values; persimmon, pear and plum for Zn and Mn results were found to be sufficient for persimmon, apricot, cherry, almond and plum.

Keywords: Nutrient content, No tillage, No fertilization.

* Sorumlu Yazar: cerenaysenazik@gmail.com

1. Giriş

Ülkemizin ekolojik zenginliği birçok meyve türünün yetiştiriciliği bakımından önemli bir potansiyel oluşturmuştur. Türkiye’de meyvecilik sektörünün (fidan üretimi ve satışı, bahçe kurulması ve ürünlerin pazarlanması) yenilikçi yeteneklerle geliştirilerek tarımın en önemli üretim alanlarından biri olmuştur. Tarıma teknolojinin de dahil edilmesiyle farklı bir ivme kazanmıştır. Dünya genelinde de meyvecilikte verimlilik ve pazar en önemli araştırma ve geliştirme konu başlıklarından olmuştur. Sektördeki tüm paydaşların iletişimleriyle sektörün gelişmesi ve ilerlemesi beklenmektedir (Kaşka ve ark., 2005).

Dünyada ve ülkemizde meyvecilikte verimlilik bu kadar önem arz ederken hala Adıyaman’da çiftçilerimiz meyve bahçelerinde doğru ve/veya yeterli besleme planı uygulanmamaktadır. Adıyaman’da yoğun bahçe tarımına geçiş sonrası gübre uygulamaları hemen hemen hiç yapılmamaktadır. Adıyaman’da üretimi yapılan en önemli meyve türleri badem, Antep fıstığı, Trabzon hurması, nar, üzüm ve zeytindir. Bu türlere ek olarak üniversitemiz araştırma uygulama alanında vişne, elma, armut, erik, yenedünya türleri ile meyve bahçesi tesis edilmiştir. Öne çıkan badem bahçelerinin ekim alanı 84.000 da ile birinci ve Trabzon hurması 30.000 da ile ikinci sırada yer almaktadır (Adıyaman’ın Geleceğinde Tarım ve Gıda Çalışma Grubu, 2019). İl genelinde konvansiyonel üretimin yanında organik üretim de yapılmaktadır. Organik olarak badem ve nar üretimi gerçekleştirilmektedir. Mevcut bahçeler sulamasız, damla sulama, güneş enerjili sulama ve yüzey altı damla sulama yöntemleriyle sulanmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi toprağın çok az işlendiği, birçok alanda çiftlik gübresinin kullanıldığı ve kimyasalların neredeyse hiç kullanılmadığı alanlarla kaplı olduğu gibi, hala birçok alanı ham ve ekolojik tarım açısından yüksek potansiyele sahip olan ve keşfedilmeyi bekleyen bir bölgemizdir. Bu bölgeye özgü olarak yetiştirilen birçok ürün organik tarım açısından önemli potansiyel oluşturmaktadır (Çetinkaya ve ark., 2013). Üreticilerin üretim faaliyetlerinden, hasat, kurutma, çıtlatma, paketleme, depolama ve fiyat oluşturmada aktif rol alması için üretici birliklerine veya örgütlü üreticiliğe ihtiyaç vardır. Bu konu üzerinde ilgili kurum ve kuruluşlarla iş birliği faaliyetlerinin ivedilikle yapılması gerekliliği bildirilmiştir (Ukav ve ark., 2011).

Meyve ağaçlarının gelişmesinde etki eden faktörler incelendiğinde, başta iklim faktörü olmak üzere toprak özellikleri, sulama durumu, budama şekilleri, bitki koruma ve bitki besleme yöntemleri yer almaktadır (Uçgun ve Gezgin, 2015). Meyve bahçelerinin beslenme durumlarının belirlenmesinde genellikle toprak ve yaprak analizleri kullanılmaktadır. Bazı durumlarda gübreleme programının belirlenmesinde kullanılan toprak analiz sonuçlarının değerlendirilmesi oldukça zor bir durum oluşturabilir. Toprakta mevcut olan besin elementleri farklı faktörlere bağlı olarak (iklim, bitki çeşidi, diğer besin elementlerinin varlığı v.d) bitki tarafından alınmayabilmektedir. Adıyaman’da tarım arazileri ülkemiz koşullarına paralel olarak tarımsal üretim genellikle sığ, taşlı, eğimli ve besin maddesi içeriği yetersiz topraklarda yapılmaktadır. Bu koşullarda tarımı yapılan nar bahçelerinin beslenme durumunun belirlendiği bir çalışmada, Adıyaman’da yetiştirilen narbahçelerinden alınan örneklerde tüm meyve bahçeleri toprakları yüksek fosfor ve potasyum içeriğine sahipken demir, çinko ve organik madde

miktarının yetersiz olduğu bildirilmiştir (Büyük ve ark., 2017). Toprak koşullarının sınırlandırılmasıyla birlikte, yetersiz yetiştiricilik bilgisinin bahçe tarımında önemli kısıtlayıcı faktörlerin başında olduğu bilinmektedir. Adıyaman ilinde tarımsal değeri olan ürünlerin beslenme durumları ile ilgili literatürde yapılan çalışma sayısı yok denecek kadar azdır. Adıyaman ili ekolojik koşullarında badem yetiştiriciliğinde farklı organik ve inorganik gübre uygulamalarının verime etkilerini ortaya koymak amacıyla 2018 yılında yürütülen bir çalışmada, verim artışında mineral gübre uygulamasının organik gübre uygulamasına göre ön plana çıktığını bildirmiştir. (Sunar, 2018). Ülkemizde bazı bölgelerde sulama ve gübreleme yapılmadan tarımsal üretime devam edilmektedir. Bunun bir örneği de Adıyaman’dır. 2014-2015 yılları arasında yarı kurak iklimlerde kuru koşullarda yağmur suyundan yararlanarak, gübreleme uygulaması yapılan çalışmanın sonucunda meyve üretimi yapan üreticilerin sonbahar ve ilkbahar yağışlarından yararlanarak gübreleme programlarını belirleyerek daha fazla ürün elde edebileceklerini bildirmişlerdir (Bellitürk ve ark., 2019).

Bu çalışma, Adıyaman’da yetiştiriciliği yapılabilen bazı meyve türlerinde gübreleme ve toprak işleme yapılmayan bahçelerinin beslenme durumu ve toprak-bitki ilişkilerini ortaya çıkarmak amacıyla ağaçların vejetasyon süreçleri boyunca yaprak örnekleri üzerinden belirlemeyi amaçlamıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma Adıyaman Üniversitesi Kahta Meslek Yüksekokulu Uygulama Bahçesinde yer alan yumuşak çekirdekli meyvelerden elma, armut, ayva ve Trabzon hurması; sert çekirdekli meyve türlerinden erik, kayısı, kiraz ve vişne, sert kabuklulardan badem ağaçlarında yürütülmüştür. Bahçedeki meyve ağaçları 3 m sıra arası ve 3 m sıra üzeri mesafelerle dikilmiştir. Örnekleme yapılan bahçe 10 dekadardan büyük ve meyve ağaçları 8 yaşındadır. Araştırmada her türe ait meyve ağaçlarından bahçeyi temsil edecek gelişme durumu bakımından homojen olarak seçilen 10 ağaç denemeye alınarak yaprak örnekleri alınmıştır. Denemeye alınan meyve türleri şunlardır: elma (*Malus domestica* Borkh.), armut (*Pyrus communis* L.), ayva (*Cydonia oblonga* Mill.), erik (*Prunus domestica*), badem (*Amygdalus comminus*), Trabzon hurması (*Dyospiros kaki*), kayısı (*Prunus armeniaca*), vişne (*Prunus cerasus*), kiraz (*Prunus avium*). Denemenin yürütüldüğü bahçede, toprak örnekleri iki farklı derinlikten (0-30cm ve 30-60 cm) ve farklı noktadan alınarak analize hazırlanmıştır.

Yaprak örneklerindeki besin elementi düzeylerini vejetasyon dönemi süresince belirlemek amacıyla; sağlıklı, bir yıllık sürgünlerin orta yapraklarından ve ağacın tüm yönünden Nisan 2019’dan Eylül 2019’a kadar aylık olarak alınıp en kısa sürede laboratuvara taşınmıştır (Jones ve Wallace, 1992); Kacar ve İnal (2008)’in bildirdiği gibi besin elementlerinin analizlerinin yapılması amacıyla hazırlanmıştır. Yaprak örneklerinin N içeriği modifiye Kjeldahl metoduna göre; P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu nitrik-perklorik asit karışımı ile yaş yakılarak elde edilen süzükte ICP-OES (Perkin Elmer-Inductively Coupled Plasma) kullanılarak belirlenmiştir (Kacar ve İnal 2008). Elde edilen yaprak ve toprak analiz sonuçları, sınır değerleri ile karşılaştırılarak, incelenen bahçelerin besin maddeleri durumları değerlendirilmiştir (Jones ve Wallace., 1992).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Türlerin yetiştirildiği bahçenin bitki besin elementlerinin içeriklerini belirlemek amacıyla 0-30 cm ve 30-60 cm olmak üzere 2 farklı derinlikten alınan toprak örneklerinin bazı fiziksel, kimyasal, makro ve mikro besin element içerikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Ağaçların bulunduğu bahçe toprağının 0-30 ve 30-60 cm derinliklerine ait analiz sonuçları.

Toprak özellikleri	Derinlik	
	0-30 cm	30-60 cm
Tekstür	CL	CL
pH	7.84	7.76
Tuz ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	796	539
Kireç (%)	21.8	23.9
Organik madde (%)	2.87	2.55
Total N (%)	0.22	0.21
Alınabilir P (kg da^{-1})	5.8	4.8
K_2O (kg da^{-1})	203.3	182.7
Alınabilir Fe (mgkg^{-1})	5.09	4.84
Alınabilir Zn (mgkg^{-1})	0.61	0.48
Alınabilir Cu (mgkg^{-1})	2.58	2.40
Alınabilir Mn (mgkg^{-1})	12.87	10.69

Çizelge 1’de görüldüğü gibi topraklar killi tınlı (CL) grubundadır. Toprakların ortalama pH değeri 7.80 olarak tespit edilirken 0-30 cm’de 7.84 ve 30-60 cm’de ise 7.76 olarak tespit edilmiştir. Bahçe toprağının analiz sonuçlarına göre çözünür tuz içerikleri çok az ölçüldüğünden tuzluluk sorunları bulunmamaktadır. EC değerleri 539 ile 796 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir. Bahçe toprağının ortalama organik madde içeriği %2.71 olarak ölçülmüştür. Deneme alanının organik madde miktarı “orta düzeyde” olarak değerlendirilmiştir (Ülgen ve Yurtsever 1995). Organik madde içeriğimizin iklimsel ve toprak işleme yöntemleri farklılığı çerçevesinde bölge topraklarımızdaki organik madde düzeyine (%1-2) göre daha yüksek olması uygun organik karbon yönetimini gerektirmektedir. Bununla beraber sınırlı veya organik tarımda uygulanan minimum toprak işleme uygulamalarının toprak sağlığını, toprak organik madde düzeyini ve toprakta mikrobiyal aktiviteyi geliştirebileceği potansiyeli olduğunu bildirmişlerdir (Wang ve ark., 2017). Çizelge 1’de kireç düzeylerinin analiz sonuçlarına bakıldığında 0-30cm’de %21.8 0-60cm’de %23.9 olduğu yani “çok kireçli” olarak tanımlanmıştır (Ülgen ve Yurtsever 1995).

Deneme alanının azot (N) içeriği alt toprakta %0.22, üst toprakta %0.21 olduğu tespit edilmiştir. N düzeyleri, FAO (1990)’nun yeterlilik sınıfına göre hem üst hem de alt toprakta “az” düzeyde olarak değerlendirilmiştir. N içeriklerinin “az” düzeyde bulunması, düşük toprak nem içeriğine ve düşük toprak organik maddesinin miktarıyla açıklanabileceği düşünülmektedir (Pan ve ark. 2013). Her ne kadar topraklardaki organik madde düzeyi orta düzeyde bulunsada, Adıyaman kurak ve yarı kurak bölge olmasından kaynaklı olarak toprak organik maddenin mineralizasyonunun daha yavaş olmasından dolayı topraklardaki N içeriğinin düşük olmasının diğer bir nedeni olabilmektedir. Çalışma alanı iklim verileri incelendiğinde yıllık yağış ortalaması 720 mm, ortalama sıcaklık 17.2°C ve buharlaşma %59.4’dür (Anonim, 2021). Soil Survey Staff, 1999’da belirtilen

sınıflandırmaya göre çalışma alanı topraklarının nem rejimi xeric ve toprak sıcaklığı rejimi termiktir.

Deneme alanı topraklarındaki alınabilir P alt toprakta 4.8 kg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{da}$ ve üst toprakta da 5.8 kg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{da}$ olarak tespit edilmiştir (Çizelge 1). Bu değerler Ülgen ve Yurtsever (1995)’in değerlendirdiği yeterlilik sınıfına göre “orta” olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 1’de verilen K içerikleri incelendiğinde, ortalama olarak 0-30cm’de sonuç 203.3 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{da}$;30-60cm’de ise 182.7 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{da}$ olarak saptanmıştır. Sonuçlar sınır değerler ile karşılaştırıldığında “yüksek” düzeyde olduğu tespit edilirken bu durumu toprakların kil mineralojisi yapısında K içeren illit’in yer alması ile açıklanabilmektedir (Çimrin ve ark. 2004; Ülgen ve Yurtsever 1995). Adıyaman’da toprak özelliklerine yönelik diğer çalışmalar incelendiğinde Çelik ve ark. (2015) tarafından yapılan bölge kil mineralojisi çalışmasıdır. Araştırmada, bölgede yaygın kil türünün smektit olduğu bunu sırasıyla illit, paligorskit ve kaolinitin izlediği saptanmıştır. Yine benzer şekilde, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM 1984) tarafından Adıyaman ili arazi varlığı ile ilgili toprak etüdü gerçekleştirilerek, temel sınıflandırma ve arazi kullanım haritası üretilmiştir. Güncel toprak sınıflandırmasına uygun ilk çalışma ise Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından 1990, 1996 ve 1997 yıllarında Kahta, Çamgazi ve Keysun ovalarında gerçekleştirilen çalışmalarda baskın kil minerallerinin smektit ve illit olduğu bildirilmiştir.

Aynı çizelgede deneme alanının demir (Fe) değerleri 5.09 ve 4.84 mgkg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Bu değerler Lindsay and Norvell (1978)’in sınır değerlerine göre, “orta” düzeyde olduğu görülmektedir. Bu durumu, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki toprakların Fe’nin alınabilirliğini azaltan başlıca faktörlerin yüksek pH, kireç ve smektitik kil içeriği ile düşük organik madde etkenleri ve gübreleme yapılmaması olduğu düşünülmektedir (Mengel 1994). 0-30 ve 30-60cm toprak örneklerindeki bakır (Cu) düzeyleri sırasıyla 2.58 ve 2.40 mgkg^{-1} olarak tespit edilmiş sonuçlar Çizelge 1’de gösterilmiştir. Cu değerleri, Lindsay ve Norvell (1978)’in sınır değerlerine göre “yeterli” düzeyde bulunmuştur. Cu içerikli gübreye ve gübreleme işlemine gereksinim duyulmadığı ile açıklanabilmektedir. Deneme alanı topraklarının Zn içerikleri üst toprakta 0.61 mgkg^{-1} alt toprakta da 2.40 olarak ölçülmüştür. FAO (1990)’nun sınır değerlerine göre “düşük ve yüksek” arasında değişkenlik göstermektedir. Bu durumda Zn gübrelemesinin mutlaka bilinçli bir şekilde verilmesi gerekmektedir. Bitkilerde Zn noksanlığının verim üzerinde oldukça etkili olduğu da Candan ve ark., 2013’te vurgulamışlardır. Ayrıca topraklarda Zn’nin düşük olması, yüksek toprak pH’sı ile karbonatlı çökel kökenli ana materyalin üzerinde gelişen topraklardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Kızılgöz ve ark., 2011). Son olarak Mn içerikleri de 12.87 ve 10.69 mgkg^{-1} olarak belirlenmiştir. (Çizelge 1). Lindsay ve Norvell (1978)’in sınır değerlerine göre yeterli düzeyde saptanmıştır.

3.1. Yaprak Analizleri

Trabzon hurması, kayısı, vişne, kiraz, armut, ayva, elma, badem ve erik ağaçlarında verim ve yaprakların besin elementi içeriklerine ait besin elementi miktarlar Jones ve ark., (1991) tarafından belirtilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 2). Deneme bahçesinde bulunan meyve türlerinden alınan yaprak örneklerin N analiz sonuçları incelendiğinde, elma (%2.30), Trabzon hurması (%2.23), vişne (%2.33) ve ayva (%2.64) ağaçlarının yapraklarında N düzeyi yeterli; kayısı (%2.31), kiraz (%1.57), armut (%1.93), badem (%1.89) ve erik (%2.14) ağaçlarında ise N düzeyi sınır değerinin altında bulunmuştur (Çizelge 2). Organik ve/veya inorganik gübre uygulaması yapılmadığı halde, bazı meyve ağaçlarında bitki gelişimi için

büyük önemi olan N düzeyinin yeterli bulunmasının nedeni bitkilerin kendine özgü geliştirdikleri mekanizmadan ileri gelebilir. Her ne kadar toprakta ölçülen total N miktarı yetersiz ise de organik maddenin mineralizasyonundan ve toprak çözeltisinde bulunan mineral N ($\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$) ölçümü yapılmamıştır. Ama bu etkenlerinde bitkinin kullanabileceği N kaynakları olarak bilinmektedir. Şöyle ki stress koşullarında bitkilerin yaşamlarını devam ettirebilmeleri için bazı mekanizmalar geliştirdikleri bilinmektedir. 2007 yılında toprakta bulunan düşük N ve yüksek N konsantrasyonlarında mısır bitkisinin tepkisinin incelendiği bir çalışmada her iki koşulda mısır bitkisinden yüksek verim elde edildiğini N-kullanım verimliliğine katkıda bulunan bu durumu açıklamak için altta yatan fizyolojik mekanizmaları incelemek için daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu bildirmişlerdir (Worku ve ark., 2007). Benzer şekilde bu türlerde meyve ağaçlarının çok yıllık odunsu yapısı, fizyolojik büyüme aşamaları ve diferansiyel kök dağılım modeli bu bitkilerin besin maddelerinin kullanımında yıllık ürünlere göre daha verimli olmasını sağlar (Srivastava, 2017). Meyve bahçesi düzgün bir şekilde yönetilirse nispeten düşük N kaynağı ile yönetilebileceği görülmektedir. Bu durum insan sağlığı ve çevre açısından önem arz etmektedir. Carranca ve ark., 2018'de düşük N kaynağı ile meyve bahçelerinin yönetilebileceğini bildirmişlerdir. Çok sayıda araştırmacı, düşük-N koşulları altında N verimliliğinde genetik değişkenliğin varlığını bildirmiştir (Horst ve ark., 2003; Prestel ve ark., 2002).

Aynı yaprak örneklerinde, P düzeyi incelendiğinde, badem (%0.15), kiraz (%0.16) ve kayısı (%0.19) için fosfor düzeyi yeterli bulunurken; Trabzon hurması (%0.07), vişne (%0.10), armut (%0.09), ayva (%0.11) ve erik (%0.09) yapraklarının P düzeyi yetersiz bulunmuştur (Çizelge 2). Fosfor meyve ağaçlarında verimlilik için önemli elementlerden biridir. Badem, kayısı ve kiraz ağaçlarında P düzeyinin yeterli çıkması verimliliğin iyi olduğunu göstermemektedir. Bu sonuç, söz konusu ağaçlarda fosforun yeterli çıkması bitki kök geometrisi ve morfolojisi ile açıklanabilir. P alımını en üst düzeye çıkarmak için bu iki parametre daha önemlidir (Lynch, 1995).

Ağaçların farklı kök yapısı ile topraktan P alımında da etkin olabilirler. Yine benzer şekilde Marschner (1995) bazı bitki türlerinde, P sınırlamalarına yanıt olarak kök kümeleri (proteoid kökleri) oluştuğunu belirtmiştir.

Kiraz (%0.4), vişne (%1.75), kayısı (%1.32) ve Trabzon hurması (%1.43) yapraklarında K düzeyleri yetersiz, armut (%2), ayva (%1.44) elma (%1.02), badem (%1.98) ve erik (%1.7) yapraklarında ise yeterli olarak ölçülmüştür. Topraklarda potasyum seviyesinin yüksek olması bitkide de potasyum düzeyinin yeterli düzeyde olacağı anlamını taşımamaktadır. Yine toprakta potasyumun varlığı bitkide potasyum eksikliği görülebileceği kanıtını taşımamaktadır (Römheld ve Kirkby, 2010). Toprak dinamik bir sistemdir ve sürekli değişime uğramaktadır. Besin elementleri gereksinimi yüksek, kaliteli ve bol ürün veren değişik çeşitler tarımda kullanılır olmuştur (Kacar, 2005). Bu nedenle herhangi bir elementin toprakta varlığı bitkisel üretim için yeterli olduğu anlamını taşımamaktadır (Kacar, 2005). K alımı bitkiden bitkiye de değişebilmektedir. Kant ve ark., 2005'te benzer sonuçlar bildirmişlerdir.

Yapraklarda Ca içeriği, badem örneklerinden hariç diğer tüm ağaçlarında yetersiz bulunmuştur. Bu durum bademin zor koşullara dayanıklı bir bitki olduğu; Ca'un yeterli olması kendisinin geliştirdiği mekanizma ile açıklanabilir. Toprakta Ca düzeyi de az kireçli olarak belirlenmiş. Bu nedenle ağaçlarda da Ca eksiliğinin olması beklenen bir sonuçtur. Bahçeler damlama sulama ile sulanmaktadır. Kalsiyum da bitki köklerine kitle akışı

ile taşınmakta ancak ortamda Ca yetersizliğinden bitkiye taşınma olmadığı tespit edilmiştir. Bu faktörün dışında, nem, kök basıncı ve fitohormon aktivitesi gibi Ca dağılımını etkileyen faktörler bu bozuklukların oluşumunu etkilemiş olabilir (Kirkby ve Pilbeam, 1984). Meyve ağaçlarından alınan tüm yaprak örneklerinde Mg yeterli düzeyde ölçülmüştür.

Meyve bahçesinden her ay alınan yaprak örneklerinin ortalama Fe içeriği incelendiğinde, Trabzon hurması (67.8 ppm), armut (92.9 ppm), ayva (89.8 ppm) ve elma (88.9 ppm) ile yeterli; kayısı (99.7 ppm), vişne (83.8 ppm), kiraz (80 ppm), badem (99.1 ppm) ve erik (61.9 ppm) ile yetersiz düzeyde ölçülmüştür. Ağaçlarda Fe eksikliği hem gübreleme yapılmadığından hem de toprakta Fe konsantrasyonunun yetersizliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde nar bahçelerinin beslenme durumunun değerlendirildiği bir çalışmada da bitkilerde Fe eksikliğinin bölgede yaygın olduğu belirlenmiştir (Büyük ve ark., 2017).

Yaprakların aylara göre Cu konsantrasyonu ortalamaları incelendiğinde iki meyve türü hariç Cu konsantrasyonu yeterli bulunmuştur. Vişne ve armut sırası ile 6.98 ppm ve 9.2 ppm ile yetersiz ölçülmüştür. Trabzon hurması, kayısı, kiraz, ayva, elma, badem ve erik ağaçlarının yaprak örneklerinde sonuçlar sırasıyla, 7.55 ppm, 15.2 ppm, 19.2 ppm, 9.48 ppm, 9.9 ppm, 9.6 ppm ve 9.1 ppm ile yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bu durumu toprakta da Cu düzeyinin yeterli olması ile açıklayabiliriz.

Örneklerde Zn konsantrasyonu incelendiğinde, Trabzon hurması (89.6 ppm), armut (24 ppm) ve erik (24.9 ppm) yeterli düzeyde olduğu belirlenmiş fakat kayısı (15.6 ppm), vişne (14.6 ppm), kiraz (13.4 ppm) ayva (12.1 ppm) elma (9.87 ppm) ve badem (21.7 ppm) örneklerinde yeterli düzeyin altında olduğu belirlenmiştir. Toprakta da Zn yetersiz düzeyde olduğundan bitkiler topraktan çinkoyu yeterince alamamıştır.

Yaprakların Mn içeriği, ayva (45.1 ppm), armut 851.7 ppm) vişne (51.5 ppm) bitkilerinin yapraklarında yetersiz, erik (40.9 ppm), badem (46.4 ppm), elma (70.8 ppm), kiraz (54.4 ppm) kayısı (55.4 ppm) ve Trabzon hurması (266.1 ppm) bitkilerinin yapraklarında ise yeterli olduğu belirlenmiştir. Bitki besin elementleri su temini sınırlanmadığında, modern meyve bahçelerindeki varlıklarını yabani otları bastırarak, toprak erozyonunu kontrol ederek, toprak kalitesini iyileştirerek ve bitki hastalıklarını ve zararlılarını kontrol ederek ürün verimi üzerinde olumlu etkilere sahiptir. (Altieri, 1994). Bitkiler çeşitli stresli koşullara direnmek için çok çeşitli mekanizmalar geliştirmiştir. Kanıtlar, mineral besinlerin bitki stres direncinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir (Kant ve Kafkafi, 2002).

Denemeye alınan Trabzon hurması ağaçlarında verim 5.2-6.5 kg/ağaç, kayısı 6.5-8.2 kg/ağaç, vişne 6.4-7.5 kg/ağaç, kiraz 6.0-7.2, armut 8.1-10.4 kg/ağaç, ayva 3.5-4.6 kg/ağaç, elma 5.4-6.7 kg/ağaç, badem 4.2-5.6 kg/ağaç ve erik 3.6-4.4 kg/ağaç arasında değişen miktarlarda hesaplanmıştır.

Ağaç başına alınan verimler sınır değerlerin oldukça altında kalmıştır. Her ne kadar işlemeden (sıfır toprak işleme) ve gübreleme yapılmadan bahçe tarımı yapılabildiği görülsede bu şekildeki uygulamaların ekonomik getirisinin yüksek olamayacağı görülmektedir. Meyve ağaçları yaşamsal döngülerini devam ettirebilmek için topraktan maksimum derecede yararlanabildikleri ve bitki besin elementi ihtiyaçlarını karşılayabilmek için değişik mekanizmalar geliştirdikleri anlaşılmaktadır. Aşılı ve anacı belli olan bitkilerin stres koşullarında daha iyi dayandıkları bilinmektedir. Bununla birlikte, az sayıda çalışma, anacın besinlerdeki yaprak içeriği üzerinde yaptığı etkiyi göstermektedir. Bu nedenle, anaç seçimi nadiren besin alımıyla ilgili özelliklere dayanır, ancak hemen

hemen her zaman çevresel strese karşı dirence dayandığı (Ruiz ve ark., 1997), besin alımındaki sınırlamalar (su, besin eksiliği vb) gibi kısıtlamalar, alım verimliliğinin artırılması, yeni besin kaynaklarının kullanılması yoluyla kısmen aşıldığını ve bazı bitkiler hariç tüm alım mekanizmalarının maksimum aktivitesi kış baharı ile sınırlı olduğunu ve 15 cm kalınlıktaki çürüyen organik atıkların suyu hapsederek besin alımını uzattıklarını (Lamont, 1982), bitkiler stresli koşullara maruz kaldıklarında, metabolik değişimler meydana gelir ve çeşitli hücre metabolitlerinin seviyelerinde değişikliklere neden olduğunu ve bunae yanıt olarak modifikasyonlar geliştirerek bu tür koşullara tolerans gösterme kabiliyetlerini arttırdıklarını belirmişlerdir (Guy, 1990). Toprakta bulunan yetersiz besin elementi miktarı durumunda alım verimliliği için bitki türleri/genotipleri, değiştirilmiş kök morfolojisi, kimyasal bileşiklerin rizosfere sızması gibi daha önce mevcut olmayan toprak rezervlerine erişim sağlamak için çeşitli adaptasyon mekanizmaları kullanılabilir (Hacısalıhoğlu ve Kochian, 2003; Balemi ve Ngisho, 2012). Bazı bitki türleri (Brennan ve Bolland, 2007) ve türler içindeki genotipler (Damon ve ark., 2007) mevcut besin maddesi bakımından düşük topraklarda iyi büyüme ve verim verme kapasitesine sahiptir; bu türlerin ve genotiplerin besin eksikliğine toleranslı olduğu kabul edilir (besin açısından verimli) (Rengel ve Marschner 2005). Etkili genotipler, belirli bir besleyicinin yeterli miktarlarına erişmelerine (alım verimliliği) ve/veya alınan besin miktarlarını daha etkin bir şekilde kullanmalarına (kullanım verimliliği) izin veren spesifik fizyolojik mekanizmalara sahiptir (Sattelmacher ve ark., 1994). Toprak gübrelenmesiyle birlikte besin açısından verimli genotiplerin kullanılması, dayanıklı ve sürdürülebilir tarım sistemleri için optimum besin yönetimi stratejisi olarak kabul edilmelidir.

4. Sonuç

Adıyaman'da tütün tarımına kota uygulamasının gelmesiyle, desteklemelerle kapama meyve bahçeleri kurulmaya başlanılmıştır. Bahçe tarımında, gerekli gübre uygulamaları yeterince yapılmamaktadır. Bu nedenle meyve bahçelerinden düşük kalite ve verim alınmaktadır.

1. Çalışma yapılan bahçede de bölgenin üretici uygulamalarına benzer uygulamalarla tarımsal üretim yapılmaktadır. Bu meyve ağaçlarının toprak ve bitki besin elementi düzeyleri ayrıca verim değerlerine bakıldığında; toprakta bazı bitki besin elementleri düzeyleri düşük bulunmuştur. Ama buna paralel olarak bitkide bu elementlerinde düşük olması beklenirken, bu durum tamamıyla gerçekleşmemiştir.

2. İşlemesiz tarım yapıldığı için artan organik madde ile topraktaki mikrobiyolojik faaliyetin fazla olması bitkilerin topraktaki bitki besin elementi düzeyini en iyi şekilde kullandığını göstergesi olabilir. Bu tür alanlarda toprakların mikrobiyolojik düzey, mineralizasyon düzeyi ile ilgili çalışmalar da yapılması gerekliliğini önem arz etmektedir.

3. Toprak yönetiminin, toprağın fiziksel özellikleri ve sonuç olarak bitkisel üretimin başarısı için önemli olan toprak organik madde içeriği üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

4. Bu bahçelerde toprak ve bitki analizine dayalı olarak gübreleme yapılabilmesi için optimum gübreleme dozunu belirlemek için denemelerin yürütülmesi gerekmektedir. Bu şekilde verimlilik ve kalite kayıplarını azaltmak mümkün olacaktır.

Çizelge 2. Trabzon hurması, kayısı, vişne, kiraz, armut, ayva, elma, badem ve erik ağaçlarında verim ve yaprakların besin elementi içerikleri

		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Verim	
		%					mg kg ⁻¹					Kg ağaç ⁻¹
Trabzon hurması	Değişim	1.76-2.91	0.05-0.09	1.1-1.6	0.4-0.7	0.3-0.7	45.5-91.6	4.9-9.6	6.8-10.9	114.8-351.2	5.2-6.5	
	Ortalama	2.23	0.07	1.43	0.63	0.32	67.8	7.55	9.62	266.1	5.85	
	Sınır değer	2.2-3.1	0.1-0.19	2.4-3.7	1.35-3.11	0.17-0.46	56-124	1-8	5-36	238-928	40-60	
Kayısı	Değişim	1.96-2.87	0.10-0.30	1.1-1.6	0.4-1.0	0.4-0.5	61.3-147.6	11-32.1	11.6-19.2	48.1-60.4	6.5-8.2	
	Ortalama	2.31	0.19	1.32	0.67	0.41	99.7	15.2	15.6	55.4	8.35	
	Sınır değer	2.4-3.0	0.14-0.25	2.0-3.5	2-4	0.30-0.89	100-250	5-16	20-60	40-160	50-60	
Vişne	Değişim	1.25-2.88	0.06-0.17	1.3-2.2	0.4-1.0	0.5-1.0	51.6-131.2	3.7-9.8	105-.5-22.1	44-59	6.4-7.5	
	Ortalama	2.33	0.10	1.75	0.73	0.78	83.8	6.98	14.6	51.5	6.45	
	Sınır değer	2.1-3.0	0.16-0.5	2.5-3.0	2-3	0.3-0.8	100-250	5-50	20-50	90-200	25-35	
Kiraz	Değişim	1.28-1.90	0.07-0.24	0.9-1.7	0.5-0.9	0.6-0.9	70.1-117.3	13.1-26.1	9.6-17.4	38-63.4	6.0-7.2	
	Ortalama	1.57	0.16	1.4	0.7	0.75	80.0	19.1	13.4	54.4	6.6	
	Sınır değer	2.2-2.6	0.14-0.25	1.6-3	1.4-2.4	0.30-0.80	100-250	5-16	20-50	40-160	25-35	
Armut	Değişim	1.67-2.05	0.06-0.13	1.8-2.3	0.4-0.7	0.3-0.4	47.8-124	7.3-9.9	19.5-29.5	44.8-57.4	8.1-10.4	
	Ortalama	1.93	0.09	2.0	0.6	0.37	92.9	8.2	24.0	51.7	9.25	
	Sınır değer	2.3-2.7	0.14-0.20	1.2-2	1.5-2.2	0.3-0.5	60-200	9-40	20-50	60-120	45-90	
Ayva	Değişim	2.02-2.98	0.08-0.14	0.90-1.96	0.30-0.47	0.35-0.42	55.7-114.9	8.5-10.6	10.2-13	39.7-53.7	3.5-4.6	
	Ortalama	2.64	0.11	1.44	0.37	0.43	89.8	9.48	12.1	45.1	4.05	
	Sınır değer	2.3-2.7	0.14-0.20	1.2-2	1.5-2.2	0.3-0.5	60-200	9-40	20-50	60-120	60-100	
Elma	Değişim	1.85-2.74	0.10-0.17	0.6-1.5	0.3-0.6	0.2-0.3	57.3-145.4	5.7-13.4	8.8-15.9	49.4-84.8	5.4-6.7	
	Ortalama	2.3	0.14	1.02	0.42	0.25	88.9	9.9	9.87	70.8	6.05	
	Sınır değer	1.6-1.9	0.10-0.14	0.8-1.1	0.7-1.0	0.15-0.20	50-300	4-6	10-20	20-50	60-70	
Badem	Değişim	1.39-2.30	0.13-0.21	1.2-2.6	0.5-1.5	0.3-0.5	66.3-139.7	4.4-13.7	12.9-34.4	42.6-52.6	4.2-5.6	
	Ortalama	1.89	0.15	1.98	0.88	0.35	99.1	9.6	21.7	46.4	4.9	
	Sınır değer	2-2.5	≥0.1	1.4-1.7	≥0.2	≥0.25	100	≥4	25-30	≥20	10-30	
Erik	Değişim	1.86-2.54	0.04-0.13	1.5-1.9	0.5-0.9	0.3-0.5	59.7-68	6.7-10.9	21.2-26.1	33.3-47.1	3.6-4.4	
	Ortalama	2.14	0.09	1.7	0.65	0.41	62.9	9.1	24.9	40.9	4.0	
	Sınır değer	2.4-3	0.14-0.35	1.6-3	1.5-3	0.3-0.8	100-250	6-16	20-50	40-160	30-35	

5. Teşekkür

Adıyaman Üniversitesi Araştırma Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kaynakça

Adıyaman'ın Geleceğinde Tarım ve Gıda Çalışma Grubu. (2019).
Altieri, M.A. (1994) Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, p. 185.
Anonim. (2021) <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=ADIYAMAN> (Erişim tarihi:15.01.2021).
Balemi, T., & Negisho, K. (2012). Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12(3), 547-562.
Bellitürk, K., Kuzucu, M., Çelik, A., & Baran, M. F. (2019). Kuru Koşullarda Antepfıstığına Gübrelemenin Verim ve Kaliteye Etkileri.
Brennan, R. F., & Bolland, M. D. A. (2009). Comparing the nitrogen and phosphorus requirements of canola and wheat for grain yield and quality. *Crop and Pasture Science*, 60(6), 566-577.
Büyük, G., Bayram, C. A., Kırpık, M., Çelik, A., Kaya, A., Akça, E., & OGUZ, H. İ. The nutrition status of punica granatum l. gardens on soils with limited conditions in semi-arid Southeastern Anatolia, Turkey. *Eurasian Journal of Agricultural Research*, 1(2), 32-41.
Candan, N., Çakmak, İ., & Öztürk, L. (2013). High seed zinc concentration assures high seedling vigor and biomass production in durum wheat under zinc deficiency and drought stress.
Carranca, C., Brunetto, G., & Tagliavini, M. (2018). Nitrogen nutrition of fruit trees to reconcile productivity and environmental concerns. *Plants*, 7(1), 4.
Çelik, A., Akça, E., Yıldırım, Y., Büyük, G., & Kapur, S. (2015). Adıyaman Bölgesi'nde Tarım Dışı Alanlardaki Kil Yataklarının Kil Mineralojisi: Tuğla-Seramik Hammaddesi Olarak Değerlendirilme Potansiyelleri, 16. Ulusal Kil Sempozyumu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniv. Yayınları, 127.
Çetinkaya, H., Kendal, E., & Sayar, M. S. (2013). Ekolojik tarım açısından güneydoğu anadolu bölgesi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1), 195-198.
Çimrin, K.M., Akça, E., Şenol, M., Büyük, G. & Kapur, S. (2004). Potassium Potential of the Soils of the Gevaş Region in Eastern Anatolia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 28(4): 259-266.
Damon, P. M., Osborne, L. D., & Rengel, Z. (2007). Canola genotypes differ in potassium efficiency during vegetative growth. *Euphytica*, 156(3), 387-397.
FAO (1990). Micronutrient, assesment at the country level, an intemationalstudy. *FAO Soils Bul.* 63.
Guy, C. L. (1990). Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism. *Annual review of plant biology*, 41(1), 187-223.
Hacısalihoglu, G., & Kochian, L. V. (2003). How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. *New phytologist*, 159(2), 341-350.
Horst, W. J., Behrens, T., Heuberger, H., Kamh, M., Reidenbach, G., & Wiesler, F. (2003). Genotypic differences in nitrogen use-efficiency in crop plants. *Innovative soil-plant systems for sustainable agricultural production*, 51, 75-92.

Jones Jr, J. B., Wolf, B., & Mills, H. A. (1991). *Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide.* Micro-Macro Publishing, Inc.
Jones Jr, J. B., & Wallace, A. (1992). Sample preparation and determination of iron in plant tissue samples. *Journal of Plant Nutrition*, 15(10), 2085-2108.
Kacar, B. (2005). Potasyumun bitkilerde işlevleri ve kalite üzerine etkileri. *Tarımda Potasyumun Yeri ve Önemi Çalıştayı*, 20.
Kacar, B., & İnal, A. (2008). *Bitki analizleri.* Nobel Yayın Dağıtım.
KHGM (1984). Adıyaman İli Arazi Varlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, İl Rapor No:02, Ankara, Genel Yayın No:781.
Kant, S., Kant, P., & Kafkafi, U. (2005). Potassium uptake by higher plants: From field application to membrane transport. *Acta Agronomica Hungarica*, 53(4), 443-459.
Kant, S., & Kafkafi, U. (2002). Potassium for Sustainable Crop Production. *Potash Inst*, 233-251.
Kaşka, N., Güleriyüz, M., Kaplankıran, M., Kafkas, S., Ercişli, S., Eşitken, A., & Akçay, E. (2005). Türkiye Meyveciliğinde Üretim Hedefleri. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, 3-7.
Kirkby, E. A., & Pilbeam, D. J. (1984). Calcium as a plant nutrient. *Plant, Cell & Environment*, 7(6), 397-405.
Kızılgöz, İ., Sakin, E., & Gürsöz, S. (2011). Ovacık Köyü'nde (Şanlıurfa) yetiştirilen asma (*Vitis vinifera* L.) çeşitlerinin mineral beslenme durumunun değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(1), 1-10.
Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 42(3), 421-428.
Lamont, B. (1982). Mechanisms for enhancing nutrient uptake in plants, with particular reference to mediterranean South Africa and Western Australia. *The Botanical Review*, 48(3), 597-689.
Lynch, J. (1995). Root architecture and plant productivity. *PlantPhysiol* 109:7-13.
Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants.* (AcademicPress, San Diego, CA).
Mengel, K. (1994). Iron availability in plant tissues-ironchlorosis on calcareoussoils. *Plant andSoil*, 165(2): 275-283.
Pan, J., Shang, Z., & Guo, R. (2013). Review of research progress on the influence and mechanism of field straw residue incorporation on soil organic matter and nitrogen availability. *Zhongguo Shengtai Nongye Xuebao/Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 21(5), 526-535.
Presterl, T., Groh, S., Landbeck, M., Seitz, G., Schmidt, W., & Geiger, H. H. (2002). Nitrogen uptake and utilization efficiency of European maize hybrids developed under conditions of low and high nitrogen input. *Plant Breeding*, 121(6), 480-486.
Rengel, Z., & Marschner, P. (2005). Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. *New Phytologist*, 168(2), 305-312.
Römheld, V., & Kirkby, E. A. (2010). Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant and soil*, 335(1), 155-180.
Ruiz, J.M., Belakbir, A., López-Cantarero, I., & Romero, L. (1997). Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Scientia Horticulturae* 71: 227-234.
Sattelmacher, B., Horst, W. J., & Becker, H. C. (1994). Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of

- crop plants. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 157(3), 215-224.
- Srivastava, A.K. (2017). New paradigms in soil health management in fruit crops for improving farmers' income. Shodh Chintan. 9, 191-224.
- Sunar, R. (2018). Badem yetiştiriciliğinde organik ve inorganik gübrelemenin verimüzerine etkisi/Effects of organic and inorganic fertilizier on yield in almondcultivation (Doctoral dissertation).
- Uçgun, K., & Gezgin, S. (2015). Isparta ilinde yoğun olarak elma yetiştirilen bölgelerin bazı toprak özellikleri. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 26(4), 42-49.
- Ukav, İ., Oğuz, H. İ., & Kurt, H. (2011). Adıyaman ilinde antepfıstığı (*Pistacia vera* L) yetiştiriciliğinin sosyo-ekonomik yönü ve sorunları üzerine bir araştırma. GAP VI. Tarım Kongresi, 8-13.
- Ülgen, N., & Yurtsever, N. (1995). Türkiye gübre ve gübreleme rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın, (209), 230.
- Wang, Y., Li, C., Tu, C., Hoyt, G. D., DeForest, J. L., & Hu, S. (2017). Long-term no-tillage and organic input management enhanced the diversity and stability of soil microbial community. Science of The Total Environment, 609, 341-347.
- Worku, M., Bänziger, M., Erley, G. S. A. M., Friesen, D., Diallo, A. O., & Horst, W. J. (2007). Nitrogen uptake and utilization in contrasting nitrogen efficient tropical maize hybrids. Crop Science, 47(2), 519-528.



Oransal İntegral Türevsel Denetleyici Parametrelerinin Değiştirilmiş Radyal Hareket Optimizasyonu ile Ayarlanması

Oğuzhan Çakır^{1*}, Sinan Tekin²

^{1*} Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6576-8710), cakir@ktu.edu.tr

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9431-2766), sinantekin91@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 24 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 23 Şubat 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.830467)

ATIF/REFERENCE: Çakır, O. & Tekin, S. (2021). Oransal İntegral Türevsel Denetleyici Parametrelerinin Değiştirilmiş Radyal Hareket Optimizasyonu ile Ayarlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 9-21.

Öz

Bu makalede, *radyal hareket optimizasyonunun* (Radial Movement Optimization (RMO)) yeni bir varyantı olarak *değiştirilmiş radyal hareket optimizasyonu* (Modified Radial Movement Optimization (MRMO)) önerilmiştir. Ayrıca seçilen üç test sistem için PID denetleyicinin kazanç faktörleri, *önerilen yöntem* (MRMO), *parçacık sürüsü optimizasyonu* (Particle Swarm Optimization (PSO)), RMO, *farksal gelişim* (Differential Evolution, (DE)) ve *genetik algoritma* (Genetic Algorithm (GA)) ile en iyileştirilmiştir. Sezgisel optimizasyon yöntemleri ile parametre ayarında *mutlak hata toplamı*, *hata karesi toplamı*, *zaman ağırlıklı mutlak hata toplamı* ve *zaman ağırlıklı hata karesi toplamı* olmak üzere dört farklı hata alanı tabanlı başarımlar kriteri kullanılmıştır. Öncelikle bu beş sezgisel optimizasyon yöntemi (MRMO, PSO, RMO, DE ve GA) destekli PID denetleyicinin başarımlarını seçilen hata alanı kriterine göre kıyaslanmış olup, ardından optimizasyon yöntemlerinin performansları birbirleri ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Literatürde PID denetleyici parametrelerinin PSO, DE, GA ve RMO kullanılarak ayarlanmasına yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Ancak PID denetleyicinin kazanç değerlerinin önerilen MRMO ile en iyileştirilmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yenilik sunulan çalışmanın mevcut literatüre en önemli katkısıdır.

Anahtar Kelimeler: Oransal integral denetleyici, Parametre ayarlama, Sezgisel optimizasyon yöntemleri, Stokastik algoritmalar.

Tuning Proportional Integral Derivative Controller Parameters with Modified Radial Movement Optimization

Abstract

In this article, *modified radial movement optimization* (MRMO) is proposed as a new variant of *radial movement optimization* (RMO). Also, for the three selected test systems, the gain factors of the PID controller were optimized by the *proposed method* (MRMO), *particle swarm optimization* (PSO), *radial movement optimization* (RMO), *differential evolution* (DE), and *genetic algorithm* (GA). With heuristic optimization methods, four different error area-based performance criteria were used in parameter tuning: *Integral of square error*, *integral of absolute value of error*, *time-weighted integral of square error*, and *time-weighted integral of absolute value of error*. First, the performance of the PID controller tuned by these five heuristic optimization methods (MRMO, PSO, RMO, DE, and GA) was compared according to the selected error area criteria, and then the performances of the optimization methods were compared with each other and the results obtained were analyzed. There are many studies in the literature regarding the tuning of PID controller parameters using PSO, DE, GA, and RMO. However, there is no study on the optimization of the gain constants of the PID controller with the proposed MRMO. This is the most important contribution of this study presented to the current literature.

Keywords: Proportional integral controller, Parameter tuning, Heuristic optimization methods, Stochastic algorithms.

* Sorumlu Yazar: cakir@ktu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişimine paralel olarak otomatik kontrol sistemlerine olan ihtiyaç artmıştır. Bu sistemler üretim süreçlerinin hızlarını, doğruluklarını ve güvenilirliklerini yükseltmiş ve sistem maliyetlerini de düşürmüşlerdir. Basitliği ve uygulama kolaylığı açısından en yaygın kullanılan denetim yöntemi *açık-kapalı* kontroldür (Gille & Paquet, 1962; Jing et al, 2011; Koswara & Nagy, 2017). Bu yöntemde sistemi kontrol etmek için iki konumlu bir son kontrol elemanı yeterlidir. Ancak kontrol edilen değişken hiçbir zaman referans değerinde sabitlenememektedir. Çünkü son kontrol elemanının tamamen açık veya tamamen kapalı olması süreç değişkeninin ayar noktasına getirilebilmesi için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle kontrol edilen değişken referans değer etrafında denetim süresi boyunca salınım yapmaktadır. Son kontrol elemanının oransal olduğu sistemlerde ise oransal kontrol yapmak mümkündür. Literatürde birçok oransal kontrol yöntemi bulunmakta olup, bunlar içerisinde en yaygın olarak kullanılan *oransal integral türevsel* (Proportional Integral Derivative (PID)) kontroldür (Çeven & Albayrak, 2020; Denizci & Ulu, 2020; Köse & Oktay, 2020). Bu teknik, üç kontrol eylemini içermesi nedeniyle *üç modlu denetim* olarak da isimlendirilmektedir. PID kontrol hata tabanlı çalıştığı için denetlenen sistemin matematiksel modelinin bilinmesine gerek yoktur. Bu yöntemde oransal bileşen hatanın genliğine, integral kısmı hatanın alanına ve türevsel bileşen ise hatanın eğimine göre üretilen kontrol sinyaline katkı yapmaktadır. Integral eylemi hatanın geçmişini, oransal etki şimdiki değerini ve türevsel bileşen de geleceğini referans almaktadır. Bu açıdan PID denetim hatanın geçmişi, anlık değeri ve geleceğine göre uygun kontrol sinyallerini üretmektedir. PID kontrolde bu üç bileşenin sistem üzerindeki etkisi kazanç sabitleri ile belirlenmektedir. Uygun seçilmiş kazanç sabitleri ile başarılı kontrol süreçleri gerçekleştirilebilirken, parametrelerinin yanlış seçimi sistemi kararsız hale getirebilmektedir. Bu kazanç terimlerinin uygun değerlerinin bulunması, *deneme yanılma yöntemi* ile yapılabileceği gibi *genetik algoritma* (Deb, 1999; Trebi-Ollennu & White, 1997; Mills et al, 2015), *farksal gelişim* (Price, 1999; Thangaraj et al, 2011; Fokas, 2002), *yapay karınca kolonisi* (Dorigo et al, 1996; Chen, et al, 2009; Sethi & Singhal, 2017; Boudardara & Gorkemli, 2018), *yapay arı kolonisi* (Karaboga, 2005; Kaya & Furat, 2020; Zhang & Wang, 2018; Koçer, 2017), *yapay sinir ağları* (Warren & Pitts, 1943; Taşören et al, 2020; Turkmen & Guney, 2004; Gür & Furat, 2020) ve *parçacık sürüsü optimizasyonu* (Kennedy & Eberhart, 1995; Köse & Coşkun, 2020; Zhang & Wu, 2012; Lee, 2008) gibi sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılarak da gerçekleştirilebilir.

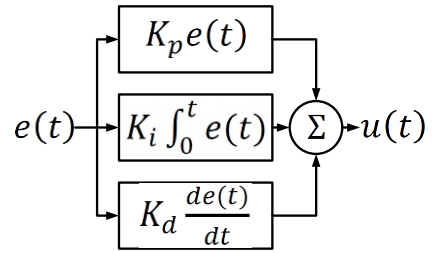
Bu çalışmada, *radyal hareket optimizasyonunun* (Radial Movement Optimization (RMO)) (Rahmani & Yusof, 2014) yeni bir varyantı olan *değiştirilmiş radyal hareket optimizasyonu* (Modified Radial Movement Optimization (MRMO)) önerilmiştir. Önerilen yöntemin başarımını ortaya koymak amacıyla seçilen üç test sistemi için PID denetleyicinin kazanç sabitleri en iyileştirilmiş ve elde edilen sonuçlar *parçacık sürüsü optimizasyonu* (Particle Swarm Optimization (PSO)), RMO, *farksal gelişim* (Differential Evolution (DE)) ve *genetik algoritma* (Genetic Algorithm (GA)) ile bulunan başarım değerleriyle kıyaslanmıştır. Sezgisel optimizasyon yöntemlerinin başarımalarının karşılaştırılmasında *mutlak hata toplamı* (Integral Absolute Error (IAE)), *hata karesi toplamı* (Integral Square Error (ISE)), *zaman ağırlıklı mutlak hata toplamı* (Integral

Time-weighted Absolute Error (ITAE)) ve *zaman ağırlıklı hata karesi toplamı* (Integral Time-weighted Square Error (ITSE)) olmak üzere dört farklı hata alanı tabanlı başarımlar kriteri kullanılmıştır. Literatürde PID denetleyici parametrelerinin PSO, DE, GA ve RMO kullanılarak ayarlanmasına yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Ancak PID denetleyicinin kazanç faktörlerinin MRMO ile en iyileştirilmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Oransal İntegral Türevsel Kontrol

Geri beslemeli kontrol, ölçüm sonuçlarından elde edilen bilgileri kullanan bir denetim mekanizmasıdır. Pozitif ve negatif olmak üzere iki tip geri besleme kontrol yapısı bulunmaktadır. Pozitif geri beslemeli sistemler giriş işaretinin genliğini arttırırken, negatif geri beslemeli sistemler azaltmaktadır. Şekil 1'de blok şeması verilen ve negatif geri beslemeli bir denetim yöntemi olan PID kontrol, 1939 yılında ortaya çıkmış olup, günümüzde de çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. PID denetleyici, elde edilen hata sinyalinin geçmişi, mevcut durumu ve geleceğine göre uygun kontrol sinyallerini üretmektedir (Örnek & Ertaş, 2020). PID denetleyici oransal, integral ve türevsel olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır (Tabak, 2020).



Şekil 1. PID Denetleyicinin Blok Şeması

Şekil 1'de $e(t)$ zamanın bir fonksiyonu olarak hata sinyali, $u(t)$ zamanın bir fonksiyonu olarak kontrol sinyali, K_p oransal kazanç, K_i integral kazancı, K_d türevsel kazanç, t zamanı, \int integral işlemi, d/dt türev işlemi ve Σ toplama işlemidir.

2.2. Kıyas Modelleri

Hagglund ve Astrom sanayide kullanılan süreçleri temsil etmek amacıyla 2004 yılından 134 kıyas modeli tanıtmış (Hägglund & Åström, 2004) olup, bu modeller Tablo 1'de verilmiştir. Sunulan çalışmada PID parametrelerinin ayarlanmasında tablodaki $P_1(s)$, $P_2(s)$ ve $P_6(s)$ kıyas modelleri kullanılmıştır.

2.3. Hata Alanı Tabanlı Başarım Kriterleri

Hata alanı, sistem tepkisi eğrisi ile istenen değer arasında kalan alan olarak tanımlanabilir. PID parametrelerinin ayarlanmasında, hata alanı uygunluk fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Literatürde en yaygın kullanılan hata alanı kriterleri (1), (2), (3) ve (4)'te verilmiştir. Bu kriterler temelde, *hatanın genlik toplamı*, *güç toplamı* (enerjisi), *zaman ağırlıklı genlik toplamı* ve *zaman ağırlıklı enerjisidir*.

$$IAE = \int_0^T |e(t)| dt \quad (1)$$

$$ISE = \int_0^T e^2(t) dt \quad (2)$$

$$ITAE = \int_0^T t|e(t)|dt \quad (3)$$

$$ITSE = \int_0^T t \cdot e^2(t)dt \quad (4)$$

Burada, IAE mutlak hatanın toplamını, ISE hata karesinin toplamını, ITAE zaman ağırlıklı mutlak hatanın toplamını, ITSE zaman ağırlıklı hata karesinin toplamını, $e(t)$ sistem hatasını, T anlık zamanını ve $|\cdot|$ mutlak değer işlemini göstermektedir.

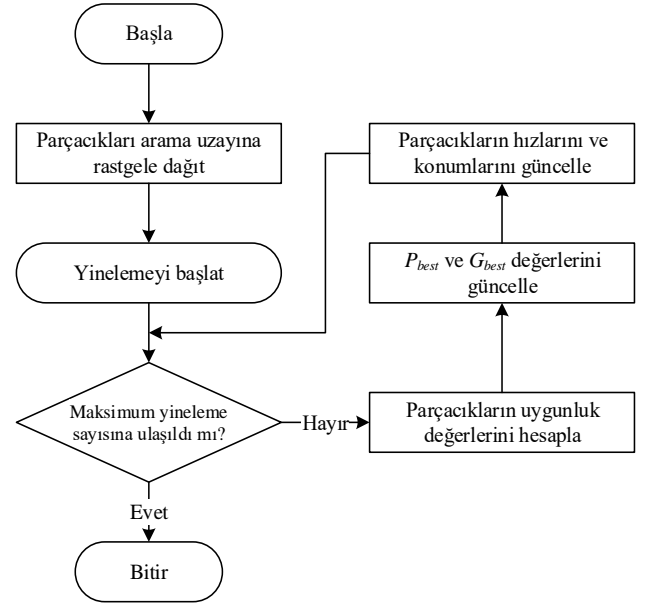
Tablo 1. 134 Kıyas Süreç Modeli

Transfer Fonksiyonu	Parametre
$P_1(s) = \frac{e^{-s}}{1+sT}$	$T = \{0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0, 1,3, 1,5, 2,4, 6, 8, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000\}$
$P_2(s) = \frac{e^{-s}}{(1+sT)^2}$	$T = \{0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0, 1,3, 1,5, 2,4, 6, 8, 10, 20, 50, 100, 200, 500\}$
$P_3(s) = \frac{e^{-s}}{(1+s)(1+sT)^2}$	$T = \{0,005, 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 2,5, 10\}$
$P_4(s) = \frac{1}{(1+s)^n}$	$n = \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$
$P_5(s) = \frac{1}{(1+s)(1+\alpha s)(1+\alpha^2 s)(1+\alpha^3 s)}$	$\alpha = \{0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9\}$
$P_6(s) = \frac{1}{s(1+sT)} e^{-sL}$ $T + L = 1$	$L = \{0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9, 1,0\}$ $T + L = 1$
$P_7(s) = \frac{1}{(1+sT)(1+sT_1)} e^{-sL}$ $T_1 + L = 1$	$T = 1, 2, 5, 10$ $L = \{0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9, 1,0\}$
$P_8(s) = \frac{1-\alpha s}{(1+s)^3}$	$\alpha = \{0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 1,1\}$
$P_9(s) = \frac{1}{(1+s)((sT)^2+1,4sT+1)}$	$T = \{0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0\}$

2.4. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

PSO bireylerin birbirleri ile etkileşimine dayalı bir optimizasyon yöntemidir. Tekniğin ilk simülasyonları Kennedy ve Eberhart (Kennedy & Eberhart, 1995) tarafından 1995 yılında Heppner ve Grenander'in çalışmaları esas alınarak gerçekleştirilmiştir (Heppner & Grenander, 1990). Daha sonra algoritma geliştirilerek bir optimizasyon yöntemi olarak ortaya çıkmıştır (Kennedy & Eberhart, 1997; Eberhart & Kennedy, 1995; Eberhart et al, 1996).

PSO sürü tabanlı bir algoritma olup, sürü parçacıklardan oluşmaktadır (Çiftçioğlu & Doğan, 2019). Şekil 2'de akış şeması görülen PSO'da öncelikle her biri çözülmek istenen problemin olası bir çözümü olan parçacıklar arama uzayına rastgele veya düzenli bir şekilde dağıtılmaktadır (Ma et al, 2021). Parçacığın boyutu çözülecek problemin boyut ile aynı olup, her parçacık o ana kadar elde ettiği en iyi çözümü (P_{best}) veren konumunu saklamaktadır. Parçacıkların her yinelemedeki yeni konumu, kendi en iyi ve sürünün en iyi uygunluk değerini veren koordinatların (G_{best}) bir ağırlıklandırması ile hesaplanmaktadır. Böylece her parçacık hem kendi tecrübesi ve hem de sürünün toplam tecrübesine göre bir sonraki konumunu belirlemektedir. En fazla yineleme sayısı, en düşük hata değeri ve en düşük hata değerindeki değişim gibi önceden belirlenen durma koşulu sağlandığında sürünün en iyi uygunluk değerine sahip olan parçacığın koordinatları (G_{best}) problemin çözümünü vermektedir.



Şekil 2. PSO'nun Akış Şeması

2.5. Radyal Hareket Optimizasyonu

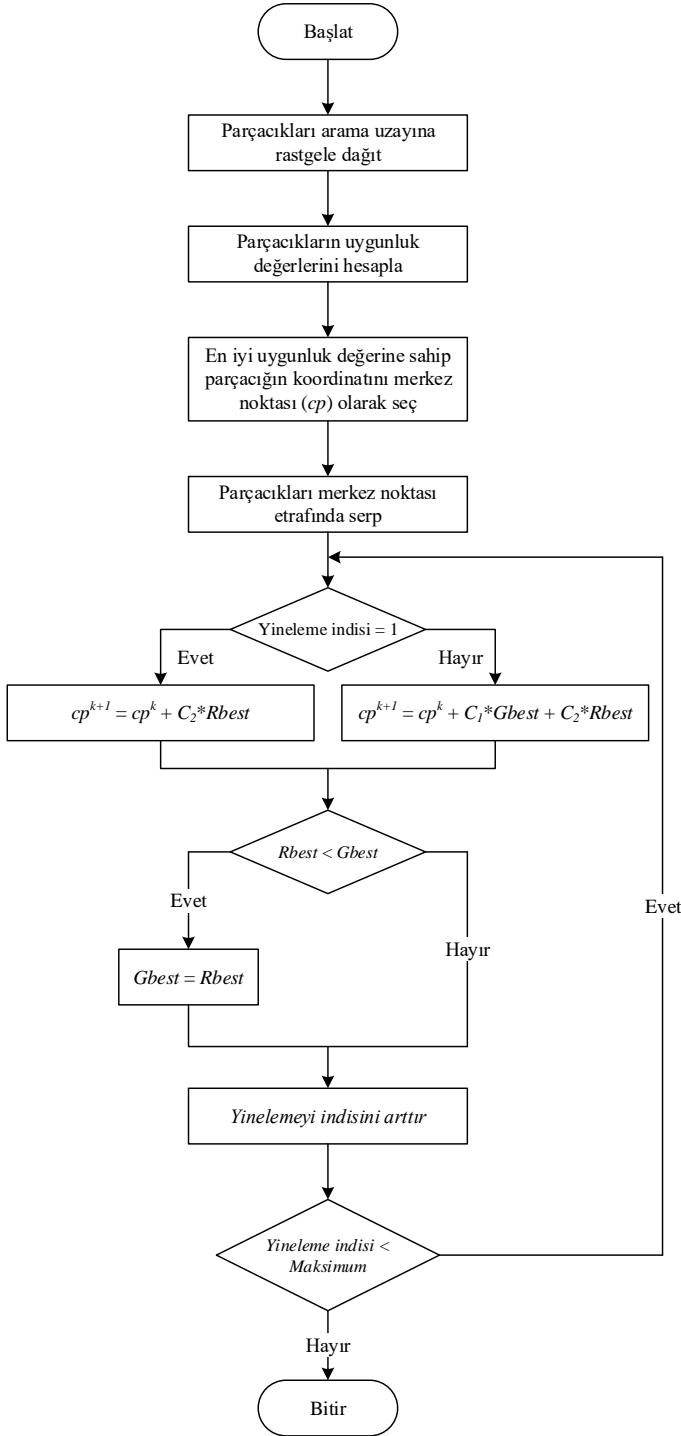
RMO, sürü tabanlı rastsal bir optimizasyon yöntemidir (Rahmani & Yusof, 2014; Rahmani et al, 2015). Bazı açılardan PSO ve DE algoritmalarına benzemekle birlikte en önemli farklılığı sürüyü oluşturan parçacıkların hareketidir. RMO'da parçacıklar bir merkez noktasının etrafında radyal olarak hareket etmektedirler. Şekil 3'te verilen akış şemasından da anlaşılacağı gibi bu merkez noktası her yinelemede güncellenmektedir (Rahmani & Yusof, 2014). Çözülmek istenen problemin üç parametreliliğini kabul edildiğinde, parçacıklar merkez noktaya eşit uzaklıkta ancak farklı hızlarda hareket etmektedirler. Her yinelemede tüm parçacıkların mevcut konumları çözülecek problemin uygunluk fonksiyonuna bir giriş olarak verilmekte ve her parçacık için bir uygunluk değeri hesaplanmaktadır. Her yinelemede en iyi uygunluk değerini veren parçacığın konumu R_{best} değişkeninde tutulmaktadır. Benzer şekilde o ana kadar yapılan tüm yinelemelerde elde edilen en iyi uygunluk değerine sahip parçacığın konumu is G_{best} olarak adlandırılmaktadır. Başka bir ifade ile mevcut yineleme için en iyi çözüm R_{best} ve tüm yinelemeler için elde edilen en iyi çözüm ise G_{best} 'tir. En büyük yineleme sayısı, en iyi uygunluk değeri veya en küçük uygunluk değerinin değişimi gibi durma koşulu sağlandığında G_{best} problemin çözümünü vermektedir.

RMO'da parçacıkların etrafında radyal olarak hareket ettikleri merkez noktası (5) ve (6) ile hesaplanmaktadır.

$$cp^{k+1} = cp^k + up \quad (5)$$

$$up = C_1(G_{best} - cp^k) + C_2(R_{best} - cp^k) \quad (6)$$

Burada cp tüm parçacıkların etrafında hareket ettiği merkez nokta, up değişim vektörü, C_1 ve C_2 ağırlıklandırma sabitleri ve k iterasyon indisidir. Bu sabitler yeni merkez noktasının hesabında mevcut yineleme ile o ana kadar olan yinelemelerde elde edilen en iyi çözümlerin yeni merkez noktasının bulunmasındaki ağırlığını belirlemektedir. Bu ağırlıklandırma faktörleri genelde 0,4 ile 0,9 aralığında seçilmekte olup, C_2 sabitinin C_1 'den büyük alınması önerilmektedir (Rahmani & Yusof, 2014).



Şekil 3. RMO'nun Akış Şeması

2.6. Değiştirilmiş Radyal Hareket Optimizasyonu

Literatürde RMO'nun dört varyantı bulunmaktadır. Bunlar:

1. 2016'da Vanithasri ve arkadaşları, termal üretim birimlerinin yakıt maliyet katsayılarını tahmin etmek amacıyla *modifiye radyal hareket optimizasyonu* (MRMO) adı verilen yeni bir stokastik yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde RMO'nun yakınsaması, G_{best} 'in kullanıldığı deneme vektörlerinin üretilmesiyle iyileştirilmiştir (Vanithasri et al, 2016).
2. 2018'de Jin ve Feng, bir eğimin dairesel olmayan kritik arıza yüzeyini araştırmak için RMO'ya dayanan yeni bir küresel optimizasyon algoritması önermiştir. Bu yöntemde, RMO'nun kararlılığını arttırmak için parçacık

hareketlerine önceki arama tecrübesi de eklenmiştir (Jin & Feng, 2018).

3. 2018'de Seyedmahmoudian ve arkadaşları, fotovoltaik sistemler için maksimum güç noktası tespitinde, kısmi gölgelenme sorununun etkisini azaltmak için *uyarlanabilir radyal hareket optimizasyonu* (Adaptive Radial Movement Optimization (ARMO)) adı verilen yeni bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde W_k eylemsizlik ağırlığı ilk 10 iterasyonda sabit alınırken, sonraki yinelemelerde, iterasyon indisi ile orantılı bir şekilde azaltılmıştır (Seyedmahmoudian et al, 2018).
4. 2019'da Jin ve arkadaşları, dikey yüke maruz kalan doymamış toprak üzerindeki kaba şerit tabanının kritik kayma yüzeyini ve nihai taşıma kapasitesi RMO tabanlı yeni bir yöntemle incelemiştir. Bu yöntemde, RMO'nun kararlılığını arttırmak için veri yapısında iyileştirmeler yapılmıştır (Jin et al, 2019).

Bu çalışmada önerilen MRMO yönteminde, C_1 ve C_2 ağırlıklandırma faktörleri her yinelemede parçacıkların konumu hesaplanırken (7) ve (8) kullanılarak 0,4 ile 0,9 arasında rastgele olarak üretilmiş ve C_1 sabitinin C_2 'den büyük alınması sağlanmıştır.

$$C_1^k = 0,4 + 0,5 \times rand(0,1) \quad (7)$$

$$C_2^k = 0,4 + 0,5 \times rand(0,1) \quad (8)$$

Burada C_1 ve C_2 ağırlıklandırma faktörleri, $rand(0,1)$ 0 ile 1 arasında düzgün dağılımlı rasgele bir reel sayı ve k yineleme indisidir. Önerilen yöntemde her yinelemede yeni cp merkez noktasının bulunmasında kullanılan up değişim vektörü (9) ile hesaplanmıştır.

$$up^k = C_1^k (Gbest - cp^k) + C_2^k (Rbest - cp^k) \quad (9)$$

2.7. Farksal Gelişim Algoritması

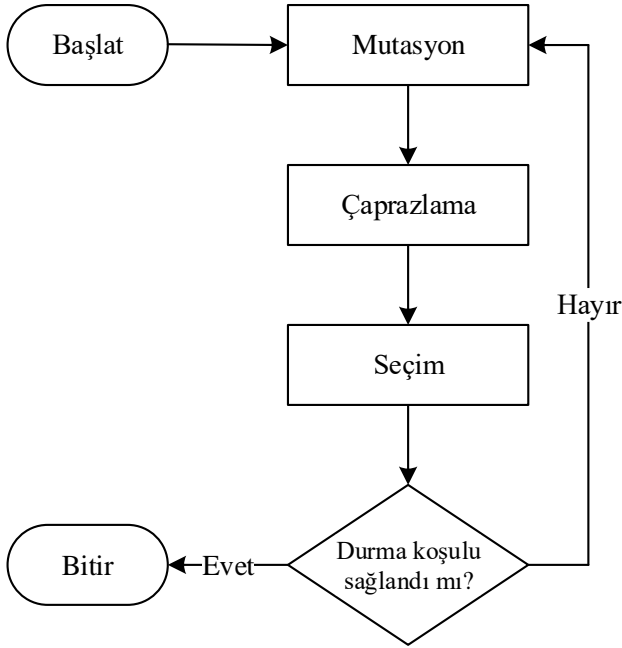
DE algoritması popülasyon tabanlı bir doğrudan arama yöntemidir (Price, 1999). DE ile problem çözümünde diğer popülasyon tabanlı optimizasyon yöntemlerinde de olduğu gibi bir başlangıç popülasyon matrisi oluşturulur. Bu matristeki bireyler çözüm uzayını kapsayacak şekilde eşit aralıklı veya (10)'da verildiği gibi rastgele oluşturulabilir (Price et al, 2005; Price & Storn, 1997).

$$X_{ij} = a_i + rand_j(0,1) \times (a_j - b_j) \quad (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_p \quad j = 1, 2, \dots, D$$

Burada X popülasyon matrisi, a alt limit vektörü, b üst limit vektörü, $rand(0,1)$ 0 ile 1 arasında düzgün dağılımlı rastgele bir reel sayı, i birey indisi, j boyut indisi N_p birey sayısı ve D boyuttur.

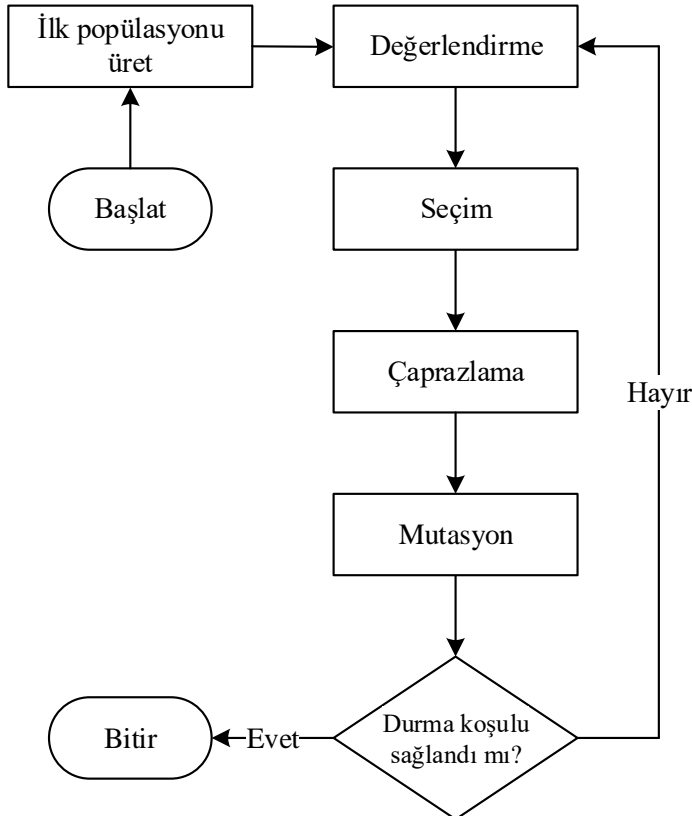
Şekil 4'te görüldüğü gibi DE algoritmasında yeni bir popülasyon oluşturmak için, mutasyon, çaprazlama ve seçim döngüsü her yinelemede birey sayısı (N_p) kadar tekrarlanır (Bilal et al, 2020). Bu işlem önceden belirlenen durma koşulu sağlanıncaya kadar devam ettirilir. Sonlandırma kriteri en iyi uygunluk değeri veya en fazla yineleme sayısı olarak belirlenebilir. Çözülmek istenen problemin karakteristiğine bağlı olarak uygun sonlandırma kistasi belirlenmelidir. Döngü sonlandırıldığında en iyi uygunluk değerine sahip birey problemin çözümünü vermektedir.



Şekil 4. DE'nin Akış Şeması

2.8. Genetik Algoritmalar

GA ilk kez John Holland tarafından tanıtılmış ve kısa sürede yaygınlaşmıştır (Deb, 1999). GA paralel ve doğrudan bir optimizasyon yöntemi olup (Popov, 2005), Şekil 5'te verildiği gibi GA başlatıldıktan sonra durma koşulu sağlanıncaya kadar değerlendirme, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerini sürekli olarak tekrarlanmaktadır. Belirlenen en büyük yineleme değerine ulaşıldığında GA sonlandırılmaktadır. Bu aşamada en iyi uygunluk değerine sahip kromozom optimize edilmek istenen problemin çözümüdür.



Şekil 5. GA'nın Akış Şeması

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu kısımda, PID denetleyicinin parametreleri PSO, RMO, MRMO, DE ve GA kullanılarak ayarlanmış ve sezgisel optimizasyon yöntemlerinde uygunluk fonksiyonları hata alanı tabanlı olarak seçilmiştir. PID denetleyiciler (11), (12) ve (13) ile tanımlanan Tablo 1'deki kıyas modellerinden $P_1(s)$, $P_2(s)$ ve $P_6(s)$ kullanılarak test edilmiş ve başarımları hesaplanmıştır.

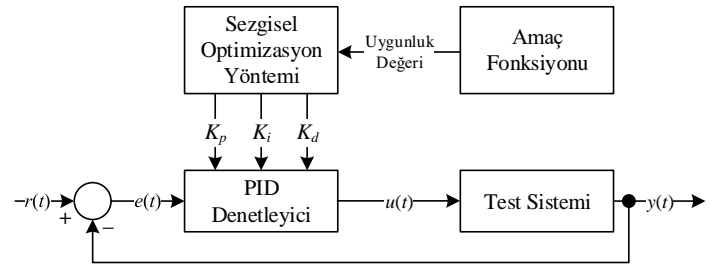
$$P_1(s) = \frac{e^{-s}}{1+0,1s} \quad (11)$$

$$P_2(s) = \frac{e^{-s}}{(1+0,1s)^2} \quad (12)$$

$$P_6(s) = \frac{1}{s(1+0,9s)} e^{-0,1s} \quad (13)$$

3.1. PSO ile PID Parametrelerinin Ayarlanması

1. test sistemi için PSO ile parametre ayarında Tablo 2'de verilen benzetim parametreleri kullanılmış ve benzetimler Şekil 6'daki blok şemaya göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da görülen "Sezgisel Optimizasyon Yöntemi" bloğunda, bu başlık altında PSO kullanılmıştır. En fazla yineleme sayısına ulaşıldığında benzetim sonlandırılmıştır. Benzetim esnasında parçacıkların arama uzayının dışına çıkması ve belirlenen en büyük hız değerini aşması engellenmiştir. Ayrıca benzetim sonuçlarının daha tutarlı olması için 50 bağımsız denemenin ortalaması alınmıştır. Her denemede, adım cevabı, kazanç sabitlerinin değişimi, uygunluk değerinin değişimi, K_p , K_i , K_d , $Yükselme Zamanı$, $Oturma Zamanı$, $En Büyük Aşma$ ve $Uygunluk Değeri$ parametreleri elde edilmiş ve bu değerlerin ortalaması tablolarda verilmiştir. Tablo 7 – Tablo 18'de Benzetim Süresi 50 bağımsız denemenin toplam zamanını göstermektedir.



Şekil 6. Sezgisel optimizasyon yöntemleriyle PID Denetleyicinin Parametrelerinin En İyileştirme Sürecinin Blok Şeması

Şekil 6'da $r(t)$ referans işaret, $e(t)$ hata sinyali, $u(t)$ kontrol işareti ve $y(t)$ sistemin çıkışıdır.

3.2. RMO ile PID Parametrelerinin Ayarlanması

RMO algoritması PSO ile büyük benzerlik taşıyan yeni bir algoritma olup, benzetim parametreleri Tablo 3'te ve parametre optimizasyon süreci Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'daki "Sezgisel Optimizasyon Yöntemi" bloğunda, bu kısımda RMO kullanılmıştır.

3.3. MRMO ile PID Parametrelerinin Ayarlanması

Bu çalışmada, önerilen MRMO algoritması RMO yönteminin bir varyantı olup benzetim parametreleri Tablo 4'te sunulmuştur. Optimizasyon, Şekil 6'da verilen blok şemaya uygun şekilde yapılmış ve sezgisel optimizasyon yöntemi olarak

MRMO kullanılmıştır. RMO’da C_1 ve C_2 katsayılarının 0,4 ile 0,9 aralığında ve C_1 sabitinin C_2 sabitinden büyük seçilmesi tavsiye edilmektedir (Rahmani & Yusof, 2014). Önerilen yöntemde C_1 ve C_2 ağırlıklandırma sabitleri her yinelemede parçacıkların konumu hesaplanırken 0,4 ile 0,9 arasında rastgele alınmıştır. Üretilen iki rastgele sayıdan büyük olanı C_1 ve küçük olanı C_2 olarak belirlenmiştir. Üretilen iki rastgele sayının aynı olması durumunda, katsayılar farklı olana kadar işlem tekrarlanmıştır. MRMO yönteminin başarımı C_1 ve C_2 katsayılarına bağlıdır. Önerilen yöntemde bu katsayılar her yinelemede değiştirilerek, çözülmek istenen probleme en uygun katsayıların bulunması amaçlanmıştır. Benzetim sonuçları irdelendiğinde önerilen yöntemin genel olarak RMO’dan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Önerilen MRMO algoritması PID parametrelerinin ayarlanmasında daha önce kullanılmamış olup, ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

Tablo 2. PSO benzetim parametreleri

Parametre	Değer		
	1. Sistem	2. Sistem	3. Sistem
C_1 Öğrenme Sabiti	2	2	2
C_2 Öğrenme Sabiti	2	2	2
Parçacık Sayısı	50	50	50
Parçacık Boyutu	3	3	3
1. Boyut Sınırları (K_p)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 10
2. Boyut Sınırları (K_i)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 0,1
3. Boyut Sınırları (K_d)	0 ... 0,1	0 ... 0,2	0 ... 10
En Fazla Yineleme Sayısı	20	20	20
Benzetim Süresi	10 s	10 s	2 s
Örnekleme Periyodu	50 ms	50 ms	10 ms
Örnek Sayısı	201 örnek	201 örnek	201 örnek
Bağımsız Deneme Sayısı	50	50	50

Tablo 3. RMO benzetim parametreleri

Parametre	Değer		
	1. Sistem	2. Sistem	3. Sistem
C_1 Öğrenme Sabiti	0,7	0,7	0,7
C_2 Öğrenme Sabiti	0,8	0,8	0,8
W_{max}	1	1	1
W_{min}	0	0	0
Parçacık Sayısı	50	50	50
Parçacık Boyutu	3	3	3
1. Boyut Sınırları (K_p)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 10
2. Boyut Sınırları (K_i)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 0,1
3. Boyut Sınırları (K_d)	0 ... 0,1	0 ... 0,2	0 ... 10
En Fazla Yinele. Sayısı	20	20	20
Benzetim Süresi	10 s	10 s	2 s
Örnekleme Periyodu	50 ms	50 ms	10 ms
Örnek Sayısı	201 örnek	201 örnek	201 örnek
Bağımsız Deneme Sayısı	50	50	50

Tablo 4. MRMO benzetim parametreleri

Parametre	Değer		
	1. Sistem	2. Sistem	3. Sistem
W_{max}	1	1	1
W_{min}	0	0	0
Parçacık Sayısı	50	50	50
Parçacık Boyutu	3	3	3
1. Boyut Sınırları (K_p)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 10
2. Boyut Sınırları (K_i)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 0,1
3. Boyut Sınırları (K_d)	0 ... 0,1	0 ... 0,2	0 ... 10
En Fazla Yineleme Sayısı	20	20	20
Benzetim Süresi	10 s	10 s	2 s
Örnekleme Periyodu	50 ms	50 ms	10 ms
Örnek Sayısı	201 örnek	201 örnek	201 örnek
Bağımsız Deneme Sayısı	50	50	50

3.4. DE ile PID Parametrelerinin Ayarlanması

DE algoritması PSO, RMO ve MRMO gibi sürü tabanlı bir rassal optimizasyon yöntemidir. PSO, RMO ve MRMO yöntemlerinde parçacık olarak ifade edilen olası çözümler DE’de birey olarak adlandırılmaktadır. Tablo 5’te DE benzetim parametreleri ve en iyileştirme süreci de Şekil 6’da görülmektedir. Bu kısımda Şekil 6’da görülen “Sezgisel Optimizasyon Yöntemi” bloğunda DE algoritması kullanılmıştır.

Tablo 5. DE benzetim parametreleri

Parametre	Değer		
	1. Sistem	2. Sistem	3. Sistem
F	0,8	0,8	0,8
CR	0,9	0,9	0,9
Birey Sayısı	50	50	50
Birey Boyutu	3	3	3
1. Boyut Sınırları (K_p)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 10
2. Boyut Sınırları (K_i)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 0,1
3. Boyut Sınırları (K_d)	0 ... 0,1	0 ... 0,2	0 ... 10
En Fazla Yineleme Sayısı	20	20	20
Benzetim Süresi	10 s	10 s	2 s
Örnekleme Periyodu	50 ms	50 ms	10 ms
Örnek Sayısı	201 örnek	201 örnek	201 örnek
Bağımsız Deneme Sayısı	50	50	50

3.5. GA ile PID Parametrelerinin Ayarlanması

GA algoritması yapı olarak DE yöntemine benzemekte olup, bireylerden oluşmaktadır. Tablo 6’da benzetim parametreleri ve Şekil 6’da da kazanç faktörü en iyileştirme sürecinin blok şeması verilmiştir. Bu kısımda Şekil 6’da görülen “Sezgisel Optimizasyon Yöntemi” bloğunda GA yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 6. GA benzetim parametreleri

Parametre	Değer		
	1. Sistem	2. Sistem	3. Sistem
Birey Sayısı	50	50	50
Birey Boyutu	3	3	3
1. Boyut Sınırları (K_p)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 10
2. Boyut Sınırları (K_i)	0 ... 1	0 ... 1	0 ... 0,1
3. Boyut Sınırları (K_d)	0 ... 0,1	0 ... 0,2	0 ... 10
En Fazla Yineleme Sayısı	20	20	20
Benzetim Süresi	10 s	10 s	2 s
Örnekleme Periyodu	50 ms	50 ms	10 ms
Örnek Sayısı	201 örnek	201 örnek	201 örnek
Bağımsız Deneme Sayısı	50	50	50

3.6. Başarım Kriterine Göre Optimizasyon Yöntemlerinin Kıyaslanması

Bu başlık altında seçilen hata alanı tabanlı başarım kriteri (IAE, ISE, ITAE ve ITSE) için önerilen yöntem ve dört sezgisel algoritmanın performansları birbirleri ile kıyaslanmıştır. Benzetim parametreleri PSO, RMO, MRMO, DE ve GA için sırasıyla Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verildiği gibi alınmıştır. Benzetimler Windows Home 10 işletim sistemi kurulu, 2,6 GHz saat frekansında çalışan Intel Core i7 6700HQ işlemcili ve 3,3 GHz saat frekansında çalışan 16 GB kapasiteli DDR3 RAM bellekli bir dizüstü bilgisayarda MATLAB R2019a programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 7 – Tablo 18'de başarım kıstası olarak belirlenen *yükselme zamanı*, *en büyük aşma* ve *oturma zamanı* tanımlamalarını kısaca açıklayalım.

Yükselme zamanı (rise time, t_r), sistem tepkisinin son değerinin %10'undan %90'ına veya %5'inden %95'ine veya %0'ından %100'üne ulaşması için gerekli olan zamandır. Tablo 7 – Tablo 18'de verilen benzetim sonuçlarında yükselme zamanı, son değer %10'undan %90'ına ulaşması için gerekli olan süre olarak alınmıştır.

En büyük aşma (maximum overshoot, M_p), yüzde cinsinden sitem tepkisinin son değeri üzerinde oluşan en büyük aşma miktarının, sistem tepkisinin son değerine oranıdır.

Oturma zamanı (settling time, t_s), sistem tepkisinin, son değerinin $\pm\%2$ veya $\pm\%5$ aralığına gelmesi ve bu bant içerisinde kalması için gereken süredir. Oturma zamanı kontrol sisteminin en büyük zaman sabiti ile ilişkili olup, sunulan benzetim sonuçlarında $\pm\%2$ bandı referans alınmıştır.

Yükselme zamanı ve en büyük aşma sırasıyla (14) ve (15) numaralı eşitliklerle tanımlanabilir.

$$t_r = t_2 - t_1 \quad (14)$$

$$M_p = \frac{y_{max} - y_{son}}{y_{son}} \times 100 \quad (15)$$

Burada, t_1 sistem tepkisinin son değerinin %10'una eşit olduğu zaman, t_2 sistem tepkisinin son değerinin %90'ına eşit olduğu zaman, y_{max} sistem tepkisinin en büyük değeri ve y_{son} sistem tepkisinin son değeridir.

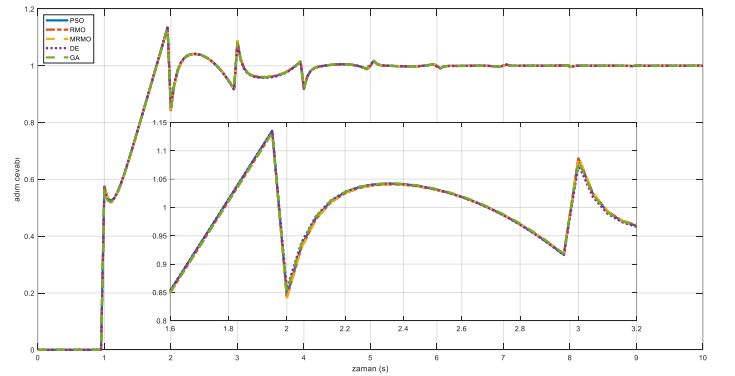
3.6.1. IAE Başarım Kriterine Göre Optimizasyon Yöntemlerinin Kıyaslanması

Bu başlık altında sunulan MRMO yöntemi ve dört optimizasyon algoritması IAE başarım kriterine göre kıyaslanmıştır. Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da IAE başarım kriterlerine göre kazanç değerleri en iyileştirilmiş PID denetleyicili üç sistemin basamak cevapları verilmiştir.

Tablo 7'de DE yönteminin en düşük yükselme zamanına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca en kısa oturma zamanı, en az aşma, en iyi uygunluk değeri ve en düşük benzetim süresi önerilen MRMO yöntemi ile elde edilmiştir. Son olarak RMO en iyi uygun değeri kriterinde DRMO ile aynı başarımı göstermiştir.

Tablo 7. 1. sistem için IAE başarım kriterine göre yöntemlerin kıyaslanması

Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	0,4478	0,4470	0,4458	0,4473	0,4526
K_i	0,8066	0,8089	0,8074	0,8077	0,8116
K_d	0,0572	0,0577	0,0574	0,0571	0,0570
<i>Yükselme Zamanı (s)</i>	0,7009	0,7006	0,7032	0,6889	0,6906
<i>Oturma Zamanı (s)</i>	4,1718	4,1908	4,1716	4,6282	5,3206
<i>En Büyük Aşma (%)</i>	13,7120	13,5089	13,2514	13,6931	13,5820
<i>Uygunluk Değeri</i>	1,3387	1,3383	1,3383	1,3454	1,3554
<i>Benzetim Süresi (s)</i>	730,47	731,30	694,75	802,30	1622,30



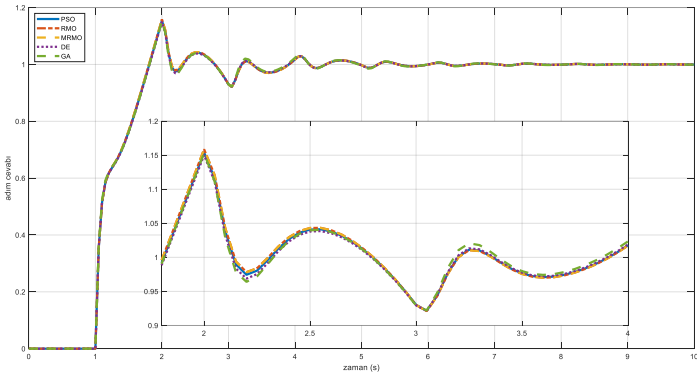
Şekil 7. IAE başarım kriterine göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 1. sistemin basamak cevapları

Tablo 8 esas alındığında 2. sistem için en iyi uygunluk değeri ve en hızlı sistem tepkisi için RMO, en kısa oturma zamanı ve en düşük benzetim süresi için sunulan MRMO tekniği ve en az aşma için GA seçilmelidir.

Tablo 9'de 3. sistem için sunulan MRMO yönteminin en düşük yükselme zamanı, oturma zamanı ve benzetim süresine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca en az aşma DE ve en iyi uygunluk değeri RMO ile elde edilmiştir.

Tablo 8. 2. sistem için IAE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

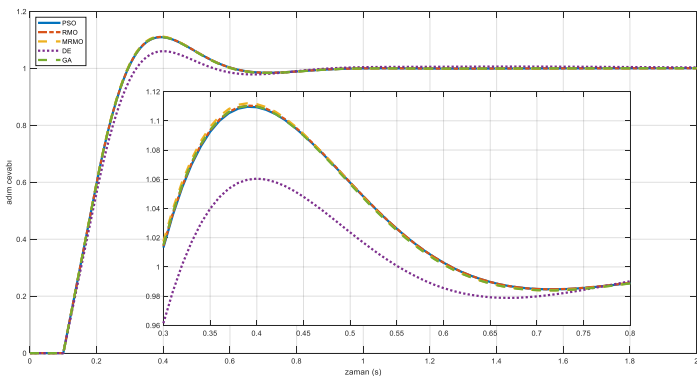
Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	0,5008	0,5030	0,5027	0,4961	0,4972
K_i	0,8151	0,8186	0,8182	0,8125	0,8094
K_d	0,1015	0,1015	0,1014	0,1014	0,1009
Yükselme Zamanı (s)	0,6703	0,6652	0,6660	0,6779	0,6793
Oturma Zamanı (s)	4,1441	4,1443	4,1438	4,1443	4,1834
En Büyük Aşma (%)	15,3570	15,8686	15,7942	15,2866	15,0497
Uygunluk Değeri	1,3641	1,3639	1,3640	1,3652	1,3760
Benzetim Süresi (s)	699,69	732,06	691,86	833,94	1417,30



Şekil 8. IAE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 2. sistemin basamak cevapları

Tablo 9. 3. sistem için IAE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	5,8227	5,8200	5,8147	5,4762	5,8057
K_i	0,0608	0,0603	0,0576	0,0594	0,0742
K_d	5,4082	5,4030	5,3923	5,0214	5,4188
Yükselme Zamanı (s)	0,1451	0,1454	0,1447	0,1925	0,1449
Oturma Zamanı (s)	0,5583	0,5588	0,5577	0,6886	0,5698
En Büyük Aşma, (%)	11,5043	11,5183	11,6378	6,0026	11,5565
Uygunluk Değeri	0,2151	0,2150	0,2151	0,2399	0,2151
Benzetim Süresi (s)	768,93	696,95	664,05	768,08	1372,80



Şekil 9. IAE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 3. sistemin basamak cevapları

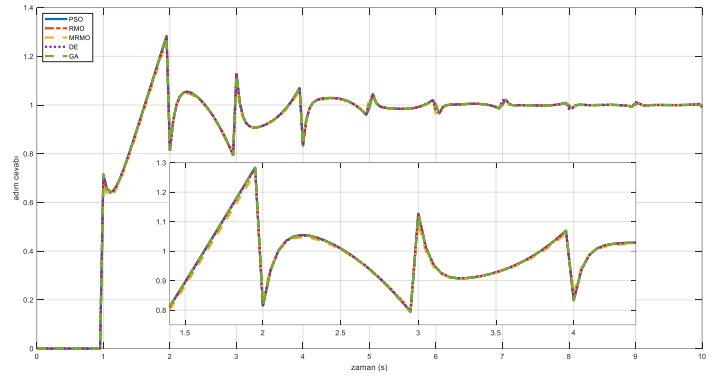
3.6.2. ISE Başarımlarına Göre Optimizasyon Yöntemlerinin Başarımlarının Kıyaslanması

Bu kısımda önerilen MRMO algoritması ve dört optimizasyon yöntemi ISE başarımlarına göre kıyaslanmıştır. Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de ISE kriterlerine göre ağırlıklandırma faktörleri optimize edilmiş PID denetleyicili üç sistemin adım tepkileri sunulmuştur.

Tablo 10'da 1. sistem için optimizasyon algoritmalarının başarımlarları görülmektedir. Bu tabloda en iyi yükselme zamanına DE, en düşük oturma zamanı, en az aşma, en iyi uygunluk değeri ve en kısa benzetim süresi sunulan MRMO yöntemi ile elde edilmiştir.

Tablo 10. 1. sistem için ISE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	0,5487	0,5476	0,5483	0,5500	0,5402
K_i	0,8637	0,8647	0,8640	0,8618	0,8589
K_d	0,0716	0,0717	0,0717	0,0713	0,0696
Yükselme Zamanı (s)	0,5429	0,5457	0,5454	0,5388	0,5492
Oturma Zamanı (s)	7,4204	7,0439	7,0049	8,1865	7,9958
En Büyük Aşma (%)	28,9072	28,6266	28,6227	28,8021	28,6628
Uygunluk Değeri	1,0691	1,0689	1,0688	1,0695	1,0732
Benzetim Süresi (s)	730,70	736,33	708,47	816,20	1539,40



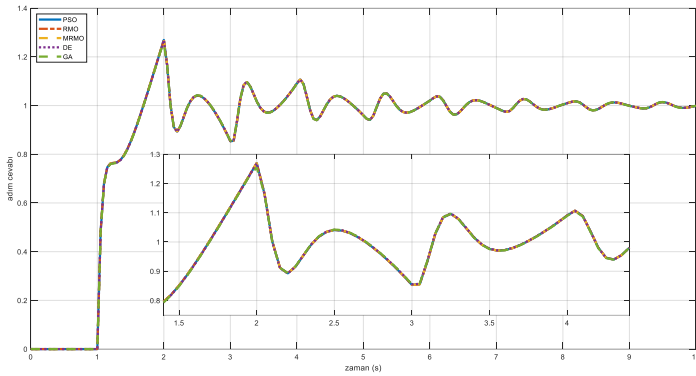
Şekil 10. ISE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 1. sistemin basamak cevapları

2. sistem için başarımlarları Tablo 11'de sunulmuştur. Bu tabloda en az aşmanın GA, en düşük yükselme zamanının, en kısa oturma süresinin, en iyi uygunluk değerinin ve en az benzetim süresinin önerilen MRMO ile elde edildiği görülmektedir. Ayrıca PSO yükselme zamanı, RMO yükselme zamanı ve oturma zamanı kriterlerinde MRMO ile aynı başarımları göstermiştir.

Son sistem için yöntemlerin başarımlarları Tablo 12'de sunulmuştur. Burada, en hızlı sistem tepkisine, en kısa oturma zamanı ve en düşük benzetim süresine, sunulan MRMO algoritması ve en az aşma ve en iyi uygunluk değerine ise GA ile ulaşıldığı görülmektedir. Ayrıca RMO yükselme zamanı ve oturma zamanı kriterlerinde MRMO ile aynı başarımları sağlamıştır.

Tablo 11. 2. sistem için ISE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

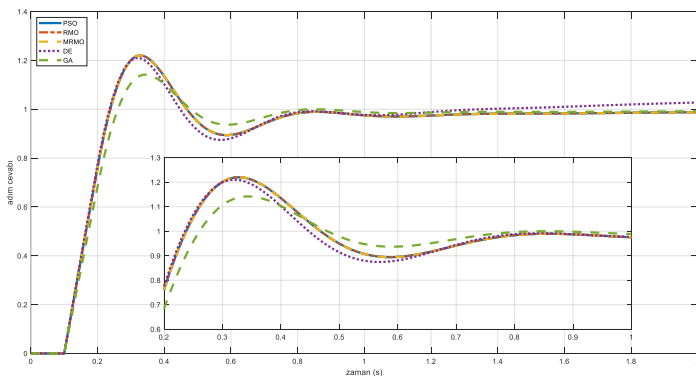
Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	0,5526	0,5529	0,5528	0,5524	0,5462
K_i	0,8971	0,8963	0,8962	0,8971	0,8873
K_d	0,1427	0,1426	0,1426	0,1426	0,1424
Yükselme Zamanı (s)	0,5556	0,5556	0,5556	0,5559	0,5700
Oturma Zamanı (s)	7,6268	7,4928	7,4928	7,7327	7,9676
En Büyük Aşma, (%)	27,2411	27,2086	27,1987	27,2171	25,6961
Uygunluk Değeri	1,1106	1,1106	1,1105	1,1107	1,1132
Benzetim Süresi (s)	715,97	734,17	715,78	829,84	1406,20



Şekil 11. ISE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 2. sistemin karşılatırmalı basamak cevapları

Tablo 12. 3. sistem için ISE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	4,9945	4,9938	4,9953	5,6782	3,2571
K_i	0,0809	0,0646	0,0626	0,0582	2,4189
K_d	6,9854	6,9871	6,9849	6,2076	7,1940
Yükselme Zamanı (s)	0,1059	0,1058	0,1058	0,1498	0,1096
Oturma Zamanı (s)	0,7525	0,7519	0,7519	0,9153	1,5386
En Büyük Aşma, (%)	22,5026	22,5709	22,5625	21,4932	14,5034
Uygunluk Değeri	0,1563	0,1563	0,1563	0,1710	0,1551
Benzetim Süresi (s)	751,52	701,28	665,08	730,86	1346,30



Şekil 12. ISE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 3. sistemin basamak cevapları

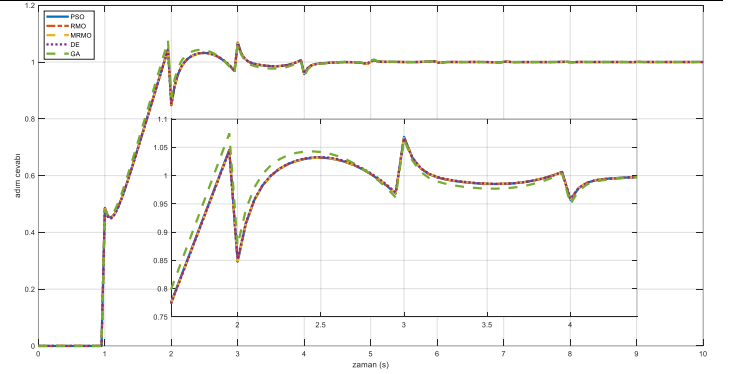
3.6.3. ITAE Başarımlarına Göre Optimizasyon Yöntemlerinin Başarımlarının Kıyaslanması

Bu kısımda önerilen MRMO yöntemi ve dört optimizasyon yöntemi ITAE başarımlarına göre kıyaslanmıştır. Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15'te ITAE başarımlarını kullanarak, kazanç sabitleri en iyileştirilmiş PID denetleyicili üç sistemin basamak cevapları verilmiştir.

Sezgisel optimizasyon yöntemlerinde ITAE tabanlı uygunluk fonksiyonu kullanılarak elde edilen başarımların 1. sistem için Tablo 13'te verilmiştir. Tabloda, en hızlı sistem tepkisine GA, en kısa oturma zamanı ve benzetim süresine sunulan MRMO algoritması, en az aşma hatasına DE ve en iyi uygunluk değerine RMO ile ulaşıldığı görülmektedir.

Tablo 13. 1. sistem için ITAE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	0,3874	0,3879	0,3877	0,3885	0,4005
K_i	0,7730	0,7729	0,7726	0,7722	0,7810
K_d	0,0484	0,0488	0,0487	0,0477	0,0489
Yükselme Zamanı (s)	0,8025	0,8021	0,8026	0,8017	0,7801
Oturma Zamanı (s)	4,0585	4,0601	4,0576	4,0779	4,4344
En Büyük Aşma, (%)	4,8832	4,8177	4,8346	4,6187	7,3576
Uygunluk Değeri	1,0283	1,0268	1,0269	1,0344	1,0819
Benzetim Süresi (s)	703,22	732,34	693,48	816,58	1415,60



Şekil 13. ITAE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 1. sistemin basamak cevapları

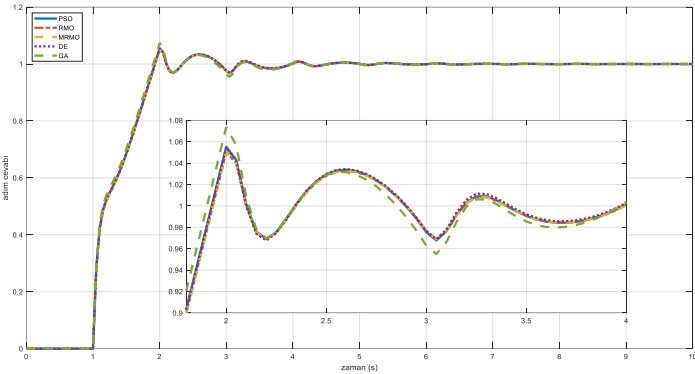
Tablo 14'te ikinci test sistemi için elde edilen başarımların değerleri verilmiştir. Burada GA en düşük yükselme süresine ve önerilen MRMO yöntemi ise en kısa oturma zamanı, en az aşma, en iyi uygunluk değeri ve en düşük benzetim süresine sahiptir.

Son sistem için başarımların değerleri Tablo 15'te özetlenmiştir. Burada sunulan MRMO yöntemi en düşük yükselme zamanına, en iyi uygunluk değerine ve en kısa benzetim süresine sahiptir. Ayrıca en düşük oturma zamanı RMO ve en az aşma DE algoritması ile elde edilmiştir.

Son sistem için başarımların değerleri Tablo 15'te özetlenmiştir. Burada sunulan MRMO yöntemi en düşük yükselme zamanına, en iyi uygunluk değerine ve en kısa benzetim süresine sahiptir. Ayrıca en düşük oturma zamanı RMO ve en az aşma DE algoritması ile elde edilmiştir.

Tablo 14. 2. sistem için ITAE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

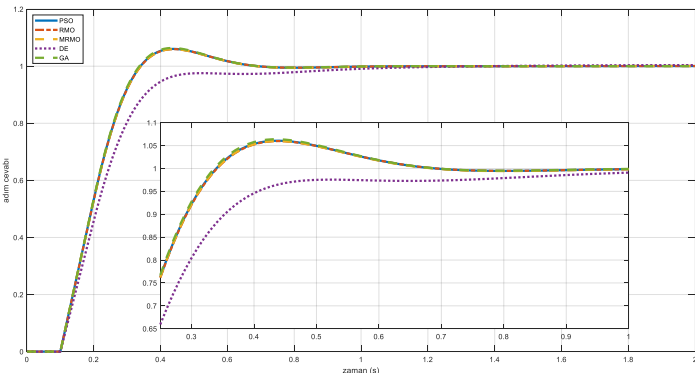
Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	0,4439	0,4420	0,4419	0,4439	0,4554
K_i	0,7637	0,7609	0,7609	0,7642	0,7837
K_d	0,0802	0,0795	0,0794	0,0801	0,0866
Yükselme Zamanı (s)	0,7782	0,7827	0,7829	0,7779	0,7507
Oturma Zamanı (s)	3,1118	3,1118	3,1114	3,1990	3,7194
En Büyük Aşma, (%)	5,5067	5,4961	5,0858	5,4226	7,6629
Uygunluk Değeri	1,0468	1,0458	1,0457	1,0528	1,1077
Benzetim Süresi (s)	717,14	727,31	713,54	805,08	1409,00



Şekil 14. ITAE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 2. sistemin basamak cevapları

Tablo 15. 3. sistem için ITAE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	5,2386	5,2185	5,2229	4,2811	5,3315
K_i	0,0341	0,0429	0,0421	0,0540	0,0134
K_d	4,7900	4,7871	4,7884	3,8629	4,8301
Yükselme Zamanı (s)	0,1738	0,1736	0,1736	0,3287	0,1741
Oturma Zamanı (s)	0,5900	0,5884	0,5886	0,7500	0,5937
En Büyük Aşma, (%)	6,9483	6,8541	6,8735	0,0000	7,4833
Uygunluk Değeri	0,0288	0,0290	0,0287	0,0644	0,0289
Benzetim Süresi (s)	758,34	702,36	662,78	722,58	1344,00



Şekil 15. ITAE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 3. sistemin basamak cevapları

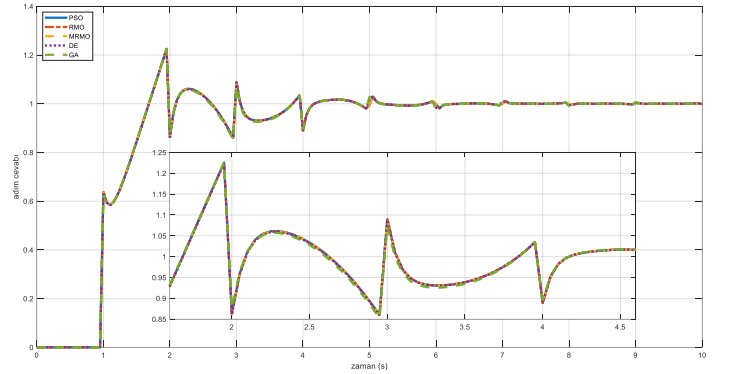
3.6.4. ITSE Başarımlarına Göre Optimizasyon Yöntemlerinin Başarımlarının Kıyaslanması

Son başarımlar için elde edilen sonuçlar Tablo 16, Tablo 17 ve Tablo 18'de verilmiştir. Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'de ITSE başarımlarına göre ağırlıklandırma sabitleri optimize edilmiş PID denetleyicili üç sistemin adım cevapları sunulmuştur.

İlk sistem için en hızlı sistem tepkisine GA, en kısa oturma zamanına, en düşük aşma hatasına ve en iyi uygunluk değerine RMO yönteminin sahip olduğu Tablo 16'da görülmektedir. Ayrıca en düşük benzetim süresi önerilen MRMO ile elde edilmiştir. Son olarak MRMO en iyi uygunluk değeri kriterinde RMO ile aynı başarımları sağlamıştır.

Tablo 16. 1. sistem için ITSE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	0,5043	0,5039	0,5047	0,5023	0,5059
K_i	0,8476	0,8478	0,8477	0,8465	0,8448
K_d	0,0637	0,0638	0,0638	0,0634	0,0630
Yükselme Zamanı (s)	0,6060	0,6072	0,6066	0,6083	0,6020
Oturma Zamanı (s)	5,1369	5,1167	5,1361	5,7370	6,6304
En Büyük Aşma, (%)	23,7245	23,5972	23,6364	23,7162	23,6934
Uygunluk Değeri	0,5832	0,5830	0,5830	0,5842	0,5929
Benzetim Süresi (s)	799,55	726,44	692,56	817,87	1405,50



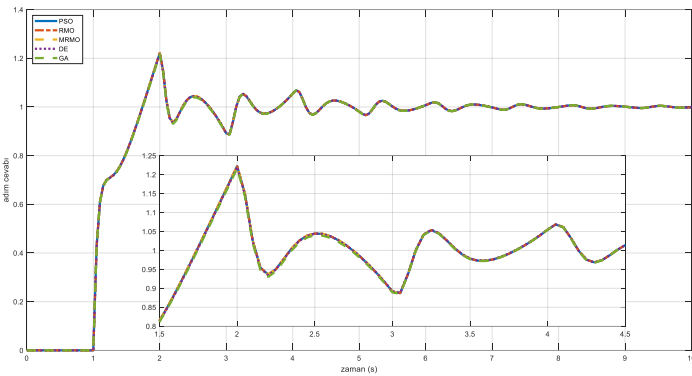
Şekil 16. ITSE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 1. sistemin basamak cevapları

İkinci sistem için performans değerleri Tablo 17'de verilmiştir. Burada en düşük yükselme zamanı, en iyi uygunluk değeri ve en kısa benzetim süresine önerilen MRMO algoritmasının, en düşük oturma zamanına DE ve en az aşma hatasına GA yönteminin sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca RMO yükselme zamanı ve uygunluk değeri kriterlerinde MRMO ile aynı başarımları sağlamıştır.

Son sistem için Tablo 18'den de anlaşılacağı gibi en düşük yükselme zamanı ve benzetim süresi için sunulan MRMO yöntemi, en kısa oturma zamanı için RMO, en az aşma hatası için DE ve en iyi uygunluk değeri için GA algoritmaları kullanılmalıdır.

Tablo 17. 2. sistem için ITSE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

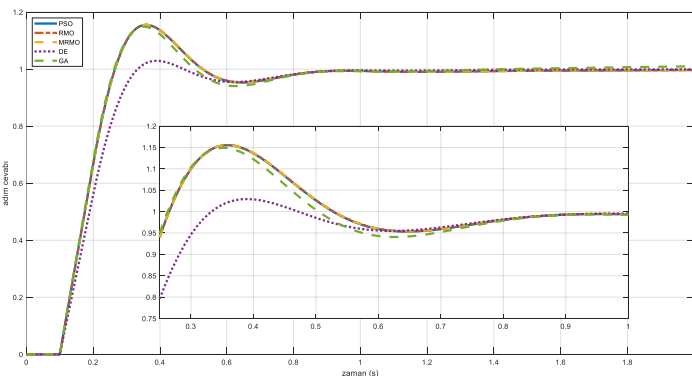
Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	0,5307	0,5307	0,5307	0,5298	0,5285
K_i	0,8641	0,8645	0,8644	0,8631	0,8645
K_d	0,1249	0,1250	0,1250	0,1247	0,1256
Yükselme Zamanı (s)	0,6027	0,6025	0,6025	0,6045	0,6059
Oturma Zamanı (s)	6,0986	6,1585	6,1588	5,8699	5,9463
En Büyük Aşma (%)	22,4053	22,4358	22,4314	22,2325	22,1856
Uygunluk Değeri	0,6211	0,6210	0,6210	0,6217	0,6274
Benzetim Süresi (s)	794,45	733,98	698,84	819,86	1402,60



Şekil 17. ITSE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 2. sistemin basamak cevapları

Tablo 18. 3. sistem için ITSE başarımlarına göre yöntemlerin kıyaslanması

Parametre	Yöntem				
	PSO	RMO	MRMO	DE	GA
K_p	5,6856	5,7072	5,6987	5,3882	4,8924
K_i	0,0793	0,0589	0,0680	0,0593	0,8432
K_d	6,0521	6,0488	6,0503	5,3394	6,1891
Yükselme Zamanı (s)	0,1257	0,1257	0,1257	0,1835	0,1262
Oturma Zamanı (s)	0,7832	0,7816	0,7823	0,8148	0,8715
En Büyük Aşma (%)	15,8606	15,9316	15,9031	2,9365	14,4797
Uygunluk Değeri	0,0133	0,0133	0,0133	0,0175	0,0132
Benzetim Süresi (s)	724,47	705,28	665,14	718,81	1351,80



Şekil 18. ITSE başarımlarına göre en iyileştirilmiş PID denetleyicili 3. sistemin basamak cevapları

4. Sonuç

Bu çalışmada RMO algoritmasının bir varyantı olarak MRMO sunulmuş ve önerilen yöntem ile PID denetleyici parametreleri en iyileştirilmiş. Ayrıca elde edilen sonuçlar PSO, RMO, DE ve GA yöntemlerinin başarımlarına göre kıyaslanmıştır.

PID parametrelerinin IAE tabanlı uygunluk fonksiyonu ile ayarlanmasında, 1. test sistemi için en kısa oturma zamanı, en az aşma, en iyi uygunluk değeri, en düşük benzetim süresi ve 2. sistem için en kısa oturma zamanı, en hızlı sonuç verme ve 3. test sistemi için de en düşük yükselme zamanı, oturma zamanı ve benzetim süresi önerilen MRMO yöntemi ile sağlanmıştır.

PID kazanç sabitlerinin ISE tabanlı uygunluk fonksiyonu ile en iyileştirilmesinde, 1. test sistemi için en düşük oturma zamanı, en az aşma, en iyi uygunluk değeri, en kısa benzetim süresi ve 2. test sistemi için en düşük yükselme zamanı, en kısa oturma süresi, en iyi uygunluk değeri, en az benzetim süresi ve 3. test sistemi için en hızlı sistem tepkisi, en hızlı kararlılığa geçiş, en düşük benzetim süresi sunulan MRMO algoritması ile elde edilmiştir.

PID ağırlıklandırma faktörlerini ITAE tabanlı uygunluk fonksiyonu ile optimizasyonunda, 1. test sistemi için en kısa oturma zamanı, benzetim süresi ve 2. test sistemi için en kısa oturma zamanı, en az aşma, en iyi uygunluk değeri, en düşük benzetim süresi ve 3. test sistemi için en düşük yükselme zamanı, en iyi uygunluk değeri ve en kısa benzetim süresi önerilen MRMO tekniği ile sağlanmıştır.

PID kazanç faktörlerini ITSE tabanlı uygunluk fonksiyonu ile ayarlanmasında, 1. test sistemi için en iyi uygunluk değeri, en düşük benzetim süresi ve 2. sistem için en düşük yükselme zamanı, en iyi uygunluk değeri, en kısa benzetim süresi ve 3. test sistemi için en düşük yükselme zamanı ve benzetim süresi sunulan MRMO yöntemi ile elde edilmiştir.

Son olarak önerilen MRMO yöntemi, PID kazanç değerlerinin ayarlanmasında ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

Kaynakça

- Bilal, Pant, M., Zaheer, H., Garcia-Hernandez, L., & Abraham, A. (2020). Differential evolution a review of more than two decades of research. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, 90(1),1-24.
- Boudardara, F., & Gorkemli, B. (2018). Application of artificial bee colony programming to two trails of the artificial ant problem. *2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Turkey*, 1-6.
- Chen, Y., Guo, Z., & Liu, J., (2009). An improved ant colony algorithm for PID parameters optimization. *2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, China*, 2(1),157-160.
- Çeven, S., & Albayrak, A. (2020). Çift ters sarkaç sisteminin kontrolü için PID ve LQR kontrolcü tasarımlarının modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 323-330.
- Deb, K., (1999). An introduction to genetic algorithms. *Sadhana*, 24(4), 293-315.

- Denizci, A., & Ulu, C. (2020). Fuzzy cognitive map based PID controller design. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 165-171.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A., (1996). Ant system optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part B*, 26(1), 29-41.
- Eberhart, R. C., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, Japan*, 39-43.
- Eberhart, R. C., Simpson, P. K., & Dobbins, R. W., (1996). *Computational intelligence PC tools*. Academic Press.
- Fokas, A., (2002). A new transform method for evolution partial differential equations. *IMA Journal of Applied Mathematics*, 67(6), 559-590.
- Gille, J., & Paquet, J., (1962). Subharmonic oscillations in on-off control systems. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers Part II: Applications and Industry*, 81(4), 210-216.
- Gür, H., & Furat, M., (2020). Özelleştirilmiş uygunluk fonksiyonu tabanlı su döngüsü algoritması ile PID parametrelerinin optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 332-341.
- Hägglund, T., & Åström, K. J., (2004). Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control. *Journal of Process Control*, 14(6), 635-650.
- Heppner, H., & Grenander, U., (1990). *A stochastic non-linear model for coordinated bird flocks*. AAAs Publications.
- Jing, H., Liu, Z., & Chen, H., (2011). A switched control strategy for antilock braking system with on/off valves. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(4), 1470-1484.
- Jin, L., & Feng, Q., (2018). Improved radial movement optimization to determine the critical failure surface for slope stability analysis. *Environmental Earth Sciences*, 77(16). 564-576.
- Jin, L., Zhang, H., & Feng, Q. (2019). Application of improved radial movement optimization for calculating the upper bound of ultimate bearing capacity of shallow foundation on unsaturated soil. *Computers And Geotechnics*, 109, 82-88.
- Karaboga, D., (2005). *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization* (Report No. TR06), Erciyes University.
- Kaya, R., & Furat, M., (2020). Three-channel cost function based artificial bee colony algorithm for PID tuning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 382-392.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. C. (1997). A discrete binary version of the particle swarm algorithm. In *Proceedings of the Conference on Systems Man and Cybernetics, USA*, 4104-4109.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. C. (1995). Particle swarm optimization, *IV IEEE International Conference on Neural Networks, USA*, 1942-1948.
- Koçer, B., (2017). İstatistiksel olarak yönlendirilen yapay arı kolonisi algoritması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 153-169.
- Koswara, A., & Nagy, Z., (2017). ON-OFF feedback control of plug-flow crystallization: A Case of Quality-by-Control in Continuous Manufacturing. *IEEE Life Sciences Letters*, 3(1), 1-4.
- Köse, E. & Coşkun, S., (2020). Time-delay AVR system analysis using PSO-based PID controller. *European Journal of Science and Technology*, 18, 981-991.
- Köse, O. & Oktay, T. (2020). Investigation of the effect of differential morphing on lateral flight by using PID algorithm in quadrotors. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 636-644.
- Lee, T., (2008). Optimal wind-battery coordination in a power system using evolutionary iteration particle swarm optimisation. *IET Generation Transmission & Distribution*, 2(2), 291-300.
- Ma, R., Yu, N., & Hu, J. (2021). Application of particle swarm optimization algorithm in the heating system planning problem. *The ScientificWorld Journal*. 2013(1), 1-11.
- Mills, K., Filliben, J., & Haines, A., (2015). Determining relative importance and effective settings for genetic algorithm control parameters. *Evolutionary Computation*, 23(2), 309-342.
- Popov, A., (2005). *Genetic algorithms for optimization*, TU.
- Örnek, O., & Ertaş, H. A., (2020). Sıralı kontrol; giriş şekillendirme ve PID kontrolü bir araya getiren yeni bir kontrol yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 188-196.
- Price, K., & Storn, R., (1997). Differential evolution: numerical optimization made easy. *Dr. Dobbs's Journal*, 220(1), 18-24.
- Price, K., (1999). *An introduction to differential evolution*, McGraw-Hill.
- Price, K., Storn, R., & Lampinen, J., (2005). *Differential evolution: a practical approach to global optimization*. Springer-Verlag.
- Rahmani, R., & Yusof, R., (2014). A new simple fast and efficient algorithm for global optimization over continuous search-space problems: radial movement optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 248(1), 287-300.
- Rahmani, R., Yusof, R., & Ismail, N., (2015). A new metaheuristic algorithm for global optimization over continuous search space. *ICIC Express Letters*, 9(5), 1335-1340.
- Seyedmahmoudian, M., Soon, T., Horan, B., Ghandhari, A., Mekhilef, S., & Stojcevski, A. (2019). New ARMO-based MPPT technique to minimize tracking time and fluctuation at output of PV systems under rapidly changing shading conditions. *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, 1-1.
- Sethi, D., & Singhal, A. (2017). Comparative analysis of a recommender system based on ant colony optimization and artificial bee colony optimization algorithms. *8th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*, India, 1-4.
- Tabak, A., (2020). Fırçasız doğru akım motorlarının hız kontrolünü gerçekleştirmek için PID/PD kontrolcü tasarımı ve performans incelemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 145-155.

- Taşören, A. E., Gökçen, A., Soydemir, M. U., & Şahin, S., (2020). Artificial neural network-based adaptive PID controller design for vertical takeoff and landing model. *European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 87-93.
- Thangaraj, R., Pant, M., Bouvry, P., & Abraham, A., (2011). Solving stochastic programming problems using modified differential evolution algorithms. *Logic Journal of IGPL*, 20(4), 732-746.
- Trebi-Ollennu, A., & White, B., (1997). Multiobjective fuzzy genetic algorithm optimisation approach to nonlinear control system design. *IEE Proceedings Control Theory and Applications*, 144(2), 137-142.
- Turkmen, I., & Guney, K., (2004). Artificial neural networks for calculating the association probabilities in multi-target tracking. *IEE Proceedings Radar Sonar and Navigation*, 151(4), 181-188.
- Vanithasri, M., Balamurugan, R., & Lakshminarasimman, L., (2018). Radial movement optimization (RMO) technique for solving unit commitment problem in power systems. *Journal Of Electrical Systems And Information Technology*, 5(3), 697-707.
- Warren, M., & Pitts, W., (1943). A logical calculus of ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*. 5(4), 115–133.
- Zhang, R., & Wu, C., (2012). A neighbourhood property for the job shop scheduling problem with application to hybrid particle swarm optimization. *IMA Journal of Management Mathematics*, 24(1), 111-134.
- Zhang, X., & Wang, L., (2018). Antenna design by an adaptive variable differential artificial bee colony algorithm. *IEEE Transactions on Magnetics*, 54(3), 1-4.



Protecting Mobile Service User Identity by Adding Additional Security Layer

Busra Ozdenizci Kose^{1*}, Onur Buk², Hacı Ali Mantar³, Vedat Coskun⁴, Utku Erdemir⁵

^{1*} Gebze Technical University, Faculty of Business Administration, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0002-8414-5252), busraozdenizci@gtu.edu.tr

² Turkcell Technology, İstanbul, Turkey, onur.buk@turkcell.com.tr

³ Istanbul Technical University, Faculty of Computer and Informatics Engineering, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-1066-9942), hamantar@itu.edu.tr

⁴ Beykent University, Faculty of Engineering and Architecture, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0003-3052-9821), vedatcoskun@beykent.edu.tr

⁵ Beykent University, Faculty of Engineering and Architecture, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0003-0273-0501), 160313037@student.beykent.edu.tr

(First received 30 November 2020 and in final form 26 February 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.833433)

ATIF/REFERENCE: Ozdenizci Kose, B., Buk, O., Mantar, H. A., Coskun, V. & Erdemir, U. (2021). Protecting Mobile Service User Identity by Adding Additional Security Layer. *European Journal of Science and Technology*, (23), 22-30.

Abstract

Today, various common identity systems (e.g. Facebook Login, Google Connect, Apple ID) are used to improve operational efficiency for service providers and provide an easier authentication method in web or mobile services for users. Almost all common identity systems focus on delivering seamless user experience while proving user identity securely to the service provider. In particular, the use of common identity systems with a high security level is becoming a more important requirement on smartphones. In this context, MNOs (Mobile Network Operators) are considered as an important actor in providing common identity services, as they have strong GSM capabilities. Currently, it is possible to see many identity management solutions -based on OpenID Connect and Mobile Connect standards- from MNOs which are used for authentication in mobile applications of service providers. However, existing solutions generally does not provide very high level of assurance in the asserted digital identity. With advancements in value-added mobile services and increasing security requirements; there is a need for common identity systems that provide higher levels of assurance (i.e., particularly LoA4), strong authentication and non-repudiation services for service providers and users. This study presents the development and implementation of a multi-factor authentication method for mobile services based on Mobile Connect and OpenID Connect standards. The designed model includes the usage of three identity -knowledge, ownership, biometric- factors of user in order to access sensitive mobile services on the smartphone. The system development and testing studies were systematically presented based on the functional requirements. The realization and deployment of the proposed model by MNOs could play an important role in the development of mobile services that require a high level of assurance in the future.

Keywords: OpenID Connect, Mobile Connect, Identity, LoA4, Multi-Factor Authentication.

Yeni Bir Güvenlik Katmanı Ekleyerek Mobil Hizmet Kullanıcısı Kimliğinin Güvenliğini Sağlam

Öz

Günümüzde, servis sağlayıcılar için operasyonel verimliliği artırmak ve kullanıcılar için web veya mobil servislerde daha kolay bir kimlik doğrulama yöntemi sağlamak için çeşitli ortak kimlik sistemleri (örn. Facebook Login, Google Connect, Apple ID) kullanılmaktadır. Tüm ortak kimlik sistemleri, servis sağlayıcıya kullanıcı kimliğini güvenli bir şekilde kanıtlarken kesintisiz ve sorunsuz kullanıcı deneyimi sunmaya odaklanır. Özellikle akıllı telefonlarda, yüksek güvenlik seviyesine sahip ortak kimlik sistemlerinin kullanılması daha önemli bir gereklilik haline gelmektedir. Bu bağlamda, MNO'lar (Mobil Şebeke Operatörleri), güçlü

* Corresponding Author: busraozdenizci@gtu.edu.tr

GSM yeteneklerine sahip oldukları için ortak kimlik hizmetleri sağlamada önemli bir aktör olarak kabul edilmektedir. Şu an, servis sağlayıcıların mobil uygulamalarında kimlik doğrulama için kullanılan ve MNO'lar tarafından sağlanan OpenID Connect ve Mobile Connect standartlarına dayalı birçok kimlik yönetimi çözümünü görmek mümkündür. Fakat mevcut çözümler genellikle ileri sürülen dijital kimlik konusunda çok yüksek düzeyde bir güvence sağlamamaktadır. Katma değerli mobil hizmetlerdeki gelişmeler ve artan güvenlik gereksinimleri ile, servis sağlayıcılar ve kullanıcılar için daha yüksek düzeyde güvence (özellikle LoA4), güçlü kimlik doğrulama ve inkar etmeme hizmetleri sağlayacak ortak kimlik sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu çalışma, Mobile Connect ve OpenID Connect standartlarına dayanan, mobil hizmetler için birçok faktörlü kimlik doğrulama yönteminin geliştirilmesini ve uygulanmasını sunmaktadır. Tasarlanan model, akıllı telefondaki hassas mobil hizmetlere erişmek için kullanıcının üç kimlik -bilgi, sahiplik, biyometrik- faktörünün kullanımını içerir. Fonksiyonel gereksinimlere göre sistem geliştirme ve test çalışmaları sistematik olarak sunulmuştur. MNO'lar tarafından önerilen modelin gerçekleştirilmesi ve hizmet sunulması, gelecekte yüksek düzeyde güvence gerektiren mobil hizmetlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayabilir.

Anahtar Kelimeler: OpenID Connect, Mobile Connect, Kimlik, LoA4, Çok Faktörlü Kimlik Doğrulama.

1. Introduction

Today, various common identity systems are used by service users in order to have easier password management on web or mobile services and to prove its identity to the service provider. Facebook Login, Google Connect, Apple ID are widely and commonly used examples. The main goal of common identity systems is to create an identity information at a service provider of common identity that can be used later for authentication of user in other web or mobile services. In order to use this authentication service, user first needs to register for a common identity system, and then user can benefit from the common identity system on any other web or mobile service that is part of the ecosystem. By this way, user does not necessary to register and enter a separate username and password - and even other personal information - for each service, to remember each password separately, and to change the password frequently.

However, today most of common identity systems are not suitable for web services (e.g., e-government services) that need high security in terms of non-repudiation of user or action. The common identity based solutions on web platforms generally use a username, password and sometimes mobile phone number in order to authenticate the user (Wang et al., 2012). According to the ISO/IEC 29115 Entity Authentication Assurance Framework (2013), such implementations generally refers to a low or medium level of assurance (LoA). Furthermore, the use of common identity systems for mobile based services with very high security level is becoming an important requirement. With the widespread adoption of the mobile technologies, many value added services can be provided for users on smartphones with rich content. In this context, MNOs (Mobile Network Operators) all over the world are recognized as an important actor for providing common identity services since they have strong GSM capabilities.

GSMA (GSM Association) has defined the Mobile Connect standard for the authentication service for mobile ecosystem that can be provided by MNOs based on OpenID Connect and OAuth 2.0 protocols (OpenID Connect, 2014; Mobile Connect, 2020). Mobile Connect offers a trusted way for mobile users to share sensitive data and undertake transactions with confidence (GSMA, 2020). The required API mechanisms are introduced by Mobile Connect standard in order to request a common identity service from relevant MNO. However, the methods of user authentication process by MNO have been left to the authority and responsibility of corresponding MNO. This flexibility enabled each MNO to produce various solutions with different LoA and security in a short time. Similarly, existing Mobile Connect based solutions does not provide very high level of assurance; particularly LoA4. It is evident that there is an urgent need for a

common identity system that provide higher level of assurance and security for service providers, as well as for users.

For this purpose, a novel multi-factor authentication mechanism for mobile services -named as TrustedID system- is proposed based on Mobile Connect standard and OpenID Connect standard. The proposed system uses biometric data (e.g., fingerprint) to access various services on the smartphone by taking advantage of the superior capabilities of smartphones. Unlike the traditional, SMS or SIM based authentication methods, the proposed model provides higher level of assurance and security; in other words LoA4. The proposed TrustedID system is also supported by Turkcell Technology A.S. and TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) under 1505 Program. This multi-factor authentication system for mobile services and mobile users supports new value added services development as well as mobile ecosystem advancement. In our previous study (Kose et al., 2020), the system analysis and design considerations (i.e., preliminary studies, system context, functional requirements with process flows) of proposed system have been presented clearly.

This paper aims to demonstrate and highlight the development and implementation issues of the proposed multi-factor authentication system. The functional requirements of the system are realized and tested depending on developed business scenarios. Accordingly, rest of this paper is organized as follows: Section II highlights a brief information about ISO/IEC 29115 and Mobile Connect standards; system components and system development considerations. Afterwards, Section III presents the implementation results of functional requirements of TrustedID. Finally, the study is concluded and further work is emphasized in Section IV.

2. Material and Method

2.1. Multi-Factor Authentication, ISO/IEC 29115 Standard

Authentication is the provision of assurance in the claimed identity of an entity (ISO/IEC 29115, 2013). Each authentication mechanism benefits from one or more factors of the user; a strong authentication mechanism should use at least two factors of user (Kose et al., 2020). Today, three factor groups are available for authentication of a user (Ometov et al., 2018):

- Knowledge factor as something the user knows, for example PIN data, username/password data, security question;
- Ownership factor as something the user has, for example smartphones, SIM cards with mobile number;

- Biometric factor as something the user is, for example biometric (fingerprint, face recognition etc.) data.

Two-Factor Authentication (2FA) uses knowledge factors and ownership factors; whereas Multi-Factor Authentication (MFA) mainly uses biometric factors. Multi-Factor Authentication (MFA) aims to provide a higher level of safety and facilitate continuous protection of computing devices as well as other critical services from unauthorized access by using more than two categories of credential (Ometov et al., 2018; Petsas et al., 2015; Harini, 2013; Schneie, 2005).

The ISO/IEC 29115 Entity Authentication Assurance Framework (2013) standard presents four levels of assurance (LoA) for entity authentication. Each LoA describes the degree of confidence in the processes leading up to and including an authentication. The defined LoA levels are as follows:

- LoA1 as little or no confidence in the asserted digital identity;
- LoA2 as some confidence in the asserted digital identity, used frequently for self-service applications;
- LoA3 as high confidence in the asserted digital identity, used to access protected data;
- LoA4 as very high confidence in the asserted digital identity, used to access highly protected data.

Selection of the appropriate LoA is performed by service providers and is based on a risk assessment of the transactions or services for which the entities will be authenticated. Risk assessment outcomes are essential factors in selecting the most appropriate assurance level. ISO/IEC 29115 (2013) assesses the impact levels and maps them to LoA levels as shown in Table 1. This mapping helps service providers in determination of what LoA they require. For example, since LoA4 provides very high

assurance in the asserted digital identity's accuracy; in case of authentication errors, serious unrecoverable financial loss to any party or severe long-term damage to the standing or reputation of any party may occur; or the negative impacts for personal safety or severe injuries may happen.

2.2. Mobile Connect Standard

GSMA (GSM Association) has provided Mobile Connect standard for the authentication service that can be provided by MNOs (GSMA, 2020). Mobile Connect standard by GSMA is based on OpenID Connect and OAuth 2.0 protocols. OAuth 2.0 Authorization Protocol is the access and sharing of the information (owned by Resource Owner and managed by Resource Provider) by the service provider under control of authentication server (Hardt, 2012); whereas OpenID Connect Protocol includes the authentication process of the user (OpenID Connect, 2014). Today more than 50,000 service providers use OpenID Connect based authentication services of such as Google, Facebook, Twitter, Yahoo, Microsoft. In this regard, Mobile Connect standard based solutions can be used by mobile services of service providers.

Mobile Connect standard presents two main APIs (Application Programming Interface) over HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) protocol. Discovery API is implemented by GSMA API Exchange platform. This API checks which MNO is being used by the application and whether Mobile Connect service is available (Mobile Connect, 2020). Mobile Connect API is the authentication API implemented by MNO (i.e., the provider of the Mobile Connect service). It allows users to verify themselves using their Mobile Connect accounts. As shown in Figure 1, a typical Mobile Connect based authentication process of a user is as follows.

Table 1 : Potential impact at each LoA (ISO/IEC 29115, 2013)

Potential impact of authentication errors	LoA1	LoA2	LoA3	LoA4
Inconvenience, distress or damage to reputation	Minimum	Moderate	Substantial	High
Financial loss (damage) or agency liability	Minimum	Moderate	Substantial	High
Harm to the entity, its programs, or public interests	-	Minimum	Moderate	High
Unauthorized release of sensitive information	-	Moderate	Substantial	High
Personal safety (injury, death etc.)	-	-	Minimum-Moderate	Substantial-High
Civil or criminal violations	-	Minimum	Substantial	High

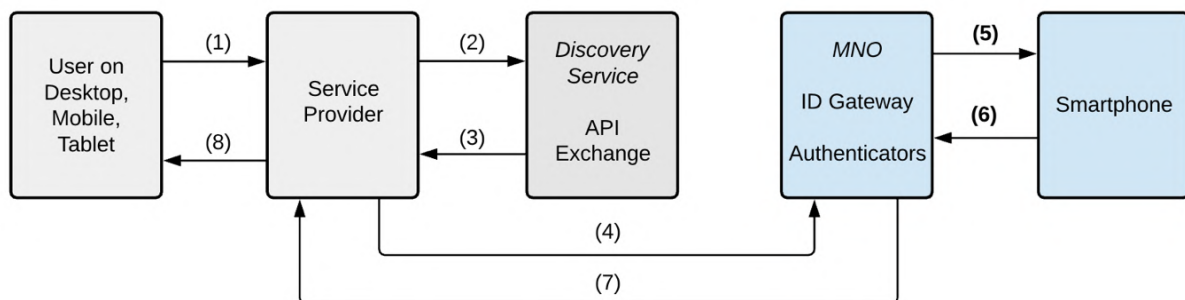


Figure 1: Mobile Connect Standard (Mobile Connect, 2020)

Step (1): When user chooses Mobile Connect connection on the login screen of service provider application, the server of service provider receives the relevant request.

Step (2): The server of service provider requests the mobile operator (i.e., MNO) identification information -that user is connected to- from Mobile Connect system.

Step (3): Mobile Connect server detects the mobile operator information of user with the help of Discovery API and notifies the application (i.e., service provider server).

Step (4): Service Provider requests authentication from the mobile operator of user with the help of the Mobile Connect profile and OpenID Connect protocol.

Step (5): MNO starts the authentication process with the help of the Mobile Connect API.

Step (6): User enters the identity/authentication information that is requested by MNO.

Step (7): The result of user's authentication (approval or rejection) is transferred to the service provider with the level of assurance provided.

Step (8): Service provider application approves or rejects the login request of user.

Articles 1, 2, 3, 4, 7, and 8 of the Mobile Connect protocol are implemented as standard by the relevant actor. However, the authentication method to be used in relation to Articles 5 and 6 is left to the initiatives of MNOs in order to provide flexibility and diversity (Mobile Connect, 2020; Kose et al., 2020). The authentication method used here determines LoA at the authentication stage. Table 2 provides examples of implementations for each LoA.

While the service provider requests authentication, it will notify MNO which LoA it demands. MNO also performs the authentication process -at least- at the requested LoA level, and reports the authentication level it uses (LoA) to the service provider along with the verification result. For example, Orange provides Mobile Connect solutions based LoA2 or LoA3 in France and Spain (Orange Developer, 2016; Orange Developer, 2017). As another example, Turkcell is providing a Mobile Connect service called as Fast Login in Turkey (Turkcell, 2020). The Fast Login authentication service is based on either SMS-OTP (One-Time-Password) or SIM-OTP through the SIM applet software as shown in Figure 2.

2.3. Proposed System Design and Development

The proposed multi-factor authentication method is based on OpenID Connect and Mobile Connect standards, and supports LoA4 security level in order to access various services -that require very high confidence in the asserted digital identity- on the smartphone. Unlike traditional (i.e., SMS or SIM-based authentication methods), the designed and developed TrustedID system incorporates the biometric as fingerprint data of user by taking advantage of superior capabilities of smartphones.

As shown in Figure 3, the ecosystem includes three main actors: MNO, service provider and user. MNO is the main actor who is the owner and manager of the SIM card, and also is TrustedID service provider. User is the owner of the smartphone, and also uses the TrustedID system. Service Provider is the actor who provides valuable services for the smartphone users. Service Provider Server represents the server application which provides a mobile service(s) to user. Service Provider Application is the mobile service which requires LoA4 and benefits from TrustedID authentication service. User will benefit from mobile services of diverse service providers who are contracted with TrustedID system.

Table 2: Mobile Connect authentication for each LoA

Level	Application by Mobile Connect
LoA1	When using Mobile Connect API, this level does not apply.
LoA2	User will be prompted and will need to respond on their mobile device. User gives an authorization from his mobile device to prove that she has control of both the SIM card and the mobile device.
LoA3	User will be required to enter a secret PIN or similar password from the mobile device that they agreed beforehand.
LoA4	LoA4 is similar to LoA3, but it adds the requirements of in-person identity proofing. This level requires usage of personal data especially biometric data to satisfy high risk transactions.

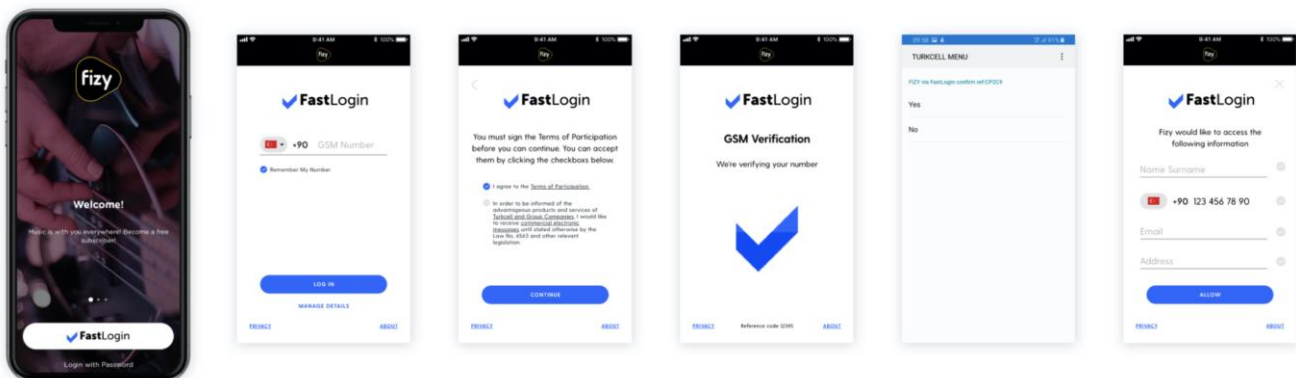


Figure 2: Turkcell's Mobile Connect based Fast Login Service Example

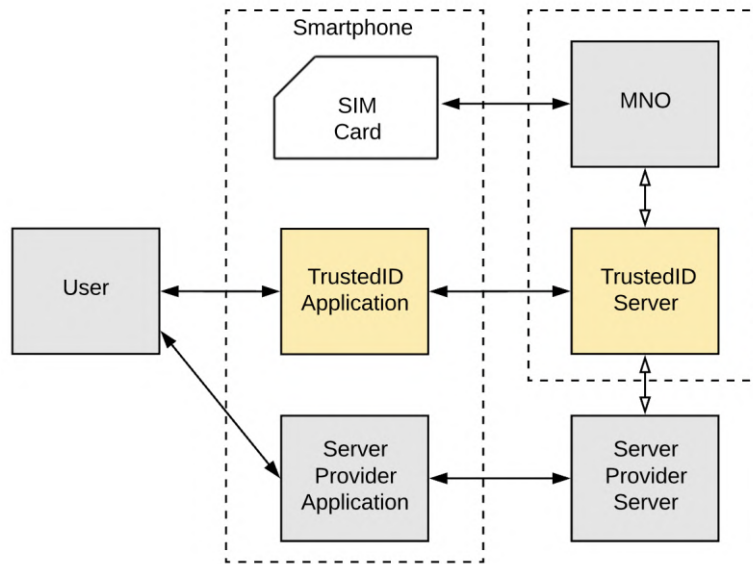


Figure 3: Context Diagram of TrustedID System (Kose et al., 2020)

The designed and developed TrustedID system has two parts: TrustedID (Client) Application and TrustedID Server Application. TrustedID Client Application is the part of the developed TrustedID system that runs on the Android smartphone. During system development, Android APIs using the Java programming language and also other tools were used within Android Studio software development tool. TrustedID Server Application is the part of the developed TrustedID system that runs on the server side. TrustedID Server application was developed by using PHP and MySQL on Eclipse IDE. In order to test TrustedID system, a test Service Provider Application (i.e., Android mobile application) with only TrustedID Login functionality has been developed. The test application was also developed on the Android Studio software development tool using Java programming language.

3. Results

In the previous study (Kose et al., 2020), two main processes of the proposed TrustedID system were designed and explained in detail: System Registration Process and System Usage Process. In accordance with the designed process flows and defined functional requirements, system registration and system usage processes of TrustedID system were developed and tested systematically in this study. This section presents implementation and test results with user interface results of developed mobile applications as well as results on MySQL database.

3.1. System Registration

Step (1): User requests registration for TrustedID service. During system implementation, it was assumed that user goes to the store of MNO and makes an application for TrustedID service registration to the MNO officer. The credentials and mobile number of user are entered to the web client interface of TrustedID system for triggering registration process as shown in Figure 4-a. The registration request is transmitted to TrustedID server and saved on database as shown in Figure 4-b.

Step (2): TrustedID server as MNO side initiates and performs mobile number verification. User opens and launches TrustedID application on the smartphone (Figure 5-a and Figure

5-b). Afterwards, user confirms the received SIM-OTP message on the smartphone as shown in Figure 5-c. TrustedID application sends SIM-OTP result to TrustedID server for confirmation. TrustedID server as MNO side validates the mobile number and registers the mobile number of user as first identification factor -something I have- as seen in database record Figure 8-a. TrustedID server informs TrustedID application about the result as seen in Figure 5-d.

Step (3): After mobile number registration, user registers the biometric data that will be used in TrustedID application. TrustedID application requests the fingerprint data identification from user as shown in Figure 6-a. User enters the fingerprint data (Figure 6-b). Android smartphone generates a key value (i.e., similar to a hash value) of the fingerprint data and TrustedID application transfers the key value to TrustedID server. TrustedID server saves the key data of user as the second identification -something I am- factor. TrustedID server informs TrustedID application about the result as shown in Figure 6-c and Figure 8-b. Accordingly, BiometricPromptHelper class is the main class in which biometric processes are carried out. It checks whether the device has biometric feature, saves new biometric data and performs biometric verification.

Step (4): After fingerprint registration, user registers the PIN data that will be used when launching TrustedID application. TrustedID application requests a four-digit PIN (password) from user (Figure 7-a). User sets a PIN through TrustedID application (Figure 7-b). TrustedID server registers the PIN data as the third identification factor -something I know- and informs TrustedID application about the result as shown in Figure 7-c and Figure 8-c.

Step (5): Finally, TrustedID server notifies TrustedID application that the new user has been successfully registered (Figure 7-d). After registration process, user can benefit from TrustedID service on contracted service provider applications. In this regard, we developed and tested the system usage perspective with a test Service Provider Application.

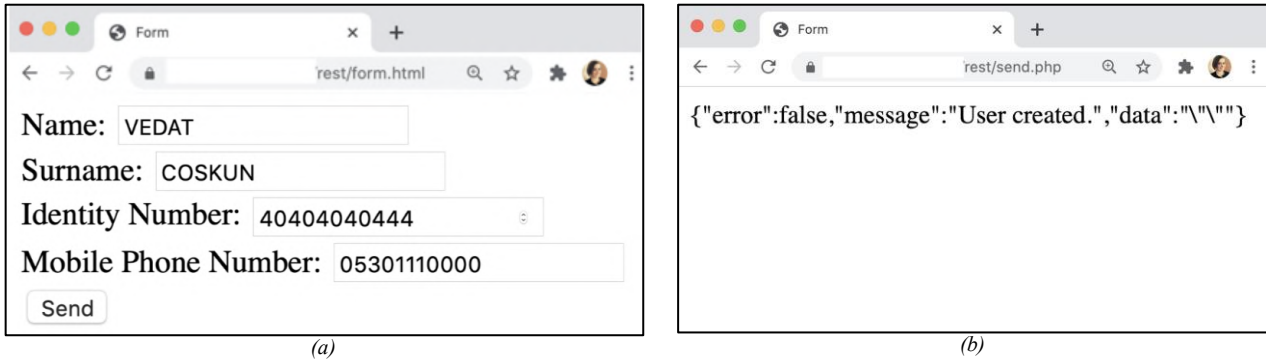


Figure 4: Creating a TrustedID Service Record via Web Client Interface

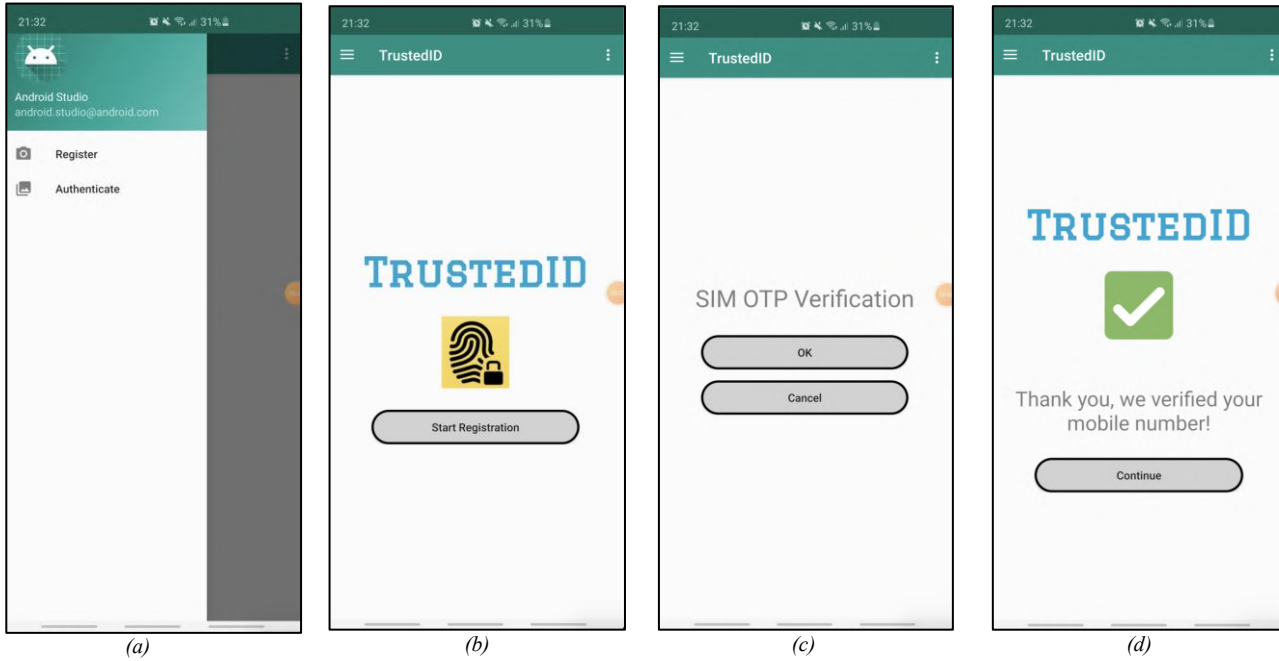


Figure 5: Mobile Number as Identity Factor Registration: Something I have

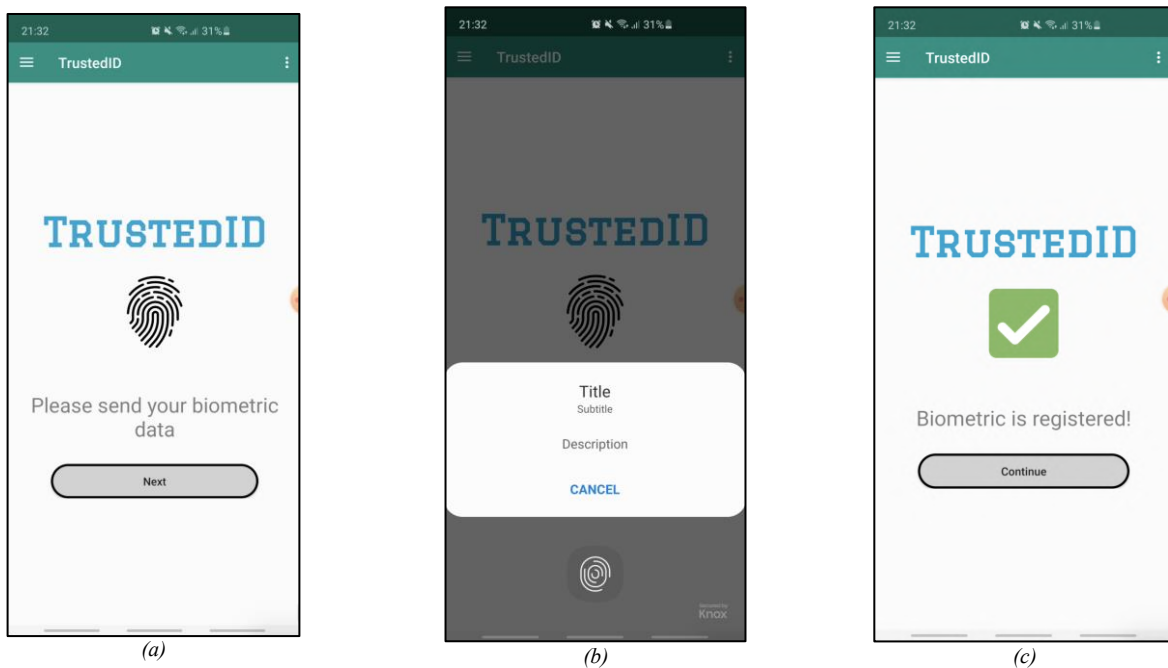


Figure 6: Biometric Data as Identity Factor Registration: Something I am

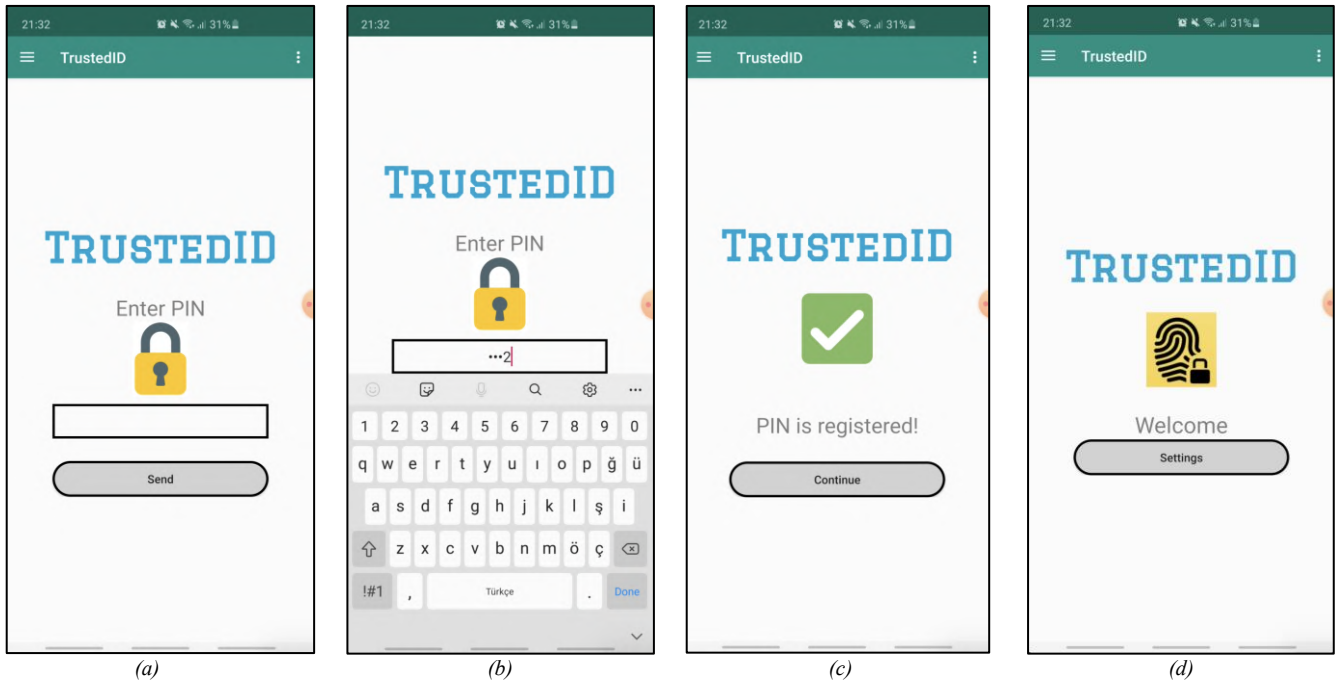


Figure 7: PIN Data as Identity Factor Registration: Something I know

+ Seçenekler	username	userlastname	usertc	phone	fingerprint	pin
Düzenle Kopyala Sil	VEDAT	COSKUN	40404040444	5301110000	NULL	NULL
+ Seçenekler	username	userlastname	usertc	phone	fingerprint	pin
Düzenle Kopyala Sil	VEDAT	COSKUN	40404040444	5301110000	51KUNBER98/*YuhR4jB6v/ont895AFRoveQM6589sYH=Retq34...	NULL
+ Seçenekler	username	userlastname	usertc	phone	fingerprint	pin
Düzenle Kopyala Sil	VEDAT	COSKUN	40404040444	5301110000	51KUNBER98/*YuhR4jB6v/ont895AFRoveQM6589sYH=Retq34...	9999

Figure 8: Registered Identity Factors on TrustedID Server

3.2. System Usage Process Flow

Step (1): User requests to use TrustedID login service on Service Provider Application (i.e., SPApp). User selects TrustedID authentication among the login options offered in the service provider application (Figure 9-a). TrustedID application on user's smartphone launches.

Step (2): Firstly, the control of user's PIN information is performed. TrustedID application requests the PIN value (Figure 9-b). User enters the PIN data (i.e., previously created for the TrustedID service). TrustedID server checks the sent information with the previously registered information. In case of a valid PIN entry (i.e., 9999 as a test input), the identity factor -something I know- of user is verified, and then user is informed (Figure 9-c). In case of an invalid PIN (i.e., 1122 as a test input), user is informed with an error message as seen in Figure 9-d.

Step (3): Afterwards, the mobile number of user is checked. TrustedID application requests the SIM-OTP service from the TrustedID server to verify the mobile number. TrustedID

system initiates SIM-OTP application for the smartphone. User confirms the received message (Figure 10-a). In case of a valid SIM-OTP (e.g., pressing OK button as a test input), the identity factor -something I have- of user is verified, and then user is informed (Figure 10-b). In case of an invalid SIM-OTP (e.g., pressing Cancel button as a test input), user is informed with an error message as shown in Figure 10-c.

Step (4): Finally, the biometric information of user is checked. TrustedID application requests the fingerprint data from user (Figure 11-a). User enters the previously defined fingerprint data for TrustedID service (Figure 11-b). TrustedID application sends the key data generated by Android smartphone to the server. TrustedID server checks the registered data with the received information. In case of a valid biometric data, the identity factor -something I am- of user is verified, and user is informed (Figure 11-c). In case of an invalid fingerprint information, user is informed with an error message (Figure 11-d). After verification of all identity factors by TrustedID system, user accesses the requested Service Provider application successfully.

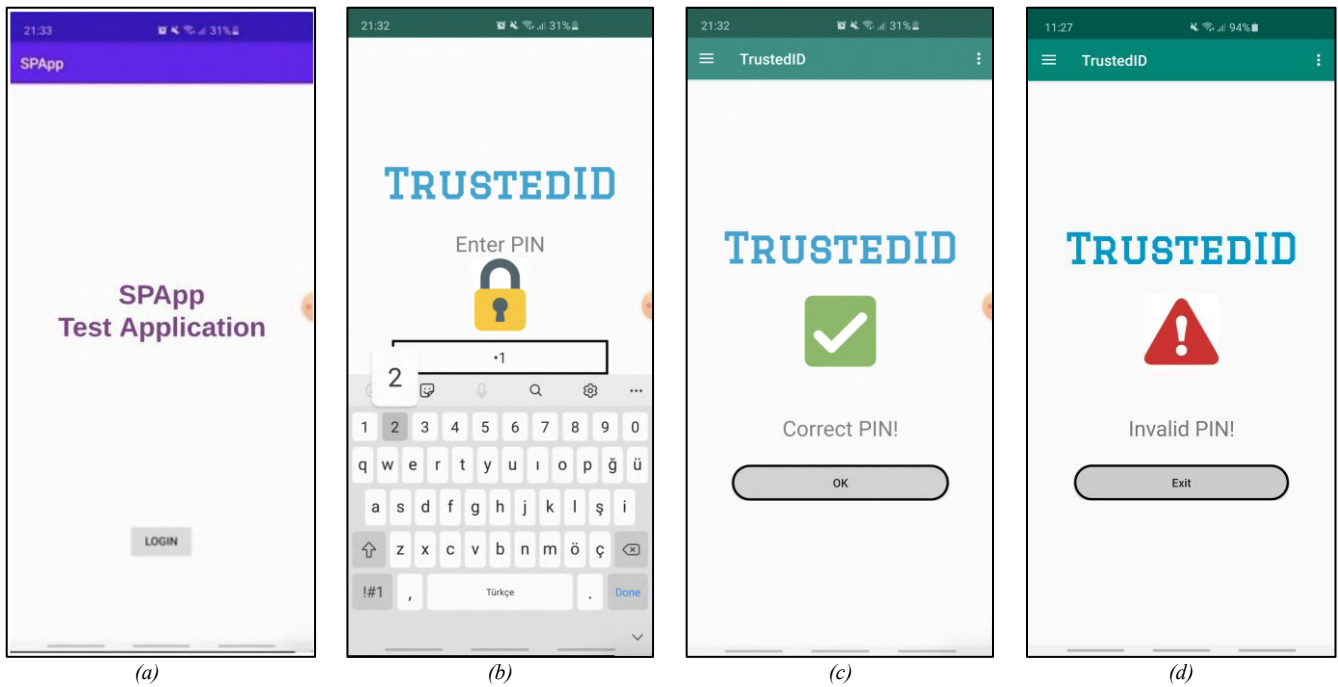


Figure 9: TrustedID Login Request and PIN Identity Factor Verification

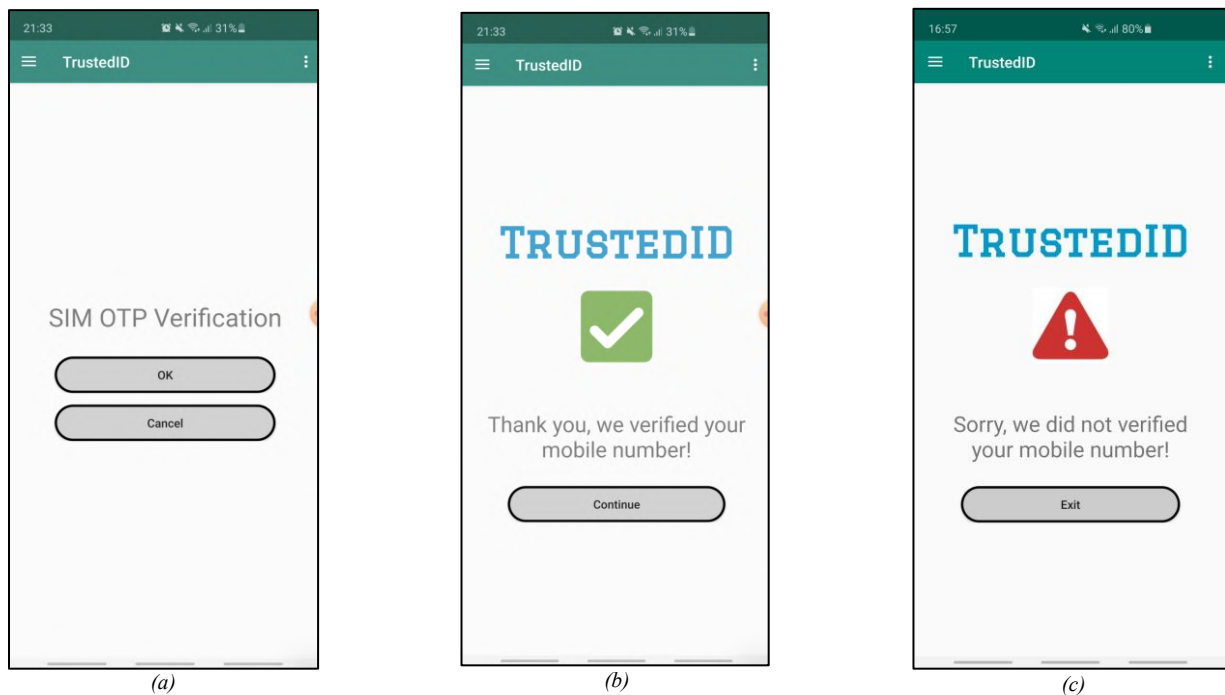


Figure 10: Mobile Number Identity Factor Verification

4. Conclusions

This paper presents the implementation details of a promising authentication system on Android smartphones. The prototype implementation results were explained through user interfaces of developed client mobile application. The designed functional requirements in the previous study (Kose et. al., 2020) regarding system registration and system usage were developed and tested systematically.

The proposed OpenID Connect based (i.e., also Mobile Connect based) authentication system aims to ensure a strong authentication mechanism by using three identity factors (i.e., multi-factor) of the user in order to access secure and sensitive

mobile services on the smartphone. The required user identity factors within proposed model are SIM-OTP code for proving something I have, PIN like code for proving something I know and also fingerprint data for proving something I am. The proposed model adds biometric authentication layer as third factor to the existing OpenID Connect and Mobile Connect based solutions with an efficient, new business model design.

The developed mobile application provides a user-friendly and seamless user experience. Moreover, the prototype implementation has provided an acceptable time performance and efficiency; it has been observed that the response time between the user's mobile application and the server application is less than five seconds.

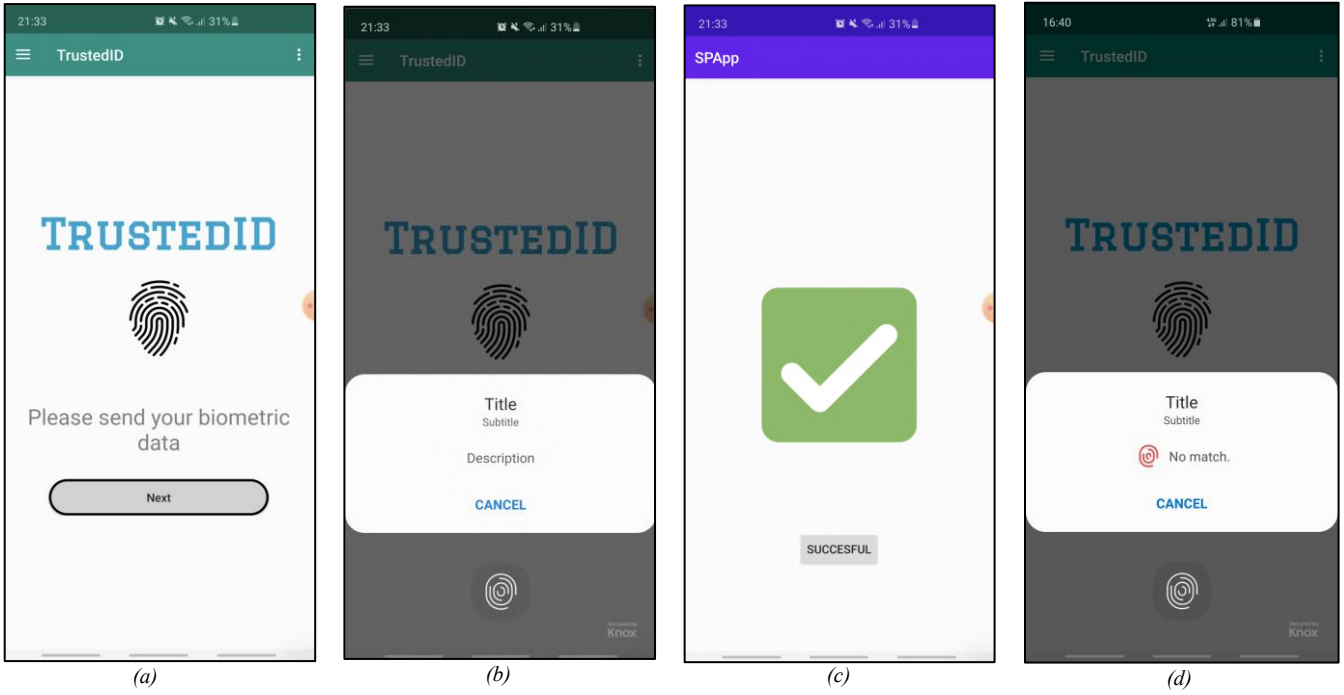


Figure 11: Biometric Identity Factor Verification

The subsequent work will focus on verification and integration of the system with real-world service applications. Also, usability analysis and evaluation of the proposed study can be performed with more comprehensive mobile applications. The security methods and encryption algorithms for data-at-rest and data-in-motion can be also studied depending on MNOs' requirements and capabilities. The realization and deployment of the proposed model by MNOs could play an important role in the development of mobile services that require very high level of assurance in the future.

5. Acknowledge

This work is funded by Turkcell Technology A.S. and TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) under 1505 Program, Project no 5190045.

References

- Apple Sign-In (2020). <https://developer.apple.com/sign-in-with-apple/>
- Facebook Login (2020). <https://developers.facebook.com/docs/facebook-login/>
- Turkcell (2020). Fast Login. <https://hizligiris.turkcell.com.tr/en/fast-login/what-is-fast-login>
- Google Sign-In (2020). <https://developers.google.com/identity>
- GSMA (2020). Mobile Connect, <https://www.gsma.com/identity/mobile-connect>.
- Harini, N., & Padmanabhan, T. R. (2013). 2CAuth: A new two factor authentication scheme using QR-code. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 1087-1094.
- ISO/IEC 29115 (2013). Information technology-Security techniques-Entity authentication assurance framework.

Kose, B. O., Buk, O., Mantar, H. A., & Coskun, V. (2020, October). TrustedID: An Identity Management System based on OpenID Connect Protocol. In 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) (pp. 1-6). IEEE.

Mobile Connect (2020). <https://mobileconnect.io/>

Hardt, D. (2012). The OAuth 2.0 authorization framework (p. 6749). RFC 6749, October.

Ometov, A., Bezzateev, S., Mäkitalo, N., Andreev, S., Mikkonen, T., & Koucheryavy, Y. (2018). Multi-factor authentication: A survey. *Cryptography*, 2(1), 1.

OpenID Connect (2014). <http://openid.net/connect/>

Orange Developer (2016). Mobile Connect Technical Guide, https://developer.orange.com/tech_guide/mobile-connect/

Orange Developer (2017). OpenID Connect Technical Guide, https://developer.orange.com/tech_guide/openid-connect-1-0/

Petsas, T., Tsirantonakis, G., Athanasopoulos, E., & Ioannidis, S. (2015, April). Two-factor authentication: is the world ready? Quantifying 2FA adoption. In *Proceedings of the eighth european workshop on system security* (pp. 1-7).

Schneier, B. (2005). Two-factor authentication: too little, too late. *Communications of the ACM*, 48(4), 136.

Wang, R., Chen, S., & Wang, X. (2012, May). Signing me onto your accounts through facebook and google: A traffic-guided security study of commercially deployed single-sign-on web services. In 2012 IEEE Symposium on Security and Privacy (pp. 365-379).



Rejeneratif Endodontik Tedavide Biyomalzeme Seçimi ve Doku Mühendisliği Uygulamaları

Özgül Cartı Dörterler¹, Fatma Ayhan^{2*}

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı, Muğla, Türkiye. (ORCID: 0000-0002-8123-7629)

ozgulcarti@hotmail.com

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilim Dalı, Biyokimya & Biyomalzemeler Araştırma Grubu (BIOMATREG), Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2220-4496), fayhan@mu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 26 Şubat 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.842306)

ATIF/REFERENCE: Özgül Cartı Dörterler, Fatma Ayhan (2021). Rejeneratif Endodontik Tedavide Biyomalzeme Seçimi Ve Doku Mühendisliği Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 31-42.

Öz

Dental pulpa mine, dentin, sement gibi yüksek oranda mineralize dokularla çevrili ve dişin homeostazını sağlayan yumuşak bir bağ dokusudur. Pulpa dokusu, odontoblastik hücrelerin anatomik düzeni ve postmitotik yapısı nedeniyle kısıtlı bir rejenerasyon yeteneğine sahip özelleşmiş bir mineralize dokudur. Diş çürüğü veya enflamasyon nedeniyle çok hızlı şekilde nekrotik hale gelip, endodontik tedaviye gereksinim duyabilir. Klasik endodontik tedavi enfekte pulpa dokusu ve kök dentininin uzaklaştırılıp dezenfekte edilen kanal boşluğunun hermetik sızdırmazlığı sağlayacak şekilde bioinert bir malzeme ile doldurulması esasına dayanır. Kök oluşumunu tamamlamamış immatur ve nekrotik pulpalı dişlerde ise Ca(OH)₂ ve MTA (Mineral Trioksit Agregat) kullanılarak apikal bir bariyer oluşturulacak şekilde tedavi uygulanmaktadır. Bu yöntemlerle tedavi edilen dişte kök uzunluğunda ve kalınlığında artış olmamaktadır. Bu nedenle bu dişler ömür boyu devital ve zayıf bir diş olarak kalmaktadırlar. Endodontik tedavide en çok arzu edilen devital ve nekrotik pulpanın sağlıklı pulpa dokusu ile yer değiştirmesidir. Rejeneratif endodontik tedavi klasik endodontik tedaviye bir alternatiftir. Rejeneratif endodontik tedavi "dentin ve kök yapılarının yanı sıra pulpa-dentin kompleksinin hücreleri de dahil olmak üzere hasarlı diş yapılarını tedavi etmek için tasarlanmış biyolojik tabanlı prosedürler" olarak tanımlanır. Biomateriyal bilimi ve doku mühendisliği teknolojisindeki son gelişmeler rejeneratif endodontik tedavi yönteminin gelişmesini teşvik etmiştir. Doku mühendisliğinin temelini oluşturan kök hücre, doku iskelesi ve büyüme faktörleri ile rejeneratif endodontik tedavi alanında çok sayıda çalışmalar yapılmaktadır. Şu anda önerilmekte olan pulpa rejenerasyonu teknikleri henüz geliştirme aşamasındadır. Bu derleme de, güncel rejeneratif endodontide kullanılan klasik doku mühendisliği üçlüsü olarak da adlandırılan farklı kök hücre, büyüme faktörleri ve doku iskeleri ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca rejeneratif endodontik uygulamalar için geliştirilen organoidler ve çip üstü organlar ile tedavi yaklaşımları da sunulmuştur. Rejenerasyonun kanserle olası bağlantısına yer verilmiştir. Son olarak rutin klinik uygulamalar için geliştirilen tedavi prosedürünün aşamaları özetlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dental Pulpa, Rejeneratif Endodonti, Biyomalzeme, Doku Mühendisliği.

Biomaterial Selection and Tissue Engineering Applications in Regenerative Endodontic Treatment

Abstract

Dental pulp is a soft connective tissue that is surrounded by highly mineralized tissues such as enamel, dentin, cementum and provides homeostasis of the tooth. Pulp tissue is a specialized mineralized tissue with a limited regeneration ability due to the anatomical arrangement and postmitotic structure of odontoblastic cells. Classical endodontic treatment is based on removing the infected pulp tissue and root dentin and filling the disinfected canal cavity with a bioinert material to ensure hermetically sealed. It may quickly become necrotic due to tooth decay or inflammation and may require endodontic treatment. In immature that have not completed root formation and necrotic pulp teeth, an apical barrier is formed by using Ca(OH)₂ and MTA (Mineral Trioxide Aggregate). There is no increase in root length and thickness in the tooth treated with these methods. For this reason, these teeth remain devital and weak teeth for life. The most desired in endodontic treatment is the replacement of devital and necrotic pulp with healthy pulp tissue. Regenerative endodontic therapy is an alternative to classical endodontic therapy. Regenerative endodontic therapy is defined as "bio-based

* Sorumlu Yazar: fayhan@mu.edu.tr

procedures designed to treat damaged tooth structures, including cells of the pulp-dentin complex, as well as dentin and root structures. "Recent advances in biomaterial science and tissue engineering technology have encouraged the development of regenerative endodontic treatment method. Numerous studies are carried out in the field of regenerative endodontic treatment with stem cells, tissue scaffold and growth factors, which are the basis of tissue engineering. Pulp regeneration techniques that are currently proposed are still under development. In this review, studies on different stem cells, growth factors and tissue scaffolds used as the classical tissue engineering trio used in current regenerative endodontics are reviewed and the stages of the treatment procedure developed for routine clinical applications are summarized. In addition, organoids and organ-o-a-chip treatment approaches developed for regenerative endodontic applications were also presented. The relationship between regeneration and cancer was given. Finally, the stages of the treatment procedure developed for routine clinical applications were included.

Keywords: Dental Pulp, Regenerative Endodontics, Biomaterials, Tissue Engineering.

1. Giriş

Rejeneratif endodonti, "dentin ve kök yapılarının yanı sıra pulpa-dentin kompleksinin hücreleri de dahil olmak üzere hasarlı diş yapılarını tedavi etmek için tasarlanmış biyolojik tabanlı prosedürler" olarak tanımlanır (Murray, Garcia-Godoy, & Hargreaves, 2007). Bu tanıma dayanarak, rejeneratif endodontik tedavi (RET) ile, immatür dişlerin nekrotik pulpa ile enfeksiyon travma veya gelişimsel anomaliden zarar gören pulpa-dentin kompleksini yenilemesinin amaçlandığı söylenebilir.

Nekrotik pulpalı / apikal periodontitisli immatur kalıcı dişler, geleneksel olarak apikal sert doku bariyeri oluşumunu indüklemek için kalsiyum hidroksit kullanılan apeksifikasyon prosedürleriyle veya kök kanal dolgusundan önce apikal bölgenin MTA(Mineral Trioksit Agregat) ile kapatılması ile tedavi edilmektedir (Heithersay, 1975; Rafter, 2005).

Kalsiyum hidroksit kullanılarak yapılan tedavilerde her ne kadar yüksek başarı oranı (%95) bildirilse de kalsifik bariyerin oluşması için uzun bir süre geçmesinin gerekir (3-24ay). Kalsiyum hidroksit uygulamasının belirli dönemlerde yenilenmesinin gerekmesi, uzun süreli kalsiyum hidroksit uygulamasının dentinin mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkileyip kök kırığı riskini artırması gibi olumsuz özellikleri de bulunmaktadır (Andreasen, Farik, & Munksgaard, 2002; Frank, 1966; Kerkis vd., 2006; Rosenberg, Murray, & Namerow, 2007; Webber, 1984). Apikal bölgeye MTA uygulaması tedavi süresini kısaltabilir fakat kanal boşluğundaki hasarlı dokunun canlılığını geri kazandırma ve nekrotik pulpalı olgunlaşmamış kalıcı dişlerin kök olgunlaşmasını (kök kanal duvarlarının kalınlaşması ve/veya apikal tıkanma) destekleme potansiyeli yoktur (S. Kim, Malek, Sigurdsson, Lin, & Kahler, 2018).

Rejeneratif endodontik tedavi (RET) klasik endodontik tedaviye bir alternatiftir (Galler vd., 2016). Çürük veya travma nedeniyle hasar görmüş nekrotik immatür kalıcı dişlerin pulpa-dentin kompleksinin rejenerasyonu ile hem dentin duvarlarının kalınlığının artırılıp hem de kök uzunluğu artırılarak kök gelişiminin sağlanıp, vitalitesinin geri kazandırılmasını amaçlayan rejeneratif endodontik tedavi doku mühendisliği konseptine dayanmaktadır (Chueh & Huang, 2006; S. Kim vd., 2018).

Rejeneratif endodonti tedavileri ve sonuçları geleneksel endodontik tedaviden çok farklıdır; bu nedenle son yıllarda endodonti alanında büyük ilgi görmüştür. Nygaard-Ostby (1961) ve Nygaard-Ostby & Hjortdal (1971) rejeneratif endodontik çalışmalara öncülük etmiştir (NYGAARD- ÖSTBY & HJORTDAL, 1971; Östby, 1961). "Revaskülarizasyon" terimi ilk olarak Iwaya ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır (Iwaya, Ikawa, & Kubota, 2001). Daha sonra kanal boşluğunda rejenerasyon olan dokular sadece kan damarları değil aynı zamanda sert ve yumuşak dokular olduğu için revaskülarizasyon yerine

revitalizasyon daha uygun bir terim olarak önerilmiştir (G. T.-J. Huang & Lin, 2008). Endodontik literatürde revaskülarizasyon, revitalizasyon ve rejeneratif endodonti eş anlamlı olarak ve birbirinin yerine kullanılmaktadır.

2. Dental Pulpa Rejenerasyonunda Doku Mühendisliği Uygulamaları

Dental pulpa rejenerasyonu için klasik doku mühendisliği kavramı, üç temel faktöre dayanmaktadır: hücreler, biyoaktif moleküller ve doku iskeleleri (Discher, Mooney, & Zandstra, 2009; Langer & Vacanti, 1993). Doku iskeleleri, in vivo koşulları taklit ederek 3 boyutlu olarak dokunun kimyasal stabilitesini ve mekanik gücünü sağlar (Gathani & Raghavendra, 2016; G.T. Huang, 2009). Kök hücreler, yaralanmalardan sonra normal doku iyileşmesinden ve yenilenmesinden sorumludur (van der Kooy & Weiss, 2000).

Büyüme faktörleri, hücre çoğalması ve farklılaşması, hücre dışı matris (ECM) salgılanması ve mineralizasyonu gibi kök hücre faaliyetlerini kontrol ederler (Rosa, Della Bona, Cavalcanti, & Nör, 2012). Her bir komponentin pulpa dokusu rejenerasyonu üzerindeki etkisi farklıdır, ancak nihai sonuç için eşit derecede önemlidir (J. Yang, Yuan, & Chen, 2016).

2.1. Kök Hücreler

Rejeneratif doku mühendisliği teknikleri, in vitro hücre sınıflandırmasını ve seçilen kök hücrelerin genişletilmesini içerir. Bu hücreler alıcının kendisinden (otolog) veya bir donörden (allojenik kökenli) olabilir. Otolog greftler ile optimum uyumluluk elde edilir, ancak yeterli miktarda hücre alınması gerektirir. Bu nedenle dental pulpa mühendisliği için gerekli olan kök hücrelerin alternatif allojenik kaynaklardan alınması düşünülmüştür (Orti vd., 2018). Rejeneratif tıpta hücre tedavisi için genellikle dört ana kök hücre kaynağı tanımlanır: yetişkin mezenkimal kök hücreler (MSC), embriyonik kök hücreler (ESC'ler), umbilikal korddan köken alan neonatal kök hücreler ve indüklenmiş pluripotent kök hücreler (iPSC'ler) (Orti vd., 2018).

2.1.1. Yetişkin mezenkimal kök hücreler

Dental pulpada progenitör hücrelerin varlığı yıllar önce tanımlanmıştır. Bu hücreler yaralanma durumlarında proliferasyon olup diferansiyasyon olarak odontoblast hücrelerine dönüşebilirler. Dental kök hücreler, uluslararası toplum tarafından MSC için verilen (geniş) tanıma uydukları için, o gruba dahil edilmektedirler (Dominici vd., 2006). MSC kökenli hücrelere karşılık gelen birçok hücre yüzeyi markörü dental kök hücreleri tanımlamak için de kullanılmıştır. Dental kök hücre ve MSC kültürleri, kültürdeki popülasyonlardan herhangi bir hücre tipinin tanımlanmasına izin veren seçici belirteçler olmaksızın ayırt edilemez (Pagella, Neto, Lamghari, & Mitsiadis, 2015). Diş oluşumuna katılan dental kök hücreler göz önüne alındığında, beş çeşit kök hücre tanımlanmıştır: dental pulpa kök hücreleri

(DPSC), insan eksfoliyeye süt dişlerinden köken alan kök hücreler(SHED), apikal papilladan köken alan kök hücreler (SCAP), periodontal ligament kökenli kök hücreler (PDLSC) ve dental folikülden köken alan kök hücreler (DFSC). DPSC ilk izole edilen ve halen daha en sık kullanılan kök hücre kaynağıdır (Stan Gronthos, Mankani, Brahim, Robey, & Shi, 2000). SHED, DPSC ile aynı prosedür kullanılarak, süt dişlerinden izole edilen kök hücrelerdir ve yüksek oranda proliferasyon yeteneğine sahiptirler (Miura vd., 2003). SCAP, gelişmekte olan dişlerin kök ucundan elde edilir ve oldukça yüksek oranda proliferasyon, migrasyon ve rejeneratif potansiyel sergilemektedirler (Sonoyama vd., 2008). PDLSC'ler periodontal bölgeden izole edilir ve sementum ve periodontal ligament dokularının oluşumunu sağlayarak periodonsiyumun rejenerasyonuna katkıda bulunur (Seo vd., 2004). DFSC, gelişmekte olan dişlerden elde edilir ve periodontal ligaman, alveolar kemik ve sement oluşumunu sağlar (Yokoi vd., 2007). Dental kök hücreler in vitro koşullarda pulpa-dentin kompleksini oluşturabilir (G. T.-J. Huang & Lin, 2008). Bu nedenle, dişten elde edilen kök hücreler, özellikle DPSC, SHED ve SCAP dental pulpa ve dentin rejenerasyonu için en açık ve uygun hücre kaynaklarını temsil eder, çünkü pulpa dokusundan veya pulpa dokusunun öncüsünden türetilirler. DPSC, SHED ve SCAP'nin in vivo olarak hayvan modellerine transplante edildiğinde pulpa-dentin kompleksi oluşturduğu gösterilmiştir (S Gronthos vd., 2002; G.-J. Huang, Gronthos, & Shi, 2009; G. T.-J. Huang vd., 2010; Sonoyama vd., 2006). Klinik uygulama için potansiyel kullanımları, olog kaynaklardan veya allojenik biyobankalardan sıkı üretim süreçlerinden geçmelidir (Collart-Dutilleul, Chaubron, De Vos, & Cuisinier, 2015; Ducret vd., 2015). Diğer MSC kaynakları da diş pulpasını yenileme yetenekleri açısından incelenmiştir. Bunlar arasında, kemik iliği kökenli mezenkimal kök hücre (BMSC) ve yağ dokusu kökenli kök hücre, pulpa rejenerasyonu için potansiyel alternatif hücre kaynakları olarak sunulmuştur (Ishizaka, Iohara, Murakami, Fukuta, & Nakashima, 2012). Bununla birlikte, BMSC gibi dental kaynaklı olmayan MSC'nin odontoblastlara farklılaşp dentin-pulpa kompleksini yeniden oluşturup oluşturmayacağı tartışmalıdır (Hu vd., 2006). Dental kökenli olmayan MSC, uygun bir ortam oluşturulup yönlendirildiğinde dentin-pulpa hücrelerinin kaynağı olabilir, ancak pulpa-dentin kompleksini yeniden oluşturmak için kullanımları DPSC, SCAP veya SHED kullanımına göre daha az tercih edilir görünmektedir (Orti vd., 2018).

2.1.2. Embriyonik kök hücreler

ESC'ler, önceden implante edilmiş embriyolarda, gelişimin ilk 2 haftasından önce iç hücre kütesinden elde edilen pluripotent kök hücrelerdir. Rat veya farelerden elde edilen ESC'ler araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak klinik uygulamalar için ESC'lerin insan kaynaklı olması gerekir, bu durumlarda etik sorunlar ile karşılaşmaktadır. İnsan ESC'si ekstra embriyolardan (in vitro fertilizasyon) elde edilir ve farklılaşmamış durumda iken proliferasyon olabilirler. Yüksek diferansiyasyon kabiliyetleri, biyomedikal uygulamalar ve rejeneratif tıp için heyecan verici beklentiler doğurmuştur (Murry & Keller, 2008). Embriyonik kökenli kök hücrelerin, hücre tedavisi ve doku mühendisliği konusundaki büyük kapasiteleri olmasına rağmen, insan embriyolarının zarar görmesine neden olduğu için hassas bir etik tartışma yaratmaktadır. Şimdiye kadar, bu hücreler sadece deneysel sonuçların erken bir aşamasında dental uygulamalar için ve çoğunlukla pluripotent kök hücrelerin bir modeli olarak kullanılmıştır (Hiyama vd., 2013).

2.1.3. Umbilikal kord dan köken alan neonatal kök hücreler

Göbek kordonu ile oluşan neonatal dokular, noninvaziv tekniklerle doğumdan hemen sonra tedavi edilebilir. Neonatal kök hücreler, kordon kanından ve kan damarlarını çevreleyen mezenkimal matriksten elde edilebilir (Forraz & McGuckin, 2011). Kordon kanı hematopoietik kök hücrelerin geri kazanılmasına izin verirken önemli miktarda MSC içerir. Göbek kordonu tıbbi bir atık olarak kabul edilebileceğinden, gelecek vaat eden ve invazif olmayan bir MSC kaynağıdır. Dahası, birkaç çalışma göbek kordonundan MSC'nin olgunlaşmış MSC'den daha primitif, proliferatif ve immünosupresif olduğunu bildirmiştir (El Omar vd., 2014). Bu spesifik kök hücreler, odontoblast benzeri hücrelere farklılaşma kapasiteleri nedeniyle in vitro olarak değerlendirilmiştir (Y. Chen vd., 2015). Bununla birlikte, şimdiye kadar, endodonti ve pulpa rejenerasyonundaki gelişmiş in vivo / klinik uygulamalar için düşünülmemişlerdir.

2.1.4. İndüklenmiş pluripotent kök hücreler

iPSC'ler, Oct3 / 4, Sox2, c-Myc ve Klf4 transkripsiyon faktör genlerinin retroviral tanıtımı kullanılarak farklılaştırılmış hücrelerin yeniden programlanmasıyla (farklılaştırma) üretilir (Takahashi & Yamanaka, 2006). Bu iPSC'ler, çoğalma ve farklılaşma kapasiteleri bakımından ESC'lere benzerler (Okita, Ichisaka, & Yamanaka, 2007). Kapsamlı bir şekilde çoğalır ve neredeyse istenen her bir hücre tipine farklılaşarak insanlarda kullanılmak için sınırsız bir ikame hücre kaynağı sağlarlar. Bazı deneylerde iPSC kullanılarak, uygun koşullarda odontoblast benzeri hücrelerin farklılaşması sağlanıp ve diş germ benzeri yapılar oluşturmak üzerine çalışılmıştır (Hiyama vd., 2013; Liu, Li, & Xu, 2016). iPSC'nin dental epitel ile karşılıklı etkileşim yolu veya kemik morfogenetik proteini (BMP) -4 ve retinoik asit yolları ile odontoblasta farklılaşabildiği gösterilmiştir (Ozeki vd., 2013; Seki vd., 2015). Bugüne kadar, iPSC'ler deneylerin yalnızca erken bir aşamasında, esas olarak klinik uygulamalardan uzak kalan tüm diş rejenerasyonu konseptine yönelik olarak düşünülmüştür. Pluripotent kök hücreler olarak, farklılaşmamış hücrelerin transplantasyonundan sonra teratom oluşumu riskini önlemek için, bunların klinik kullanımları, zorunlu bir ön farklılaştırma aşamasına ve sıkı kontrole ihtiyaç duyar (Okita, Nagata, & Yamanaka, 2011).

2.2. Büyüme Faktörleri

Büyüme faktörleri spesifik sinyal yollarının indüksiyonu, hücre proliferasyonu, farklılaşması ve mineral birikimi gibi pulpa homeostazı ve diş morfogenezindeki her önemli hücresel olayı modüle eder (Takeuchi vd., 2015). Dentin üreten odontoblast tabakası ile vaskülarize ve innerve edilmiş pulpa dokusunu içeren fonksiyonel pulpa rejenerasyonu elde etmek için biyoaktif moleküllerin rolü büyüktür.

2.2.1. Kemik morfogenetik proteinleri(BMP)

BMP büyüme faktörü diş gelişiminde epitel dokusu ve mezenkim dokusunun etkileşimi, dişin kron modelinin oluşumunda önemli rol oynar (Gong, Heng, Lo, & Zhang, 2016; M Nakashima, 1994). Bazı çalışmalarda BMP-2, BMP-4 ve BMP-7'nin çeşitli hücrelerin odontoblast ve osteoblastlara proliferasyonu ve farklılaşmasında rol aldığı gösterilmiştir (K Iohara vd., 2004; Ozeki vd., 2017; Rutherford, 2001; Six, Lasfargues, & Goldberg, 2002). Ek olarak, ampute edilmiş pulpalarda, çeşitli koşullarda reperatif dentin oluşumunu indüklediği gösterilmiştir, ancak nekrotik pulpalarda rejeneratif

tedavideki uygulamaları pek geliştirilmemiştir (Casagrande vd., 2010; Rutherford & Gu, 2000).

2.2.2. Transforme edici büyüme faktörü-beta(TGF-B)

Büyük bir sinyal proteinleri ailesi olarak, immun cevap, kemotaksis, odontoblast farklılaşması, DPSC proliferasyonu ve farklılaşmasının yanı sıra dentin matrisinin üretimi ve salgılanması da dahil olmak üzere birçok hücrenel olayda yer alır (Bellamy, Shrestha, Torneck, & Kishen, 2016; Shimabukuro vd., 2009). Transforme büyüme faktörü B dentin-pulpa kompleksine sinyal göndererek ve rejenerasyonu sağlayan hücrenel yolları düzenler (G. T.-J. Huang vd., 2010).

2.2.3. Fibroblast Büyüme Faktörü(bFGF, FGF-2)

Fibroblast büyüme faktörü (FGF) çeşitli mezodermal ve nöroektodermal hücreleri etkileyebilir. FGF-2, proliferasyon, migrasyona yardımcı olur ve tek başına veya TGF B1 ile birlikte HDPC'nin odontoblastik farklılaşma potansiyelini artırır (He vd., 2008; Y.-S. Kim vd., 2010; Misako Nakashima & Akamine, 2005; J.-w. Yang, Zhang, Sun, Song, & Chen, 2015). Çeşitli doku iskelelerine dahil edilen FGF-2, dentin köprüsü oluşumu ve pulpa benzeri doku sentezi ile pulpa-dentin kompleksinin onarımında/rejenerasyonunda rol oynayabilir (Sakai vd., 2010).

2.2.4. Vasküler Endotelial Büyüme Faktörü(VEGF)

Doku rejenerasyonu sırasında kan damarı oluşumunun oksijen, beslenme, biyomolekül ve hücre taşınmasını desteklemek için önemi iyi bilinmektedir. VEGF, pulpa hücreleri tarafından üretilen ve anjiyogenez ve vaskülogenezi destekleyen dentin matrisinde salınan bir sinyal proteindir (Koichiro Iohara vd., 2009). VEGF'nin hem in vitro hem de in vivo olarak SHED' in anjiyojenik endotele farklılaşmasına aracılık ettiği gösterilmiştir (Mullane vd., 2008). SCAP ile birlikte VEGF yüklü polidioksan fiberlerin insan kök fragmanlarına implante edildiğinde anjiyogenezisi indüklediği görülmüştür. Kesilmiş insan diş pulpalarının rh-VEGF ile tedavi edildikten sonra mikrodamarlar yoğunluğunda artış ve neovaskülarizasyon tespit edilmiştir (Yadlapati vd., 2017).

Büyüme faktörleri, hücrelerin yerleşmesini indükleyerek hasarlı pulpadaki otolog kök hücreleri aktive edebilir ve ayrıca boş kök kanal boşluğuna uygun bir iskele ile enjekte edilen allojenik kök hücrelerin hücrenel süreçlerinde yer alırlar. Bu küçük proteinlerin nispeten kısa bir yarı ömre sahip olduğu düşünüldüğünde, onları uygun bir iskeleye yerleştirerek stabilize edilip sürekli salımları kontrol edebilir. Bununla birlikte, dentin matrisinin yanı sıra dental pulpası hücrelerinin de onarım işlemlerinde rol oynayan birçok biyoaktif molekül ürettiği açıktır. Rekombinant molekülleri uygulamak yerine bu faktörleri aktive etmek, klinik uygulamada pulpa iyileşmesi için muhtemelen daha uygulanabilir görünmektedir (Orti vd., 2018).

2.3. Doku İskeleleri

Doku iskelelerinin çeşitli özellikleri yerine getirmesi beklenir: hücrelerin doğru lokalizasyonunun desteklemelidir. Hücre-biyomateriyal etkileşimlerinin teşvik etmeli (hücre adezyonu ve ECM birikimi); oksijen, besin maddeleri, biyoaktif faktörler ve atık ürünlerin taşınmasına yardımcı olmalıdır. Hücre hayatta kalmasına, çoğalmasına ve farklılaşmasına katkıda bulunan uygun bir gözenek boyutuna, şekline ve hacmine sahip olmalıdır. Onarılmış doku oluşumundan sonra biyolojik olarak degrade olabilmelidir. Yeterli fiziksel ve mekanik mukavemete sahip olmalıdır ve çevredeki doku için anti-inflamatuar olmalı ve

toksik olmamalıdır (Gathani & Raghavendra, 2016). Bilimsel literatürde pulpanın rejenerasyonu ve onarımı için iskele olarak önerilen çok çeşitli biyomateriyaller bulunabilir.

2.3.1. Konaktan Elde Edilen İskeleler

2.3.1.1. Kanal içi kan pıhtısı

Kanamanın indüksiyonu ve kanal içi kan pıhtısı oluşumu, pulpa-dentin rejenerasyonunda bir iskele sağlamak için rejeneratif endodontide kullanılan güncel bir prosedürdür (Chrepa, Austah, & Diogenes, 2017). Kanal içi kan pıhtısının avantajları, hücrelerin migrasyonunu, farklılaşmasını, vaskülarizasyonu ve doku rejenerasyonunu desteklemek için gerekli büyüme faktörlerini içeren çapraz bağlı fibrinden oluşan otolog bir yapı iskelesi sağlaması ve yabancı cisim tepkisine neden olmaz (Chrepa vd., 2017; Dianat vd., 2017; Jadhav, Shah, & Logani, 2012).

Kanal içi pıhtı uygulamasında, kanal boşluğuna düzensiz kök hücre girişinin bir sonucu olarak öngörülemez klinik sonuçlarının yanı sıra bazı hastalarda kanama ve hemostazı başlatmada zorluklar yaşanabilir (Dianat vd., 2017).

Bu engeller, rejeneratif endodontide kan pıhtısı kullanımının ana sınırlamalarıdır ve daha uygun doku iskeleleri için araştırma çabalarını sürmektedir. Bununla birlikte, kanal içi pıhtının son derece olumlu ve klinik olarak uygulanabilir özellikleri göz önüne alındığında, güvenilirliğini artırmak için stratejilerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu stratejilerin geliştirilmesi ile kanal içi pıhtı oluşturulması yöntemi RET için altın standart olarak güvence altına alabilir (Raddall, Mello, & Leung, 2019).

2.3.1.2. Trombositten Zengin Plazma (PRP)

Trombositten zengin plazma (PRP), hem rejeneratif endodonti hem de diğer cerrahi doku rejenerasyon prosedürlerinde çok sayıda in vitro ve klinik çalışmada kullanılan otolog enjekte edilebilir bir doku iskelesidir (Jadhav vd., 2012; Torabinejad & Turman, 2011; Trevino vd., 2011). Endodontik tedaviye ihtiyaç duyan hastadan elde edilen kan test tüpü içerisinde antikoagülanlarla karıştırılır. Tüp daha sonra trombositleri ve lökositleri, yüksek yoğunlukları nedeniyle altta daha hızlı toplanan eritrositlerden ayırmak için bir santrifüjde döndürülür (Saucedo, Yaffe, Berschback, Hsu, & Kalainov, 2012). PRP daha sonra trombosit bakımından fakir plazmadan ayrılır ve ayrıca trombosit konsantrasyonunu fizyolojik trombosit konsantrasyonundan yaklaşık 5 kat daha yüksek olan 1 milyon / µL'ye kadar artırmak için işlenir (Jadhav vd., 2012; Saucedo vd., 2012; Trevino vd., 2011). PRP, trombositleri harekete geçiren ve degranülasyonu sağlayan kolajen sünger ile kanal boşluğuna taşınabilir (Trevino vd., 2011). Artmış trombosit sayısı, kök hücrelerin büyümesini ve proliferasyonu oranlarını artırmakta ve doku rejenerasyon sürecini hızlandırmakta daha fazla miktarda büyüme faktörünün salınmasına sağlamaktadır (Jadhav vd., 2012). PRP, başarılı bir RET için temel olan yüksek anjiyogenez ve revaskülarizasyon oranlarını içerir. Ayrıca PRP, yabancı cisim reaksiyonu ve patojen geçişi olmaması, sentetik doku iskelelerine göre uygun maliyetli olması ve servikal sızdırmazlığı nedeniyle ilgi çekici bir doku iskelesidir (Bezgin, Yılmaz, Celik, Kolsuz, & Sonmez, 2015; Jadhav vd., 2012). PRP doku iskelesi kullanımı çocuk hastalarda kan almada uyum problemi yaşanabileceği için sınırlıdır. Ayrıca klinik kullanımı için ek ekipman gerekmektedir. Büyüme faktörlerinin hızla salınması ve rejenerasyon süreci boyunca seviyeleri önemli ölçüde azaldığı için uzun süreli pulpa detin rejenerasyonu bu iskele kullanılarak tam ve uzun süreli

olarak yönlendirilememektedir (Bezgin vd., 2015; Trevino vd., 2011).

2.3.2. Doğal Kaynaklı Polimerik İskeleler

2.3.2.1. Aljinat

Aljinat, kahverengi deniz yosununun hücre duvarlarından ve hücre içi boşluklarından arındırılmış doğal bir polisakkarittir ve biyomateryal uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Venkatesan, Nithya, Sudha, & Kim, 2014). Aljinat hidrojeller, polisakkaritlerin suda çözünmeyen bir ağda iyonik köprüler oluşturmaları için iki değerli katyonlarla çapraz bağlanmasıyla oluşturulur (Lambricht vd., 2014). Kök hücreler bu işlem sırasında jellere ekilebilir ve işleminin gerçekleştiği kanal boşluğuna enjekte edilebilir.

Bu hızlı jelleşme ve diğer biyopolimerler ile iyi karışma özellikleri, aljinatın 3 boyutlu bir doku iskelesi olarak yaygın kullanımına katkıda bulunmuştur. Doku mühendisliği uygulamalarında aljinat yapı iskelelerinin popülaritesi, biyouyumluluğuna, uygun immünojenitesine, düşük maliyetine bağlanabilir (Zhang, Morsi, Wang, Li, & Ramakrishna, 2013).

Ancak, doğal biyomalzemelerin potansiyel patojen geçişi, ürün değişkenliği ve yetersiz mekanik dayanım gibi genel komplikasyonları görülmektedir. Yapılan bir çalışmada diğer doğal hidrojelere göre aljinat hidrojelde in vitro koşullarda kök hücrelerin canlılığının önemli ölçüde azaldığı ve in vivo koşullarda da en yüksek apoptoz seviyeleri görülmüştür (Lambricht vd., 2014).

2.3.2.2. Hyalüronik Asit ve Türevleri

HA, CD44 gibi kök hücre membran reseptörleri ile etkileşime girebilen hücre dışı matrisin (ECM) doğal bileşenleri olan alternatif D-glukuronik asit ve N-asetil-D-glukozamin birimlerinden oluşan bir glikozaminoglikandır ve hücresele göçü tetikleyen sinyal yollarını etkinleştirmektedir (Lambricht vd., 2014).

HA ekstrasellüler boşluğu ve matrisin morfolojisini korur (Inuyama vd., 2010). HA ve türevleri, biyouyumlulukları, biyolojik olarak degrade olabilmeleri, biyoaktiviteleri ve doğal pulpa-dentin ECM'sine benzeyen gözenekli yapılarının olması gibi çok sayıda avantaja sahiptir (Chang, Ahuja, Ma, & Liu, 2017). HA doku iskelelerinin sınırlamaları arasında nispeten düşük mekanik mukavemet göstermeleri, pulpa dentin kompleksinin rejenerasyonu için BMP-2 ve TGF-B1 ile birleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca bakteri içermesine bağlı olarak oluşan hipersensitivite reaksiyonları HA doku iskelelerinin başka bir komplikasyonudur (Friedman, Mafong, Kauvar, & Geronemus, 2002).

2.3.2.3. Kitosan Türevleri

Kitosan, ECM'nin bileşenlerine benzer olan ve yengeç ve karides gibi deniz kabuklularının dış iskeletinin ana bileşeni olan kitinin N-deasetilasyonu yoluyla elde edilen doğrusal, katyonik bir aminopolisakkarit biyopolimerdir (Feng vd., 2014; Shrestha, Torneck, & Kishen, 2016). Kitosan biyoaktif moleküllerin işlevselleşmesine yardımcı olabilmektedir ve ayrıca sitotoksik olmayan metabolitlere enzimatik ve hidrolitik reaksiyonlarla parçalanabilen reaktif amin gruplarına da sahiptir (Jung, Yoon, Lee, & Shin, 2015; Shrestha, Diogenes, & Kishen, 2015).

Kitosan, hücre göçü gibi süreçleri kolaylaştırmak için, düşük bir maliyetle kolayca yüksek gözenekli bir yapıya dönüştürülebilir. Alternatif olarak kitosan, doku rejenerasyonu için iyonotropik jelleşme yoluyla nanopartiküller formunda hazırlanabilir (Souto vd., 2016). Doku rejenerasyonu amacıyla, nanopartiküllerin geometrik özellikleri, diğer biyomateryaller formatlarına kıyasla hücrelerin adezyonu ve biyolojik aktiviteleri için artan yüzey alanı nedeniyle genellikle arzu edilir.

Kütle taşıma özellikleri ayarlanabilir ve doku rejenerasyon prosedürlerinde kök hücre farklılaşmasını desteklemek ve düzenlemek için kritik olan TGF-β1 gibi temel büyüme faktörlerinin kontrollü salım platformuna dönüştürülebilir (Shrestha vd., 2015).

Kitosanın avantajları arasında biyouyumluluğu, biyolojik olarak parçalanabilirliği, düşük sitotoksikite, düşük immünojenisite ve geniş spektrumlu antibakteriyel özellikleri bulunur (Shrestha vd., 2016; Souto vd., 2016). Ayrıca, kitosan nanopartikülleri mekanik olarak güçlüdür, bakteriyel enzimler tarafından bozunmaya dirençlidir ve güçlü kök kanalı antimikrobiyal ajanı NaOCl'ye maruz kalmış ortamlarda bile kök hücre adezyonu, canlılığını ve diferansiyasyonunu artırdığı gösterilmiştir (Shrestha vd., 2016). Bununla birlikte, kitosan kullanımı, olağandışı polikationik zinciri ve yüksek kristalli yapısından dolayı karmaşık jelleşme ve degradasyon şeması gösterdiği için komplikedir ve bu nedenle, doğal olarak oluşan formunda enjekte edilebilir bir doku iskelesi olarak potansiyel uygulama aralığını sınırlar (Chang vd., 2017).

2.3.3. Sentetik İskeleler

2.3.3.1. PLLA Nanofibröz Mikrosfer

Poli (L-laktik asit) (PLLA) nano fibroz mikrosferin (NF-MS) kök hücrelerin büyümesi için yeni enjekte edilebilen bir iskele olarak kullanımı yakın zamanda incelenmiştir (Wang vd., 2016). Kontrollü BMP-2 salımına sahip PLLA NF-MS'nin avantajları arasında enjekte edilebilirlikleri ve kök kanal morfolojisine uyum sağlama yetenekleri, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve büyüme faktörü ve ilaç katılımı potansiyeli bulunur. Kolajene benzer yapısı, yüksek gözeneklilik ve geniş yüzey alanıyla NF-MS, hücre adezyonunu, büyümesini ve ayrıca besin ve atık değişimini kolaylaştırır (Wang vd., 2016). Doku mühendisliğinde kullanılan diğer sentetik sistemler gibi, PLLA NF-MS sistemi de gözeneklerin çapı, morfolojisi ve yüzey özelliklerinin kontrolünü sağlamanın yanı sıra yabancı cisim reaksiyonuna neden olma olasılığı düşüktür (Ceccarelli vd., 2017). Wang ve ark. PLLA NF-MS iskelesinin yapısının istenen dentil tübülü oluşumuna rehberlik etmediği için oluşan düzensiz dokunun tedavinin başarısını etkileyecek bazı sınırlamaları olduğunu kaydedmiştir (Wang vd., 2016). Ayrıca PLLA NF-MS doku iskelesinin üretim maliyeti endojen ya da doğal olarak türetilmiş iskeleler düşünlüdüğünde oldukça yüksektir. PLLA 'nın degradasyonu sonrasında oluşan asidik ortam hücre canlılığını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, in vivo uygulamalarda hidrolitik bozunma hızının dikkatli kontrolü gereklidir.

2.3.3.2. PLGA-PEG Nanopartikülleri

Son zamanlarda, Poli (laktit-ko glikolid) -polietilen glikol (PLGA-PEG) nanopartikülleri, dental kök hücreler için doku iskelesi olarak araştırılmıştır (Shieh-zadeh vd., 2014). PEG, yüksek moleküler ağırlıklı absorpsiyona dirençli bir polieterdir (Ceccarelli vd., 2017). PLGA ile birlikte, bu iskele, hidrojel ve

aljinata kıyasla dental pulpa fibroblastlarının proliferasyonuna ve dental dokuların gelişimine daha elverişli olduğu bulunmuştur (Shiehzhadeh vd., 2014). Birçok biyomateryale kıyasla, PLGA-PEG nanopartiküllerinin çok sayıda avantajı vardır. Nanopartiküller, klinik olarak uygun sürelerde (haftalar / aylar) karbondioksit ve suya biyolojik olarak bozunabilir ve oda sıcaklığında şeffaf bir sıvı formundayken ve 37°C'de hızla opak bir jele dönüşebilir (Shiehzhadeh vd., 2014). PLGA-PEG nanopartikülleri ayrıca düşük toksisiteye, mükemmel biyoyumluluğa sahiptir ve minimum düzeyde immünojeniktir (Chang vd., 2017). Ek olarak, PEG bileşeni, residual bakterilerin biyomateryalin yüzeyine yapışmasını engelleyen bir özelliğe sahiptir (Chang vd., 2017). Bununla birlikte, doku mühendisliğinde kullanılan diğer sentetik skalalarda olduğu gibi, PLGA-PEG nanopartiküllerinin kullanımı da üretim ve standardizasyon maliyetleri nedeniyle sınırlıdır.

2.3.3.3. VitroGel 3D

Sentetik polisakarit hidrojel, VitroGel 3D, kanal içi sert doku birikimini ve RET'de devam eden kök gelişimini destekleme konusunda umut veren bir materyaldir. Pulpadaki ECM 'yi taklit edebilir, kanal morfolojisine uyum sağlar düşük immünojenite düşük sitotoksikite gösterir, biyobozunur bir malzemedir. Bununla birlikte diğer enjekte edilebilen doku iskelelerinde olduğu gibi VitroGel 3 D'de üretim aşamasındaki zorluklar ve maliyet klinik fizibilitesini engellemektedir (Raddall vd., 2019).

2.4. Organoidlerin Rejeneratif Dental Uygulamalarda Kullanımı

Organoidler, diğer mevcut hücre kültürü sistemleri kullanılarak modellenemeyen doku ve organların temel işlevlerini yeniden yapılandırmaya çalışan biyomühendislik uygulamalarıdır (França vd., 2020). Biyomedikal araştırmalarının bütün dallarında ve pratikte dişçilik dahil insan organları ve patolojilerinin modellenmesinde uygun sistemlere sürekli ihtiyaç vardır. Hayvan modelleri ve iki boyutlu insan hücre kültür sistemleri yeni hücre temelli ve farmasötik tedavilerin geliştirilmesinde geleneksel olarak birçok klinik öncesi çalışmada kullanılmıştır. Fakat klinik öncesi sonuçların etkin olarak kullanımı düşük kalmıştır. Bu da doğru insan-benzetim sistemlerinin ihtiyacını vurgulamaktadır. Sferoidler, orgnoidler, mikrofluidiklar ve çip üstü organ teknolojilerindeki son gelişmeler umut vaat etmektedir. Organoidler dokuya özgü fizyolojiyi modellemek ve anlamak için giderek daha fazla kullanılan, birincil kök hücreler ve dokular tarafından elde edilen üç boyutlu kültür sistemleridir. Sistemin üç boyutlu yapısı, dokuya özgü heterojen hücre tiplerini oluşturan karmaşık hücre-hücre etkileşimlerinin ve oksijen, besin ve çözünür sinyal gradyanlarının kurulmasına izin verir (Orsini, Pagella, Putignano, & Mitsiadis, 2018).

Çip üstü organ, epitelyal, mezenkimal, endotel ve nöronal hücreler ve/veya dokular gibi organa özgü elementlerin kültürlendiği farklı odalardan oluşan mikroakışkan veya nanoakışkan cihazlardır. Organizmaya özel karmaşık fizyolojik ve patolojik süreçlerin modellenmesine ve analizine izin veren elektrikli uyaranların yanı sıra, gözenekli membranlar, farklı odalar arasında moleküler geçişe izin verirken, kan dolaşımı, zenginleştirilmiş ve özel ortamın düzenlenmiş akışı ile simüle edilir. Bu cihazlar, fizyolojik hareketleri ve gerilimleri yeniden oluşturmak için mekanik kuvvetleri birleştirebilir (Bhatia & Ingber, 2014) Daha da önemlisi, dolaşımdaki bağıklık hücreleri ve hatta canlı mikrobiyomlar, karmaşık organ düzeyindeki tepkileri taklit etmek için bu cihazlara entegre edilebilir (Ingber,

2016). Bu cihazlar, in vivo olarak sistematik olarak çalışılması çok zor olan ve çok hücreli sistemler, hücre-hücre/hücre-matris etkileşimlerini, doku mekaniğini ve dental pulpa gibi kompleks dokularda doğal olarak bulunan sıvı akış koşullarını sistematik ve tekrarlanabilir şekilde çoğaltmayı mümkün kılar ve doğrudan deneysel kontrol sağlar (Huh, Torisawa, Hamilton, Kim, & Ingber, 2012).

Çip üstü organ modellerinde yapılanlara benzer şekilde, çip üstü diş, dentin-pulpa dokusunun çok çeşitli sistematik araştırmaların yapılmasını sağlamıştır. Çip üzerine diş modelinin gelişimi ve karakterizasyonu ile ilgili bir çalışmada; dental pulpanın dentin ile doğrudan bir arayüz oluşturduğu ve dentin tübülleri yoluyla ağız boşluğu ile gerçek bir pulpa boşluğunda olduğu gibi dolaylı temas oluşturduğu, diş ve eksojen oral bileşenler (bakteriler, dental materyaller, tükürük, ağız bakım ürünleri) arasında kontrol edilebilir bir arayüz oluşumunu mümkün kılacak şekilde tasarlanabileceği ortaya konmuştur (França vd., 2020). Bu bileşenler, geçirgen bir bariyer görevi görecektir olan dentin ile doğrudan temas ettirilebilir ve alta yatan canlı dental pulpa ile dolaylı bir arayüz oluşturulabilir. Bu arayüzlerin çoğu, diş pulpasının mevcut modellerinde bir dereceye kadar çoğaltılmıştır (Camilleri, Laurent, & About, 2014). Bununla birlikte, çip üstü diş, pulpa dokusunun eksojen bileşenlere anlık tepkisinin gerçek zamanlı, sürekli ve kontrol edilebilir koşullar altında değerlendirilmesini ve ölçülmesini sağlar, bu da benzersiz bir avantajdır. Dahası, cihaz geleneksel bir USB sürücüsünden daha küçük olduğu için, bir yanıtı değerlendirmek için gereken hacimler çok küçüktür ve bu da deneylerin maliyetlerini daha da düşürür ve verimi artırır (Bertassoni, 2020). Çip üstü diş modelinin fonksiyonunun gösterilmesi amaçlanan bir çalışmada dentin içine gömülü yayılabilir matris faktörlerinin vaskülojenik aktivitesini belirlemek için dentine yönelik sıvı akışı kullanılarak bir dakika süreyle EDTA uygulanmış, endotelial ve mezenkimal kök hücrelerin ortak kültürü ile yüklenmiş bir hidrojel içine yerleştirilmiştir. Sonuçlar sıvı akışı olmayan örneklerle karşılaştırıldığında dentine yönelik sıvı akışı kullanılan örneklerde vaskülarizasyonun daha iyi ve hızlı olduğu gözlemlenmiştir (Franca, 2020). Yapılan bir çalışmada mezenkimal kökenli hücreler kullanılarak dentin-pulpa benzeri organoidler farklı kültür koşulları altında üretilmeye çalışılmıştır. Odontojenik farklılaşma ortamında 11 gün sonramineralizasyon ve odontoblastik farklılaşma görülmüştür. Sonuçta mezenkimal kök hücreleri kullanılarak dentin-pulpa benzeri organoidlerin üretiminin, gelecekte rejeneratif dental uygulamalar için yeni bir araştırma aracı olma potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Jeong vd., 2020). Sonuç olarak, çip üstü diş, pulpa-dentin arayüzünü in-vivo olarak taklit eden, gerçek zamanlı olarak ve bu etkileşimlerin meydana geldiği bağlamda insan pulpası hücre yanıtlarının araştırılmasına olanak tanıyan oldukça kontrol edilebilir bir üç boyutlu ortam sağlar.

2.5. Rejenerasyon: Tedavi Seçeneği mi Yoksa Kanserin Kökeni mi?

Rejenerasyon terimi, fiziksel veya işlevsel olarak kaybolan hücrelerin, dokuların ve organların iyi koordine edilmiş bir restorasyonunu ifade eder. Bu onarım süreci, fizyolojik ve yapısal değişiklikleri yönlendirmek için, aynı anda yeni oluşan ve önceden var olan dokular arasında fonksiyonel entegrasyonu sağlarken, eksik yapıların tanınmasını ve yenilenmesini sağlamalıdır. Hücresel çoğaltmayı içeren rejenerasyon, hücre döngüsünü verimli bir şekilde düzenleme kapasitesine sahip

sinyaller gerektirir (Alvarado, 2000; Odelberg, 2002). Rejenerasyon sürecine katılan hücreler tam olarak ihtiyaç duyulan alanlara yönlendirilmelidir ve rejenerasyon tamamlandığında, rejeneratif başarıyı ve sinyal sonlandırmayı bildirmek için özel uyarıcılar gerekir. Aksi takdirde, ilk tepki süresiz olarak devam edecek ve vücut homeostazi için istenmeyen sonuçlara neden olacaktır (Oviedo & Beane, 2009).

Rejenerasyon aslında birbirinin tersi olarak hem anormal büyümenin kaynağına katkıda bulunabilir hem de büyüme anormalliklerini önlemek ve düzeltmek için bir yol sağlayabilir. Rejeneratif tedaviler ve malignite (kötü huylu) iki hipotez ile özetlenmektedir: 1) Malign tümörlerin oluşumu, bozulmuş veya eksik bir rejeneratif süreçten kaynaklanır. 2) Rejenerasyon süreci, kötü huylu hücrelerin otonom büyümesini kontrol altına alabilir (Oviedo & Beane, 2009). İlk hipotez büyük ölçüde memelilerde lokal doku onarımı gözlemlerine dayanmaktadır; burada kronik hasara veya hipoksik koşullara maruz kalan epitel yüzeyleri ve iltihaplanma, rejeneratif yanıt sırasında büyüme sapmalarına neden olur (Kluwe, Mencin, & Schwabe, 2009; Oviedo & Beane, 2009). İkinci hipotez, tersine, rejenerasyon sırasında indüklenen hücre proliferasyonunun ardından morfojenetik süreçler gelirse, rejenerasyonun anormal büyüme ve daha şaşırtıcı bir şekilde, maligniteleri tersine çevirme ve morfojenetik yeniden kazanma potansiyeline sahip olduğunu öne sürmektedir (Oviedo & Beane, 2009). Kök hücreler çeşitli özel dokular oluşturabilir ve klinik uygulamalar için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kök hücreler de kanserli dokularda bulunur ve kanserin ilerlemesi ve metastazında rol oynar. Doğan ve ark. (Doğan, Demirci, Apdik, Apdik, & Şahin, 2017) yaptığı bir çalışmada dental pulpa kökenli kök hücrelerin prostat kanseri üzerine etkisi in vitro koşullarda değerlendirilmiştir. Sonuçta dental pulpa kökenli kök hücrelerin prostat kanseri hücrelerinin göçünü artırarak malign hücrelerin çoğalmasını artırdığı bildirilmiştir.

Sinyal molekülleri, rejeneratif süreçleri düzenledikleri için doku mühendisliğinde önemli bir rol oynarlar. Kemik morfojenetik proteinleri (BMP'ler), TGF- β üst ailesinin üyeleridir. Son yapılan çalışmalarda BMP'ler yüksek kanser riski ile ilişkilendirilip, kanser oluşumunun doza bağlı olabileceği ve klinik kullanımı için klavuzlara ihtiyaç duyulabileceği vurgulanmaktadır (Chrastil, Low, Whang, & Patel, 2013; DeVine, Dettori, France, Brodt, & McGuire, 2012). Doku mühendisliği yaklaşımlarında enamel, dentin ve pulpa doku rejenerasyonu, içlü takım gibi düşünülebilecek doku iskeleleri, öncü/kök hücreler ve büyüme faktörlerinin kullanımı ile bağlantılı araştırılmaktadır (Ahmed vd., 2020). Rejeneratif uygulamalarda ve kanserde etkili tedaviler geliştirmek için hücre büyümesini kontrol eden etmenlerin daha iyi anlaşılması çok önemlidir. Rejeneratif endodontik tedavinin mutajenik ve karsinojenik potansiyelinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalara ihtiyaç vardır.

3. Tedavi Prosedürü

AAE (Amerika Endodontist Derneği) Rejeneratif endodontik Tedaviler için klinik uygulamalarda kullanılmak üzere tedavi prosedürü oluşturmuştur. Bu prosedüre göre vaka seçiminden kontrol seanslarına göre izlenmesi gereken yollar şu şekilde olmalıdır (Endodontics, 2018).

3.1. Vaka seçimi

Vaka seçiminde nekrotik pulpası olan ve kök gelişimini tamamlamamış dişleri olan, kullanılacak ilaç ve antibiyotiklere alerjisi olmayan (ASA 1 ve 2), uyumlu hasta ve ebeveynler

olmasına dikkat edilmelidir. Hastalar ve velileri tedavi sürecinde en az 2 randevu olduğu, dişlerde renklenme oluşabileceği, tedavinin başarısız olup ağrı ve enfeksiyon oluşabileceği ve bu durumlarla karşılaşılırsa MTA apeksifikasyon, tedavi edilmeme ve çekim gibi alternatif tedavi seçenekleri konusunda bilgilendirilmeli ve onamları alınmalıdır.

3.2. İlk randevu

Lokal anestezi uygulanmasının ardından rubberdam ile izolasyon sağlanır ve giriş kavitesi açılır. Kök kanalları %1.5'lik NaOCl solüsyonu ile 5 dk boyunca her kanal için 20 ml olacak şekilde nazik ve bolca irriga edilir. İrrigasyon solüsyonunun periapikal dokulara taşmasını önlemek için kapalı uçlu yan delikli iğne ya da ENdovac sistemi kullanılabilir. Sonrasında her kanal için 5 dk boyunca 20 ml steril salin solüsyonu veya EDTA ile kanallar irriga edilir. İrrigasyon solüsyonlarının periapikal dokular için sitotoksik etki oluşturmaması için irrigasyon kök ucundan 1 mm kısa olacak şekilde gerçekleştirilir. Kanallar kağıt konlarla kurulanır. Sonrasında kanallar içine kalsiyum hidroksit ya da düşük konsantrasyonda üçlü antibiyotik patı (TAP) yerleştirilir. Üçlü antibiyotik patı kullanılacaksa renklenme olasılığını en aza indirmek için pulpa odasına bond uygulaması yapılabilir. Üçlü antibiyotik patı 1:1:1 oranında metronidazol, siprofloksasin, minosiklin olacak şekilde nihai konsantrasyon 0.1-1 mg/ml olana kadar karıştırılır. Üçlü antibiyotik patı dişte oluşan renklenme ile ilişkilendirilmiştir. Kök kanallarının dezenfekte edilmesinde minosiklin içermeyen 2'li antibiyotik patı (metronidazol, ciprofloksasin) ya da minosiklin yerine farklı bir alternatif (klindamisin, amoksisilin, sefaklor) kullanılabilir. Eğer üçlü antibiyotik patı tercih edildiye renklemeyi önlemek adına patın mine-sement sınırının altında yer almasına dikkat edilmelidir. Giriş kavitesi 3-4 mm kalınlığında olacak şekilde Cavit, IRM, cam iyonomer ya da herhangi bir geçici restorasyon malzemesi ile kapatılıp hastaya 1-4 hafta sonraya randevu verilir.

3.3. İkinci randevu (ilk ziyaretten 1-4 hafta sonra)

İlk tedaviye yanıt değerlendirilir. Kalıcı bir enfeksiyonun semptomları mevcut ise antimikrobiyal tedaviye ek tedavi süresi ve alternatif antimikrobiyal tedavi seçenekleri düşünülmelidir. Vazokonstriktör içermeyen %3'lük mepivacain uygulanarak anestezi yapıp, rubber dam ile izolasyon sağlanır. 20 ml %17 EDTA ile bol ve nazik irrigasyon yapılır. Kağıt konlarla kurulanır. Mine-sement sınırına kadar kök kanalının tamamının kanla dolmasını sağlamak için K tipi eğe ile kök kanalından 2 mm uzun olacak şekilde over enstrümantasyon yapılır. Kan pıhtısı oluşumunda alternatif olarak trombositten zengin plazma (PRP), trombositten zengin fibrin (PRF) veya otolog fibrin matriks (AFM) kullanılabilir. 3-4 mm restoratif materyal uygulamaya yetecek düzeye kadar kanama durdurulur. Gerekirse kan pıhtısı üzerine CollaPlug™, Collacote™, CollaTape™ gibi rezorbe olabilen bir matris ve kapatma malzemesi olarak beyaz MTA yerleştirilir. Kapatma malzemesinin üzerine 3-4 mm kalınlığında cam iyonomer siman (e.g. Fuji IX™, GC America, Alsip, IL) uygulanır ve 40 sn süre ile ışınlanır. MTA renklenme ile ilişkilendirilmektedir. Estetik kaygının yüksek olduğu durumlarda MTA'ya alternatif olarak bioseramik ve trikalsiyum silikat simanlar [örn., Biodentine®, Septodont, Lancasted, PA, ABD] düşünülmelidir.

3.4. Takip

Klinik ve radyolojik değerlendirme

- Ağrı, yumuşak doku şişliği, fistül yolu olmamalı (Sıklıkla birinci ve ikinci randevular arasında gözlenir.)

- Apikal radyölüsensinin azalması (genellikle tedaviden 6-12 ay sonra görülür)
- Kök duvarlarının genişliğinde artış (bu genellikle kök uzunluğundaki belirgin artıştan önce görülür ve genellikle tedaviden 12-24 ay sonra ortaya çıkar).
- Kök uzunluğu artması
- Vitalite testlerine yanıt değerlendirilmelidir.

Rejeneratif Endodontik Prosedürlerin başarısı büyük oranda birincil, ikincil ve üçüncül hedeflere ulaşmanın mümkün olduğu ölçüde ölçülür:

- Birincil hedef: Semptomların ortadan kaldırılması ve kemik iyileşmesinin kanıtları
- İkincil hedef: Kök duvar kalınlığının artması ve / veya kök uzunluğunun artması (arzu edilir, ancak belki gerekli değildir)
- Üçüncül hedef: Vitalite testine pozitif yanıt (eğer başarılırsa, daha organize bir vital pulpa dokusunu gösterebilir)

Yapılan çalışmalarda Rejeneratif endodontik tedavinin birincil amacı olan enfeksiyonun bulgu ve semptomlarının ortadan kalkıp kemik iyileşmesinin gerçekleşmesi genel olarak ulaşılabilir bir hedef olduğu gösterilmiştir (Y. P. Chen, Jovani-Sancho, & Sheth, 2015). Son zamanlarda yapılan iki sistematik inceleme RET'in birincil amacına yüksek olasılıklarla (%91-94 oranında periapikal iyileşme) güvenilir bir şekilde ulaşılabileneğini göstermiştir (Tong vd., 2017; Torabinejad, Nosrat, Verma, & Udochukwu, 2017). Çalışmaların çoğunda, RET 'in ikincil amaç olan kanal duvarlarının kalınlaşmasını ve / veya nekrotik pulpalı olgunlaşmamış kalıcı dişlerin devam eden kök gelişimini teşvik etme potansiyeline sahip olduğunu bildirilmiştir. Bununla birlikte, bu gözlemler, nekrotik pulpalı olgunlaşmamış kalıcı dişlerin RET'inden sonra her zaman öngörülebilir değildir (Alobaid vd., 2014; M. H. Chen vd., 2012; Kahler vd., 2014; Tong vd., 2017). Yapılan araştırmalarda nekrotik pulpalı olgunlaşmamış kalıcı dişlerin RET'den sonra üçüncül hedef olan pulpa duyarlılığı testine pozitif yanıtın geri dönüşünün yayınlanan vakaların % 50-60'ında olduğu bildirilmiştir (Diogenes, Henry, Teixeira, & Hargreaves, 2013; Diogenes & Ruparel, 2017).

Rejeneratif endodontik tedaviden sonra dişin renginin değişmesinin potansiyel olarak ciddi bir komplikasyon olduğu bildirilmiştir (Kahler & Rossi-Fedele, 2016). Renk değişikliği, TAP'de minosiklin varlığı ile ilişkilendirilmiştir (J.-H. Kim, Kim, Shin, Park, & Jung, 2010). Bu amaçla minosiklin içermeyen 2'li antibiyotik patı(metronidazol, ciprofloksasin) ya da minoksiklin yerine farklı bir alternatif (klindamisin, amoksisilin, sefaklor) kullanılabilir (Endodontics, 2018). MTA kullanımı da renk değişikliğine yol açabilmektedir (Parirokh & Torabinejad, 2010). Renklenme olasılığını en aza indirmek için MTA yerine Biodentin kullanılabileceği bildirilmiştir (Marconyak Jr vd., 2016; Yoldaş, Bani, Atabek, & Bodur, 2016). Vaka raporlarının çoğunda iyileşme, sert doku birikimi ve değişen derecelerde devam eden kök gelişimi bildirilmiştir. Bununla birlikte, rejeneratif prosedürlerden sonra bazı olumsuz sonuçlarda bulunmaktadır (Gomes-Filho vd., 2012; Reynolds, Johnson, & Cohenca, 2009). Renklenme, ağrı, kök oluşumunun devam etmemesi, kısmi kanal obliterasyonu, enfeksiyon ve kırık oluşumu rapor edilmiştir (Alobaid vd., 2014; Jeeruphan vd., 2012; Kahler vd., 2014; Petrino, Boda, Shambarger, Bowles, & McClanahan, 2010).

Ayrıca insan dişlerinin kök kanal boşluğunda oluşan dokunun histolojik değerlendirmesi ile ilgili net veriler olmamasına rağmen hayvanlarda üzerinde yapılan değerlendirmeler bulunmaktadır. Bu değerlendirmelerin sonucuna göre kök kanal

duvarlarının kalınlaşmasından sorumlu olana dokunun sement, kemik ve periodontal ligament benzeri doku olduğu saptanmıştır (Nosrat, Seifi, & Asgary, 2011). Bu durum uzun dönemde pulpa boşluğunda bulunan farklı tipteki dokunun nasıl bir davranış göstereceği sorusunu ortaya çıkarmıştır.

4. Sonuç

Rejeneratif endodontik tedavi alanında yapılan birçok çalışma oldukça umut verici olsa da şu anda kullanılan teknikler açısından halen daha gelişme aşamasındadır. Önerilen biyomalzemeler ve yöntemlerin avantajları yanında klinik fizibiliteyi açısından da ayrıntılı değerlendirilmesi önemlidir. Özellikle hücre bazlı doku mühendisliği uygulamaları ile ilgili araştırmalarla rejeneratif endodontinin geliştirilmesi, çekim ve implant uygulaması gibi daha karmaşık yöntemlere olan ihtiyacı ortadan kaldırılabılır. Bu işlemlerle ilgili güçlü bilimsel kanıtlar geliştirmek için daha fazla araştırma ve klinik çalışmaya ihtiyaç vardır.

Kaynakça

- Alobaid, A. S., Cortes, L. M., Lo, J., Nguyen, T. T., Albert, J., Abu-Melha, A. S.,...Gibbs, J. L. (2014). Radiographic and clinical outcomes of the treatment of immature permanent teeth by revascularization or apexification: a pilot retrospective cohort study. *Journal of endodontics*, 40(8), 1063-1070.
- Alvarado, A. S. (2000). Regeneration in the metazoans: why does it happen? *Bioessays*, 22(6), 578-590.
- Andreasen, J. O., Farik, B., & Munksgaard, E. C. (2002). Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dental Traumatology*, 18(3), 134-137.
- Bellamy, C., Shrestha, S., Torneck, C., & Kishen, A. (2016). Effects of a bioactive scaffold containing a sustained transforming growth factor- β 1-releasing nanoparticle system on the migration and differentiation of stem cells from the apical papilla. *Journal of endodontics*, 42(9), 1385-1392.
- Bertassoni, L. E. (2020). Progress and Challenges in Microengineering the Dental Pulp Vascular Microenvironment. *Journal of Endodontics*, 46(9), S90-S100.
- Bezgin, T., Yilmaz, A. D., Celik, B. N., Kolsuz, M. E., & Sonmez, H. (2015). Efficacy of platelet-rich plasma as a scaffold in regenerative endodontic treatment. *Journal of endodontics*, 41(1), 36-44.
- Bhatia, S. N., & Ingber, D. E. (2014). Microfluidic organs-on-chips. *Nature biotechnology*, 32(8), 760-772.
- Camilleri, J., Laurent, P., & About, I. (2014). Hydration of biodentine, theracal lc, and a prototype tricalcium silicate-based dentin replacement material after pulp capping in entire tooth cultures. *Journal of Endodontics*, 40(11), 1846-1854.
- Casagrande, L., Demarco, F., Zhang, Z., Araujo, F., Shi, S., & Nör, J. (2010). Dentin-derived BMP-2 and odontoblast differentiation. *Journal of dental research*, 89(6), 603-608.
- Ceccarelli, G., Presta, R., Benedetti, L., Cusella De Angelis, M. G., Lupi, S. M., & Rodriguez y Baena, R. (2017). Emerging perspectives in scaffold for tissue engineering in oral surgery. *Stem Cells International*, 2017.
- Chang, B., Ahuja, N., Ma, C., & Liu, X. (2017). Injectable scaffolds: Preparation and application in dental and craniofacial regeneration. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 111, 1-26.
- Chen, M. H., Chen, K. L., Chen, C. A., Tayebaty, F., Rosenberg, P., & Lin, L. (2012). Responses of immature permanent teeth

- with infected necrotic pulp tissue and apical periodontitis/abscess to revascularization procedures. *International endodontic journal*, 45(3), 294-305.
- Chen, Y., Yu, Y., Chen, L., Ye, L., Cui, J., Sun, Q.,...Liu, L. (2015). Human umbilical cord mesenchymal stem cells: a new therapeutic option for tooth regeneration. *Stem Cells International*, 2015.
- Chen, Y. P., Jovani-Sancho, M. d. M., & Sheth, C. C. (2015). Is revascularization of immature permanent teeth an effective and reproducible technique? *Dental Traumatology*, 31(6), 429-436.
- Chrastil, J., Low, J. B., Whang, P. G., & Patel, A. A. (2013). Complications associated with the use of the recombinant human bone morphogenetic proteins for posterior interbody fusions of the lumbar spine. *Spine*, 38(16), E1020-E1027.
- Chrepa, V., Austah, O., & Diogenes, A. (2017). Evaluation of a commercially available hyaluronic acid hydrogel (Restylane) as injectable scaffold for dental pulp regeneration: an in vitro evaluation. *Journal of endodontics*, 43(2), 257-262.
- Chueh, L.-H., & Huang, G. T.-J. (2006). Immature teeth with periradicular periodontitis or abscess undergoing apexogenesis: a paradigm shift. *Journal of endodontics*, 32(12), 1205-1213.
- Collart-Dutilleul, P.-Y., Chaubron, F., De Vos, J., & Cuisinier, F. J. (2015). Allogenic banking of dental pulp stem cells for innovative therapeutics. *World journal of stem cells*, 7(7), 1010.
- DeVine, J. G., Dettori, J. R., France, J. C., Brodt, E., & McGuire, R. A. (2012). The use of rhBMP in spine surgery: is there a cancer risk? *Evidence-based spine-care journal*, 3(2), 35.
- Dianat, O., Mashhadi Abas, F., Paymanpour, P., Eghbal, M. J., Haddadpour, S., & Bahrololumi, N. (2017). Endodontic repair in immature dogs' teeth with apical periodontitis: blood clot vs plasma rich in growth factors scaffold. *Dental Traumatology*, 33(2), 84-90.
- Diogenes, A., Henry, M. A., Teixeira, F. B., & Hargreaves, K. M. (2013). An update on clinical regenerative endodontics. *Endodontic Topics*, 28(1), 2-23.
- Diogenes, A., & Ruparel, N. B. (2017). Regenerative endodontic procedures: clinical outcomes. *Dental Clinics*, 61(1), 111-125.
- Discher, D. E., Mooney, D. J., & Zandstra, P. W. (2009). Growth factors, matrices, and forces combine and control stem cells. *Science*, 324(5935), 1673-1677.
- Doğan, A., Demirci, S., Apdik, H., Apdik, E. A., & Şahin, F. (2017). Dental pulp stem cells (DPSCs) increase prostate cancer cell proliferation and migration under in vitro conditions. *Tissue and Cell*, 49(6), 711-718.
- Dominici, M., Le Blanc, K., Mueller, I., Slaper-Cortenbach, I., Marini, F., Krause, D.,...Horwitz, E. (2006). Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement. *Cytotherapy*, 8(4), 315-317.
- Ducret, M., Fabre, H., Farges, J.-C., Degoul, O., Atzeni, G., McGuckin, C.,... Perrier-Groult, E. (2015). Production of human dental pulp cells with a medicinal manufacturing approach. *Journal of endodontics*, 41(9), 1492-1499.
- El Omar, R., Beroud, J., Stoltz, J.-F., Menu, P., Velot, E., & Decot, V. (2014). Umbilical cord mesenchymal stem cells: the new gold standard for mesenchymal stem cell-based therapies? *Tissue Engineering Part B: Reviews*, 20(5), 523-544.
- Endodontics, A. A. o. (2018). AAE Clinical Considerations for a Regenerative Procedure.
- Feng, X., Lu, X., Huang, D., Xing, J., Feng, G., Jin, G., . . . Nie, D. (2014). 3D porous chitosan scaffolds suit survival and neural differentiation of dental pulp stem cells. *Cellular and molecular neurobiology*, 34(6), 859-870.
- Forraz, N., & McGuckin, C. (2011). The umbilical cord: a rich and ethical stem cell source to advance regenerative medicine. *Cell Proliferation*, 44, 60-69.
- França, C. M., Tahayeri, A., Rodrigues, N. S., Ferdosian, S., Rontani, R. M. P., Sereda, G.,...Bertassoni, L. E. (2020). The tooth on-a-chip: a microphysiologic model system mimicking the biologic interface of the tooth with biomaterials. *Lab on a Chip*, 20(2), 405-413.
- Frank, A. L. (1966). Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation. *The Journal of the American Dental Association*, 72(1), 87-93.
- Friedman, P. M., Mafong, E. A., Kauvar, A. N., & Geronemus, R. G. (2002). Safety data of injectable nonanimal stabilized hyaluronic acid gel for soft tissue augmentation. *Dermatologic Surgery*, 28(6), 491-494.
- Galler, K., Krastl, G., Simon, S., Van Gorp, G., Meschi, N., Vahedi, B., & Lambrechts, P. (2016). European Society of Endodontology position statement: revitalization procedures. *International endodontic journal*, 49(8), 717-723.
- Gathani, K. M., & Raghavendra, S. S. (2016). Scaffolds in regenerative endodontics: A review. *Dental research journal*, 13(5), 379.
- Geraldine M. Ahmed, ve ark., Review Article; Tissue Engineering Approaches for Enamel, Dentin, and Pulp Regeneration: An Update, *Hindawi, Stem Cells International*, Volume 2020, Article ID 5734539, 15 pages, <https://doi.org/10.1155/2020/5734539>.
- Gomes-Filho, J. E., Duarte, P. C. T., de Oliveira, C. B., Watanabe, S., Lodi, C. S., Cintra, L. T. Â., & Bernabé, P. F. E. (2012). Tissue reaction to a triantibiotic paste used for endodontic tissue self-regeneration of nonvital immature permanent teeth. *Journal of endodontics*, 38(1), 91-94.
- Gong, T., Heng, B. C., Lo, E. C. M., & Zhang, C. (2016). Current advance and future prospects of tissue engineering approach to dentin/pulp regenerative therapy. *Stem Cells International*, 2016.
- Gronthos, S., Brahim, J., Li, W., Fisher, L., Cherman, N., Boyde, A.,...Shi, S. (2002). Stem cell properties of human dental pulp stem cells. *Journal of dental research*, 81(8), 531-535.
- Gronthos, S., Mankani, M., Brahim, J., Robey, P. G., & Shi, S. (2000). Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(25), 13625-13630.
- He, H., Yu, J., Liu, Y., Lu, S., Liu, H., Shi, J., & Jin, Y. (2008). Effects of FGF2 and TGFβ1 on the differentiation of human dental pulp stem cells in vitro. *Cell biology international*, 32(7), 827-834.
- Heithersay, G. S. (1975). Calcium hydroxide in the treatment of pulpless teeth with associated pathology. *International endodontic journal*, 8(2), 74-93.
- Hiyama, T., Ozeki, N., Mogi, M., Yamaguchi, H., Kawai, R., Nakata, K., Nakamura, H. (2013). Matrix metalloproteinase-3 in odontoblastic cells derived from ips cells: unique proliferation response as odontoblastic cells derived from ES cells. *PloS one*, 8(12), e83563.
- Hu, B., Unda, F., Bopp-Kuchler, S., Jimenez, L., Wang, X., Haikel, Y.,...Lesot, H. (2006). Bone marrow cells can give rise to ameloblast-like cells. *Journal of dental research*, 85(5), 416-421.

- Huang, G.-J., Gronthos, S., & Shi, S. (2009). Mesenchymal stem cells derived from dental tissues vs. those from other sources: their biology and role in regenerative medicine. *Journal of dental research*, 88(9), 792-806.
- Huang, G. T.-J., & Lin, L. M. (2008). Letter to the editor: Comments on the use of the term “revascularization” to describe. *Journal of endodontics*, 34(5), 511.
- Huang, G. T.-J., Yamaza, T., Shea, L. D., Djouad, F., Kuhn, N. Z., Tuan, R. S., & Shi, S. (2010). Stem/progenitor cell-mediated de novo regeneration of dental pulp with newly deposited continuous layer of dentin in an in vivo model. *Tissue Engineering Part A*, 16(2), 605-615.
- Huang, G. T. (2009). Pulp and dentin tissue engineering and regeneration: current progress. *Regenerative medicine*, 4(5), 697-707.
- Huh, D., Torisawa, Y.-s., Hamilton, G. A., Kim, H. J., & Ingber, D. E. (2012). Microengineered physiological biomimicry: organs-on-chips. *Lab on a Chip*, 12(12), 2156-2164.
- Ingber, D. E. (2016). Reverse engineering human pathophysiology with organs-on-chips. *Cell*, 164(6), 1105-1109.
- Inuyama, Y., Kitamura, C., Nishihara, T., Morotomi, T., Nagayoshi, M., Tabata, Y.,...Terashita, M. (2010). Effects of hyaluronic acid sponge as a scaffold on odontoblastic cell line and amputated dental pulp. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 92(1), 120-128.
- Iohara, K., Nakashima, M., Ito, M., Ishikawa, M., Nakasima, A., & Akamine, A. (2004). Dentin regeneration by dental pulp stem cell therapy with recombinant human bone morphogenetic protein 2. *Journal of dental research*, 83(8), 590-595.
- Iohara, K., Zheng, L., Ito, M., Ishizaka, R., Nakamura, H., Into, T.,...Nakashima, M. (2009). Regeneration of dental pulp after pulpotomy by transplantation of CD31-/CD146-side population cells from a canine tooth.
- Ishizaka, R., Iohara, K., Murakami, M., Fukuta, O., & Nakashima, M. (2012). Regeneration of dental pulp following pulpectomy by fractionated stem/progenitor cells from bone marrow and adipose tissue. *Biomaterials*, 33(7), 2109-2118.
- Iwaya, S. i., Ikawa, M., & Kubota, M. (2001). Revascularization of an immature permanent tooth with apical periodontitis and sinus tract. *Dental Traumatology*, 17(4), 185-187.
- Jadhav, G., Shah, N., & Logani, A. (2012). Revascularization with and without platelet-rich plasma in nonvital, immature, anterior teeth: a pilot clinical study. *Journal of endodontics*, 38(12), 1581-1587.
- Jeeruphan, T., Jantararat, J., Yanpiset, K., Suwannapan, L., Khewsawai, P., & Hargreaves, K. M. (2012). Mahidol study 1: comparison of radiographic and survival outcomes of immature teeth treated with either regenerative endodontic or apexification methods: a retrospective study. *Journal of endodontics*, 38(10), 1330-1336.
- Jung, S.-M., Yoon, G. H., Lee, H. C., & Shin, H. S. (2015). Chitosan nanoparticle/PCL nanofiber composite for wound dressing and drug delivery. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 26(4), 252-263.
- Kahler, B., Mistry, S., Moule, A., Ringsmuth, A. K., Case, P., Thomson, A., & Holcombe, T. (2014). Revascularization outcomes: a prospective analysis of 16 consecutive cases. *Journal of endodontics*, 40(3), 333-338.
- Kahler, B., & Rossi-Fedele, G. (2016). A review of tooth discoloration after regenerative endodontic therapy. *Journal of endodontics*, 42(4), 563-569.
- Kerkis, I., Kerkis, A., Dozortsev, D., Stukart-Parsons, G. C., Massironi, S. M. G., Pereira, L. V., . . . Cerruti, H. F. (2006). Isolation and characterization of a population of immature dental pulp stem cells expressing OCT-4 and other embryonic stem cell markers. *Cells Tissues Organs*, 184(3-4), 105-116.
- Kim, J.-H., Kim, Y., Shin, S.-J., Park, J.-W., & Jung, I.-Y. (2010). Tooth discoloration of immature permanent incisor associated with triple antibiotic therapy: a case report. *Journal of endodontics*, 36(6), 1086-1091.
- Kim, S., Malek, M., Sigurdsson, A., Lin, L., & Kahler, B. (2018). Regenerative endodontics: a comprehensive review. *International endodontic journal*, 51(12), 1367-1388.
- Kim, Y.-S., Min, K.-S., Jeong, D.-H., Jang, J.-H., Kim, H.-W., & Kim, E.-C. (2010). Effects of fibroblast growth factor-2 on the expression and regulation of chemokines in human dental pulp cells. *Journal of endodontics*, 36(11), 1824-1830.
- Kluwe, J., Mencin, A., & Schwabe, R. F. (2009). Toll-like receptors, wound healing, and carcinogenesis. *Journal of molecular medicine*, 87(2), 125.
- Lambricht, L., De Berdt, P., Vanacker, J., Leprince, J., Diogenes, A., Goldansaz, H.,...Des Rieux, A. (2014). The type and composition of alginate and hyaluronic-based hydrogels influence the viability of stem cells of the apical papilla. *Dental Materials*, 30(12), e349-e361.
- Langer, R., & Vacanti, J. P. (1993). Tissue engineering. *Science (New York, NY)*, 260(5110), 920-926.
- Liu, P., Li, K., & Xu, S. (2016). The future of iPS cells in advancing regenerative medicine. *Genetics Research*, 98.
- Marconyak Jr, L. J., Kirkpatrick, T. C., Roberts, H. W., Roberts, M. D., Aparicio, A., Himel, V. T., & Sabey, K. A. (2016). A comparison of coronal tooth discoloration elicited by various endodontic reparative materials. *Journal of endodontics*, 42(3), 470-473.
- Miura, M., Gronthos, S., Zhao, M., Lu, B., Fisher, L. W., Robey, P. G., & Shi, S. (2003). SHED: stem cells from human exfoliated deciduous teeth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(10), 5807-5812.
- Mullane, E. M., Dong, Z., Sedgley, C., Hu, J.-C., Botero, T., Holland, G., & Nör, J. (2008). Effects of VEGF and FGF2 on the revascularization of severed human dental pulps. *Journal of dental research*, 87(12), 1144-1148.
- Murray, P. E., Garcia-Godoy, F., & Hargreaves, K. M. (2007). Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *Journal of endodontics*, 33(4), 377-390.
- Murry, C. E., & Keller, G. (2008). Differentiation of embryonic stem cells to clinically relevant populations: lessons from embryonic development. *Cell*, 132(4), 661-680.
- Nakashima, M. (1994). Induction of dentin formation on canine amputated pulp by recombinant human bone morphogenetic proteins (BMP)-2 and-4. *Journal of dental research*, 73(9), 1515-1522.
- Nakashima, M., & Akamine, A. (2005). The application of tissue engineering to regeneration of pulp and dentin in endodontics. *Journal of endodontics*, 31(10), 711-718.
- Nosrat, A., Seifi, A., & Asgary, S. (2011). Regenerative endodontic treatment (revascularization) for necrotic immature permanent molars: a review and report of two cases with a new biomaterial. *Journal of endodontics*, 37(4), 562-567.

- Nygaard-Östby, B., & Hjortdal, O. (1971). Tissue formation in the root canal following pulp removal. *European Journal of Oral Sciences*, 79(3), 333-349.
- Odelberg, S. J. (2002). *Inducing cellular dedifferentiation: a potential method for enhancing endogenous regeneration in mammals*. Paper presented at the Seminars in cell & developmental biology.
- Okita, K., Ichisaka, T., & Yamanaka, S. (2007). Generation of germline-competent induced pluripotent stem cells. *nature*, 448(7151), 313-317.
- Okita, K., Nagata, N., & Yamanaka, S. (2011). Immunogenicity of induced pluripotent stem cells. *Circulation research*, 109(7), 720-721.
- Orsini, G., Pagella, P., Putignano, A., & Mitsiadis, T. A. (2018). Novel biological and technological platforms for dental clinical use. *Frontiers in physiology*, 9, 1102.
- Orti, V., Collart-Dutilleul, P.-Y., Piglionico, S., Pall, O., Cuisinier, F., & Panayotov, I. (2018). Pulp regeneration concepts for nonvital teeth: from tissue engineering to clinical approaches. *Tissue Engineering Part B: Reviews*, 24(6), 419-442.
- Oviedo, N. J., & Beane, W. S. (2009). *Regeneration: The origin of cancer or a possible cure?* Paper presented at the Seminars in cell & developmental biology.
- Ozeki, N., Hase, N., Higuchi, N., Hiyama, T., Yamaguchi, H., Kawai, R.,...Mogi, M. (2017). Gelatin scaffold combined with bone morphogenetic protein-4 induces odontoblast-like cell differentiation involving integrin profile changes, autophagy-related gene 10, and Wnt5 sequentially in human induced pluripotent stem cells. *Differentiation*, 93, 1-14.
- Ozeki, N., Mogi, M., Kawai, R., Yamaguchi, H., Hiyama, T., Nakata, K., & Nakamura, H. (2013). Mouse-induced pluripotent stem cells differentiate into odontoblast-like cells with induction of altered adhesive and migratory phenotype of integrin. *PLoS one*, 8(11), e80026.
- Östby, B. N. (1961). The role of the blood clot in endodontic therapy an experimental histologic study. *Acta Odontologica Scandinavica*, 19(3-4), 323-353.
- Pagella, P., Neto, E., Lamghari, M., & Mitsiadis, T. A. (2015). Investigation of orofacial stem cell niches and their innervation through microfluidic devices. *European Cells and Materials (ECM)*, 29, 213-223.
- Parirokh, M., & Torabinejad, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part III: clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *Journal of endodontics*, 36(3), 400-413.
- Petrino, J. A., Boda, K. K., Shambarger, S., Bowles, W. R., & McClanahan, S. B. (2010). Challenges in regenerative endodontics: a case series. *Journal of endodontics*, 36(3), 536-541.
- Raddall, G., Mello, I., & Leung, B. M. (2019). Biomaterials and scaffold design strategies for regenerative endodontic therapy. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 317.
- Rafter, M. (2005). Apexification: a review. *Dental Traumatology*, 21(1), 1-8.
- Reynolds, K., Johnson, J., & Cohenca, N. (2009). Pulp revascularization of necrotic bilateral bicuspid using a modified novel technique to eliminate potential coronal discoloration: a case report. *International endodontic journal*, 42(1), 84-92.
- Rosa, V., Della Bona, A., Cavalcanti, B. N., & Nör, J. E. (2012). Tissue engineering: from research to dental clinics. *Dental Materials*, 28(4), 341-348.
- Rosenberg, B., Murray, P. E., & Namerow, K. (2007). The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dental Traumatology*, 23(1), 26-29.
- Rutherford, R. B. (2001). BMP-7 gene transfer to inflamed ferret dental pulps. *European Journal of Oral Sciences*, 109(6), 422-424.
- Rutherford, R. B., & Gu, K. (2000). Treatment of inflamed ferret dental pulps with recombinant bone morphogenetic protein-7. *European Journal of Oral Sciences*, 108(3), 202-206.
- Sakai, V., Zhang, Z., Dong, Z., Neiva, K., Machado, M., Shi, S., Nör, J. (2010). SHED differentiate into functional odontoblasts and endothelium. *Journal of dental research*, 89(8), 791-796.
- Saucedo, J. M., Yaffe, M. A., Berschback, J. C., Hsu, W. K., & Kalainov, D. M. (2012). Platelet-rich plasma. *Journal of Hand Surgery*, 37(3), 587-589.
- Seki, D., Takeshita, N., Oyanagi, T., Sasaki, S., Takano, I., Hasegawa, M., & Takano-Yamamoto, T. (2015). Differentiation of Odontoblast-Like Cells From Mouse Induced Pluripotent Stem Cells by Pax9 and Bmp4 Transfection. *Stem Cells Translational Medicine*, 4(9), 993-997.
- Seo, B.-M., Miura, M., Gronthos, S., Bartold, P. M., Batouli, S., Brahimi, J., . . . Shi, S. (2004). Investigation of multipotent postnatal stem cells from human periodontal ligament. *The Lancet*, 364(9429), 149-155.
- Shieh-zadeh, V., Aghmasheh, F., Shieh-zadeh, F., Joulae, M., Kosarieh, E., & Shieh-zadeh, F. (2014). Healing of large periapical lesions following delivery of dental stem cells with an injectable scaffold: new method and three case reports. *Indian Journal of Dental Research*, 25(2), 248.
- Shimabukuro, Y., Ueda, M., Ozasa, M., Anzai, J., Takedachi, M., Yanagita, M.,...Murakami, S. (2009). Fibroblast growth factor-2 regulates the cell function of human dental pulp cells. *Journal of endodontics*, 35(11), 1529-1535.
- Shrestha, S., Diogenes, A., & Kishen, A. (2015). Temporal-controlled dexamethasone releasing chitosan nanoparticle system enhances odontogenic differentiation of stem cells from apical papilla. *Journal of endodontics*, 41(8), 1253-1258.
- Shrestha, S., Torneck, C. D., & Kishen, A. (2016). Dentin conditioning with bioactive molecule releasing nanoparticle system enhances adherence, viability, and differentiation of stem cells from apical papilla. *Journal of endodontics*, 42(5), 717-723.
- Six, N., Lasfargues, J.-J., & Goldberg, M. (2002). Differential repair responses in the coronal and radicular areas of the exposed rat molar pulp induced by recombinant human bone morphogenetic protein 7 (osteogenic protein 1). *Archives of oral biology*, 47(3), 177-187.
- Sonoyama, W., Liu, Y., Fang, D., Yamaza, T., Seo, B.-M., Zhang, C.,...Shi, S. (2006). Mesenchymal stem cell-mediated functional tooth regeneration in swine. *PLoS one*, 1(1), e79.
- Sonoyama, W., Liu, Y., Yamaza, T., Tuan, R. S., Wang, S., Shi, S., & Huang, G. T.-J. (2008). Characterization of the apical papilla and its residing stem cells from human immature permanent teeth: a pilot study. *Journal of endodontics*, 34(2), 166-171.
- Souto, G. D., Farhane, Z., Casey, A., Efeoglu, E., McIntyre, J., & Byrne, H. J. (2016). Evaluation of cytotoxicity profile and intracellular localisation of doxorubicin-loaded chitosan nanoparticles. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 408(20), 5443-5455.

- Takahashi, K., & Yamanaka, S. (2006). Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell*, 126(4), 663-676.
- Takeuchi, N., Hayashi, Y., Murakami, M., Alvarez, F., Horibe, H., Iohara, K., . . . Nakashima, M. (2015). Similar in vitro effects and pulp regeneration in ectopic tooth transplantation by basic fibroblast growth factor and granulocyte-colony stimulating factor. *Oral diseases*, 21(1), 113-122.
- Tong, H. J., Rajan, S., Bhujel, N., Kang, J., Duggal, M., & Nazzal, H. (2017). Regenerative Endodontic Therapy in the Management of Nonvital Immature Permanent Teeth: A Systematic Review—Outcome Evaluation and Meta-analysis. *Journal of endodontics*, 43(9), 1453-1464.
- Torabinejad, M., Nosrat, A., Verma, P., & Udochukwu, O. (2017). Regenerative endodontic treatment or mineral trioxide aggregate apical plug in teeth with necrotic pulps and open apices: a systematic review and meta-analysis. *Journal of endodontics*, 43(11), 1806-1820.
- Torabinejad, M., & Turman, M. (2011). Revitalization of tooth with necrotic pulp and open apex by using platelet-rich plasma: a case report. *Journal of endodontics*, 37(2), 265-268.
- Trevino, E. G., Patwardhan, A. N., Henry, M. A., Perry, G., Dybdal-Hargreaves, N., Hargreaves, K. M., & Diogenes, A. (2011). Effect of irrigants on the survival of human stem cells of the apical papilla in a platelet-rich plasma scaffold in human root tips. *Journal of endodontics*, 37(8), 1109-1115.
- van der Kooy, D., & Weiss, S. (2000). Why stem cells? *Science*, 287(5457), 1439-1441.
- Venkatesan, J., Nithya, R., Sudha, P. N., & Kim, S.-K. (2014). Role of alginate in bone tissue engineering. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 73, pp. 45-57): Elsevier.
- Wang, W., Dang, M., Zhang, Z., Hu, J., Eyster, T. W., Ni, L., & Ma, P. X. (2016). Dentin regeneration by stem cells of apical papilla on injectable nanofibrous microspheres and stimulated by controlled BMP-2 release. *Acta biomaterialia*, 36, 63-72.
- Webber, R. (1984). Apexogenesis versus apexification. *Dental Clinics of North America*, 28(4), 669.
- Yadlapati, M., Biguetti, C., Cavalla, F., Nieves, F., Bessey, C., Bohluli, P., . . . Silva, R. M. (2017). Characterization of a vascular endothelial growth factor-loaded bioresorbable delivery system for pulp regeneration. *Journal of endodontics*, 43(1), 77-83.
- Yang, J.-w., Zhang, Y.-f., Sun, Z.-y., Song, G.-t., & Chen, Z. (2015). Dental pulp tissue engineering with bFGF-incorporated silk fibroin scaffolds. *Journal of biomaterials applications*, 30(2), 221-229.
- Yang, J., Yuan, G., & Chen, Z. (2016). Pulp regeneration: current approaches and future challenges. *Frontiers in physiology*, 7, 58.
- Yokoi, T., Saito, M., Kiyono, T., Iseki, S., Kosaka, K., Nishida, E., . . . Noguchi, T. (2007). Establishment of immortalized dental follicle cells for generating periodontal ligament in vivo. *Cell and tissue research*, 327(2), 301-311.
- Yoldaş, S. E., Bani, M., Atabek, D., & Bodur, H. (2016). Comparison of the potential discoloration effect of bioaggregate, biodentine, and white mineral trioxide aggregate on bovine teeth: in vitro research. *Journal of endodontics*, 42(12), 1815-1818.
- Zhang, L., Morsi, Y., Wang, Y., Li, Y., & Ramakrishna, S. (2013). Review scaffold design and stem cells for tooth regeneration. *Japanese Dental Science Review*, 49(1), 14-26.



Kayseri Piyasasında Satışa Sunulan Endüstriyel Tip Fermente, Kasap ve Isıl İşlem Görmüş Sucukların Biyojen Amin Miktarlarının Belirlenmesi

Yasemin Çelebi Sezer*

¹ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4495-0206),
yasemincelebisezer@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 28 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.800887)

ATIF/REFERENCE: Çelebi Sezer, Y. (2021). Kayseri Piyasasında Satışa Sunulan Endüstriyel Tip Fermente, Kasap ve Isıl İşlem Görmüş Sucukların Biyojen Amin Miktarlarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 43-51.

Öz

Bu çalışmada Kayseri piyasasında farklı üretim tekniği uygulanarak satışa sunulan sucukların kalitesi belirlenerek ürünlerin daha güvenilir bir şekilde tüketiminin sağlanabilmesi amacıyla biyojen amin içerik ve miktarları incelenmiştir. Bu amaçla 10 endüstriyel tip fermente sucuk (A), 10 ısıtılmış işlem görmüş sucuk (B) ve 20 geleneksel yöntem ile üretilmiş kasap sucuğu (C) olmak üzere toplam da 40 adet örnek piyasadan rastgele temin edilmiş ve Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisi (HPLC)'nde 254 nm dalga boyu, 40°C kolon sıcaklığı ve 1 ml/dk akış hızı koşullarında sekiz farklı biyojen amin konsantrasyonu (putresin, kadaverin, tiramin, histamin, triptamin, feniletilamin, spermin ve spermidin) incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kadaverin, putresin ve tiramin konsantrasyonları diğer biyojen aminlere kıyasla daha yüksek değerlere ulaşmıştır. C grubu sucukların özellikle putresin, kadaverin ve tiramin miktarı A ve B grubu sucuklardan oldukça fazla miktarda ($P < 0.05$) bulunmuştur. Putresin konsantrasyonu A grubu sucuklarda 14.61-132.26 mg/kg, B grubu sucuk örneklerinde 14.99-30.34 mg/kg aralıklarında gözlenirken, C grubu sucuklarda bu aralık belirgin bir şekilde artarak 24.46-542.35 mg/kg bulunmuştur. A ve B grubu sucuklarda tespit edilen ortalama tiramin değerleri sırasıyla 17.71 ve 17.35 mg/kg bulunmakla birlikte C grubu sucuklarda bu değer bir hayli artarak 56.32 mg/kg'ya ulaştığı gözlenmiştir. A ve B grubu sucuk örneklerinde kadaverin tespit edilemezken, C grubu örneklerin yarısında tespit edilen kadaverinin ortalama değeri 106.61 mg/kg olarak bulunmuştur. Farklı üretim tekniği kullanılarak üretilen A, B ve C grubu sucukların histamin konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($P < 0.05$) tespit edilmiştir. A, B ve C grubu sucuklarda yaklaşık %90 oranında tespit edilen histamin sırasıyla 0-58.75 mg/kg, 0-61.03 ve 0-65.51 mg/kg aralıklarında bulunmuş ve sucuk grupları arasında önemli farklılıklar ($P < 0.05$) gözlenmiştir. Küçük aminler olarak nitelendirilen triptamin ve feniletilaminin ortalama konsantrasyonları A, B ve C gruplarında sırasıyla 9.77, 9.09, 13.04 mg/kg ve 2.80, 2.12, 6.06 mg/kg şeklinde ($P < 0.05$) görülmüştür. Farklı üretim tekniği kullanılmasının spermin ve spermidin konsantrasyonlarını istatistiksel olarak etkilemediği ($P > 0.05$) görülmüştür. Genel olarak, kasap sucuklarının (C), ısıtılmış işlem (B) ve endüstriyel tip fermente (A) sucuklardan biyojen amin miktarı açısından daha yüksek olduğu ($P < 0.05$) tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, starter kültür kullanılmadan gerçekleştirilen doğal fermentasyon işlemi sucuklarda yüksek oranda biyojen amin birikmesine neden olabilmektedir. Sonuç olarak, et ve et ürünlerinde istenmeyen mikrobiyal aktivitenin kalite indeksi ve göstergesi olarak kabul edilen biyojen amin konsantrasyonunun azaltılması için gelişmiş, hijyenik koşullar barındıran modern tesislerde üretimin gerçekleşmesi, negatif dekarboksilaz aktiviteye sahip starter kültürlerin kullanılması ve ısıtılmış uygulama ile biyojen aminlerin oluşumunun engellenmesi veya azaltılması mümkün olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Kasap sucuğu, Isıl işlem görmüş sucuk, Fermente sucuk, Biyojen amin.

Determination of the Biogenic Amine Amounts of Industrial Type Fermented, Butcher's and Heat-Treated Sucuk Offered for Sale in Kayseri Market

Abstract

In this study, the quality of sucuk sold for sale in Kayseri market by applying different production techniques was determined, and the content and amounts of biogenic amine were examined to ensure more reliable consumption of products. A total of 40 samples, including 10 industrial type fermented sucuk (A), 10 heat-treated sucuk (B), and 20 butcher's sucuk samples produced by the traditional method (C) were randomly obtained from the market, and eight different biogenic amine concentrations (putrescine, cadaverine, tyramine, histamine, tryptamine, phenylethylamine, spermine, and spermidine) were examined in High-Pressure Liquid Chromatography (HPLC) at a wavelength of 254 nm, 40 °C column temperature, and 1 ml/min flow rate. According to the results cadaverine, putrescine, and tyramine concentrations reached higher values compared to other biogenic amines. It was found that especially the amounts of

* Sorumlu Yazar: yasemincelebisezer@gmail.com

putrescine, cadaverine, and tyramine of group C sucuk were quite higher compared to groups A and B sucuk ($P < 0.05$). While the concentration of putrescine was observed to be in the range of 14.61-132.26 mg/kg in sucuk samples of group A and 14.99-30.34 mg/kg in sucuk samples of group B, this range increased significantly and was found to be 24.46-542.35 mg/kg in sucuk of group C. The mean values of tyramine were found to be 17.71 and 17.35 mg/kg in sucuk of groups A and B, respectively, it was observed that this value increased considerably and reached 56.32 mg/kg in sucuk of group C. While cadaverine was not detected in sucuk samples of groups A and B, the mean value of cadaverine found in half of the group C samples was 106.61 mg/kg. Statistically significant differences ($P < 0.05$) were found in the histamine concentrations of group A, B and C sucuk produced using different production techniques. Histamine detected at a rate of approximately 90% in group A, B, and C sucuk was found in the range of 0-58.75 mg/kg, 0-61.03, and 0-65.51mg/kg, respectively, significant differences ($P < 0.05$) were observed between sucuk groups. The mean concentrations of tryptamine and phenylethylamine, which are characterized as small amines, were observed to be 9.77, 9.09, 13.04 mg/kg and 2.80, 2.12, 6.06 mg/kg ($P < 0.05$) in groups A, B and C, respectively. It was observed that the use of different production techniques did not statistically affect the spermine and spermidine concentrations ($P > 0.05$). In general, it was determined that butcher's sucuk (C) had higher biogenic amine content compared to heat-treated (B) and industrial-type fermented (A) sucuk ($P < 0.05$). According to these results, the natural fermentation process performed without the use of starter culture may cause a high accumulation of biogenic amine in sucuk. In conclusion, it will be possible to prevent or reduce the formation of biogenic amines by performing production in modern facilities with advanced and hygienic conditions, using starter cultures with negative decarboxylase activity and applying heat treatment in order to reduce the biogenic amine concentration, which is regarded as the quality index and indicator of undesirable microbial activity in meat and meat products.

Keywords: Butcher's sucuk, Heat-treated sucuk, Fermented sucuk, Biogenic amine.

1. Giriş

Sucuk, kıyılmış koyun veya sığır eti, kuyruk yağı, tuz, şeker, kuru sarımsak, baharat ve bitkisel yağ ile karıştırılarak kılıflara doldurulan ve uygun koşullarda fermente edilen bir et ürünüdür (Bozkurt ve Erkmen, 2002; Kurt ve Zorba, 2010). Anadolu'da üretilen sucuklar, fermente ve ısı işlem görmüş sucuk (pastörize sucuk) olarak iki başlık altında gruplandırılmakla birlikte fermente sucuklar ısı işlem uygulanmaksızın doğal bir şekilde (kasap sucuğu) ya da sıcaklığı ve nemi ayarlanmış ortamda kurutulurak (endüstriyel fermente sucuk) üretilebilirler (Yıldırım, 1996; Kara ve Akkaya, 2010). Geleneksel metotlar ile üretilen ve standart üretim tekniği bulunmayan ısı işlem görmemiş fermente sucuklarının bir çeşidi olan kasap sucukları küçük çaplı işletmelerde doğal ortamda kuru hava akımı uygulanarak üretilirler (Erkmen, 1999; Kara ve Akkaya, 2010). Bununla birlikte fabrikalarda ya da büyük ölçekli işletmelerde hijyenik kurallara uygun gelişmiş teknolojik imkanlara sahip starter kültür kullanılarak endüstriyel tip fermente sucuklar üretilebilir (Bozkurt ve Erkmen, 2002; Ensoy ve ark., 2010). Endüstriyel tip fermente sucuklarda kullanılan starter kültürler, fermentasyon süresini kontrollü bir şekilde hızlandırarak, belirli özelliklere sahip standart kalitede ve güvenilir fermente gıda üretmek amacıyla endüstride çokça kullanılan mikroorganizmalardır (Demirgöl ve Sağdıç, 2017). Diğer taraftan sucuk üretiminin akabinde ısı işlemi uygulanan pastörize sucuklar, maliyet oranının daha düşük olması ve daha kısa süre de üretilmesi gibi nedenlerden dolayı endüstride tercih edilir duruma gelmiştir (Değirmencioglu ve ark., 2006; Kara ve Akkaya, 2010).

Fermentasyon sırasında çeşitli fizikokimyasal ve mikrobiyal değişikliklerin meydana gelmesiyle üründe karakteristik renk, lezzet, tat ve doku değişimi meydana gelmektedir (Papavergou, 2011). Fermentasyon sürecinde sucukta kullanılan etin yüksek oranda protein içeriği ve ette bulunan mikroorganizmaların dekarboksilaz aktivitesi biyojen amine oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Biyojen aminler, biyolojik aktiviteye sahip düşük molekül ağırlıklı, ısıya dayanıklı, uçucu olmayan, bazik azotlu bileşiklerin bir grubu olarak tanımlanır (Önal, 2007; Stadnik ve Dolatowski, 2010). Gıda maddelerindeki amino asidin mikrobiyal dekarboksilasyonu veya amino asit transaminazları ile aldehytlerin ve ketonların aminasyonu ve transaminasyonu ile oluşmuştur (Kim ve ark., 2009; Stadnik ve Dolatowski, 2010; Ekici ve Omer, 2018). Bazı aminler nitrit ile reaksiyona girerek

nitrosasyona tabi tutulabilir ve kanserojen olan ve insanlar için potansiyel bir sağlık tehdidi oluşturan uçucu nitrosaminler üretebilir (Önal, 2007; Ekici ve Omer, 2018). Sucuklardan izole edilen biyojen aminler, putresin, kadaverin, tiramin, histamin, triptamin, fenilettilamin, ve doğal olarak oluşan poliaminlerden spermidin ve spermin'dir (Suzzi ve Gardini, 2003; Vidal-Carou ve ark., 2007; Papavergou, 2011). Histamin, tiramin, triptamin ve fenilettilamin gibi biyojen aminler, sinir, mide ve vasküler sistemi etkilediği için bu maddeler açısından zengin gıdaların tüketimi gıda kaynaklı hastalıklara neden olabilir (Papavergou, 2011). Ayrıca gıdalardaki histamin gibi biyojen aminlerin düzeylerinin belirlenmesi, bu ürünlerin tüketiminden kaynaklanan sağlık problemlerini değerlendirmek ve gıda güvenliği ve kalitesi hakkında bilgi sahibi olabilmek açısından önem arz etmektedir (Bover-Cid ve ark., 1999; Ekici ve ark., 2004).

Biyojen aminlerin, sucuklarda risk faktörü oluşturmayacak seviyede bulunmasına yönelik ülkemizde belirli kural, kriter ve yasal düzenleme bulunmamasına rağmen, son yıllarda sucuklardaki biyojen amine miktarları ve bunların seviyelerini etkileyen faktörler incelenmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, Türk et endüstrisinin en önemli şehirlerinden biri olan Kayseri'de (Kesmen ve ark., 2014) satışa sunulan sucuklarda biyojen amine varlığının gösterilmesi, oluşan biyojen amine miktarının belirlenmesi ve üretimsel farklılıkların biyojen amine oluşumuna ne derecede etki ettiğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Böylece bu çalışma, tüketiciler için daha sağlıklı ve daha güvenilir sucukların üretilmesi konusunda yol gösterecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Kayseri piyasasında farklı üretim tekniği uygulanarak üretilmiş ve satışa sunulmuş (kasap sucuğu, endüstriyel tip fermente sucuk ve ısı işlem görmüş sucuk) 2 paralel olarak düzenlenmiş 10 endüstriyel tip fermente, 20 kasap ve 10 ısı işlem görmüş sucuk örnekleri rastgele toplanmıştır. Endüstriyel tip fermente, ısı işlem görmüş ve kasap sucuklar sırasıyla A, B ve C şeklinde gruplandırılmıştır.

2.1.1. Metod

Örnek hazırlama ve biyojen amine analizi bazı modifikasyonlar yaparak Eerola ve ark. (1993)'e göre Yüksek

Basınç Sıvı Kromatografisi (HPLC) yöntemi kullanılarak 2 paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Örnek Hazırlanması ve Homojenizasyon

Temiz bir paslanmaz çelik bıçakla dilimlenmiş 2 g sucuk örneği çok küçük parçalara ayrılmıştır. Üzerine 10 ml 0.4 M perklorik asit (HClO₄) ilave edilmiş UltraTurrax (Wisetis, Hg-15d) ile homojenize edilerek süpernatant alınmıştır. Bu işlem bir kez daha tekrar edilmiş ve en son hacim perklorik asit ile 25 ml'ye tamamlanarak 3500 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüj (Hettich, Mikro 220R) edilmiştir.

2.2.2. Örneklerin Türevlendirilmesi ve Biyojen Amin Analizi

Ekstraktların türevlendirme işleminin yapılması için 1 ml ekstrakt üzerine 2N 200 µl sodyum hidroksit (NaOH) ve 300 µl aşırı doymuş sodyum bikarbonat (NaHCO₃) ilave edilmiş ve taze hazırlanan 2 ml dansil klorit çözeltisi (10 mg DaCl/ 1 ml aseton) ekstrakt üzerine eklenmiştir. Etüvde 45 dk 40°C'de bekletildikten sonra 100 µl %25' lik amonyak (NH₃) eklenmiş ve 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Asetonitril ilavesiyle hacim 5 ml'ye tamamlanarak 3500 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiş ve filtre edilerek (0.45 µm) HPLC cihazına yerleştirilmiştir.

2.2.3. HPLC Analizi

Asetonitril (çözücü A) ve 0.4 M amonyum format (çözücü B) mobil fazları ile gradyan elüsyon programı kullanılarak %50 çözücü A ve %50 çözücü B ile başlanmış 20 dk içerisinde %90 çözücü A ve %10 çözücü B değerlerine ulaşılarak ayırma işlemi 37. dk'da bitirilmiştir. Akış hızı 1 ml/dk ve kolon sıcaklığı 40°C olarak uygulanmıştır. Biyojen aminler 254 nm dalga boyunda analiz edilmiştir. Amin analizi için Anionex Ultimate 3000 diode array dedektör, iki kanallı gradient pompa (Ultimate, 3000 Pump), kolon fırını (Ultimate 3000), autosampler (Ultimate 3000) Chromomelon package programına sahip Thermo Scientific Dionex Ultimate HPLC ve Spherisorb ODS2, 10 µm, 200x4.60 mm, kolon (Phenomenex, Torrance, CA, US) kullanılmıştır.

2.3. İstatiksel Analiz

HPLC analizi ile elde edilen veriler SPSS paket programı (SPSS, 18.0) kullanılarak aynı üretim tekniğine sahip sucukların biyojen amin miktarları ve farklı üretim yöntemlerinin kendi aralarındaki biyojen amin oluşumuna etkileri One-way Anova (Duncan) testi ile 0.05 önemlilik derecesine göre istatistiki olarak karşılaştırılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada Kayseri piyasasından temin edilen üç farklı üretim şartlarında (endüstriyel tip fermente, ısıl işlem görmüş ve geleneksel tip fermente kasap sucuğu) üretilen toplamda 40 sucuk örneğinde sekiz farklı biyojen amin konsantrasyonu (putresin, kadaverin, tiramin, histamin, triptamin, feniletilamin, spermin ve spermidin) belirlenmiştir. Sucukların biyojen amin miktarları istatistiksel farklılıklarıyla Tablo 1'de, ortalama biyojen amin miktarları Şekil 1'de ve farklı üretim teknolojisinin biyojen amin konsantrasyonu üzerine etkisini gösteren istatistiksel analiz sonuçları da Tablo 2'de verilmiştir.

Farklı işleme koşulları nedeniyle gruplar arasında bazı biyojen amin konsantrasyonlarında önemli farklılıklar bulunmuştur. Bununla birlikte, aynı grupta bulunan örnekler arasında da özellikle putresin, kadaverin, histamin ve tiramin

konsantrasyonlarında belirgin farklılıklar saptanmıştır. Bu sonuç, ham maddenin hijyenik kalitesinin, sucuk üretimi sırasında biyojen amin formülasyonu üzerindeki önemini doğrulamaktadır (Sivamaruthi ve ark., 2020). Çok sayıda yazar tarafından ham madde kalitesinin biyojen amin oluşumu üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır (Doeun ve ark., 2017; Sivamaruthi ve ark., 2020). Geleneksel olarak Çin'de üretilen tütsülenmiş at eti sucuklarında feniletilamin, kadaverin, histamin, spermidin ve spermin miktarları sırasıyla 60.96 mg/kg, 24.54-178.03 mg/kg, 90.56 mg/kg, 22.03 mg/kg ve 7.12 mg/kg şeklinde rapor edilmiştir (Lu ve ark., 2015). Blagojevic ve ark. (2015) putresin, kadaverin ve tiramin miktarlarını fermente sosislerde sırasıyla 50.9 mg/kg, 33 mg/kg ve 24.8 mg/kg, Domínguez ve ark. (2016) putresin, histamin, spermidin ve spermin miktarlarını sırasıyla 3.27 mg/kg, 4.12 mg/kg, 11.75 mg/kg ve 24.1 mg/kg şeklinde bildirmişlerdir. Fermente edilmiş sucuklarda histamin miktarını Erkmen ve Bozkurt (2004) 1.8-478.2 mg/kg, Coloretti ve ark. (2014) 0- 94.78 mg/kg ve Stojanović ve Svarc-Gajic (2011) 39.91-196.86 mg/kg aralığında tespit etmişlerdir. Bununla birlikte ham maddenin hijyenik kalitesinin yanında, pH, su aktivitesi, sıcaklık, redoks potansiyeli, oksijen kaynağı, gıdanın doğası, koruyucular, NaCl ve katkı maddeleri gibi değişkenler de sucuklarda biyojen amin oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir (Suzzi ve Gardini, 2003; Ekici ve Omer, 2018).

Et ve et ürünlerinde biyojen amin oluşumu temelde dekarboksilaz enzimleri aracılığıyla serbest amino asitlerin dekarboksilasyonu ile gerçekleşmektedir. Biyojen amin konsantrasyonu, et ve et ürünlerinde istenmeyen mikrobiyal aktivitenin kalite indeksi ve göstergesi olarak kullanılmaktadır (Doeun ve ark. 2017). Tablo 2'de de görüldüğü gibi A, B ve C gruplarının biyojen aminlerin içeriklerinde önemli istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($P < 0.05$) bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre genel olarak C grup geleneksel yöntem ile üretilen kasap sucuklarının toplam biyojen amin miktarının ($P < 0.05$) daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Tablo 2, Şekil 1). Özellikle putresin, kadaverin ve tiramin miktarının A ve B grubu sucuklardan oldukça fazla miktarda ($P < 0.05$) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Putresin konsantrasyonu A grubu endüstriyel tip fermente sucuklarında 14.61-132.26 mg/kg, B grubu ısıl işlem sucuk örneklerinde 14.99-30.34 mg/kg aralıklarında gözlenirken, C grubu kasap sucuğunda 24.46-542.35 mg/kg aralığında gözlenmiştir (Tablo 1). Fermente sucuk ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarda benzer bir şekilde, putresin konsantrasyonu 0- 412 mg/kg ve 0-255.625 mg/kg aralıklarında rapor edilmiştir (Ayhan ve ark. 1999; Ekici ve Omer, 2018). A ve B grubu sucuklarda ortalama putresin konsantrasyonu sırasıyla 15.30 mg/kg ve 22.29 mg/kg gözlenirken, C grubu sucuklarda bu değer bir hayli artarak 155.05 mg/kg'a kadar ulaşmıştır (Şekil 1). A ve B grubu sucuk örneklerinde kadaverin tespit edilemezken, C grup sucuk örneklerinin yarısında kadaverin tespit edilmiştir (Tablo 1, Şekil 1). C grubu sucuklarda ortalama kadaverin değeri 106.61 mg/kg olarak gözlenmiştir (Tablo 2). Elde edilen sonuçlara paralel olarak Erkmen ve Bozkurt (2004)'in yaptığı çalışmada kasap sucuklarının %22.6'sında kadaverin tespit edilmişken, fabrika sucuklarında kadaverin bulunmadığı bildirilmiştir. Tiramin özellikle monoamin oksidaz inhibitörleri (MAOI) içeren antidepressan ilaçlar ile birlikte kullanıldığında kan basıncı artışına neden olabilmektedir (Latorre-Moratalla ve ark. 2017). Bununla birlikte izin verilen maksimum tiramin seviyesi 800 mg/kg olarak bildirilmiştir (Shalaby, 1996; Latorre-Moratalla ve ark. 2017). Çalışmada test edilen tüm sucukların tiramin konsantrasyonları 10.79- 121.88 mg/kg arasında değişmekte ve Shalaby 1996'a göre kabul edilebilir düzeyde tespit edilmiştir (Tablo 1). Aynı zamanda

Şekil 1'de görüldüğü gibi A ve B tipi sucuklarda tespit edilen ortalama tiramin değerleri 17.71 mg/kg ve 17.35 mg/kg gözlenmesine rağmen C grubu sucuklarda bu değer bir hayli artarak 56.32 mg/kg'a ulaşmıştır. Farklı üretim tekniği kullanılarak üretilen sucukların histamin konsantrasyonlarında

istatistiksel olarak önemli farklılıklar (P <0.05) bulunabilmektedir.

Tablo 1. Sucukların Biyojen Amin Miktarları

Grupları	Biyojen Amin Miktarları (mg /kg)								
	Putresin	Kadaverin	Histamin	Tiramin	Triptamin	Feniletilamin	Spermin	Spermidin	
A	1	16.52±0.40 ^c	t.e.	55.00±1.35 ^c	11.67±0.28 ^{ef}	9.26±0.14 ^d	2.29±0.03 ^{ef}	24.09±0.59 ^e	36.85±0.58 ^{b,c}
	2	14.61±0.35 ^c	t.e.	0.48±0.015 ^f	10.79±0.26 ^f	10.3±0.16 ^a	3.39±0.05 ^b	22.00±0.54 ^d	37.95±0.60 ^{a,b,c}
	3	132.26±3.25 ^a	t.e.	0.65±0.01 ^f	37.00±0.90 ^a	9.98±0.15 ^{b,c}	3.01±0.08 ^c	21.99±0.55 ^d	37.57±0.59 ^{a,b,c}
	4	122.37±3.00 ^b	t.e.	55.99±1.37 ^{b,c}	30.58±0.75 ^b	9.19±0.14 ^d	2.22±0.04 ^f	21.96±0.53 ^d	36.78±0.60 ^{b,c}
	5	16.99±0.45 ^c	t.e.	5.24±0.13 ^e	11.43±0.28 ^{ef}	10.00±0.15 ^{b,c}	3.02±0.06 ^c	33.78±0.83 ^a	38.43±0.65 ^a
	6	17.68±0.43 ^c	t.e.	57.18±1.40 ^b	11.22±0.27 ^f	10.50±0.16 ^a	3.53±0.06 ^a	32.72±0.80 ^a	38.09±0.63 ^{a,b}
	7	17.62±0.43 ^c	t.e.	0.18±0.00 ^f	12.49±0.30 ^e	10.27±0.16 ^{a,b}	3.30±0.07 ^b	27.86±0.68 ^b	37.86±0.66 ^{a,b,c}
	8	16.61±0.40 ^c	t.e.	61.03±1.49 ^a	15.01±0.36 ^d	9.78±0.15 ^c	2.81±0.05 ^d	21.95±0.54 ^d	37.28±0.34 ^{a,b,c}
	9	17.95±0.52 ^c	t.e.	28.82±0.70 ^d	14.70±0.36 ^d	8.99±0.14 ^d	2.02±0.03 ^g	24.01±0.59 ^e	36.57±0.88 ^{b,c}
	10	15.30±0.37 ^c	t.e.	t.e.	22.23±0.54 ^e	9.36±0.13 ^d	2.39±0.04 ^e	24.28±0.59 ^e	36.94±0.68 ^{b,c}
B	1	28.36±0.75 ^b	t.e.	58.49±0.89 ^a	18.68±0.16 ^c	11.01±0.23 ^a	4.04±0.16 ^a	23.08±0.02 ^f	38.6±0.61 ^a
	2	18.41±0.48 ^f	t.e.	3.11±0.04 ^e	15.76±0.14 ^f	9.88±0.25 ^c	2.91±0.04 ^c	22.85±0.02 ^g	37.47±0.89 ^{a,b,c,d,e}
	3	26.28±0.69 ^c	t.e.	58.75±0.90 ^a	17.53±0.15 ^d	7.09±0.12 ^g	0.12±0.03 ^h	31.93±0.03 ^a	38.43±0.81 ^{a,b}
	4	21.78±0.57 ^d	t.e.	2.61±0.04 ^e	14.97±0.13 ^h	9.51±0.25 ^d	2.54±0.04 ^d	26.79±0.02 ^c	37.1±0.88 ^{b,c,d,e}
	5	16.45±0.43 ^g	t.e.	t.e.	15.39±0.13 ^g	9.25±0.15 ^{d,e}	2.28±0.03 ^e	25.19±0.02 ^e	36.84±0.88 ^{c,d,e}
	6	14.99±0.39 ^h	t.e.	18.73±0.28 ^d	18.89±0.16 ^c	8.93±0.15 ^e	1.96±0.03 ^f	25.56±0.023 ^d	36.52±0.77 ^{d,e}
	7	30.34±0.45 ^a	t.e.	35.21±0.54 ^c	15.17±0.13 ^{g,h}	6.98±0.11 ^g	0.012±0.00 ⁱ	22.68±0.02 ^h	37.68±0.69 ^{a,b,c,d}
	8	25.30±0.66 ^c	t.e.	3.68±0.05 ^e	16.72±0.14 ^e	10.61±0.17 ^b	3.64±0.06 ^b	31.57±0.02 ^b	38.2±0.60 ^{a,b,c}
	9	20.27±0.53 ^c	t.e.	54.08±0.83 ^a	20.79±0.18 ^a	9.18±0.15 ^{d,e}	2.20±0.03 ^e	22.40±0.02 ⁱ	37.67±0.69 ^{a,b,c,d}
	10	20.76±0.53 ^{d,e}	t.e.	t.e.	19.60±0.17 ^b	8.47±0.23 ^f	1.50±0.02 ^g	22.38±0.02 ⁱ	36.05±0.67 ^e
C	1	55.74±1.39 ^k	212.24±3.56 ^c	9.19±0.07 ^f	77.32±1.79 ^f	12.41±0.20 ^h	5.43±0.08 ^h	29.44±0.93 ^g	39.99±0.63 ^{d,e,f,g}
	2	48.68±1.21 ^k	177.12±2.97 ^d	37.45±0.30 ^e	79.41±1.84 ^e	11.44±1.18 ^{k,l}	4.46±0.07 ⁱ	21.85±0.69 ^l	39.0±0.81 ^{f,g,h}
	3	28.90±0.72 ^l	137.94±2.32 ^f	56.55±0.46 ^c	76.67±1.77 ^f	14.89±0.84 ^b	7.91±0.12 ^b	21.85±0.69 ^l	42.47±0.87 ^b
	4	30.38±0.76 ^l	170.75±2.87 ^e	5.83±0.05 ^{g,h}	96.33±2.23 ^b	12.97±0.61 ^{e,f,g}	5.99±0.09 ^{f,g}	41.61±1.31 ^a	40.54±0.84 ^{c,d,e,f}
	5	267.21±6.65 ^d	476.47±8 ^a	43.97±0.36 ^d	121.88±2.82 ^a	11.16±0.88 ^{l,m}	4.19±0.07 ^k	34.87±1.10 ^b	38.74±0.81 ^{g,h}
	6	184.33±4.59 ^{e,f}	285.42±4.79 ^b	t.e.	85.40±1.97 ^c	13.98±0.42 ^{c,d}	7.00±0.11 ^d	21.88±0.69 ^l	40.55±0.84 ^{c,d,e,f}
	7	60.78±1.51 ^k	t.e.	3.47±0.03 ⁱ	61.38±1.42 ^h	13.17±0.31 ^{e,f}	6.20±0.09 ^f	34.17±1.08 ^c	40.75±0.86 ^{c,d,e}
	8	58.66±1.46 ^k	t.e.	41.80±0.34 ^d	64.16±1.48 ^g	12.57±0.30 ^g	5.59±0.09 ^h	21.95±0.69 ^l	40.15±0.83 ^{d,e,f,g}
	9	24.46±0.61 ^l	t.e.	62.04±0.50 ^b	16.15±0.37 ^l	9.74±0.25 ⁿ	2.76±0.05 ^m	22.23±0.70 ^l	37.32±0.79 ⁱ
	10	26.01±0.65 ^l	t.e.	5.17±0.04 ^{g,h}	15.96±0.37 ^l	10.82±0.27 ^m	3.85±0.07 ^l	22.24±0.70 ^l	38.40±0.80 ^{h,i}
	11	189.33±4.71 ^e	t.e.	6.59±0.05 ^g	19.63±0.45 ^k	14.95±0.34 ^b	7.97±0.14 ^b	23.51±0.74 ^h	42.53±0.87 ^b
	12	143.47±3.57 ^g	t.e.	60.09±0.49 ^b	17.13±0.40 ^l	13.54±0.32 ^{d,e}	6.57±0.16 ^c	22.84±0.72 ⁱ	41.12±0.83 ^{b,c,d}
	13	125.41±3.12 ^h	62.11±1.04 ^h	4.35±0.04 ^{g,h}	82.85±1.92 ^d	11.87±0.46 ^{i,k}	4.90±0.08 ⁱ	21.85±0.69 ^l	39.45±0.82 ^{e,f,g,h}
	14	173.32±4.31 ^f	112.83±1.89 ^g	55.39±0.45 ^c	95.05±2.20 ^b	17.98±0.39 ^a	11.00±0.18 ^a	21.86±0.69 ^l	44.70±0.91 ^a

Tablo 1. (Devamı) Sucukların Biyojen Amin Miktarları

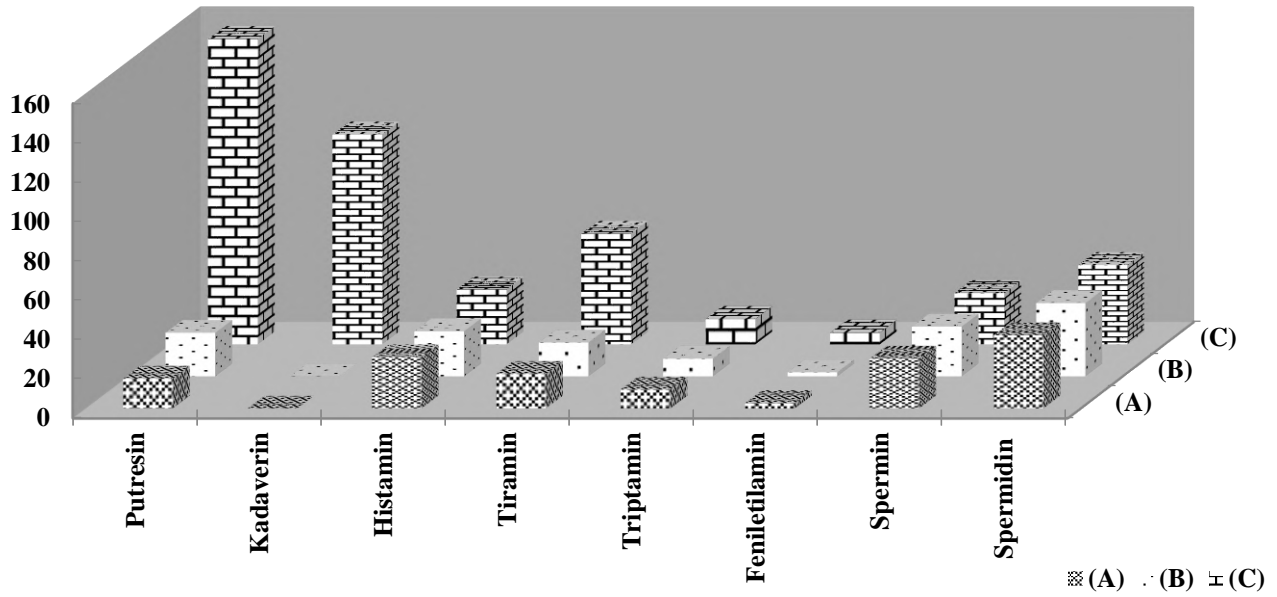
Sucuk Grupları	Biyojen Amin Miktarları (mg /kg)							
	Putresin	Kadaverin	Histamin	Tiramin	Triptamin	Feniletilamin	Spermin	Spermidin
15	98.28±2.45 ⁱ	t.e.	61.16±0.49 ^b	13.75±0.32 ^m	14.24±0.43 ^c	7.26±0.14 ^c	33.00±1.04 ^d	41.82±0.86 ^{b,c}
16	51.62±1.28 ^k	t.e.	1.70±0.01 ^{u,j}	12.61±0.29 ^{m,n}	11.97±0.39 ⁱ	4.99±0.09 ⁱ	22.31±0.70 ^{i,k}	39.55±0.72 ^{e,f,g,h}
17	295.66±7.36 ^c	t.e.	6.50±0.05 ^g	45.49±1.05 ^j	12.81±0.30 ^{f,g}	5.83±0.12 ^g	22.39±0.80 ^{i,k}	40.39±0.83 ^{c,d,e,f}
18	295.58±7.36 ^c	t.e.	65.51±0.53 ^a	47.74±1.10 ⁱ	11.80±0.39 ^{j,k}	4.83±0.08 ⁱ	22.43±0.71 ^j	39.38±0.85 ^{e,f,g,h}
19	400.80±9.97 ^b	212.23±3.56 ^c	35.52±0.29 ^e	86.31±2.00 ^c	13.63±0.87 ^{d,e}	6.65±0.21 ^e	30.18±0.95 ^f	41.21±0.75 ^{b,c,d}
20	542.35±13.50 ^a	285.18±4.79 ^b	t.e.	11.22±0.26 ⁿ	14.89±0.44 ^b	7.91±0.22 ^b	31.42±0.99 ^e	40.53±0.74 ^{c,d,e,f}

* ortalama değerler ± standart sapmaları. Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu anlamına gelir (P < 0.05). Aynı grup içerisindeki sucukların istatistiksel farklılıkları belirlenmiştir. t.e. : tespit edilemedi.

Tablo 2. Farklı Üretim Tekniğine Sahip Sucuk Gruplarının Biyojen Amin Konsantrasyonlarının İstatistiksel Farklılıkları

Biyojen Amin	Üretim Yöntemi	Ortalama
Putresin	(A)	15.30±0.69 ^b
	(B)	22.29±1.01 ^b
	(C)	155.05±7.00 ^a
Kadaverin	(A)	t.e.
	(B)	t.e.
	(C)	106.61±1.70 ^a
Histamin	(A)	26.20±0.46 ^b
	(B)	23.05±0.40 ^c
	(C)	28.02±0.49 ^a
Tiramin	(A)	17.71±0.31 ^b
	(B)	17.35±0.30 ^b
	(C)	56.32±0.98 ^a
Triptamin	(A)	9.77±0.18 ^b
	(B)	9.09±0.20 ^c
	(C)	13.04±0.34 ^a
Feniletilamin	(A)	2.80±0.005 ^b
	(B)	2.12±0.004 ^c
	(C)	6.06±0.02 ^a
Spermin	(A)	25.46±0.44 ^a
	(B)	25.44±0.44 ^a
	(C)	26.19±0.46 ^a
Spermidin	(A)	37.43±1.29 ^a
	(B)	37.45±1.31 ^a
	(C)	40.43±1.45 ^a
Toplam Biyojen Amin	(A)	134.69±4.38 ^b
	(B)	136.83±5.54 ^b
	(C)	422.34±13.40 ^a

* ortalama değerler ± standart sapmaları. Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu anlamına gelir (P < 0.05). Üretim yöntemine göre farklılıklar değerlendirilmiştir. t.e. : tespit edilemedi



Şekil 1. Farklı Üretim Tekniğine Sahip Sucuk Gruplarının Biyojen Amin İçerikleri

Çalışmada piyasadan toplanılan kasap, endüstriyel tip fermente ve ısıtılmış sucuklarda yaklaşık %90 oranında tespit edilen histamin sırasıyla 1.70-65.51 mg/kg, 2.61-58.75 mg/kg ve 0.18-61.03 mg/kg aralıklarında bulunmuştur (Tablo 1). Üretim yöntemi aynı olmasına rağmen sucukların histamin konsantrasyonlarındaki farklılıklar, ham maddenin hijyenik kalitesi ve belirli mikroorganizmaların varlığından kaynaklanabilmektedir (Ekici ve Omer, 2018). En düşük histamin konsantrasyonu B grubu ısıtılmış sucuklarda gözlemlenmiştir (Şekil 1) ve bu da ısıtılmış uygulamayla kısalan fermantasyon süresinin histamin oluşumunun azalmasına neden olduğu sonucunu doğrulamıştır (Kurt, 2006; Çelebi Sezer ve Bozkurt, 2019). İzin verilen maksimum histamin değeri sucuklar için 50-100 mg/kg olarak rapor edilmiştir (Nout, 1994). Benzer bir şekilde yapılan çalışmada piyasadan toplanılan sucuk örneklerinde en yüksek histamin değeri 65.51 mg/kg olarak C grubu kasap sucuklarında görülmüştür (Tablo 1). Triptamin ve feniletilaminin ortalama konsantrasyonları A, B ve C gruplarında sırasıyla 9.77, 9.09, 13.04 mg/kg ve 2.80, 2.12, 6.06 mg/kg şeklinde ($P < 0.05$) görülmüştür. Biyojen amin değerlerinde görülen bu değişkenlikler, farklı üretim uygulamaları, ham madde özellikleri (et bileşimi, pH, su aktivitesi, serbest aminoasit düzeyi, tuz düzeyi, işleme koşulları, vb.), bakteri yoğunluğu, özellikle aminoasit dekarboksilaz aktiviteye sahip mikroorganizmalar (Lactobacilli, Enterococci, Micrococci ve Enterobacteriaceae familyasına ait mikroorganizmalar), mikroorganizmaların sinerjistik etkisi, kötü hijyenik koşullar, sıcaklık uygulamaları, depolama, olgunlaşma süresi ve starter kültür kullanımı gibi faktörlere bağlı olabilmektedir (Sivamaruthi ve ark. 2020). Geleneksel yöntem ile üretilen kasap sucuklarında uygulanan doğal fermantasyon işlemi kontrolsüz ve hijyenik olmayan ortamda gerçekleşebilmesi ve starter kültür kullanılmaması fazla miktarda biyojen amin birikmesine neden olmaktadır (Erkmen ve Bozkurt, 2004; Sivamaruthi ve ark. 2020). Diğer taraftan

endüstriyel sucuklarda starter kültür kullanımı biyojen amin oluşumunu farklı şekillerde etkileyebilir. Negatif dekarboksilaz aktiviteye sahip starter kültürlerin kullanımının biyojen amin oluşumunu sınırlandırması ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır (Lu ve ark. 2010; Doeun ve ark. 2017; Latorre-Moratalla ve ark. 2017; Sivamaruthi ve ark. 2020). Yapılan çalışmada starter kültür kullanılan endüstriyel fermente ve ısıtılmış sucuk örneklerinde istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük seviyede gözlemlenmiştir (Tablo 2). Tüm sucuk örneklerinin spermin ve spermidin konsantrasyonları sırasıyla 22.34-42.54 mg/kg ve 36.52-44.70 mg/kg (Tablo 1) arasında değişmektedir. Biyojen amin konsantrasyonlarında gözlenen bu farklılıklar, ette doğal olarak oluşan spermin ve spermidin ile bakteriyel amin üretimini etkileyen pH, sıcaklık gibi önemli çevresel etkenlerden kaynaklanabilmektedir (Doeun ve ark. 2017; Sivamaruthi ve ark. 2020). Farklı üretim tekniklerinin kullanılmasının spermin ve spermidin konsantrasyonlarını istatistiksel olarak etkilemediği ($P > 0.05$) görülmüştür (Tablo 2). Bunun nedeni olarak bu iki biyojen aminin doğal poliamin olması ve hayvan, bitki ve mikroorganizmalar tarafından doğal olarak üretilmesinden kaynaklandığı söylenebilir (Ruiz-Capillas ve Jiménez-Colmenero, 2005). Birçok araştırmacı, tiramin ve kadaverinin sucuktaki en önemli ve en çok bulunan biyojen amin olduğunu bildirmişlerdir (Rabie ve ark., 2011; Latorre-Moratalla ve ark. 2017; Ruiz-Capillas ve Herrero, 2019). Ekici ve Omer (2018) piyasadan toplanılan sucuklarda sırasıyla kadaverini (23.8-681.2 mg/kg) ardından histamini (0.87- 343.91 mg/kg) ve tiramini (53.50 -273.91 mg/kg) değişen konsantrasyonlarda rapor etmişlerdir. Coisson ve ark. (2004) İtalyan sucuklarında en yüksek biyojen amin konsantrasyonunu 372 mg/kg ile tiramin ve ardından 165 mg/kg ile histamin olarak belirtmişlerdir. Çalışmada analiz edilen sucuklarda kadaverin, putresin, tiramin konsantrasyonları diğer biyojen aminlere kıyasla yüksek değerlerde gözlemlenmiştir. Piyasadan toplanan sucukların biyojen

amin miktarını bildiren literatürde pek çok çeşitli çalışma bulunmaktadır. Ankara'da yerel markette toplanılan sucuk örneklerinde kadaverin miktarı 514.24 mg/kg ve tiramin seviyesi 198.14 mg/kg'a kadar değişmiştir (Çoşansu ve Ayhan, 2002). Diğer taraftan Erkmen ve Bozkurt (2004) yapmış oldukları çalışmada endüstriyel tip fermente sucuklarda en yüksek putresin ve tiramin değerlerini sırasıyla 383.17 ve 188.6 mg/kg olarak bulmuşken, kasap sucuklarında bu değerler 918.94 ve 316.3 mg/kg'a kadar ulaşmıştır. Laktik asit bakterileri ve Gram pozitif kokların baskın flora olduğu İtalyan sucuklarında putresin değeri 2 mg/kg değerindeyken, tiramin konsantrasyonu 187 mg/kg şeklinde bulunmuştur (Ansorena ve ark., 2002). Gençcelep ve ark. (2008) ve Şenoz ve ark. (2000) sucuklarda tiramin içeriğini 2.4-676 mg/kg ve 208.66- 1173.28 mg/kg olduğu sonucuna varmışlardır. Biyojen amin için toplam 100–200 mg/kg kabul edilebilir bir düzey olarak bildirilmiştir (Nout, 1994). Yapılan çalışmada endüstriyel tip fabrika ve ısıtma işlem görmüş sucuk gruplarının biyojen amin konsantrasyonları bu değerler arasında yer almıştır. Ancak, kasap sucuklarının yaklaşık %25'nde putresin değeri ve %10'nda kadaverin değeri 200 mg/kg değerini aşmıştır (Tablo 1). Bunun nedeni yukarıda belirtildiği gibi kontrolsüz ve hijyenik olmayan şartlarda üretim, starter kültür kullanılmaması ve ısıtma işlem uygulanmaması gibi nedenler gösterilebilir (Erkmen ve Bozkurt, 2004; Latorre-Moratalla ve ark. 2017; Sivamaruthi ve ark. 2020).

Et ürünlerinde biyojen amin konsantrasyonları için kabul edilebilir sınırlandırmalar ve yaptırımlara ilişkin özel bir mevzuat genel olarak mevcut değildir (Ruiz-Capillas ve Jiménez-Colmenero, 2005; Ekici ve Omer, 2018). Toksik doz, her bireyin detoksifikasyon mekanizmalarının etkinliğine büyük ölçüde bağlı olduğu için, bireylerde biyojen aminlerin kesin toksisite eşliğinin belirlenmesi son derece zordur. Biyojen aminlerin insanlar üzerindeki toksisitesi tartışmalı bir konu olmasına rağmen, 70 ile 1000 mg histaminin alınması genellikle klinik semptomlara neden olduğu rapor edilmiştir (Ekici ve Omer, 2018). Bununla birlikte bazı bilim insanları histamin alımının toksik etkisini sınıflandırmış ve 8-40 mg arası hafif zehirlenmeye neden olabileceğini bildirmişlerdir (Doeun ve ark. 2017). Bu nedenle histamin, toksik etkisi en yüksek olan biyojen aminlerdendir (Doeun ve ark. 2017). Çalışmada A, B ve C grup sucuklarının sırasıyla yaklaşık % 40, %30 ve %35'i 40 mg/kg'dan daha yüksek histamin konsantrasyonuna sahiptir (Tablo 1). Erkmen ve Bozkurt'un (2004) yapmış olduğu bir çalışmada endüstriyel tip fermente ve kasap sucuk örneklerinin sırasıyla yaklaşık olarak %31.6 ve % 32.3'ünde 100 mg/kg'den daha yüksek histamin konsantrasyonu tespit edilmişken, Gençcelep (2008) yaptığı başka bir çalışmada sucuk örneklerinin %17'sinde histamin değeri 50-100 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), ton balığındaki histamin için risk konsantrasyonu olarak 50 mg /100 g olarak bildirmiştir (Ekici ve Omer, 2018). Diğer biyojen aminlerden putresin (2000 mg/kg), kadaverin (2000 mg/kg), triptamin (2000 mg/kg), spermin (600 mg/kg) ve spermidin (600 mg/kg) için oral toksisite seviyeleri şeklinde bildirilmiştir (Til ve ark., 1997; Naila ve ark., 2011). Buna rağmen başka bir çalışmada putresinin toksik etkisi bulunmamakla birlikte kadaverin ile birlikte histamin ve tiraminin toksik etkisini arttırdığı rapor edilmiştir (Ansorena ve ark., 2002). Ayrıca, daha az miktarlarda biyojen amin alımlarının da, kişisel yatkınlık, gastrointestinal hastalıklar, bazı ilaçların kullanımı ve alkol alımı gibi nedenlerle vücuttaki biyojen aminlerin detoksifikasyon mekanizmasının engellenmesiyle zehirlenmeye neden olabileceği unutulmamalıdır (Ekici ve Omer, 2018). Diğer taraftan, 6 mg veya 50-100 mg gibi düşük tiramin alımları, MAOI (Monoamin oksidaz inhibitörleri)

ilaçları ile tedavi edilen hastalarda hipertansif belirtilere neden olabileceği bildirilmiştir (Latorre-Moratalla ve ark., 2008) ve ilaç tedavisi gören kişiler için fermente sucuk tüketiminin sınırlandırılması gerektiği vurgulanmıştır (Ekici ve Omer, 2018).

İyi Üretim Uygulamaları (GMP) insan sağlığını etkileyen ürünlerin güvenilir koşullarda üretilmesi ve tüketiciye ulaşmasına kadarki süreçte kontaminasyon riskinin önüne geçmek için bir dizi koruyucu önlemler olarak bildirilmiştir (Rossi ve ark. 2018) Shalaby (1996) ürünlerde İyi Üretim Uygulamaları (GMP) değerlendirilmesi yapılabilmesi için biyojen amin konsantrasyonlarının (tiramin 100–800 mg/kg, histamin 50–100 mg/kg, feniletilamin <30 mg/kg) önerilen miktarlarda bulunması gerektiğini bildirmiştir. Çalışmada tespit edilen maksimum histamine, tiramin ve feniletilamin konsantrasyonları tavsiye edilen miktarlara göre oldukça düşük bulunmuştur.

4. Sonuç

Genel olarak, kasap sucuklarının ısıtma işlem ve endüstriyel tip fermente sucuklardan biyojen amin miktarı açısından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, starter kültür kullanılmadan gerçekleştirilen doğal fermantasyon işleminin sucuklar da yüksek oranda biyojen amin birikmesine neden olabileceğini göstermektedir. Gelişmiş, hijyenik koşullar barındıran modern tesisler de üretimin gerçekleşmesi ve negatif dekarboksilaz aktiviteye sahip starter kültürlerin kullanılması ile biyojen aminlerin oluşumunun engellenmesi veya azaltılması mümkün olabilecektir. Bununla birlikte ısıtma işlem uygulanmasının biyojen amin oluşumunun kontrol altına alınmasında ayrı bir öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir. Diğer taraftan, ulusal biyojen amin toksik limitleri belirlenmeli ve yasallaştırılarak kanuni yaptırımları oluşturulmalıdır. Bununla birlikte tüketiciler için farkındalık oluşturabilmek adına ürün etiketleme bilgileri düzenlenmelidir.

Kaynakça

- Ansorena, D., Montel, M. C., Rokka, M., Talon, R., Eerola, S., Rizzo, A., & Demeyer, D. (2002). Analysis of biogenic amines in northern and southern European sausages and role of flora in amine production. *Meat Science*, 61(2), 141-147.
- Ayhan, K., Kolsarici, N., Özkan, G. A. (1999). The effects of a starter culture on the formation of biogenic amines in Turkish soudjoucks. *Meat Science*, 53(3), 183-188.
- Blagojevic, B., Antic, D., Adzic, B., Tasic, T., Ikonc, P., & Buncic, S. (2015). Decontamination of incoming beef trimmings with hot lactic acid solution to improve microbial safety of resulting dry fermented sausages—A pilot study. *Food Control*, 54, 144-149.
- Bover-Cid, S., Schoppen, S., Izquierdo-Pulido, M., Vidal-Carou, M. (1999). Relationship between biogenic amine contents and the size of dry fermented sausages. *Meat Science*, 51 (4) 305–311.
- Bozkurt, H. ve Erkmen, O. (2002). Effects of starter cultures and additives on the quality of Turkish style sausage (sucuk). *Meat Science*, 61 (2) 149–156.
- Coisson, J. D., Cerutti, C., Travaglia, F., & Arlorio, M. (2004). Production of biogenic amines in “Salamini italiani alla cacciatora PDO”. *Meat Science*, 67(2), 343-349.
- Coloretti, F., Tabanelli, G., Chiavari, C., Lanciotti, R., Grazia, L., Gardini, F., & Montanari, C. (2014). Effect of wine addition on microbiological characteristics, volatile molecule profiles

- and biogenic amine contents in fermented sausages. *Meat science*, 96(3), 1395-1402.
- Çoşansu, S. ve Ayhan, K. (2002). Ankara'da satışa sunulan sucukların biyojen içerikleri. *Türkiye 7. Gıda Kongresi*, 22-24 Mayıs, 453, Ankara.
- Çelebi Sezer, Y., Bozkurt, H. (2019). Use of novel casing in sucuk production: Antimicrobials incorporated into multilayer plastic film. *Acta Alimentaria*, 48(1), 1-8.
- Değirmencioglu, A., Arslan M., Gökgozoğlu İ. ve Tavşanlı H. (2006). Klasik Tip Ve Isıl İşlem Uygulanarak Olgunlaştırılan Sucukların Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu, 401-2.
- Demirgöl, F., Sağdıç, O. (2017). Laktik starter kültür üretim teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(11), 27-37.
- Doen, D., Davaatseren, M., & Chung, M. S. (2017). Biogenic amines in foods. *Food science and biotechnology*, 26 (6), 1463-1474
- Domínguez, R., Munekata, P. E., Agregan, R., & Lorenzo, J. M. (2016). Effect of commercial starter cultures on free amino acid, biogenic amine and free fatty acid contents in dry-cured foal sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 47-53.
- Eerola, S., Hinkkanen, R., Lindfors, E., Hirvi, T. (1993). Liquid chromatographic determination of biogenic amines in dry sausages. *Journal of AOAC International*, 76(3), 575-577.
- Ekici, K. ve Omer, A. K. (2018). The determination of some biogenic amines in Turkish fermented sausages consumed in Van. *Toxicology reports*, 5, 639-643.
- Ekici, K., Şekeroğlu, R., Sancak, Y. C., Noyan, T. (2004). A note on histamine levels in Turkish style fermented sausages. *Meat science*, 68(1), 123-125.
- Ensoy, U., Kolsarici, N., Candoğan, K., & Karshoğlu, B. (2010). Changes in biochemical and microbiological characteristics of turkey sucuks as affected by processing and starter culture utilization. *Journal of Muscle Foods*, 21(1), 142-165.
- Erkmen, O. (1999). Behavior of *Staphylococcus aureus* in Refrigerated and Frozen Ground Beef and in Turkish Style Sausage and Broth With and Without Additives. *Journal of Food Processing and Preservation*, 21, 279-288.
- Erkmen, O. ve Bozkurt, H. (2004). Quality characteristics of retailed sucuk (Turkish Dry-Fermented Sausage). *Food Technology and Biotechnology*, 42, 63-69.
- Gençcelep, H., Kaban, G., Aksu, M. İ., Öz, F., Kaya, M. (2008). Determination of biogenic amines in sucuk. *Food Control*, 19(9), 868-872.
- Kara, R. ve Akkaya, L. (2010). Geleneksel ve Isıl işlem Uygulanarak Üretilen Türk Sucuklarında *Salmonella typhimurium*'un Gelişimi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(3), 1-8.
- Kesmen, Z., Yarımcam, B., Aslan, H., Ozbekar, E., & Yetim, H. (2014). Application of different molecular techniques for characterization of catalase-positive cocci isolated from Sucuk. *Journal of food science*, 79(2), M222-M229.
- Kim, M., Jae-Mah, J., Hwang, H. (2009). Biogenic amine formation and bacterial contribution in fish, squid and shellfish. *Food Chemistry*, 116, 87-95.
- Kurt Ş. (2006). The effects of fermentation time, nitrite level and heat treatment on biogenic amine formation and some properties of sucuk. PhD thesis. Yüzüncü Yıl University, Van, Turkey.
- Kurt, Ş. ve Zorba, Ö. (2010). Biogenic amine formation in Turkish dry fermented sausage (sucuk) as affected by nisin and nitrite. *J. Sci. Food Agric*, 90 (15) 2669-2674.
- Latorre-Moratalla, M. L., Veciana-Nogués, T., Bover-Cid, S., Garriga, M., Aymerich, T., Zanardi, E., ... & Laukova, A. (2008). Biogenic amines in traditional fermented sausages produced in selected European countries. *Food Chemistry*, 107(2), 912-921.
- Latorre-Moratalla, M. L., Comas-Basté, O., Bover-Cid, S., & Vidal-Carou, M. C. (2017). Tyramine and histamine risk assessment related to consumption of dry fermented sausages by the Spanish population. *Food and Chemical Toxicology*, 99, 78-85.
- Lu, S., Ji, H., Wang, Q., Li, B., Li, K., Xu, C., & Jiang, C. (2015). The effects of starter cultures and plant extracts on the biogenic amine accumulation in traditional Chinese smoked horsemeat sausages. *Food Control*, 50, 869-875.
- Lu, S., Xu, X., Zhou, G., Zhu, Z., Meng, Y., Sun, Y. (2010). Effect of starter cultures on microbial ecosystem and biogenic amines in fermented sausage. *Food Control*, 21: 444-449.
- Naila, A., Flint, S., Fletcher, G. C., Bremer, P. J., & Meerdink, G. (2011). Biogenic amines and potential histamine-forming bacteria in rihaakuru (a cooked fish paste). *Food chemistry*, 128(2), 479-484.
- Nout, M. (1994). Fermented foods and food safety. *Food Res. Int.*, 27 (3), 291-298.
- Önal, A. (2007). A review: current analytical methods for the determination of biogenic amines in foods. *Food Chemistry*, 103 (4) 1475-1486.
- Papavergou, E. J. (2011). Biogenic amine levels in dry fermented sausages produced and sold in Greece. *Procedia Food Science*, 1, 1126-1131.
- Rabie, M. Elsaidy, S. el-Badawy, A. Siliha, H. Malcata, F. (2011). Biogenic amine contents in selected Egyptian fermented foods as determined by ion-exchange chromatography. *J. Food Prot.*, 74 (4) 681-685.
- Rossi, E. M., Beilke, L., & Barreto, J. F. (2018). Microbial contamination and good manufacturing practices in school kitchen. *Journal of food safety*, 38(1), e12417.
- Ruiz-Capillas, C., Jiménez-Colmenero, F. (2005). Biogenic amines in meat and meat products. *Critical Reviews in food Science and Nutrition*, 44(7-8), 489-599.
- Ruiz-Capillas, C., Herrero, A. M. (2019). Impact of biogenic amines on food quality and safety. *Foods*, 8(2), 62.
- Şenoz, B., Isıklı, N., Coksoyler, N. (2000). Biogenic amines in Turkish sausages (sucuks). *Journal of Food Science*, 65(5), 764-767.
- Shalaby, A. R. (1996). Significance of biogenic amines to food safety and human health. *Food Research International*, 29(7), 675-690.
- Sivamaruthi, B. S., Kesika, P., & Chaiyasut, C. (2020). A narrative review on biogenic amines in fermented fish and meat products. *Journal of Food Science and Technology*, 1-17.
- Stadnik, J. and Dolatowski, Z. J. (2010). Biogenic amines in meat and fermented meat products. *Acta. Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 9 (3), 251-263.
- Stojanović Z. ve Švarc-Gajić, J. (2011). A simple and rapid method for histamine determination in fermented sausages by mediated chronopotentiometry. *Food Control*, 22 (12), 2013-2019.
- Suzzi, G. ve Gardini F. (2003). Biogenic amines in dry fermented sausages: a review. *Int J Food Microbiol*, 88, 41-54.
- Til, H. P., Falke, H. E., Prinsen, M. K., & Willems, M. I. (1997). Acute and subacute toxicity of tyramine, spermidine, spermine, putrescine and cadaverine in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 35(3-4), 337-348.

- Vidal-Carou M.C., Veciana-Nogués T., Lattore-Moratalla M.L. and Bover-Cid S. (2007). "Biogenic amines: Risks and control", In: Toldrá F. (Eds). Handbook of fermented meat and poultry, Ames, Iowa, USA: Blackwell Publishing Inc, 455-468.
- Yıldırım, Y. (1996). "Et Endüstrisi". Uludağ Ü. Veteriner Fak., Kozan Ofset (4. Baskı), Ankara.



Coding, Robotics and Computational Thinking in Preschool Education: The Design of Magne-Board

Batıkan Erdem Demir^{1*}, Funda Demir²

^{1*} Karabuk University, Faculty of Technology, Department of Mechatronics Engineering, Karabuk, Turkey (ORCID: 0000-0001-6400-1510), bedemir@karabuk.edu.tr

² Karabuk University, TOBB Technical Sciences Vocational School, Electronic Technology Program (ORCID: 0000-0001-7707-8496), fundademir@karabuk.edu.tr

(First received 18 December 2020 and in final form 1 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.842483)

ATIF/REFERENCE: Demir, B. E. & Demir, F. (2021). Coding, Robotics and Computational Thinking in Preschool Education: The Design of Magne-Board. *European Journal of Science and Technology*, (23), 52-61.

Abstract

The coding education given within the scope of STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) education gives children computational thinking skills. Computational thinking involves a set of problem-solving, algorithmically thinking, analytical thinking and critical thinking skills. When the coding education is given to children by an ER (Educational Robotics), the content of the education becomes more tangible and fun. In addition, ER helps develop motor skills and hand-eye coordination. It supports children's social development by directing them to collaboration and teamwork. In this study, an educational coding robot with magnetic board that makes the coding education suitable for preschool children was designed. This platform has attractive visual design, audible and illuminated warnings. In addition, it is computer-independent, easily portable and can be operated wirelessly. The educational robot was introduced for use by 40 children aged 4-5 years old. The interaction of the children with the robot was observed by 10 people in total, consisting of pre-school teachers and academicians. An evaluation form containing open-ended questions has been created to evaluate whether the prepared educational robot is a useful material for teaching pre-school children. Answers and suggestions from users were recorded and interpreted according to content analysis. It was determined that the educational coding robot with magnetic platform developed according to the obtained data is suitable for the pedagogical properties of the target group. In addition, it is concluded that there is an educational material that can be used for the expected purpose.

Keywords: Coding education, Computational thinking, Educational Robotics, STEM.

Okulöncesi Eğitimde Kodlama, Robotik ve Bilişimsel Düşünme: Magne-Board'un Gelişimi

Öz

STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics - Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik) eğitimi kapsamında verilen kodlama eğitimi, çocuklara bilişimsel düşünme becerileri kazandırmaktadır. Bilişimsel düşünme, bir dizi problem çözme, algoritmik düşünme, analitik düşünme ve eleştirel düşünme becerilerini içerir. Çocuklara kodlama eğitimi ER (Educational Robotics – Eğitici Robotlar) tarafından verildiğinde eğitimin içeriği daha somut ve eğlenceli hale gelir. Ek olarak, ER motor becerilerin ve el-göz koordinasyonunun geliştirilmesine yardımcı olur. Çocukları işbirliğine ve ekip çalışmasına yönlendirerek sosyal gelişimini destekler. Bu çalışmada kodlama eğitimini okul öncesi çocuklara uygun hale getiren manyetik kartlı eğitici bir kodlama robotu tasarlanmıştır. Bu platform çekici görsel tasarıma, sesli ve ışıklı uyarılara sahiptir. Ayrıca bilgisayardan bağımsızdır, kolayca taşınabilir ve kablosuz olarak çalıştırılabilir. Eğitim robotu 4-5 yaş arası 40 çocuğun kullanımına sunuldu. Çocukların robotla etkileşimi okul öncesi öğretmenleri ve akademisyenlerden oluşan toplam 10 kişi tarafından gözlemlendi. Hazırlanan eğitim robotun okul öncesi çocuklara öğretmek için yararlı bir materyal olup olmadığını değerlendirmek için açık uçlu sorular içeren bir değerlendirme formu oluşturuldu. Kullanıcılardan gelen cevap ve öneriler kayıt altına alındı ve içerik analizine göre yorumlandı. Elde edilen verilere göre geliştirilen manyetik platformlu eğitici kodlama robotunun hedef grubun pedagojik özelliklerine uygun olduğu belirlendi. Ayrıca beklenen amaç için kullanılacak bir eğitim materyali olduğu sonucuna ulaşıldı.

Anahtar Kelimeler: Kodlama Eğitimi, Bilişimsel Düşünme, Eğitici Robotik, STEM.

* Corresponding Author: bedemir@karabuk.edu.tr

1. Introduction

Until recently, developments in the field of technology make it necessary to educate people who can use this technology and carry it forward. For this purpose, more emphasis has been placed on science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education for children around the world recently (Gelman & Brenneman, 2004). In addition, new technology learning standards and technology integrated applications have been developed (Barron et al., 2011; Marina Umaschi Bers et al., 2014)

In the past years, it has focused on advanced schools for robotics and programming, and educational studies carried out within the scope of STEM education. After the idea “this education could be a useful experience for preschool children” proposed by Bers in 2008, STEM education has been started for preschool children (Marina Umaschi Bers, 2008). ER used in this education are new generation educational tools developed for children to understand mathematical concepts such as number, shape, and size more easily (Brosterman, 1997; Resnick et al., 1998). In this way, children were provided to transform the concepts of abstract mathematics and science into concrete real-world applications (Karim et al., 2015). In addition to providing a fun educational environment, ERs improve fine motor skills and hand-eye coordination. It also supports children's social development by directing them to collaboration and teamwork (K. T. H. Lee et al., 2013; Ortega et al., 2009; Schneider et al., 2011).

There are supporting studies in the literature that are suitable for starting robotic and coding education at the age of 4 (Marina U Bers et al., 2002; Cejka et al., 2006; Perlman, 1976; Sullivan et al., 2013; Sullivan & Bers, 2016; Wyeth, 2008). These studies also draw attention to the fact that children exposed to STEM curricula and coding education at an early age have less gender stereotypes about their STEM careers and less obstacles to technical fields. In addition to the positive benefits mentioned above, early coding education also contributes to the mental development of the child. According to the idea which created by Jeanette Wing in 2008, robotics and coding education supports “the computational thinking” ability in early child (Wing, 2006). This term can be explained as a broad analytical and problem-solving skill and tendency used in computer science (Barr & Stephenson, 2011; I. Lee et al., 2011). Coding education makes individuals gain creative thinking, algorithmically thinking, analytical thinking, critical thinking, problem solving and design-focused thinking abilities.

The first study on coding education goes back to the 1960s. With the Logo language developed by Seymour Papert and MIT researchers, children were given the opportunity to program the movements of a turtle. In this way, the children were able to create new ideas in mathematics and science (Papert, 1980).

Based on Papert's views on constructivism, several programming languages have been developed for children and novice users (Kelleher & Pausch, 2005). At the beginning, the programming tools were based on text and graphical user interfaces (GUIs). Some of the notable GUI based user interfaces were Alice (Conway et al., 1994), ToonTalk (Kahn, 1999), RoBoLab (Portsmore, 1999), and Scratch (Resnick, 2007). These graphical interfaces allow children to program by using icons on the computer screen. However, the programming process with GUI-based interfaces requires the ability to match the symbolic representation on the screen with the actions they produce

(Sapounidis & Demetriadis, 2011) has some difficulties for beginners of all ages.

Tangible user interface (TUI) based languages have been developed to solve these problems. TUI creates an environment for users without a mouse and keyboard and allows programming with physical objects such as puzzles and cubes (Smith, 2007). Subsequently, TUI-based studies began to become a very attractive field of research for the scientist.

Tangible languages are also used to program educational robots (ER). ERs are a multidisciplinary educational nature that provides constructive learning environments for a better understanding of more scientific and non-scientific topics. They play an important role in learning the subjects of Science, Technology, Engineering, and Mathematics (Dwyer et al., 1991; Jeschke et al., 2008). The Tortis-Slot machine is the first tangible robot system when tangible languages for robotic programming are placed in chronological order.

The Tortis-Slot machine is the first tangible robot system. This system, consisting of a 3-color card, turtle robot and slot machine, was designed by Perlman. Tangible Programming for trains created in 1998 by Genee Lyn Colobong and Martin. This language became commercial product by LEGO in 2003 as the “Lego intelli – train”. Tangible Programming Bricks was designed by McNerney. Electronic Blocks - roBlocks were designed by Peta Wyeth and Helen C. Purchase. Children can create programmable little robotic vehicles and simple constructions by stacking the electronic blocks one on top the other. In the continuation of these studies Gameblocks, Tern – Tangicons, the PROTEAS (Programming Tangible Activity System) kit, Algorithmic Bricks, Dr. Wagon, Robo-Blocks, KIBO, T-Maze, E-Blocks, TanProRobot, Primo, and Code-a-pillar are taken place in the literature (Alimisis et al., 2017). Despite the various design approaches, there are different opinions about the advantages and disadvantages of using such TUIs or GUIs. Some studies have argued that TUIs are more natural and user-friendly than GUIs (Ishii & Ullmer, 1997). In another study by Sapounidis et al, they compared TUI and GUI to program a robot. They explained that the result depends on the age and gender of the children (Sapounidis & Demetriadis, 2013).

In this study, an educational coding robot with magnetic board was created which makes this education convenient for the preschool children. This robot which designed to support computational thinking skills, consists of three main part called play mat, magne-board (coding board) and mobile robot. It provides a pleasant independent education environment with its easy-to-carry feature, audible and sound alerts and moving parts. It also provides an effective environment for the child to produce a solution to the problems he/she faces, to see the results, correct his mistakes and enjoy the happiness of his success.

A group of 40 children between the ages of 4 and 5 was created to test this educational robot. The robot was introduced to the children and the situations they could do with this robot were explained. The reason for choosing children at this age is that 4-year-olds are specified as the appropriate age to start coding education. Ten volunteer observers, consisting of pre-school teachers and academicians, have been identified to observe the interaction of children with the robot. As a result of the observations, “Did you find this educational robot useful for code the training? (Why?)”, “Is the educational robot suitable for the developmental characteristics of the target audience? ”And” What

effect do you think learning coding had on children?" teachers and academics were asked and their suggestions were taken.

The robot designed according to the answers was evaluated. The statements given in the answers were summarized with the context analysis technique and interpreted. The findings were categorized and scored as sub-themes and main themes. Findings and suggestions of the observers are explained in the conclusion section.

2. Material

2.1. Design Features

It is necessary to pay attention to the physical characteristics of the design, especially if you want to design an educational robot for children (Barnes et al., 2020; Chu et al., 2019). Because physical properties can strongly influence the way children perceive and use it (Yu & Roque, 2018). This educational robot is consisted of 3 fundamental components, namely "motion platform", "magne-board (coding board)" and "traveler robot". All the mechanical parts were drawn in SolidWorks and the parts were created through 3D printer.

The used PLA (polylactic acid) material is an organic one that is produced from corn starch and sugar cane. This material, which is preferred because it is not dangerous for health, has a bright and clear appearance. The main color used in the robot is bright orange. The training robot has audibled and illuminated alerts to handle multiple senses. The current physical features attract children's attention, increase their interest and curiosity. It also encourages children to use the material. The basic parts of the educational robot are as follows.

2.2. Playground

The motion platform is 65x65 in size and consists of 16 cells. In this platform, children are asked to determine the starting position of the robot and then the target location of the robot. The children plan the necessary steps to ensure that the robot travels from the starting position to the target location in their mind. As a result of these plans, the magne-board, steering blocks, and playground are used to make the desired movement to the mobile robot. This process followed by children is the stage of creating an algorithm, which is the first step of writing code. The successes to be gained by building different stories and games can be increased with the themes in the motion platform. The playground is given in Figure 1.

Photos on the playground are some of Turkey's historic and tourist places. These are Pamukkale travertines, Cappadocia, Potbelly Hill temple, Mount Nemrut, Ephesus ancient city, Troy ancient city, Hierapolis ancient city. Thus, teaching the historical and touristic places in our country becomes easier.

2.3. Magne-board and steering blocks

The magnetic board is where the action plan is produced by the steering blocks. After determining the starting and target position of the robot on the playground, the movements towards the target are placed on the magne-board via steering blocks and then transferred to the mobile robot which can be accessed remotely. Commands are sent forward, backward, left, and right to the robot that is moved one cell at a time. These direction commands are created using steering blocks that can be placed and removed from the magne-board, like Legos. Communication

between the steering blocks and the magne-board is provided by the magnets placed in the feet of the blocks and the reading reed relays in the magne-board. This cost-effective method does not require additional sensors. Magne-board and steering blocks designs are seen respectively in Figure 2 and Figure 3.

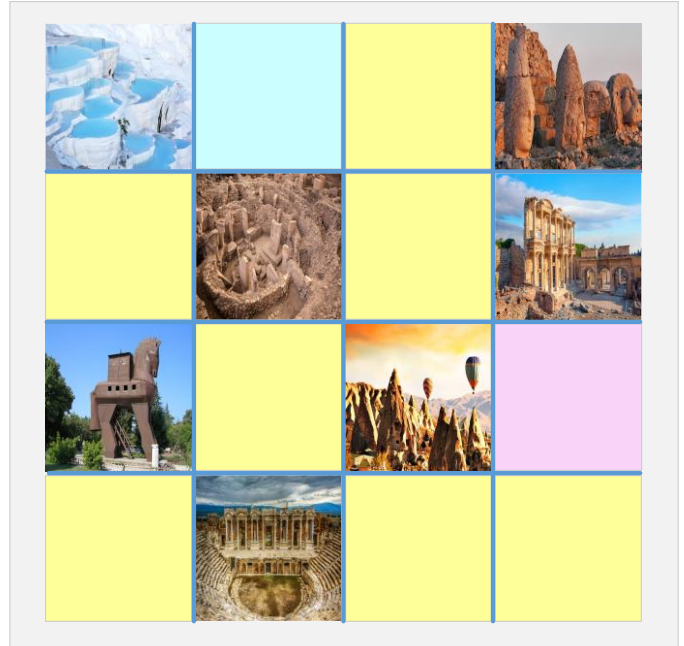


Figure 1. Playground.

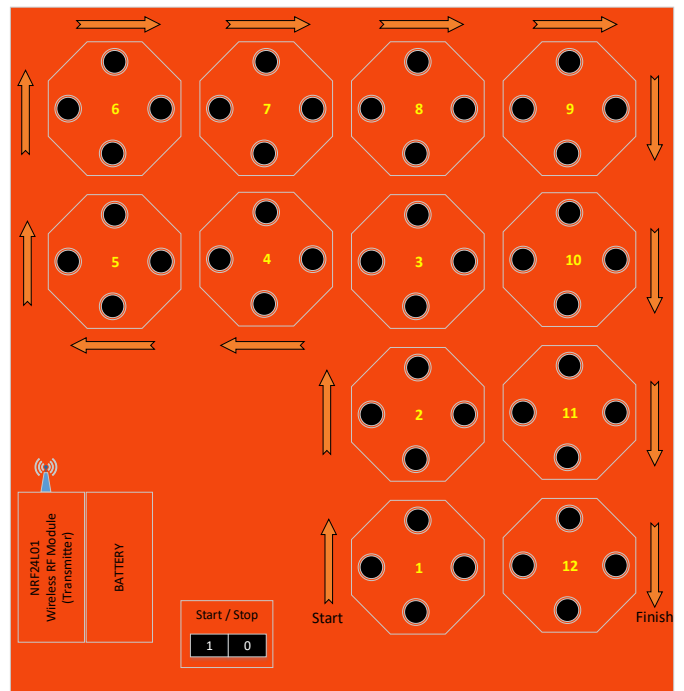


Figure 2. Magne-board design.

To start the movement, the steering blocks must be placed on the magne-board according to the directions of the arrows associated with the colors on it. Using the magne-board, the desired movement can be visualized in the minds of children. The electronic circuit diagram developed for the magnet-board is shown in Figure 4.

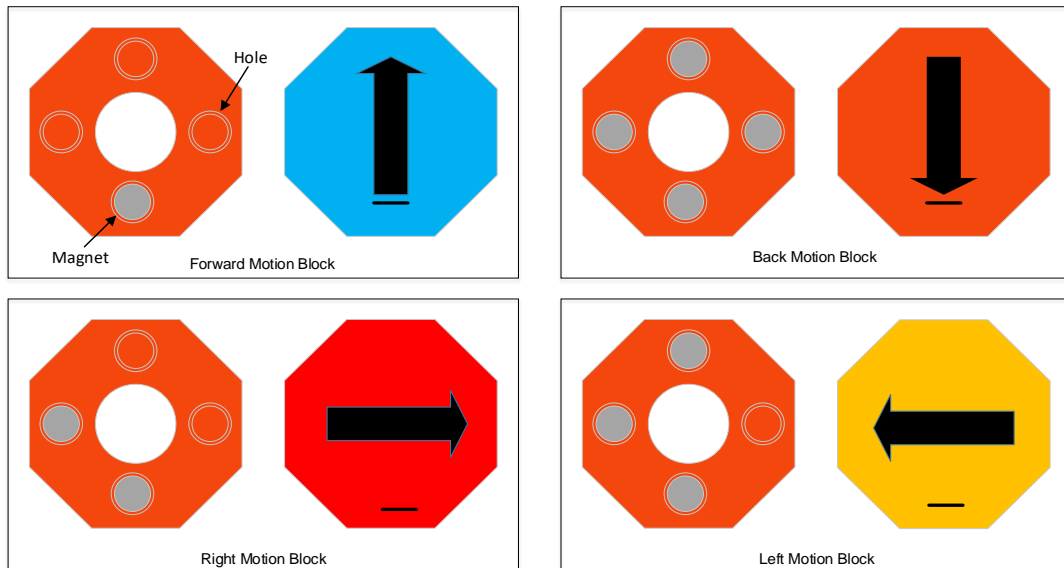


Figure 3. The top and bottom views of the steering blocks.

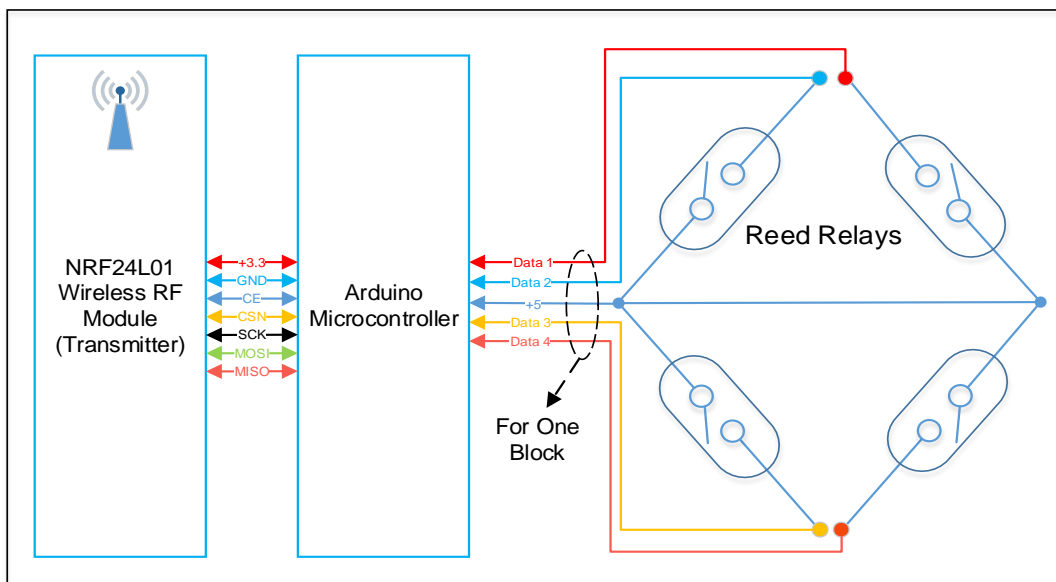


Figure 4. Electronic circuit diagram of the magnet-board.

2. 4. Mobile robot

The mobile robot, which is the moving part of the education platform, is 14 x 14 cm in size and has a colorful design that appeals to the age levels of children. The mobile robot detects the command given on the magne-board via wireless connection and performs its movements on the playground according to these commands. The robot has a sound notification. When it is operated, it says "hello", "let us go on a trip"; When it is stopped, it says "goodbye", "see you again". At the same time, the mobile robot has LEDs that look like an eye on the face. These LEDs, which turn off during standby, operate by blinking while the robot is in motion.

These stimuli allow the child to become familiar with the educational robot and have fun while learning. The size and weight of the educational robot are such that children can easily carry it. Since the communication between the magne-board and the robot is provided wirelessly, there is no wiring problem. Figure 5 shows the mobile robot developed.



Figure 5. Mobile robot.

While designing this educational material, the concept of computational thinking, which Jeanette M. Wing introduced in 2006, was taken into consideration. In this concept, the child thinks how to behave in the face of a problem, plans the steps towards a solution and reaches the result. What is expected from the child in this education robot is to plan the movement that will

carry the robot from one point to another on the playground and then create this movement plan that s/he creates in his/her mind with the steering blocks. The electronic circuit diagram developed for the mobile robot is shown in Figure 6.

3. Method

3.1. Participants

The aim of this study is to examine the effects of coding education robot designed for preschool children with the comments of preschool teachers and academicians who are experts in their fields. Within the scope of the research, the opinions, and suggestions of 4 teachers and 6 academicians about the coding training robot were revealed, and a qualitative research approach was used to evaluate these opinions and suggestions. The qualitative data obtained through interview and observation were analyzed and interpreted with descriptive and content

analysis methods. In the test stage, the educational robot was tried by groups of preschool children aged 4 and 5. Each group were consisted of 20 students. Different preliminary studies were applied to them due to age differences and different experiences were presented with the robot. Experiments were conducted in classrooms that were offered by schools for this purpose (Figure 7).

3.2. Preliminary studies

Since the children had not received any coding education before, they were given training to start coding lessons in 2 sets of 30 minutes.

1. Set: With the colorful pillows that were placed on the floor, the children were made to play target-reaching games. (For instance, the discussion of how it is possible to start from the yellow pillow and reach the green one).

2. Set: In the second 30 minutes long set, the floor is divided into squares with chalk. With the arrow signs, having been prepared from colorful plates, signs were created on the floor and the children were asked to move by following the arrow signs. These preliminary studies were made to prepare the children for the situation that is intended to be made with the educational robot.

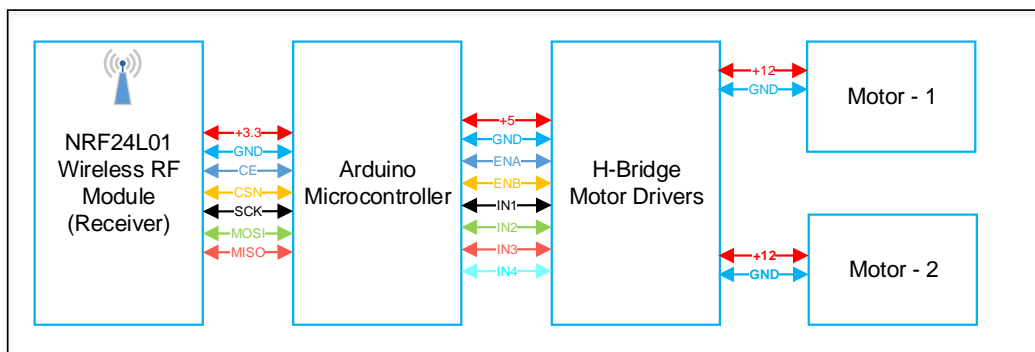


Figure 6. Electronic circuit diagram of the mobile robot.



Figure 7. One child coding the robot with Magne-Board.

3.3. Procedure-meeting with the coding education robot

After these preliminary studies, the children were introduced to the coding education robot. Showing suggestions to the views of the teachers, the group of 4-year-olds was started with the applications that they can use only the forward and left steering blocks. Later, the applications they can do by using the right and back steering blocks and lastly, the applications they can do by using all steering blocks are given. In this way, the functions of the educational robot are gradually presented to the 4-year-old age group. In the first stage, applications that can be done with forward, right, and left steering blocks were given to 5-year-old children, the other age group of the study. Afterwards, with the reverse routing block, it was explained that the routes they determined in the previous step can be reached in shorter ways to reach the target, and the 4 steering blocks of the education robot were used. Children's interaction with all parts of the robot, their level of perception and fulfillment of the tasks expected from them were observed and recorded by preschool teachers and academicians.

3.4. Data collection instruments

The semi-structured interview technique was used in the study. This technique was preferred because it provided more systematical and comparable knowledge, depending on the format prepared beforehand. These interviews were made by the researcher and created as the result of the literature review (Gültepe, 2018), and the answers to the following questions were sought:

- 1- Did you find this education robot that was made for coding education beneficial? (Why?)
- 2- Is the education robot suitable for the development characteristics of the target audience?

- 3- In your opinion, what kind of effect did learn to code have on children?

Finally, it was asked to the teachers whether they had recommendations toward the development of the coding education robot.

3.5. Data analysis

While the data were analyzed, the qualitative data that were gathered through interview and observation were interpreted by being analyzed with content analysis methods. Whereas descriptive analysis was a type of qualitative data analysis that includes the summary and interpretations of the data, which had been collected with various data collection techniques, according to predetermined themes, the fundamental goal in context analysis is to reach the concepts and relations that can explain the collected data. The reason why both analysis methods were preferred is that the unrealized concept and themes can be explained better by taking the data that were summarized and interpreted in the descriptive analysis through a deeper process.

4. Results and Discussion

Academicians and preschool teachers were asked to observe the interaction of children with the educational robot. Questions were asked to them because of these observations. The answers were classified by creating the main themes and sub-themes as previously mentioned. As a result of the answers given to the column f numerically transferred. % column is the percentage of the comments obtained from 10 observers. As in Table 1, when asked the 1st question, it is seen that the coding education robot has positive aspects. In addition, graphical representation of results also is given in Figure 8.

Table 1. The positive aspects of the prepared material

Theme	Sub-themes	f	%
Utility	1. Usefulness	10	100
	2. Raising awareness	8	80
	3. Imagination development	6	60
	4. Sense of success	8	80
	5. Social responsibility	6	60
Productivity	6. Creating his/her own applications	5	50
	7. Producing solutions	9	90

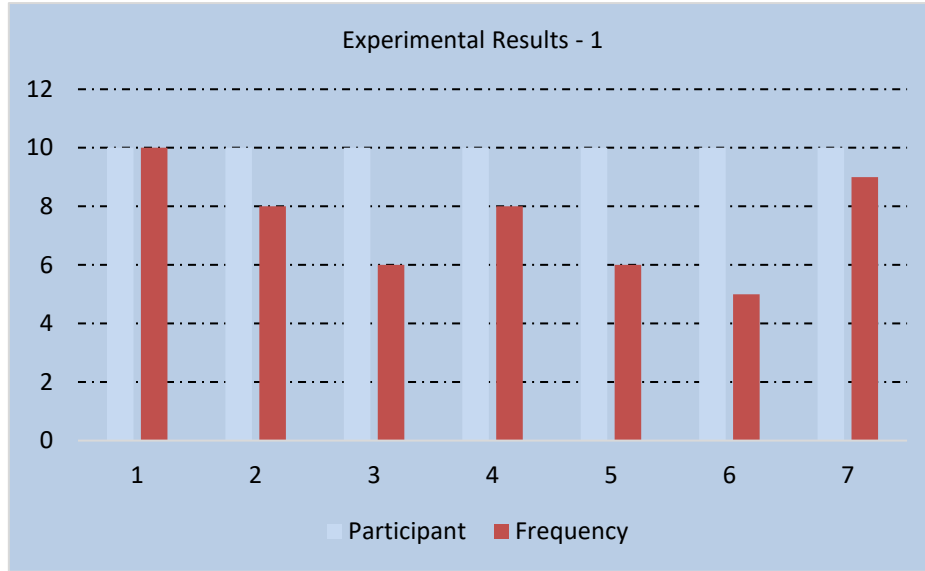


Figure 8. Graphical representation of results - 1.

These positive aspects were consisted of the main themes as utility and productivity. According to the results obtained from the positive effects table, it is concluded that the proposed material achieved an average success of 75% in these themes. The robot's being a helpful model to teach coding, creating curiosity and sense of accomplishment in children is thought. In addition, it is believed that preparing the children for the technological developments of today, providing them with the ability of problem solving, cause-effect relationship, analytical thinking

and concrete thinking is a social responsibility. It is seen to be supporting productivity because it also directs children in terms of finding their own solutions for the problems that they encounter.

The views on the suitability of the education robot for the use of the target audience, meaning the preschool children at the ages of 4 and 5, are given in Table 2. In addition, graphical representation of experiment results also is given in Figure 9.

Table 2. The suitability of the prepared material

Theme	Sub-themes	f	%
Physical suitability	1. Raising interest and curiosity	10	100
	2. Providing an enjoyable environment	10	100
	3. Child health	10	100
Cognitive suitability	4. Comprehension	9	90
	5. Clarity	6	60

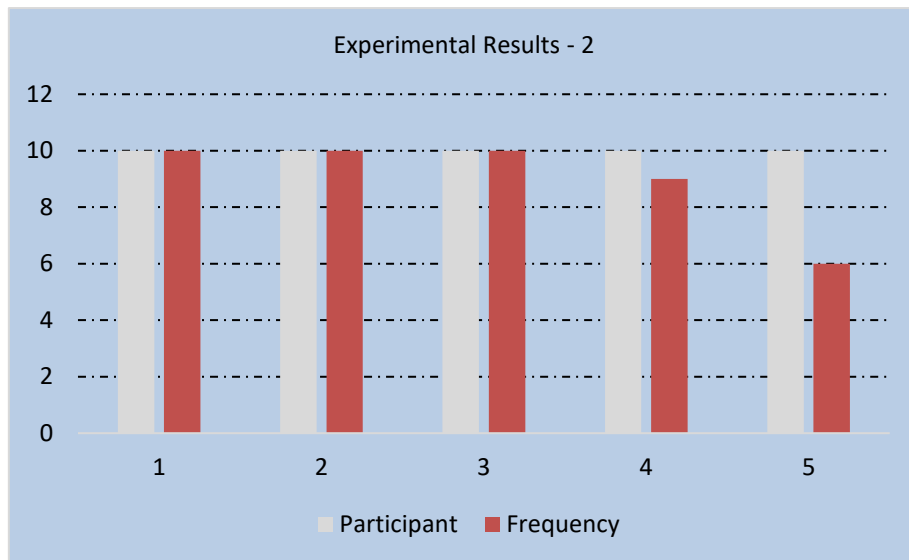


Figure 9. Graphical representation of experimental results - 2.

According to the answers to the question 2, the main themes were categorized as the physical and cognitive suitability of the robot. When the results obtained from the suitability table are examined, it is concluded that the prepared material achieved an average of 90% success in these themes. It is an important feature that the coding education robot has an interesting and intriguing design as it is supported by moving-sound-light stimuli. This feature encourages preschool children to use this material. It is obvious that the coding education is regarding an enjoyable educational environment. Furthermore, the materials used are

suitable for health and safety. In education, the tasks that are requested from the child to be achieved are in accordance with the cognitive level of the age group. But the view that it is complex for the children to be able to plan the movement of the mobile robot on the playground, and create this movement on another platform, the magne-board, is stated. The themes that include the preschool teachers' and academicians' views on the coding education material's contributions to students are presented in Table 3 under development and creativity. In addition, graphical representation of experiment results also is given in Figure 10.

Table 3. The contributions of learning coding for the student.

Theme	Sub-themes	f	%
Revenue	1. Success, happiness and increase in self-confidence	7	70
	2. Contribution to the lessons that they will take in the future	6	60
Creativity	3 Application development, production	5	50
	4. Mental development, producing an idea	9	90
	5. Supra-cognitive awareness	7	70

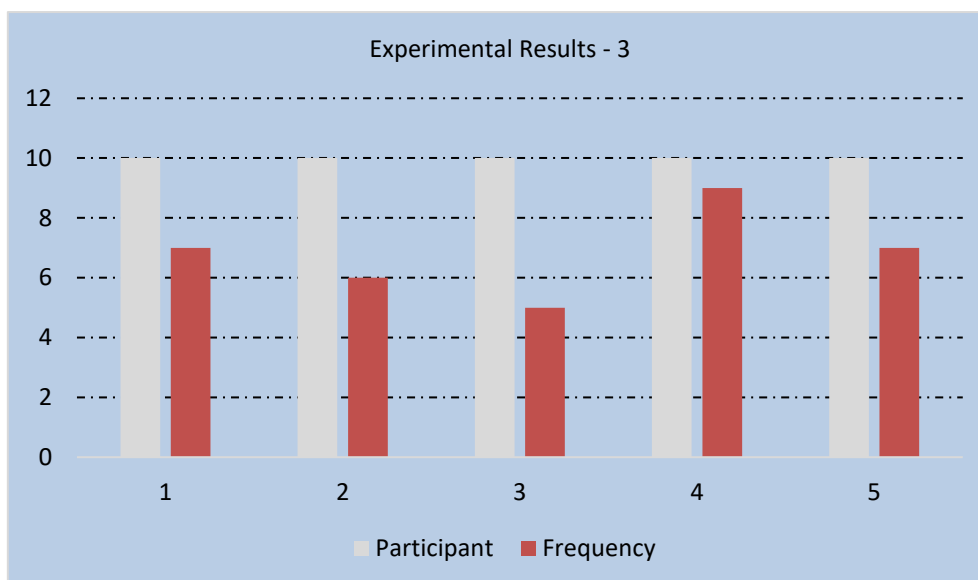


Figure 10. Graphical representation of experimental results - 3.

According to the answers to the question 3, it makes a positive contribution to their seeing the results by concretizing the steps of solution that children visualized in their minds and to the increase of their self-confidence. They will be able to transfer this education to the solutions of the issues that they encounter in daily life and of the problems that they will see in the lessons of natural sciences and mathematics that they will take in the following years. The different applications that they will realize with the education robot will make a positive contribution to their mental development and create a supra-cognitive awareness. When the results obtained from the positive contribution table are examined, it is concluded that the prepared material achieved an average of 70% success in the given themes.

Finally, their recommendations were asked to the preschool teachers and specialist academicians about the development of the coding education robot. They made a criticism that the education robot's magne-board could have a more understandable design. Together with that, another view was that the children could get bored of the current themes of educational environment. It was stated that an education robot, which has changeable and different themes, could increase the robot's usage time, and keep children's interest alive. In the next step of the study, it is planned to make a more detailed study in which the afore mentioned measurements will be added. Thus, it is thought that the success rates of some sub-themes with a low success rate will increase.

5. Conclusions and Recommendations

In this study, an educational robot was designed to provide coding education to preschool children. The physical properties of this robot are created in bright colors, shapes and sizes that can attract the attention of preschool children who are the target audience. In addition, it is supported by audible and luminous stimuli. In this way, a fun educational environment is planned. While designing this educational material which consist of 3 main part, it is aimed to give the concept of computational thinking for

children. In accordance with this concept, a problem is created for the child with this educational robot and then he/she is asked to plan the steps to solve this problem step by step. The child visualizes the solution in his/her mind and solves the problem with the right moves.

The educational robot was made available to a total of 40 children aged 4 and 5. Children's interaction with the robot was observed by preschool teachers and academicians consisting of 10 people in total. According to the answers to the questions posed to the observers, the designed material was evaluated. The findings were categorized and scored as sub-themes and main themes. According to the findings, most of the observers think that the education robot is useful for creating awareness, developing imagination, creating a sense of success, and fulfilling a social responsibility. In addition, the physical properties of the robot and the comprehension level of the education were appropriate to the cognitive level of pre-school children. It was expressed by observers that this experience makes children happy, increases their self-confidence and supports their creativity. It is stated that the gains can be used by students to solve problems in other courses. Based on these opinions, the coding education robot is thought to be an educational material that can be used to introduce preschool children to coding.

In the literature, there are many education materials that were developed for the same purpose. The coding education robot that was created in this study was also an alternative study, which was prepared with cost efficiency (about 35€) and whose effectiveness was explained with the performed measurements. The materials used in mechanical and electronic components are very affordable and durable. Because it has a simple design, it can be easily changed by any adult if any material change is needed. The coding education robot designed in this study is an effective and easily accessible education material that can be used by any school or family.

References

Alimisis, D., Moro, M., & Menegatti, E. (2017). The use of robotics in introductory programming for elementary

- students. In *Educational Robotics in the Makers Era* (Vol. 560).
- Barnes, J., Fakhrhosseini, S. M., Vasey, E., Park, C. H., & Jeon, M. (2020). Child-Robot Theater: Engaging Elementary Students in Informal STEAM Education Using Robots. *IEEE Pervasive Computing*, 19(1), 22–31.
- Barr, V., & Stephenson, C. (2011). What is the Role What is Involved Science Education of the Computer Community? *Acm Inroads*, 2(1), 48–54.
- Barron, B., Cayton-Hodges, G., Copple, C., Darling-Hammond, L., Levine, M. H., & Bofferding, L. (2011). Take a giant step: A blueprint for teaching young children in a digital age. In *The Joan Ganz Cooney Center at Sesame Workshop and Stanford University* (Vol. 16, Issue 11).
- Bers, Marina U, Ponte, I., Juelich, K., & Schenker, J. (2002). Teachers as designers: Integrating robotics in early childhood education. *Information Technology in Childhood Education Annual*, 123–145.
- Bers, Marina Umaschi. (2008). Blocks to Robots: Learning with Technology in the Early Childhood Classroom. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. Teacher's College Press.
- Bers, Marina Umaschi, Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers and Education*, 72, 145–157.
- Brosterman, N. (1997). *Inventing kindergarten*. H. N. Abrams.
- Cejka, E., Rogers, C., & Portsmore, M. (2006). Kindergarten robotics: Using robotics to motivate math, science, and engineering literacy in elementary school. *International Journal of Engineering Education*, 22(4), 711–722.
- Chu, J., Zhao, G., Li, Y., Fu, Z., Zhu, W., & Song, L. (2019). Design and Implementation of Education Companion Robot for Primary Education. *2019 IEEE 5th International Conference on Computer and Communications Eftjho*, 1327–1331.
- Conway, M., Paasch, R., Gossweiler, R., & Burnette, T. (1994). Alice: A rapid prototyping system for building virtual environments. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 1994-April*, 295–296.
- Dwyer, D. C., Ringstaff, C., & Sandholtz, J. H. (1991). Changes in Teachers' Beliefs and Practices in Technology-Rich Classrooms. *Educational Leadership*, 48(8), 45–52.
- Gelman, R., & Brenneman, K. (2004). Science learning pathways for young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 150–158.
- Gültepe, A. (2018). Kodlama Öğretimi Yapan Bilişim Teknolojileri Öğretmenleri Gözüyle Öğrenciler Kodluyor. *Uluslararası Liderlik Eğitimi Dergisi*, 2(2), 50–60.
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). *Tangible bits*. 234–241.
- Jeschke, S., Kato, A., & Knipping, L. (2008). The Engineers of Tomorrow Teaching Robotics to Primary School Children. *Proceedings of SEFI Annual Conference*, 1–4.
- Kahn, K. (1999). A Computer Game to Teach Programming Introduction to ToonTalk. *Proceedings of the National Educational Computing Conference, July 2001*, 127–135.
- Karim, M. E., Lemaignan, S., & Mondada, F. (2015). A review: Can robots reshape K-12 STEM education? *Proceedings of IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts, ARSO*, 1–8.
- Kelleher, C., & Pausch, R. (2005). Lowering the Barriers to Programming: A Taxonomy of Programming Environments and Languages for Novice Programmers. *ACM Computing Surveys*, 37(2), 83–137.
- Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., Malyn-Smith, J., & Werner, L. (2011). Computational thinking for youth in practice. *ACM Inroads*, 2(1), 32–37.
- Lee, K. T. H., Sullivan, A., & Bers, M. U. (2013). Collaboration by Design: Using Robotics to Foster Social Interaction in Kindergarten. *Computers in the Schools*, 30(3), 271–281.
- Ortega, R., Romera, E. M., & Monks, C. P. (2009). The impact of group activities on social relations in an early education setting in Spain. *European Early Childhood Education Research Journal*, 17(3), 343–361.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books.
- Perlman, R. (1976). Using Computer Technology to Provide a Creative Learning Environment for Preschool Children. In *MIT Logo Memo 24*.
- Portsmore, M. (1999). ROBOLAB: Intuitive Robotic Programming Software to Support Life Long Learning. *APPLE Learning Technology Review, Spring/Summer*, 26–39.
- Resnick, M. (2007). Sowing the Seeds for a More Creative Society. *Learning & Leading with Technology*, 35(4), 18–22.
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., & Silverman, B. (1998). Digital manipulatives: New toys to think with. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, April*, 281–287.
- Sapounidis, T., & Demetriadis, S. (2011). Touch your program with hands: Qualities in tangible programming tools for novice. *Proceedings - 2011 Panhellenic Conference on Informatics, PCI 2011*, 363–367.
- Sapounidis, T., & Demetriadis, S. (2013). Tangible versus graphical user interfaces for robot programming: Exploring cross-age children's preferences. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17(8), 1775–1786.
- Schneider, B., Jermann, P., Zufferey, G., & Dillenbourg, P. (2011). Benefits of a tangible interface for collaborative learning and interaction. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(3), 222–232.
- Smith, A. C. (2007). Using Magnets in Physical Blocks That Behave As Programming Objects. *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, 147–150.
- Sullivan, A., & Bers, M. U. (2016). Robotics in the early childhood classroom: learning outcomes from an 8-week robotics curriculum in pre-kindergarten through second grade. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(1), 3–20.
- Sullivan, A., R. Kazakoff, E., & Umashi Bers, M. (2013). The Wheels on the Bot go Round and Round: Robotics Curriculum in Pre-Kindergarten. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 12, 203–219.
- Wing, J. M. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35.
- Wyeth, P. (2008). How young children learn to program with sensor, action, and logic blocks. *Journal of the Learning Sciences*, 17(4), 517–550.
- Yu, J., & Roque, R. (2018). A Survey of Computational Kits for Young Children. *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children*, 289–299.



The Effect of School/Workplace Closure Based Scenarios on COVID-19 Spread

Mustafa Demirbilek^{1*}

^{1*} Gaziantep Islam Science Technology University, Faculty of Engineering ve Natural Sciences, Department of Industrial Engineering (ORCID: 0000-0002-1520-2882)
mustafa.demirbilek@gibtu.edu.tr

(First received 18 December 2020 and in final form 12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.842793)

ATIF/REFERENCE: Demirbilek, M. (2021). The Effect of School/Workplace Closure Based Scenarios on COVID-19 Spread. *European Journal of Science and Technology*, (23), 62-69.

Abstract

Contagious diseases have wreaked havoc on human communities since ancient times. Ongoing COVID-19 pandemic has caused millions of incidents and deaths so far and continues to affect all over the world in the near future. One of ways to stop and slow down a pandemic in absent from proper and effective drugs and vaccines is workplace/school closures limiting people interactions and spread of the disease. In this study, we consider workplace/school closures as an intervention strategy to observe the effect on overall incidents and deaths. Six scenarios, covering workplace and school closures together or separately and applications in different times during the pandemic, are tested for the SIR (Susceptible-Infectious-Recovery) network model where people can interact with others in their homes, schools, and workplaces daily. People in the model are divided into five age groups. Each individual is assigned to a home and school or workplace with a given probability regarding to his/her age. People contact with others in their networks (school, workplace, and home) every day and can be infected with a given probability if they interact with sick people. We calibrate sickness probability according to the attack rate derived from COVID-19 related data of six countries. Results show that applying any of intervention strategies as soon as the pandemic begins makes huge differences in terms of overall cases compared to applying them around the peak times. Overall cases decrease by 40% and 65% for the high attack rate (10%) and COVID-19 related attack rate (3.2%) when workplace/school closures are applied 2 weeks after the pandemic has started. Moreover, results imply that even closing schools and workplaces in two weeks does not stop the spread of diseases completely based on recovery times uniformly distributed between 6 and 9 days.

Keywords: COVID-19, Workplace/School Closures, SIR Network Models, Simulation

Okul ve İş Yeri Kapatmalara Dayalı Senaryoların COVID-19 Yayılımına Etkileri

Öz

Bulaşıcı hastalıklar eski zamanlardan beri insanlığa büyük zararlar vermişlerdir. Devam etmekte olan COVID-19 salgını şimdiye kadar milyonlarca insanın hasta olmasına ve ölmesine yol açmıştır ve yakın gelecekte de etkisini göstermeye devam edecektir. Etkili ilaç ve aşılardan yoksunlukta, bulaşıcı hastalıkları yavaşlatmanın ve durdurmanın yollarından biri de, kişiler arasındaki etkileşimlerin kısıtlanmasını ve hastalığın yayılmasını engelleyen okul/iş yeri kapatma yöntemidir. Bu çalışmada, toplam hasta ve vaka sayılarına etkilerini görmek için bir müdahale yöntemi olan okul/iş yeri kapatmayı göz önüne aldık. Okul ve iş yerlerinin salgının farklı zamanlarında, ayrı ayrı veya birlikte kapatılmasını içeren altı farklı senaryo, kişilerin okul, iş yeri ve evlerindeki insanlarla günlük etkileşim içinde olduğu SIR (Korumasız-Hasta-İyileşmiş) Ağ (Network) modeli için test edilmiştir. Sistemdeki kişiler yaşlarına göre beş farklı gruba bölünmüş ve bir ev, iş yeri veya okula atanmışlardır. Kişiler günlük olarak, kendi ağlarındaki (ev, iş yeri veya okul) diğer kişilerle etkileşime girip, belirli bir olasılıkla hasta kişilerden enfekte olabilmektedirler. Hastalık bulaştırma olasılığı altı farklı ülkenin COVID-19 istatistiklerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlara bakıldığında hangi senaryo olursa olsun, salgın başlangıcında uygulandığında, salgının zirve yaptığı zamanlarda uygulanmasına göre, hasta ve ölüm sayısını düşürmesi bakımından

* Corresponding Author: mustafa.demirbilek@gibtu.edu.tr

çok daha etkili olduğu görülmüştür. Salgın başladıktan iki hafta sonra uygulanan kapatma, toplam vakaları COVID-19 salgın şiddetinde (%3,2) %65 ve daha yüksek salgın şiddetinde (%10) %40 oranında azaltmıştır. Dahası 2 haftalık okul/iş yeri kapatılmasının, 6 ve 9 gün arasında düzgün dağılım gösteren iyileşme zamanları baz alındığında salgını tamamen durduramadığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, Okul/iş Yeri Kapatılması, SIR Ağ Modelleri, Benzetim

1. Introduction

Infectious diseases have dramatically effected societies and caused a huge amount of infected and death people and economic costs for centuries. Epidemics occur year by year while pandemics appear irregularly and cause high number of deaths and hospitalizations. For example, the bubonic plague, also called as “Black death”, caused millions of deaths, decreased the population of Europe by between %30 and %60, and had continuously appeared till 19th century (Demirbilek, 2020). The other example is, 1918 Spanish Flu, the worst infectious disease outbreak in the last century, caused deaths between 20 and 50 million, more than casualties during WW1 (Webby & Webster, 2003; McConnell, 2002).

On December 30, 2019, a cluster of patients with pneumonia of obscure etiology was monitored in Wuhan, China, and reported to the World Health Organization (WHO). By January 2, 2020, the full genome of a new coronavirus (SARS-CoV-2) had been sequenced just over a week later, the sequence had been printed and the Chinese National Health Commission warned of its potential danger. The virus was initially defined as “novel coronavirus 2019” (2019-nCoV) by the WHO – but, on February 11, 2020, was given the official name of SARS-CoV-2 by the International Committee on Taxonomy of Viruses (The COVID-19 Pandemic: A Summary, 2020). As shown in Fig. 1, COVID-19 pandemic caused 56 million cases and 1.46 million deaths in the world, 421,000 cases and 11,740 deaths in Turkey since then (Worldometers.info, 2020).



Figure 1. COVID-19 cumulative cases dashboard in December 2020 (Dong & Gardner 2020).

There are some intervention strategies such as vaccination, school/workplace closures, quarantine, etc. to slow down or stop spreading of diseases. To be able to understand effects of any intervention strategy, researchers and decision makers must first model and analyse transmission dynamics of the disease. SIR (Susceptible-Infected-Recovery) compartmental models have been commonly used to model and analyse contagious diseases since Kermack and McKendrick (1927) developed. Compartmental models are methods for the mathematical modelling of infectious diseases. Each compartment represents a division of the population and individuals in a compartment show similar characteristics. In each time interval, a number of people move to the next compartment with corresponding rates. The main assumption of this model is that people in each compartment mix uniformly and randomly with each other (Demirbilek, 2020). However, people generally have narrower environments where interacting with less people daily in homes, schools, or workplaces. Therefore, the model that considers limited relationships and contacts among people is more realistic compared to compartmental SIR models.

Network models have successfully been employed in many fields to study phenomena for which interrelationships matter (Craig et al., 2020). In economics, these include job referrals in labour markets (Calvó-Armengol and Jackson, 2007), patterns of international trade (Chaney, 2014), and contagion in financial markets (Elliott, Golub, and Jackson, 2014). Since their suitable structure to model the pattern of transmission, network models can be adapted to model and analyse disease transmissions. Each person in the system is considered as a node and links connect people in same network. If there is no a link between two individuals, they cannot directly contact with each other and spread the disease. However, indirect links can exist if there are some nodes ensured connections between those two. Fig. 2 simply illustrates the difference between compartmental and network SIR models.

Although many studies (Walters et al., 2018; Prieto et al., 2012) related to modelling of different diseases have been conducted with SIR compartmental models, network models have been rarely employed for modelling disease purposes since the

computational time is the most important obstacle to model relatively big size populations. The existing network models are mostly used for general simulation purposes via off-the-shelf-ready software and websites. FluTE (Chao et al., 2010), epiDMS (Liu et al., 2016), EpiFire (Hladish et al., 2012), FRED (Grefenstette et al., 2013), STRIDE (Kuylen et al., 2017) can be shown as examples for that software. Although this software can be very useful for researchers to observe how changing some parameters can affect some specific results, they do not allow users to configure network types, population structures, all parameters or to embed different environments such as schools, workplaces, and stores to the main frame. Although some provide open-source codes for software, they are very complex to make some modifications and to be executed in reasonable computational times. Therefore, a new flexible network model is coded in this study to consider different age groups in the population, environments such as schools, homes, and workplaces, intervention strategies explained in next sections.

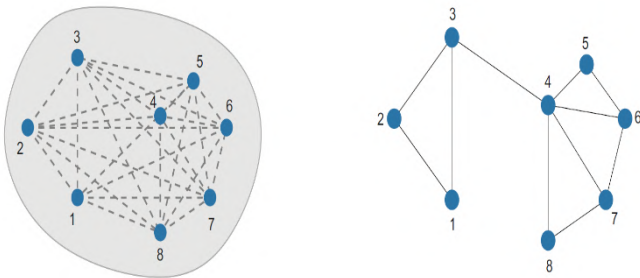


Figure 2. Illustration of social interactions in compartmental models (on the left) and network models (on the right) (Craig et al., 2020)

Main purpose of the study is to examine the effect of school/workplace closures, an intervention strategy many governments have applied to stop or slow down spread of COVID-19 nowadays. We construct a network SIR model where people can interact with others in their homes, schools, and workplaces daily. People in the model are divided into five age groups. Each individual is assigned to a home and school or workplace with a given probability regarding to his/her age. People can contact and spread the disease with a given probability to their family members in the half of the day. In the other half of the day, people interact with their colleagues and schoolmates and spread the disease. Each home, school, and workplace are consisted of a given number of people and their numbers change according to the size of population. We create some scenarios such as only schools or only workplaces closures for a given number of weeks and schools/workplaces closures at the same time. Results under no closures are compared with results of different scenarios and we elaborate our inferences about results.

The next section, we explain SIR compartmental and network models, and experimental settings. In Section 3, the proposed scenarios are tested and results are discussed. In the last section, we conclude our study and discuss about some limitations and assumptions.

2. Material and Method

2.1. SIR (Susceptible-Infected-Recovery) Compartmental Models

This model claims that individuals must present in a state, susceptible, infected, or recovered, in a specific time. All people but initially infected start in susceptible state. Whenever a susceptible person is infected, he/she moves to the infected state. Only infected people spread the disease to susceptible people. After predefined recovery time, infected people move to the recovery state or die. These people neither spread the disease nor get infected. Fig. 3 shows transmission dynamics in the SIR model.

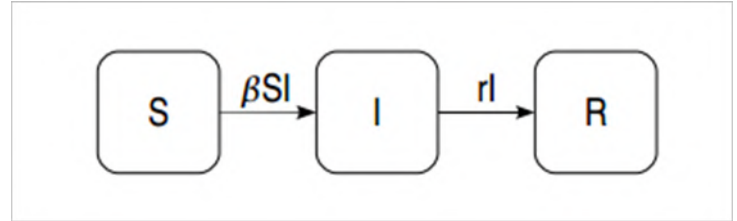


Figure 3. Transmission dynamics in the SIR model.

In Fig. 3, β shows the proportion of individuals moving to the infected compartment after interactions susceptible (S) people with infected (I) people whereas r represents the rate of recovery in a prespecified time (hour, day, etc.). The rate, β , is related to the spread speed of disease. If β is high, it means that the pandemic quickly spread as well as vanish through a population. Moreover, the recovery rate, r , is related to the recovery period. The longer recovery periods mean the less recovered people in a time lap.

2.2. Network Models

Although network models are commonly employed in epidemiology, they were initially used in social science to model spread of ideas and innovations. Similarly, spread of an infectious disease through a population has same framework; however, epidemiologists use different terms such as nodes, edges instead of actors and relations in social science. Random, lattice, small world, spatial are the most common network types used in different models. In random networks, the spatial position of nodes is not relevant and connections among nodes are assigned arbitrarily (Keeling and Eames, 2005). In lattice networks, nodes are assigned on a systematic grid of points in two or three dimensions and only neighbour nodes interact with each other. Small world networks are constructed to eliminate long path length problem in lattice models, and lower-level clustering problem in random mixed models (Watts and Strogatz, 1998). Finally, in spatial networks, nodes are set in a specific area and the relation between two nodes is established with a probability related to their separation determined by an interaction kernel (Keeling and Eames, 2005; Watts and Strogatz, 1998).

In this study, we consider three environments, homes, schools, and workplaces, where people are randomly assigned and connected in the fashion of random networks. Each individual must be assigned to a home. Based on their ages, people will be assigned to a school or workplace. Each home, school, and workplace are consisted of a given number of people. We assume that people spend the half of their days at homes (Epoch 1) and the other half at schools or workplaces (Epoch 2) daily. We also consider people that stay at home in whole day such as babies, unemployments and elders. Fig. 4 demonstrates the network structure of the study.

Disease transmission in our model is similar to compartmental SIR models. The first half of the day, people only contact with others in their homes. The rate of the fact that a

susceptible person, i , is infected by n infected people in his/her home, r_i , is calculated as in Equation 1.

$$r_i = 1 - p^n \quad (1)$$

P is the transmission probability and assumed to be same for everyone. If r_i is equal or greater than a randomly generated number between 0 and 1, the person gets sick. Note that the greater number of infected people exists in the network of a person, the more chance he/she is infected. The other half of the day, people in homes are assigned to schools or workplaces according to their ages while some people (babies, elders, and unemployment people) stay at their homes. The infected rate of each person in school, home, or workplace is calculated based on the number of sick people in their networks. Some people are infected if the calculated rate is equal or greater than randomly generated number. Same procedure is repeated in each day during the pandemic horizon. Whenever a person is infected, a recovery period is assigned to him/her. The person continues to infect people until his/her recovery period finishes. After the person is recovered, neither he/she can infect anybody nor be infected.

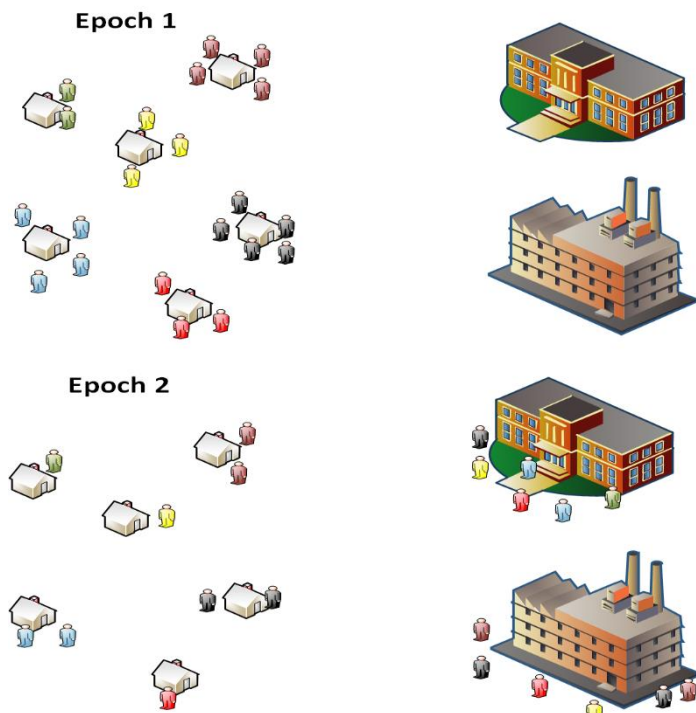


Figure 4. The network structure of this study

2.3. Experimental Settings

We consider 120-day-pandemic period and the peak of the pandemic falls into the middle of the period. Attack rates, the percentages of infected individuals at the end of a pandemic to susceptible individuals at the beginning, and the number of deaths under no-vaccination scenario are calibrated according to attack rates COVID-19 as shown Table 1. Six countries' populations, cases, deaths data are used for the calibration process. Population is divided into five different age groups, 0-4, 5-19, 20-24, 25-59, and 60+. Individuals between 0 and 4, and 60+ are assumed to stay their homes in the whole day. People between 5 and 19 are considered as school age children and each is assigned to a school. 70% of individuals between 20 and 24 are considered as university students and the remaining are assumed to be employees. Finally, 85% of people between 25 and 59 are

employees and the remaining are assumed to be unemployed. The number of people assigned to each age group are derived from demographic data of the Statistics Association of Turkey, 2019. Transmission probability, P , is calibrated according to normalized attack rates in Table 1. Recovery time for each person is uniformly distributed between 6 and 9 days. We start the pandemic with 15 infected people. Table 2 shows related data in the simulation.

We consider six different scenarios for workplace/school closures. We model workplace and school closures together and separately. The half of scenarios are related to the timing of closures. We assume that workplaces/school closures are applied for two weeks and eight weeks after the pandemic has started. Each closure continues two weeks. Students and workers stay in their homes during this time. In this condition, interactions between family members increase by two times. Note that we consider only full closures in this study where everybody in schools and workplaces must stay at their homes. Although the number of infected and death people is carefully recorded in many countries thanks to their developed surveillance systems, the number of cases can be more than revealed since some infected people recover without visiting any hospital and some death cases are diagnosed with different illnesses. Therefore, we also consider 10% attack rate beside attack and death rates derived from actual cases.

Fig. 5 shows pseudo codes for the pandemic simulation with different scenarios in this study.

Algorithm 1 Pseudo code for pandemic simulation with different scenarios

```

1: Initialize Population
2: Distribute Individuals to Homes, Schools and Workplaces
3: Scenario ← Set Number of Scenarios           ▷ 6 Scenarios
4: Trial ← Set Number of Trials                  ▷ 30 Trials
5: Day ← Set Pandemic Horizon                  ▷ 120 Days
6: for s = 1 To Scenario do
7:   for t = 1 To Trial do
8:     Initialize Infected Individuals
9:     for i = 1 To Day do
10:      People in Homes are Interacted and Infected
11:      if i in Closure Horizon for Scenario[s] then
12:        People in Schools and/or Workplaces stay at homes according to Scenario[s]
13:      else
14:        People in Homes are Interacted and Infected
15:      else
16:        Workers Move from Homes to Workplaces
17:        Students Move from Homes to Schools
18:        People in Homes, Schools, and Workplaces are Interacted and Infected
19:      end if
20:      Record Death and Infected Individuals
21:      Set Remaining Recovery Times
22:    end for
23:  end for
24:  Print Average Number of Death, Infected People and Places
25: end for
    
```

Figure 5. Pseudo codes for pandemic simulation with different scenarios.

As it is represented, we initialize the population by considering age groups at the beginning. After that, individuals are distributed to homes, schools, and workplaces created continuously according to predefined distributions as Line 2. We set the number of closures scenarios, trials for independent t tests, and pandemic horizon (Line 3-5). Next, each trial starts with the initial infected people (Line 8) after the scenario is defined. In each day of the trial, individuals in homes are interacted and infected at the first half of the day (Line 10). If the current day is in a closure day, only students or workers or both must stay at their homes and they have only interactions with their relatives at homes (Line 11-13). If not, they go to schools and workplaces and interact with their colleagues (Line 14-17). In each day, the data of new infected and

death people are collected as in Line 19. Moreover, previously assigned recovery days decrease by 1 for infected people. After the trial finishes, the algorithm records total number of infected and death individuals, and the percentages of infected places as in Line 22. As soon as all trials are executed, the algorithm prints average results and moves to the next scenario.

Since there are many stochastic parameters such as the recovery period, home/school/workplace sizes, being infected, etc. in this

study, we make 30 trials to test each scenario to be able to understand whether results are statistically meaningful. We conduct an independent sample t-test for each scenario and provide associated p-value. The model is coded in Python programming language. All tests are conducted in a PC with Intel i5 7200U 2.5 GHz CPU and 8 GB Ram.

Table 1. Calculations of attack and death rates according to populations, COVID-19 related cases and deaths of six countries (Worldometers.info, 2020).

Country	Population	Case	Attack Rate	Death	Death Rate
USA	331,002,651	13,249,447	0.040	269,597	0.020
Germany	83,783,942	1,005,307	0.012	15,767	0.016
UK	67,886,011	1,574,562	0.023	57,031	0.036
France	65,273,511	2,183,660	0.033	50,957	0.023
Spain	46,754,778	1,637,844	0.035	44,374	0.027
Italy	60,461,826	1,509,875	0.025	52,850	0.035
Normalized Rates	0.032	...	0.024

Table 2. Simulation settings and scenarios.

Attack Rate	0.032, 0.1	Workplace Size (person)	Uniform (50,100)
Death Rate	0.024	Scenario 1	Only school closure in 2. week
Population (million)	1	Scenario 2	Only workplace closure in 2. week
Initial Infectious	15	Scenario 3	School/workplace closure in 2. week
Recovery Period (day)	Uniform (6,9)	Scenario 4	Only school closure in 8. week
House Size (person)	Uniform (1,7)	Scenario 5	Only workplace closure in 8. week
School Size (person)	Uniform (290,310)	Scenario 6	School/workplace closure in 8. week
Closure (week)	2	Baseline	Do nothing (No closure)

3. Results and Discussion

Table 3 shows the number of infected and death people, and percentages of infected houses and schools under different scenarios based on COVID-19 attack and death rates. Baseline scenario represents the number of cases under no intervention strategy. P-values denote whether results of scenarios are statistically meaningful compared to the Baseline scenario. We set the threshold value as 0.05 to test p-values. If p-values are less

than the threshold value, we accept the alternative hypothesis, the difference between results is statistically significant. The first three scenarios show results of applied intervention strategies two weeks after the pandemic has started whereas the last three scenarios demonstrate results of applied intervention strategies eight weeks after the pandemic has started. Since we consider a 120-day pandemic period, the last three scenarios are applied around the peak time of the pandemic. Results clearly represent that the number of cases significantly decrease if any intervention strategy is applied as soon as the pandemic has begun. The

number of cases resulted from the two-week school closure eight weeks after the pandemic started (Scenario 4) is not statistically different than results of the Baseline scenario. School and workplace closure (Scenario 6) around the peak time of the pandemic decrease the number of infected people by 20% and death people by 18% whereas the number of overall cases goes down by 65% if closures are applied two weeks after the pandemic started (Scenario 3). The other important issue is that the closure of workplaces seems more useful than the closure of schools in terms of decreasing overall cases. However, many studies show that vaccinating schoolchildren helps to prevent overall incidents during epidemics and pandemics (Tsuzuki et al., 2019; Medlock and Galvani, 2009; Kawai et al., 2011; Glasser et al., 2010) since schoolchildren are the most responsible for transmission, and their parents can be considered as bridges to spread disease to the rest of the population. In this study, workplaces are considered as relatively small networks compared to schools. As we mentioned, each workplace consists of between 50 and 100 people whereas each school consists of between 290 and 310 children. We generate around 5.380 workplaces and 956 schools for a-million population. As a result, we cut more connections among people in different networks when the workplace closures are applied. Furthermore, we consider that schools are serving children that live in same area. Thus, when the disease starts to spread in a school, mostly children and parents that live in same area are affected and the possibility of spreading

the rest of network (other homes, schools, workplaces) is relatively low. Finally, when we test the opposite situation (workplace consists of between 290 and 310 people whereas each school consists of between 50 and 100 children), it is observed that school closures significantly decrease the number of cases compared to workplace closures.

Table 4 shows the number of infected and death people, and percentages of infected houses and schools under different scenarios based on 10% attack rate and associated death rates. Results show similar pattern with COVID-19 calibrated results. Applied any intervention strategy two weeks after the pandemic has started reduces the overall cases much more than applied those eight weeks after it has started. However, comparing to COVID-19 based results, declines in terms of the percentage are relatively low. For example, the number of overall cases decreases by 65% whereas it decreases only by 40% in Scenario 3 when we observe more aggressive attack rate (0.1). Similarly, Scenario 6 provides 20% less cases under the COVID-19 based attack rate while cases only reduce by 17% under the 10% attack rate. Workplace closures work better than school closures as previous results. The number of infected houses, workplaces, and schools proportionally increases in higher attack rate. However, percentage inclines for COVID-19 calibrated attack rate are higher. Note that all differences between results are statistically significant.

Table 3. The number of infected and death people, and percentages of infected houses, workplaces, and schools under different scenarios based on COVID-19 attack and death rates.

Scenario	Infected	p-value	Death	House	School	Workplace
Baseline	35.158	...	824	4,46%	4,81%	4,70%
1	28.109	6,51E-07	659	3,57%	4,31%	3,79%
2	21.323	2,51E-15	503	2,90%	3,37%	3,37%
3	12.407	5,61E-27	291	1,73%	2,70%	2,11%
4	33.459	8,86E-02	792	4,25%	4,69%	4,48%
5	31.418	3,78E-04	743	4,07%	4,49%	4,39%
6	28.337	1,91E-07	672	3,66%	4,26%	4,01%

Table 4. The number of infected and death people, and percentages of infected houses, workplaces, and schools under different scenarios based on the 10% attack rate and associated death rate.

Scenario	Infected	p-value	Death	House	School	Workplace
Baseline	98.863	...	2.316	11,70%	12,59%	12,48%
1	86.405	4,66E-04	2.032	10,20%	11,45%	10,92%
2	69.902	7,12E-11	1.665	8,34%	9,08%	9,14%
3	59.898	5,42E-17	1.409	7,10%	8,27%	7,81%
4	92.473	4,38E-02	2.161	10,92%	11,95%	11,64%
5	88.130	1,04E-04	2.075	10,44%	11,27%	11,23%
6	81.379	8,43E-07	1.909	9,61%	10,63%	10,36%

4. Conclusions and Recommendations

As many infectious diseases, COVID-19 has dramatic effect on people all over the world. Although almost more than a year has passed since the first cases has appeared, thousands of people are still being infected and dying every day. There are some intervention strategies such as vaccinations, antiviral drugs, quarantine, workplace and school closures to be able to stop or slow down spread of infectious diseases. Unfortunately, scientists have not been developed 100% effective antiviral drugs and vaccines against COVID-19 so far in despite of their enormous and invaluable efforts. Therefore, workplace and school closures have been applied by many governments all over the world to stop and slow down the progression of COVID-19. In this study, we also consider school/workplace closures as an intervention strategy to observe how applications of workplace and school closures together or separately and different times during the pandemic effect on results. To be able to achieve that, we test 6 scenarios that consider school and workplace closures separately or together and applications of closures in two different time periods, two and eight weeks after the pandemic started. On the other hand, we proposed a network SIR model to mimic spread of COVID-19 on the population by considering five age groups based on the demographic structure of Turkey.

We considered a-million population size and 120-day pandemic period for the simulation. People contact with others in their networks (school, workplace, and home) every day and can be infected with a given probability if they interact with sick people. If they are infected, they start to spread the disease to others in their networks until they recover or die. We calibrate sickness probability according to the attack rate derived from COVID-19 related data of six countries. Since the cases in the countries are observed after some precautions have been already applied, the higher attack rate is also taken into consideration when testing scenarios. Results show that applying any of intervention strategies as soon as the pandemic begins makes huge differences in terms of overall cases compared to applying them around the peak times. Overall cases decrease by 40% and 65% for the high attack rate and COVID-19 related attack rate when workplace/school closures are applied 2 weeks after the pandemic has started. These rates decrease to 17% and 20% when we apply closures around in eighth week. Furthermore, closures of workplaces seem to decrease overall cases much more than closures of schools. The reason is that workplaces in this study are defined much smaller than schools in terms of the number of individuals and the number of workplaces is several times higher than the number of schools. Therefore, people in workplaces can contact with more people in different networks directly or indirectly and closures of workplaces significantly limit interactions among people and decrease overall cases more than school closures. When we repeat same tests for larger workplaces and smaller schools, it is observed that school closures decrease overall cases much more than workplace closures. Finally, results imply that even closing schools and workplaces in two weeks does not stop the spread of diseases completely based on recovery times uniformly distributed between 6 and 9 days. Obviously, people can interact with family members more during closures and continue to spread disease in their homes. After closures finish, new infected individuals start to spread diseases in workplaces or schools again.

Some limitations and assumptions exist in this study. First, infectious probability is assumed same for each person
e-ISSN: 2148-2683

independent of his/her age even though the possibility of being sick can highly change according to ages, chronic illnesses, even jobs of people in real life. However, since COVID-19 pandemic is still ongoing and related data are relatively insufficient and unreliable, we use overall attack rates to calibrate sickness probabilities. We assume that people can contact with other people only in their workplaces, homes, and schools. However, people have interactions in other places such as public transportations, restaurants, shopping malls, etc. Since network models are complex systems and need high computational times to run simulations, we ignore other places and interactions not to make the model even more sophisticate. Finally, we assume that infected people continue to contact with as many people as they contact before they are infected.

In this study, we consider only effect of school/workplace closures on the number of infected and death people during a pandemic. In future research, other intervention methods, vaccinations and antiviral drugs, can be considered beside of school/workplace closures and some optimization methods can be applied to select the best strategy or strategies to be able to minimize the number of cases and related economic costs.

References

- Calvó-Armengol, Antoni, and Matthew O. Jackson (2007). "Networks in Labour Markets: Wage and Employment Dynamics and Inequality." *Journal of Economic Theory*, 132(1): 27–46.
- Chaney, T. (2014). "The Network Structure of International Trade." *American Economic Review*, 104(11): 3600–3634.
- Chao, D.L., Halloran, M.E., Obenchain, V.J. and Longini Jr, I.M., (2010). FluTE, a publicly available stochastic influenza epidemic simulation model. *PLoS computational biology*, 6(1), 1–8.
- Craig, B. R., Phelan, T., Siedlerek, J. P., & Steinberg, J. (2020). Improving Epidemic Modelling with Networks. *Economic Commentary*, (2020-23).
- Demirbilek, M. (2020). YAYsim: Salgın Modelleme ve Karar Destek Sistemi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 104-112.
- Dong, E., Du, H., & Gardner, L. (2020). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet infectious diseases*, 20(5), 533-534.
- Elliott, Matthew, Benjamin Golub, and Matthew O. Jackson (2014). "Financial Networks and Contagion." *American Economic Review*, 104(10): 3115–3153.
- Glasser, J., Taneri, D., Feng, Z., Chuang, J. H., Tii, P., Thompson, W., ...& Alexander, J. (2010). Evaluation of targeted influenza vaccination strategies via population modeling. *PloS one*, 5(9), e12777.
- Grefenstette, J.J., Brown, S.T., Rosenfeld, R., DePasse, J., Stone, N.T., Cooley, P.C., Wheaton, W.D., Fyshe, A., Galloway, D.D., Sriram, A. and Guclu, H., (2013). FRED (A Framework for Reconstructing Epidemic Dynamics): an open-source software system for modeling infectious diseases and control strategies using census-based populations. *BMC public health*, 13 (1), 940.
- Hladish, T., Melamud, E., Barrera, L.A., Galvani, A. and Meyers, L.A., (2012). EpiFire: An open source C++ library and application for contact network epidemiology. *BMC bioinformatics*, 13(1), 76.
- Kawai, S., Nanri, S., Ban, E., Inokuchi, M., Tanaka, T., Tokumura, M., ... & Sugaya, N. (2011). Influenza vaccination of

- schoolchildren and inuenza outbreaks in a school. *Clinical infectious diseases*, 53(2), 130-136.
- Keeling, M. J., & Eames, K. T. (2005). Networks and epidemic models. *Journal of the Royal Society Interface*, 2(4), 295-307.
- Kermack, W. O. and McKendrick, A. G. (1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 115(772), 700–721.
- Kuylen, E., Stijven, S., Broeckhove, J. and Willem, L., (2017). Social Contact Patterns in an Individual-based Simulator for the Transmission of Infectious Diseases (Stride). In ICCS, January, 2438-2442.
- Liu, S., Poccia, S., Candan, K.S., Chowell, G. and Sapino, M.L., (2016). epiDMS: data management and analytics for decision-making from epidemic spread simulation ensembles. *The Journal of infectious diseases*, 214, 427-432.
- McConnell, J. (2002). Ready for the next influenza pandemic? *The Lancet*, 359(9312), 1133.
- Medlock, J., & Galvani, A. P. (2009). Optimizing inuenza vaccine distribution. *Science*, 325(5948), 1705-1708.
- Prieto, D. M., Das, T. K., Savachkin, A. A., Uribe, A., Izurieta, R., and Malavade, S. (2012). A systematic review to identify areas of enhancements of pandemic simulation models for operational use at provincial and local levels,” *BMC Public Health*, 12(1), 251.
- The COVID-19 Pandemic: A Summary, <https://thepathologist.com/subspecialties/the-covid-19-pandemic-a-summary>, 1 December 2020.
- Tsuzuki, S., Baguelin, M., Pebody, R., & van Leeuwen, E. (2019). Modelling the optimal target age group for seasonal inuenza vaccination in Japan. *Vaccine*.
- Walters, C. E., Meslé, M. M. I. and Hall, I. M. (2018). Modelling the global spread of diseases: A review of current practice and capability. *Epidemics*, 25, 1–8.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of small-world networks. *Nature*, 393(6684), 440-442.
- Webby, R. J., & Webster, R. G. (2003). Are we ready for pandemic influenza? *Science*, 302(5650), 1519-1522.
- Worldometers.info, <https://www.worldometers.info/coronavirus/>, 29 November 2020.



An Experimental Study on Structural and Thermal Stability of Water-Based Drilling Fluids

Ali Ettehadi^{1*}

^{1*} Izmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Izmir, Turkey (ORCID: 0000-0002-4213-7510), ali.ettehadi@ikcu.edu.tr

(First received 19 December 2020 and in final form 12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.843568)

ATIF/REFERENCE: Ettehadi, A. (2021). An Experimental Study on Structural and Thermal Stability of Water-Based Drilling Fluids. *European Journal of Science and Technology*, (23), 70-80.

Abstract

Thermal stability of water-based drilling fluids is an essential factor especially through drilling geothermal and deep oil and gas wells. The chemical and physical properties of a drilling fluid system are substantially affected by high temperature and consequently lead to excessive gelation and formation damage issues. As a result of high temperature, formation damage might result from high fluid losses and reaction with formation fluid salts and hydroxides. This study is an attempt to investigate the thermal stability of clay base drilling fluids using thermal cycle testing. This test is a part of stability testing that allows determining if a fluid system remains stable under various conditions. This type of test can be applied to the drilling fluid systems and puts the sample through a series of extreme and rapid temperature change encountering in during fluid circulation in a geothermal well. Less toxicity as well as commercial and economical availability of clays make them an inevitable component for drilling fluid systems. A type of sepiolite clay taken from Eskisehir in Turkey and Wyoming bentonite as the API reference clay were considered to prepare freshwater weighted, unweighted, and solid contaminated fluid systems. API recommended and oscillation amplitude sweep tests were firstly carried out to evaluate the mechanical stability of selected fluid systems. The samples were then subjected to five thermal cycles from 25° C to 150° C. The relative change of the viscosity value compared to the value at the start of the thermal cycles was used as a measure of the structural changes in the fluid systems. The sample that shows a small value for the relative structural change at the end of the thermal cycles has the lowest decrease in the viscosity and hence the highest thermal stability. Discovery Hybrid Rheometer (DHR-II) was used to apply the oscillation and thermal cycle testing.

Results revealed that sepiolite based muds formulated in this study tolerate stability problems resulted from high and rapid temperature variation. Obtained appropriate thermal rheological properties as well as thermal cycle test results were strong indicators for the effectiveness of sepiolite muds. This study can help the oil and geothermal industry to be more familiar with a high-temperature stable sepiolite clay to prepare high-performance drilling fluids.

Keywords: Drilling fluid, Thermal stability, Sepiolite, Thermal cycle.

Su Bazlı Sondaj Sıvılarının Yapısal ve Isıl Kararlılığı Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Öz

Jeotermal, derin petrol ve gaz kuyularının sondaj operasyonlarında su bazlı sondaj çamurlarının termal stabilitesi (ısı kararlılığı) oldukça önemli bir parametredir. Sondaj akışkanının kimyasal ve fiziksel özellikleri, yüksek sıcaklıktan önemli ölçüde etkilenmekte ve sonuç olarak bu durum aşırı jelleşme ve formasyon hasarı sorunlarına yol açmaktadır. Yüksek sıcaklığın sonucu olarak, formasyon hasarı, yüksek sıvı kayıpları ve sondaj sıvısının formasyondaki tuzlu su ve hidroksitlerle etkileşiminden kaynaklanabilmektedir. Bu çalışmada, kil bazlı sondaj çamurlarının termal stabilitesi termal döngü testini kullanarak incelenmiştir. Bu test, akışkan yapısının farklı koşullar altında kararlı kalıp kalmadığını gösteren etkin bir stabilite (kararlılık) testi olarak bilinmektedir. Bu test, jeotermal ve derin petrol ve gaz kuyularında sondaj akışkanının karşılaştığı ani ve hızlı sıcaklık artışlarını canlandırmak için sondaj akışkanına bu çalışma

* Corresponding Author: ali.ettehadi@ikcu.edu.tr

kapsamında uygulanmıştır. Çok az toksik etki göstermesinden, ekonomik uygunluğundan ve kolay bulunabilirliğinden dolayı killer sondaj akışkan sistemleri için kaçınılmaz bir katkı maddesi olarak tanınmaktadır.

Eskişehir, Türkiye'den alınan sepiyolit kili ve API referanslı Wyoming bentonite kili, saf su kullanılarak; ağırlaştırılmış, ağırlaştırılmamış ve kirletilmiş çamur örnekleri hazırlanmıştır. Osilasyon genlik süpürme testleri öncelikle seçilen akışkan örneklerinin mekanik kararlılığını incelemek için uygulanmıştır. Ayrıca hazırlanan örnekler 25° C den 150° C ye kadar artarak oluşan beş termal döngü testine tabi tutulmuştur. Termal döngü testinin başlangıcındaki değere kıyasla viskozite değerinin göreceli değişimi, akışkan sistemlerindeki yapısal değişikliklerin bir ölçüsü olarak kullanılmıştır. Termal döngü testinin sonucuna göre, en az değeri göreceli yapısal değişim gösteren çamur örneği, viskozitede en küçük düşüşe ve dolayısıyla en yüksek termal stabiliteye sahiptir. Discovery Hybrid Rheometer (DHR-II) aleti, osilasyon ve termal döngü testlerini uygulamak için kullanılmıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, formüle edilen sepiyolit çamurunun yüksek ve ani sıcaklık değişimlerine karşı stabilitesini (kararlılığını) koruduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen uygun termal reolojik özellikler ve termal döngü test sonuçları, sepiyolit çamurlarının etkinliği için güçlü bir göstergedir. Bu çalışma, yüksek performanslı sondaj sıvıları hazırlamak için yüksek sıcaklığa duyarlı olan sepiyolit kilinin petrol ve jeotermal endüstrisinde daha fazla tanıtımına ve kullanılmasına yardımcı olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sondaj Çamuru, Termal Stabilite, Sepiyolit, Termal Döngü.

1. Introduction

Thermal stability of drilling fluids is totally dealing with their rheological properties at high temperature along with active solid intrusion that are the major problems frequently encountered during geothermal drilling operations. Furthermore, drilling at high temperature are expected to provoke formation damage and gelation problems stemmed from chemical and physical changes in the structure of the drilling fluid (Dahab 1991). These problems cause loss circulation, stuck pipe, wellbore instability, difficulty in cement jobs and wellbore diameter reduction that increase the well cost by an average of at least 15% in geothermal wells (Carson and Lin 1982). Therefore, the rheological properties of the drilling fluids should be characterized in details to avoid these problems. Bentonite based mud is mainly used to drill the overburden well sections with high temperature gradients and formations exhibiting instability, particularly collapse tendency. Increasing in viscosity of bentonite based mud after subjected to high temperature changing from 150 to 200 °C, triggers pipe sticking as a very severe problem and results in increasing non-productive time. Polymer based drilling fluids can be used as another drilling fluid system to support the well and provide efficient cutting transport. However, most of commercially available polymer additives are limited temperature of almost 90 °C (Otte, Pye, and Stefanides 1990). Synthetic and oil based muds are used at high temperatures, where bentonite and polymer based muds are not sufficient. Amani et al. (2012) made a comparative study of using water based mud and oil based mud in order to find the most appropriate mud type in high temperature and high pressure (HTHP) fields. The experimental results demonstrated that the tolerance of oil based mud is more suitable than water based mud in HTHP fields (Amani, Al-Jubouri, and Shadravan 2012; Abduo et al. 2016). Even though oil based mud systems are more suitable in terms of technical performances, the challenges of using oil based mud systems are stated as inconvenient usage, environmental problems and high expenditures (Ahmadu et al. 2019). In contrast to the oil based drilling fluids, the water based drilling fluids are inexpensive and environmental friendly. The gap of alternative and effective water based drilling fluid system at high temperatures encouraged researchers to perform more study. Sepiolite based mud was introduced as a temperature and salinity resistant fluid system in some special studies. Numerous investigator have conducted various studies on water based mud to investigate rheological behavior and filtration properties in high temperature and high saline environments. The common point of the all research is that several additives were added to the sepiolite based mud in order to obtain appropriate viscosity and

filtration properties of mud samples (Carney and Meyer 1976; Carney and Guven 2007, 1982; Hilscher and Clements 1982; Moussa and Al-Marhoun 1985; Guven, Panfil, and Carney 1988; Zilch, Otto, and Pye 1991; U Serpen, Hacıislamoglu, and Tuna 1992; U. Serpen 1999; Umran Serpen 2000).

The effects of grain size, mixing time, mixing speed and gelling time in water based drilling fluid prepared with sepiolite clay at high temperatures were investigated (Altun and Serpen 2005; Altun, Osgouei, and Serpen 2010). Altun et al. (2015) experimentally investigated the rheological and filtration properties of drilling fluids prepared with sepiolite clay. The experiments were carried out with and without some commercial additives for different temperatures and pressures in different salinity (Altun et al. 2015). Needaa et al. (2016) studied the effects of sepiolite nanoparticles on bentonite-based mud in terms of rheological properties and loss filtration under different temperature and pressure. They observed that particularly under high temperature and high pressure conditions, adding sepiolite nanoparticles to bentonite based mud made rheological properties more stable. Sepiolite nanoparticles reduced fluid loss and permeability under reservoir pressure and temperatures. Additionally, sepiolite nanoparticles were stated as an ideal additive for bentonite based mud (Needaa et al. 2016). In spite of existing several studies in literature about high temperature rheological properties of drilling fluid, thermal in-situ stability of drilling fluid has not been well known enough. The rheological properties measured by conventional viscometer might cause some sort of deceptive results that were far from reality. The reason may stems from the preparation process when the mud samples were required to be cooled down in order to be ready for viscometer measurements. It is well-known fact that the viscosity of liquid phase of mud samples changes with temperature variations. The viscosity of most water base fluids will be decreased with increasing temperature. However, it was not possible to measure the in-situ thermal rheological properties of mud samples. In this study, Discovery Hybrid Rheometer (DHR-II) was used instead of conventional viscometer (such as Fann VG viscometer), to characterize most down-to-earth thermal properties of a drilling fluid.

The objective of this study is to investigate rheological properties of water-based drilling fluids at high temperature and pressure conditions using DHR-II. The experiments were carried out on sepiolite and bentonite muds based on Thermal Cycle Testing method, determining whether the fluid system is thermally stable or not under various conditions.

2. Material and Method

In this experimental study, bentonite and sepiolite based drilling fluids were prepared in laboratory under four different states as without additive, unweighted, weighted, and weighted-contaminated. Formulated Sepiolite based fluid systems (Altun and Osgouei, 2004) and the bentonite/polymer fluid systems were compared in an attempt to determine the thermal stability of the drilling fluids. Regarding comparative studies, the main objective is to develop the thermo-structural properties of drilling fluid that can operate under high-temperature conditions.

The raw sepiolite clay (commercial product identified as Turk Taciri Bej) was obtained from AEM Company (AEM 2014) in Eskisehir / Turkey. Several studies have shown that sepiolite clay, which is a thermally stable viscosifier, can be used under harsh drilling conditions due to its essential properties such as providing sufficient rheological properties, exhibiting less gelation tendency, and reducing fluid loss when used with some suitable additives (Carney and Meyer 1976; U Serpen, Hacıislamoglu, and Tuna 1992; Altun and Serpen 2005, Altun and Osgouei, 2014). Additionally, commercial Wyoming bentonite clay (QUIK-GEL) supplied by Baroid Company was used as the primary additive for bentonite/polymer drilling fluid. QUIK-GEL viscosifier is an easy-to-mix, finely ground (200-mesh), premium-grade, high-yielding Wyoming sodium bentonite. QUIK-GEL viscosifier imparts viscosity, fluid loss control and gelling characteristics to freshwater-based drilling fluids. The commercial Wyoming bentonite might contain some surface active agents (Url-2021). Table.1 summarizes other additives in terms of technical grades, used in the formulation of both type of drilling fluid systems.

2.1. API Recommended Measurements

The drilling fluid samples were subjected to the composition of 350 ml of distilled water including sepiolite, bentonite clay, and various concentrations of commercially additives through both unweighted and barite-weighted systems via API RP-13B Protocols. In order to prepare 14 lb/gal barite-weighted bentonite/polymer and sepiolite-based drilling fluid samples, amounts of 1077 kg/m³ (378 lb/bbl) and 1057 kg/m³ (371 lb/bbl) barite were added to mud systems, respectively. Throughout all experiments, 143 kg/m³ (50 lb/bbl) standard evaluation clay (OCMA) was used to simulate active clay invasion during drilling operations. The compositions of sepiolite and bentonite drilling fluids in four states are shown in Table 1.

Prepared drilling fluid samples were hot rolled for 16 hours at 25 and 150° C. Afterwards, the hot rolled sample cells were cooled down at room temperature. Rheological properties such as apparent viscosity (AV), plastic viscosity (PV), yield point (YP), and gel strength (GS) were then measured with Fann Model 35 Couette type viscometer at 25° C (80° F) and 49° C (120° F). The static filtration properties of the samples were measured using a high temperature high pressure (HTHP) filter press.

2.2. Oscillation and Freeze-Thaw Cycle Test Using Rheometer

Mechanical and thermal stability of drilling fluid samples were measured based on oscillation and Freeze-Thaw Cycle Test. All measurements in this study were carried out with TA Discovery Hybrid Rheometer (DHR II) equipped with a Peltier plate, 60 mm parallel plate geometry, and pressure cell unit.

Mechanical properties of the fluid samples were evaluated in terms of oscillation amplitude test results. The samples were tested in an amplitude sweep at temperature of 25°C and 150°C for the mechanical properties analysis and yield stress measurements. Moreover, the results of thermal loop test based on Freeze-Thaw Cycle Test were used to analyze the thermal stability of fluid samples.

2.1.1. Oscillation Amplitude Sweep Tests

Strain amplitude measurement based on the storage and loss moduli (G' , G'') is the first step in characterizing visco-elastic behavior. In an amplitude sweep test, the amplitude of deformation is varied while the frequency is held constant. Sample will behave visco-elastically under small strain, when the material internal structure is not disrupted. Sample structure will be deformed by increasing strain to a critical strain. Therefore sample structure deformation changes from linear viscoelastic response to nonlinear viscoelastic response. A strain sweep test is carried out to determine the extent of the sample's linearity. Ramping strain moduli decline, G'' exceeds G' eventually and the sample becomes progressively more fluid-like. Loss factor [$\tan \delta = (G''/G')$] represents the strength of the colloidal forces. A loss factor less than 1 indicates that interaction forces between colloidal particles are highly dominated (viscoelastic solid) and sedimentation could occur. A high loss factor at given concentration publishes that the particles are mainly unconsolidated (viscoelastic fluid). An intermediate loss factor is desired for a stable system. The amplitude sweep is used to determine the Linear Visco-Elastic region (LVE) of the sample. It is also used to identify structural stability and dynamic yield point. The amplitude sweep test was carried out at an angular velocity of 10 rad/s at strains from 0.001% to 1000% using parallel plate ($\varnothing 60$ mm) at 25°C. This test was performed at same amount of angular velocity and strain interval using pressure cell unit at 150 °C to avoid evaporation. All samples were conditioned by pre-shearing at the rate of 400 (sec-1) for 120 second prior to test.

2.1.2. Freeze-Thaw Cycle Testing

Fluid circulation is initiated by pumping drilling mud from surface to the borehole and completed when it backs to the surface through annuli. Freeze-Thaw Cycle test is a thermal loop test that can be conducted to evaluate thermal stability of drilling fluid system. The drilling fluid samples were subjected to five thermal cycles from +25 °C to 150 °C to simulate the thermal stresses while drilling different formations. Pressures cell unit of DHR-II was used to perform this test.

During the cycles, the samples were measured at frequency of 1 Hz (angular frequency of 10 rad/s) and a shear rate of 200 (sec-1). The heating and cooling rate was set to 3 °C/min which is a relatively high value. To adjust the data after the each ramp 600 sec was replaced as soak time with an oscillation time step. A degree of the structural changes in the fluid sample can be defined as the relative change of the value of the viscosity (η) compared to the value at the start of the thermal cycles. All necessary calculations were performed with the rheometer software. The thermal cycles can also be carried out with the rheometer software using the internal loop. The parameters have to be set for five cycles according to the requirements for a particular sample. The temperature is checked at the start of the test to ensure that the measurement is started only after a thermal equilibrium has been reached.

Table 1. Compositions of drilling fluid samples.

Substance	Quantity (kg/m ³)					
	Bentonite Mud			Sepiolite Mud		
	Base SM1	Unweighted SM2	Weighted -Contaminated SM3, SM4*	Base SM5	Unweighted SM6	Weighted - Contaminated SM7, SM8*
Sepiolite	None	None	None	50	50	50
NaOH	None	0.17	0.17	None	None	None
Soda Ash	None	0.286	0.286	None	0.286	0.286
Bentonite	28.5	28.5	28.5	None	None	None
Polymer - 1	None	5.7	5.7	None	5.7	5.7
Polymer - 2	None	None	None	None	8.6	8.6
PAC-LV	None	5.7	5.7	None	None	None
Barite	None	None	1077	None	None	1075
*OCMA	None	None	143	None	None	143

* Standard evaluation clay (formerly OCMA) added only in weighted - contaminated muds (SM4, SM8)

3. Results and Discussion

3.1. API Recommended Test Results

Rheological and filtration properties of bentonite and sepiolite based muds were listed in Table 2 and 3, respectively. Two important parameters of drilling fluids that should be monitored while drilling operation are yield point (YP) and gel strength (GS). Yield stress indicates the ability of drilling fluid to carry cuttings to the surface during dynamic condition and frictional pressure is directly related to the yield stress (Barnes 1999; Moller et al. 2009). A drilling fluid with high yield stress leads to high pressure loss when mud is being circulated in the wellbore. During geothermal drilling, at high temperatures (> 150° C) frequently fluid systems tend to be flocculated and high amount

of yield stress will be appeared. Moreover, active clay contamination makes yield stress more excessive and rises the frictional pressure losses up.

The YP values measured at 49° C for all mud samples were shown in Figure 1 demonstrating the variation of YP versus mud density. At 25° C, unweighted bentonite and sepiolite based mud (without additives) provided a relatively high YP. Adding additives to the mud systems decreased YP at the rate of around 40% for the both fluid systems. With increasing density (from 8.6 to 14 ppg) the value of YP for both systems were not drastically changed at 25° C indicating minor effect of inert weighting agent material (barite). Both system at 25° C provided acceptable YP values within the upper and lower defined (Bourgoyne et al. 1991) ranges for clay base muds (Figure 1).

Table 2. Rheological and filtration properties of bentonite based mud.

Fluid system	Bentonite fresh water		Bentonite polymer (8.6 ppg)		Bentonite polymer (14 ppg)		Bentonite /polymer (14 ppg) contaminated		
Aging Temperature, °C	25		25		25		150		
Dial reading @ measurement temperature	Dial reading@ 24°C 49°C		Dial reading@ 24°C 49°C		Dial reading@ 24°C 49°C		Dial reading@ 24°C 49°C		
Rotor Speed (rpm/min)	600	54	52	63	50	97	68	42	34
	300	46	43	41	32	60	40	22	18
	200	42	40	32	25	45	30	16	13
	100	38	36	21	16	29	19	10	8
	6	29	24	6	4	6	4	3	2
	3	28	16	5	3	5	3	2	2
Plastic viscosity, Pa.s	0.008	0.009	0.022	0.018	0.037	0.028	0.02	0.016	0.016
Yield Point, Pa	21.98	20.55	19.59	15.29	28.66	19.11	10.51	8.60	8.60
*Gel strength, 10min./ 1min./ 10min.	23/26/37	15/15/18	6/9/20.	4/6/17.	6/10/26.	4/6/17.	2/3/3.	2/2/2.	2/2/2.
Apparent viscosity, Pa.s	0.027	0.026	0.0315	0.025	0.0485	0.034	0.021	0.017	0.017
pH	8.1	8.1	8	8	8.6	8.6	7.9	7.9	7.9
Water loss, cc (7.5/30min)	3/8.		1.8/3.6		2/4.		excessive		
Density (kg/m ³)	1024	1024	1030	1030	1677	1677	1737	1737	1737

* Multiply dial reading value by 0.478026 to obtain Pascal

Table 3. Rheological and filtration properties of sepiolite based mud.

Fluid system	Sepiolite fresh water		Sepiolite polymer (8.7 ppg)		Sepiolite polymer (14 ppg)		Sepiolite /polymer (14 ppg) contaminated		
	Dial reading@ 24°C	Dial reading@ 49°C	Dial reading@ 24°C	Dial reading@ 49°C	Dial reading@ 24°C	Dial reading@ 49°C	Dial reading@ 24°C	Dial reading@ 49°C	
Aging Temperature, °C	25		25		25		150		
Dial reading @measurment temperature	24°C		49°C		24°C		49°C		
Rotor Speed (rpm/min)	600	52	37	58	42	95	66	92	73
	300	46	32	38	27	59	40	58	46
	200	43	30	30	22	44	30	45	36
	100	37	26	20	15	28	19	30	24
	6	23	17	5	4	5	4	8	7
	3	23	17	4	3	4	3	6	6
Plastic viscosity, Pa.s	0.006	0.005	0.02	0.015	0.036	0.026	0.034	0.027	
Yeild Point, Pa	21.99	15.29	18.15	12.90	28.18	19.11	27.71	21.98	
*Gel strength, 10min./ 1min./ 10min.	22/24/31.	21/22/32.	3/3/5.	2/3/5.	4/5/10.	3/4/7.	7/9/15.	7/8/12.	
Apparent viscosity, Pa.s	0.026	0.0185	0.029	0.021	0.0475	0.033	0.046	0.0365	
pH	7.5	7.5	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	
Water loss, cc (7.5/30min)	50/122		2.2/5		2.1/4.8		3.1/8		
Density (kg/m ³)	1018	1018	1042	1042	1677	1677	1725	1725	

* Multiply dial reading value by 0.478026 to obtain Pascal

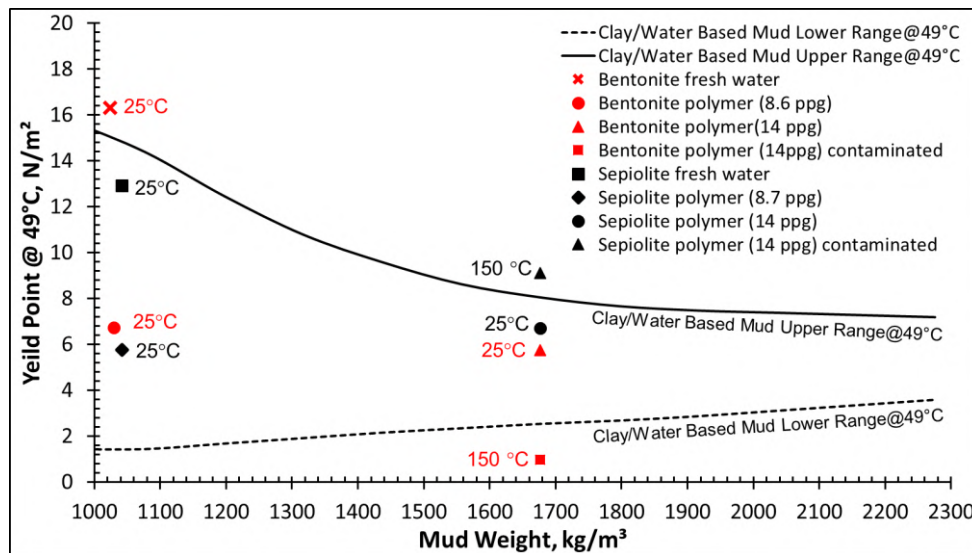


Figure 1. YP values measured for sepiolite and bentonite mud samples and compare with defined the upper and lower range for clay/water base muds (Bourgoyne Jr et al. 1986).

Increasing temperature to 150° C along with active clay intrusion made a noticeable difference in YP values of two fluid systems. The YP value for weighted bentonite mud system was remarkably decreased from 12 lb/100ft² at 25° C to 2 lb/100ft² at 150° C despite of active clay contamination. Gel strength of fluid system demonstrates the ability of the drilling fluid to suspend drill solids and weighted materials when circulation is ceased. If gel strength appears to be too progressive, the mud may require excessive pump pressures to break the gel and initiate the circulation (Tehrani 2007). Similar to the yield stress, high temperature and active contamination have deleterious effects on the drilling fluid gel strength. Generally, oil industry uses the peak value of dial reading in standard viscometer while a 3 rpm of rotor speed is directly applied to the mud sample to measure the initial 10 second and 10 minute “gel strengths”. Obtained results indicate that the initial 10 second and 10 minute of bentonite and sepiolite freshwater mud samples are relatively high requiring enormous pump power to break formed gel. Bentonite polymer muds (8.6 ppg and 14 ppg) provided noticeably high 10

minute gel strength (17 lb/100ft²) comparing to the sepiolite polymer based muds (8.7 ppg and 14 ppg gel strength (5 and 7 lb/100ft², respectively). However, in the case of active clay intrusion at high temperature (150° C) the gel structure of bentonite polymer mud was broken down resulting in weak gel strength (2 lb/100ft²). Amount of 12 lb/100ft² gel strength for sepiolite base mud clarifying stable gel structure in spite of active clay contamination at 150° C. Fluid loss is also another determined parameter to evaluate efficiency of drilling fluid. The rheological properties should be considered along with fluid losses to be more realistic and accurate in drilling fluid performance. API standard test procedure based on cooling process after hot rolling might cause to measure fallacious rheological properties for a drilling fluid. Therefore, DHR rheometer was used to determine in-situ mechanical stability of both fluid systems.

3.2. Mechanical stability and flow point

Figures 2 and 3 picture the results of oscillation amplitude sweep test for bentonite and sepiolite mud samples, respectively.

Linear Visco-Elastic (LVE) range limit is increased from 10% in bentonite fresh water based mud without additives (SM1) to 99% in SM2 containing polymeric additives.

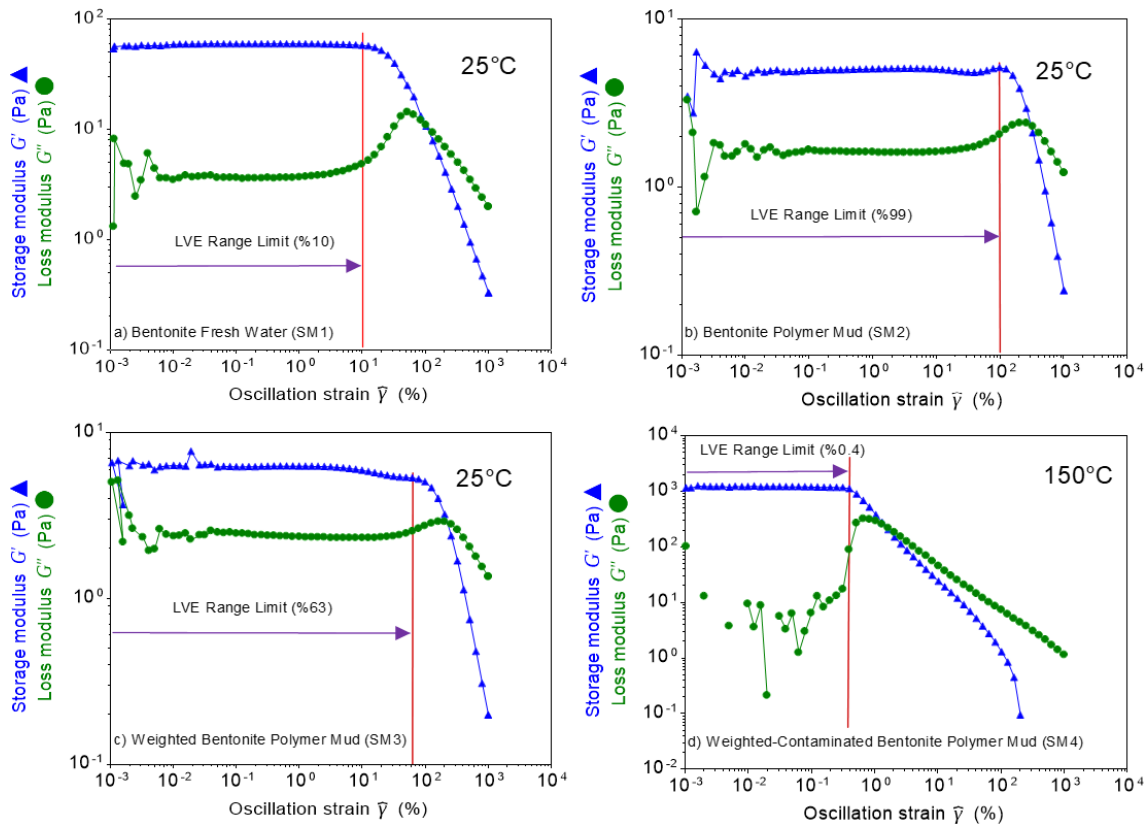


Figure 2. Oscillatory Amplitude Sweep Test Result (G' and G'' vs. γ). a) Bentonite fresh water (SM1), b) Bentonite polymer (SM2), c) Weighted bentonite polymer (SM3) @25° C, d) Weighted contaminated bentonite polymer mud (SM4)@150° C.

This is a clear evidence for the fact that adding polymer additives to the mud systems increases the structural stability of mud system. Structural stability of bentonite mud system decreases by adding barite as the LVE range limit decreases from 99% to 63% of strain. The LVE range limit decreased remarkably (0.4%) with increasing temperature and active clay intrusion to the mud system. This definitely indicates deterioration of mechanical stability of bentonite based mud at high temperature.

The samples coded as SM5 and SM8 behave visco-elastically under small strain and more solid-like. The limiting strain of the LVE range is about 0.5% and 6% for SM5 and SM8 sepiolite mud samples. Adding additives (selected polymers) to the sepiolite mud system makes it almost totally fluid-like (viscoelastic fluid) so that the amount of loss modulus G'' is a little bit more than storage modulus (G') for SM6. Adding barite increased the elasticity slightly as it is a kind of inert material (SM7). Similar to the bentonite mud systems, LVE range increases in sepiolite based mud by adding polymeric additives from 0.5% to 15.8% of strain. The limiting strain of the LVE range is about 5% for weighted sepiolite mud sample (SM7). Adding barite and other polymeric additives to the sepiolite mud system increased the length of the LVE range about 10 times (0.5% to 5%). Increasing temperature and intrusion of active clay to the sepiolite mud system (SM8) also increased the LVE ranges.

The LVE limits are illustrated for all mud samples through Figures 2 and 3. The elasticity of bentonite base mud samples are noticeably higher than sepiolite based mud samples. The linearity limits in bentonite fluid systems are much higher than sepiolite fluid systems at 25° C indicating higher structural stability against small strains. It means that too much pump power is required to break down the gel structure of bentonite based muds compare to sepiolite based systems at 25° C. In contrary, sepiolite based mud provided strength structure stability at 150° C (LVE limit 6%) compare to the bentonite based mud (LVE limit 0.4%).

The yield point (or yield stress) is the critical stress at which irreversible plastic deformation occurs. There are some conventional methods for the yield point evaluation. It can be calculated as the stress values where the value of the storage modulus has decreased by 5% compared to the value in LVE range. However the accurate method is to use of onset point of the storage modulus (G') curve. The flow point is the stress value at the crossover of storage and loss modulus. Figure 4 and Figure 5 show the storage and loss modulus as a function of the shear stress as well as the calculated flow point values for bentonite and sepiolite based muds, respectively. Table 4 lists the amount of yield stress and flow point values for all mud samples.

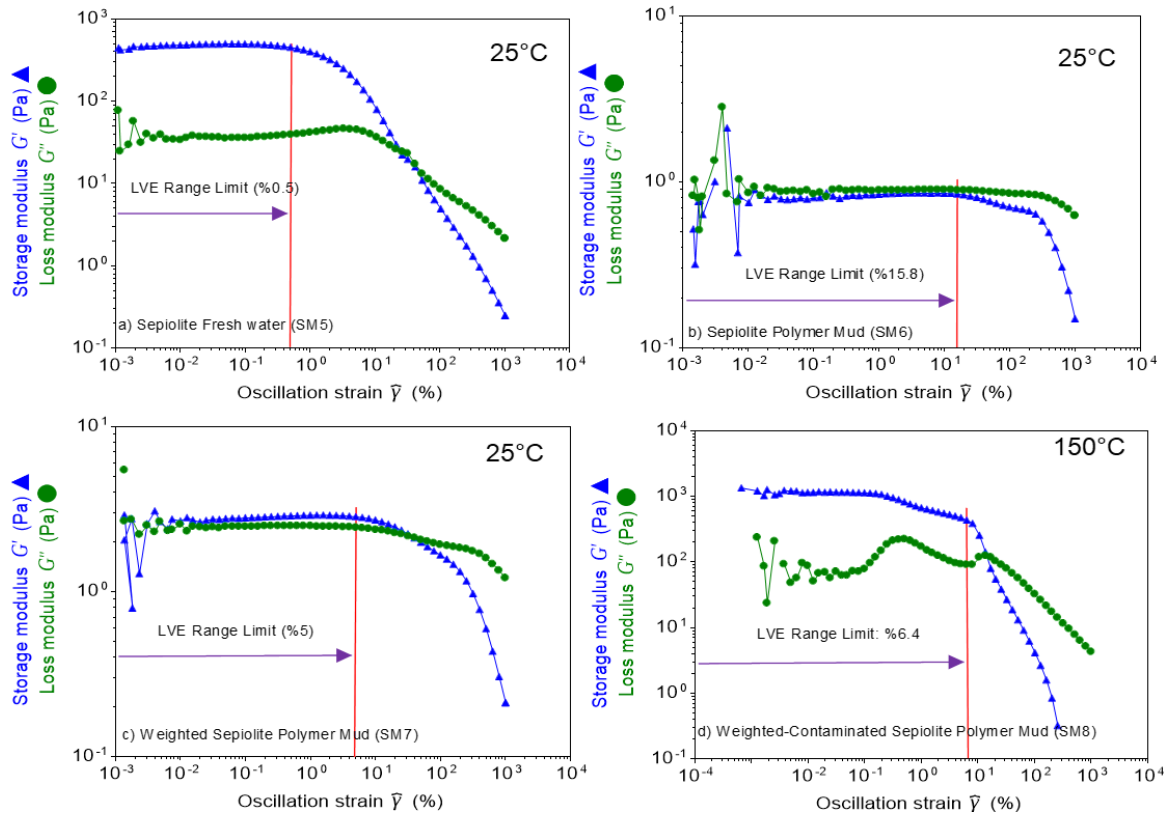


Figure 3. Oscillatory Amplitude Sweep Test Result (G' and G'' vs. γ). a) Sepiolite fresh water (SM5), b) Sepiolite polymer (SM6), c) Weighted sepiolite polymer (SM7) @25° C, d) Weighted contaminated sepiolite polymer mud (SM8)@150° C.

Yield stress of bentonite fresh water (SM1) decreases from 12.37 Pa to 9.42 Pa by adding polymeric additives to the mud system in bentonite polymer mud (SM2). Adding weighting agent (barite) to the mud system has a little effect on mechanical stability and measured parameters. However, mechanical parameters (yield stress and flow point) were decreased to 4.75 Pa with increasing temperature (150° C) in spite of large amount of active clay intrusion (143 kg/m³) in weighted –contaminated bentonite polymer mud (SM4). Flow point are also varied in the same trend with yield stress. This means that the bentonite polymer mud lose its colloidal structural strength during drilling formation with high temperature.

Adding polymeric additives to the sepiolite fresh water system (SM5) severely decreases mechanical stability and measured parameters. Yield stress and flow point decrease from 5.4 and 8.5 Pa in sepiolite fresh water mud system (SM5) to 0.28

and 1.2 Pa in weighted sepiolite polymer mud (SM7). Adding barite has not influenced the mechanical stability in sepiolite mud as expected. Unlike bentonite polymer mud system, the sepiolite polymer mud provides exceptional mechanical stability at high temperature in conjunction with high active clay intrusion. Yield stress and flow point of contaminated sepiolite polymer mud increases drastically to 31.5 Pa and 36 Pa, respectively at 150° C. Therefore, it can be inferred that sepiolite polymer mud can provide efficient hole cleaning while subjected to high temperature and high active solid contamination. Loss modulus (G'') in sepiolite polymer mud (SM6) exceeded storage modulus (G') even in LVE region indicating a more liquid behavior (viscoelastic liquid). It means that there are no such strong bonds between the individual molecules to provide gel structure, therefore no flow point was observed in the case of sepiolite polymer mud (SM6).

Table 4. Yield stress and flow point values for all mud samples.

Mud code	Discription	Temperature (°C)	Yield stress (Pa)	Flow point (Pa)
SM1	Bentonite fresh water	25	12.37	15.3
SM2	Bentonite polymer	25	9.42	10.25
SM3	Weighted bentonite polymer	25	8.89	9
SM4	Weighted-contaminated bentonite polymer	150	4.75	4.98
SM5	Sepiolite fresh water	25	5.4	8.5
SM6	Sepiolite polymer	25	0.28	-
SM7	Weighted sepiolite polymer	25	0.28	1.2
SM8	Weighted-contaminated sepiolite polymer	150	31.5	36

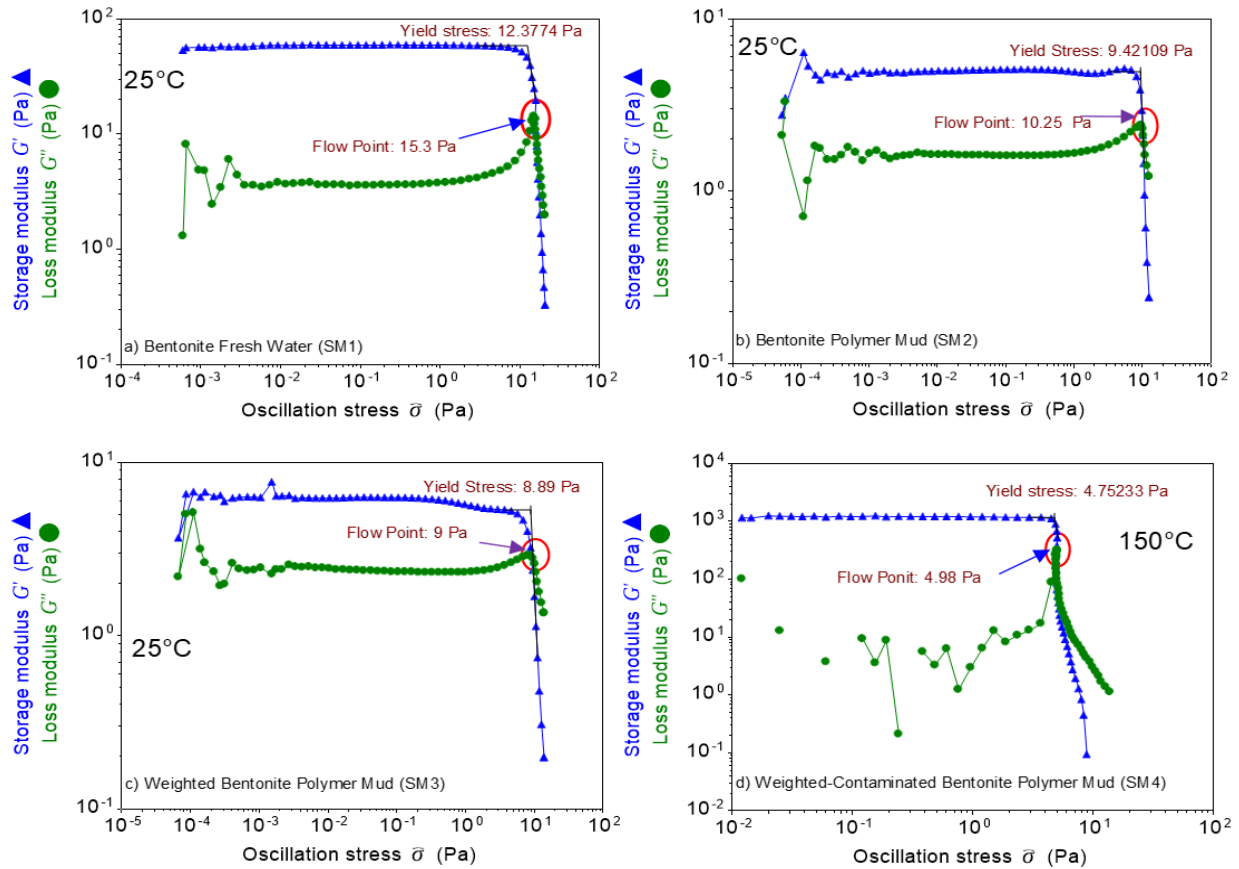


Figure 4. Oscillatory Amplitude Sweep Test Result (G' and G'' vs. τ). a) Bentonite fresh water (SM1), b) Bentonite polymer (SM2), c) Weighted bentonite polymer (SM3) at 25°C, d) Weighted contaminated bentonite polymer mud (SM4) at 150°C.

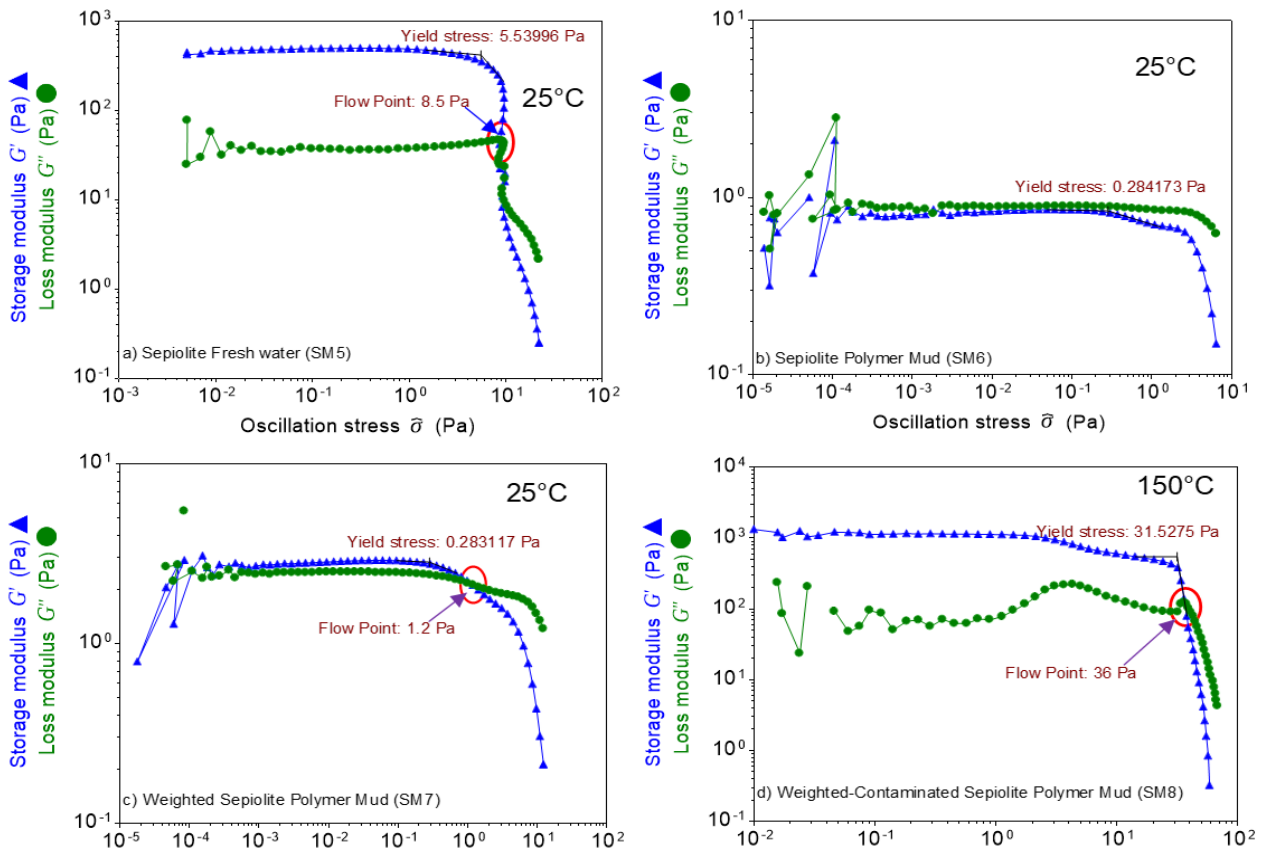


Figure 5. Oscillatory Amplitude Sweep Test Result (G' and G'' vs. τ). a) Sepiolite fresh water (SM5), b) Sepiolite polymer (SM6), c) Weighted sepiolite polymer (SM7) at 25°C, d) Weighted contaminated sepiolite polymer mud (SM8) at 150°C.

3.3. Thermal stability

Figure 6 and Figure 7 show the temperature and viscosity change over time in a part of the thermal cycle test for weighted-contaminated bentonite polymer mud (SM4) and weighted-contaminated sepiolite polymer mud (SM8), respectively. The change in both minimum and maximum viscosity values from cycle to cycle should be monitored to understand structural changes in samples. Each cycle has the maxima that is measured by rheometer and can be normalized by dividing the maximum viscosity value from the first cycle by maximum viscosity value

of each cycle. Therefore, the relative structural change Δ is then calculated as:

$$\Delta = \frac{\eta_{Max,1}}{\eta_{Max,i}} \quad \text{with } i = 1 \text{ to } 5 \quad (1)$$

where Δ is the relative structural change, $\eta_{Max,1}$ is the maximum viscosity value from the first cycle, and $\eta_{Max,i}$ is the maximum viscosity value of i^{th} cycle.

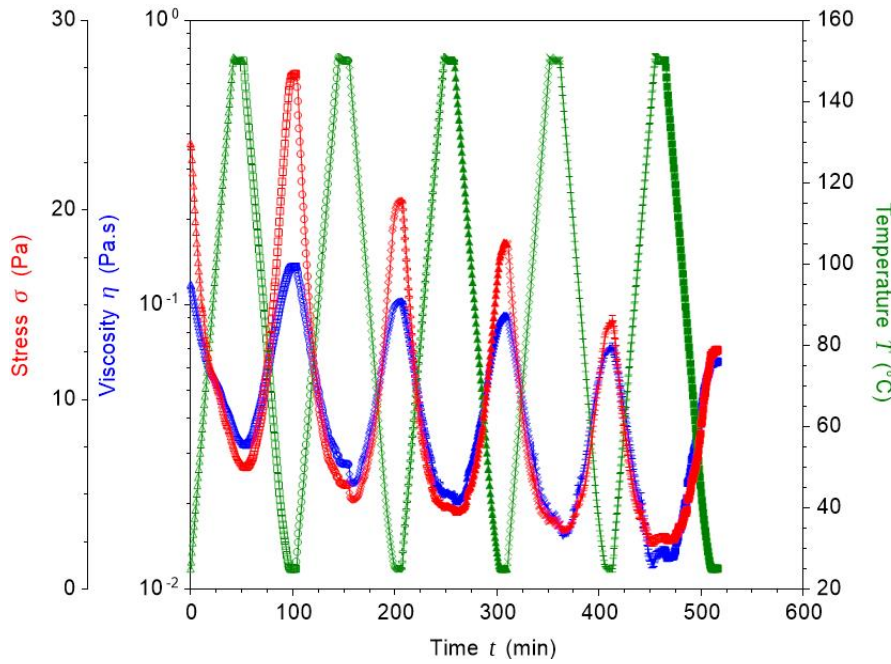


Figure 6. Thermal stability (cycle test) for weighted-contaminated bentonite polymer mud (SM4).

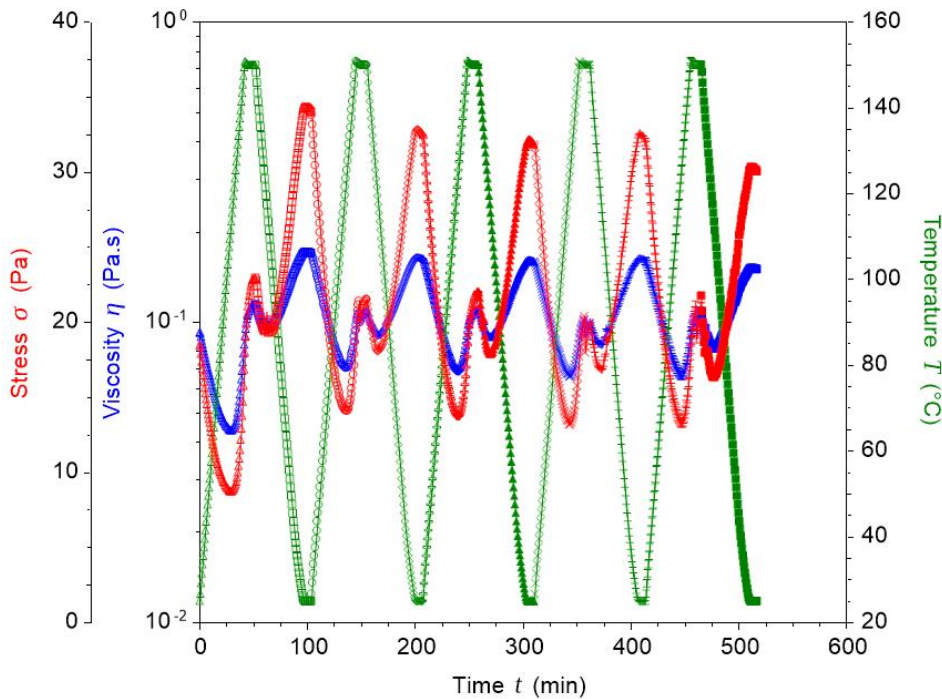


Figure 7. Thermal stability (cycle test) for weighted-contaminated sepiolite polymer mud (SM8).

Results revealed that both minimum and maximum viscosity values decreases from cycle to cycle in weighted-contaminated bentonite polymer mud (SM4). Therefore, the relative structural change values increases continuously over the duration of the measurement (Figure 6). However, as shown in Figure 7, no distinct changes is observed in both minimum and maximum viscosity values as a results of thermal cycle test for weighted-contaminated sepiolite polymer mud (SM8).

The structural change of samples is shown in Figure 8. The sample that shows a small value for the relative structural change at the end of the thermal cycles, has the smallest decrease in the

viscosity and therefore the highest thermal stability. Relative structural change in weighted-contaminated bentonite polymer mud (SM4) is almost two fold of what measured for weighted-contaminated sepiolite polymer mud (SM8) at the end of five thermal cycles. Moreover, thermal structural change in weighted-contaminated sepiolite polymer mud (SM8) is almost constant during the period of measurement (Figure 8). Therefore, results depicted in Figure 8 revealed that the weighted-contaminated sepiolite polymer mud (SM8) has significantly smaller structural change than the weighted-contaminated bentonite polymer mud (SM4). This is the robust indication for thermal stability of sepiolite mud while using at harsh drilling conditions.

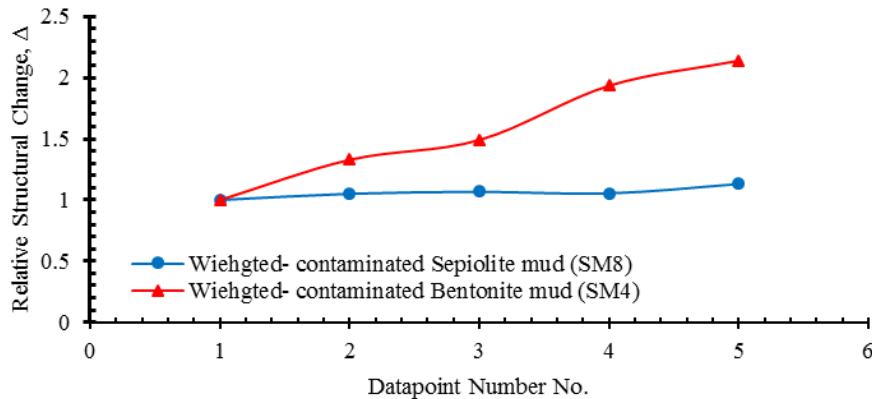


Figure 8. Relative change of the structural strength during 5 thermal cycles.

4. Conclusions and Recommendations

In this experimental study, in-situ mechanical and thermal stability of sepiolite and bentonite based muds, each in four states, were investigated using DHR-II. Following findings were revealed and confirmed;

- Mechanical parameters (yield point and gel strength) based on API recommended tests were measured and according to the results: both bentonite and sepiolite fluid system without additives provided quite high YP and GS at 25° C. Polymeric additives decreased the values of these two parameters considerably for both fluid systems. Breaking down the gel structure of bentonite polymer mud at 150° C despite of active clay intrusion, confirmed obvious failure in mechanical and thermal stability of this fluid systems. Weighted sepiolite polymer mud provided acceptable YP and GS at 150° C with active clay contamination.
- Oscillation amplitude sweep test results demonstrated that adding polymer additives to the mud systems increases the structural stability of mud system. The LVE limit was significantly reduced with increasing temperature and active clay intrusion to the mud system.
- The linearity limit value of bentonite mud is much higher than sepiolite mud at 25° C. Therefore, bentonite mud has higher structural stability in small strains. As a result, excessive amount of pump power is required to break the gel structure of bentonite mud in compare to sepiolite mud at 25° C.
- Unlike bentonite polymer mud system, sepiolite polymer mud can provide effective hole cleaning due to exceptional mechanical stability with high active clay intrusion at high temperature.

- Subjected to the thermal cycle test, weighted-contaminated sepiolite polymer mud has significantly smaller structural changes than the weighted-contaminated bentonite polymer mud.

Acknowledge

The authors would like to sincerely thank Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK-217M723) as the lead sponsor of this R&D project.

References

Abduo, M. I., A. S. Dahab, Hesham Abuseda, Abdulaziz M. AbdulAziz, and M. S. Elhossieny. 2016. "Comparative Study of Using Water-Based Mud Containing Multiwall Carbon Nanotubes versus Oil-Based Mud in HPHT Fields." *Egyptian Journal of Petroleum* 25 (4): 459–64. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.10.008>.

AEM. 2014. "(Anadolu Endustri Mineralleri) Having the License Rights of Sepiolite Clay Deposits in Sivrihisar, Eskisehir, Turkey." (Address: Istinye Cad. ABC Yolu Lara Sok. Seba Home No: 4/1, Istinye, Sariyer, Istanbul, Turkey, Phone/Fax:+90 216 3234097).

Ahmadu, Abdullahi A., Aminu A. Yahaya, Ghasem Nasr, Emmanuel Udofia Akpan, Bello Saidu, and Godpower C. Enyi. 2019. "Water-Based Drilling Fluids for High-Temperature Applications and Water-Sensitive and Dispersible Shale Formations." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 175 (November 2018): 1028–38. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.01.002>.

Altun, Gursat, and Ali Ettehadı Osgouei. 2014. "Investigation and Remediation of Active-Clay Contaminated Sepiolite Drilling Muds." *Applied Clay Science*. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.10.002>.

- Altun, Gursat, Ali Etehadı Osgouei, Mustafa Hakan Ozyurtkan, and Umran Serpen. 2015. "Sepiolite Based Muds as an Alternate Drilling Fluid for Hot Environments." *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Altun, Gursat, Ali Etehadı Osgouei, and Umran Serpen. 2010. "Controlling Rheological and Fluid Loss Properties of Sepiolite Based Muds under Elevated Temperatures." In *Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, April, 25-29*.
- Altun, Gursat, and Umran Serpen. 2005. "Investigating Improved Rheological and Fluid Loss Performance of Sepiolite Muds under Elevated Temperatures." In *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Amani, Mahmood, Mohammed Al-Jubouri, and Arash Shadravan. 2012. "Comparative Study of Using Oil-Based Mud versus Water-Based Mud in HPHT Fields." *Advances in Petroleum Exploration and Development* 4 (2): 18-27.
- Barnes, Howard a. 1999. "The Yield Stress-a Review or 'Greek'-Everything Flows?" *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 81 (1-2): 133-78. [https://doi.org/10.1016/S0377-0257\(98\)00094-9](https://doi.org/10.1016/S0377-0257(98)00094-9).
- Bourgoyne Jr, Adam T, Keith K Millheim, Martin E Chenevert, and Farrile S Young Jr. 1986. "Applied Drilling Engineering. Volume 2."
- Carney, Leroy L., and Necip Guven. 2007. "Investigation of Changes in the Structure of Clays During Hydrothermal Study of Drilling Fluids." *Society of Petroleum Engineers Journal* 20 (05): 385-90. <https://doi.org/10.2118/7896-pa>.
- Carney, Leroy L, and Necip Guven. 1982. "Investigation of High-Temperature Fluid Loss Control Agents in Geothermal Drilling Fluids." In *SPE California Regional Meeting*. Society of Petroleum Engineers.
- Carney, Leroy L, and Robert L Meyer. 1976. "A New Approach to High Temperature Drilling Fields." In *SPE Annual Fall Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Carson, Charles C, and Y T Lin. 1982. "Impact of Common Problems in Geothermal Drilling and Completion." Sandia National Labs., Albuquerque, NM (USA).
- Dahab, A S %J Journal of Canadian Petroleum Technology. 1991. "Thermal Stability of Drilling Fluids Prepared from Saudi Palygorskite" 30 (03).
- Guven, N, D J Panfil, and L L Carney. 1988. "Comparative Rheology of Water-Based Drilling Fluids with Various Clays." In *International Meeting on Petroleum Engineering*. Society of Petroleum Engineers.
- Hilscher, Larry W, and William R Clements. 1982. "High-Temperature Drilling Fluid for Geothermal and Deep Sensitive Formations." In *SPE California Regional Meeting*. Society of Petroleum Engineers.
- Moller, Peder, Abdoulaye Fall, Vijayakumar Chikkadi, Didi Derks, Daniel %J Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical Bonn Physical, and Engineering Sciences. 2009. "An Attempt to Categorize Yield Stress Fluid Behaviour" 367 (1909): 5139-55.
- Moussa, M M, and M A Al-Marhoun. 1985. "Dynamic Measurement of Drilling Fluid Rheology at Elevated Temperature and Pressure." In *Middle East Oil Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Needaa, Al-malki, Pourafshary Peyman, Al-hadrami Hamoud, and Abdo Jamil. 2016. "Controlling Bentonite-Based Drilling Mud Properties Using Sepiolite Nanoparticles." *Petroleum Exploration and Development* 43 (4): 717-23. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(16\)30084-2](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(16)30084-2).
- Otte, C, D S Pye, and N J Stefanides. 1990. "The Applicability of Geothermal Drilling Experience to Super-Deep Drilling." In *Super-Deep Continental Drilling and Deep Geophysical Sounding*, 16-32. Springer.
- Serpen, U. 1999. "Use of Sepiolite Clay and Other Minerals for Developing Geothermal Drilling Fluids." *Applied Mechanics and Engineering* 4 (spec.): 309-13.
- Serpen, U, M Hacıslamoglu, and O Tuna. 1992. "Use of Sepiolite Resources of Turkey in Geothermal Muds." In *Proceedings, 9th International Petroleum Congress of Turkey, Ankara, 17-21*.
- Serpen, Umran. 2000. "Investigation on Geothermal Drilling Muds with High Temperature Stability." In *Proceedings, World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan, May*.
- Tehrani, Ahmadi %J Annual Transactions-Nordic Rheology Society. 2007. "Behaviour of Suspensions and Emulsions in Drilling Fluids" 15: 17.
- Zilch, H E, M J Otto, and D S Pye. 1991. "The Evolution of Geothermal Drilling Fluid in the Imperial Valley." In *SPE Western Regional Meeting*. Society of Petroleum Engineers.

Url-2021:

https://www.baroididp.com/content/dam/idp/Data_Sheets/I_Z/QUIK-GEL.pdf



Akıllı Şehirler için Özellik Çıkarımı ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Asfalt Durum İzleme Yaklaşımı

Mehmet Baygın^{1*}, Orhan Yaman², Türker Tuncer³

^{1*} Ardahan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ardahan, Türkiye. (ORCID: 0000-0002-5258-754X), mehmetbaygin@ardahan.edu.tr

² Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Adli Bilişim Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9623-2284), orhanyaman@firat.edu.tr

³ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Adli Bilişim Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5126-6445), turkertuncer@firat.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 12 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.844592)

ATIF/REFERENCE: Baygın, M., Yaman, O. & Tuncer, T. (2021). Akıllı Şehirler için Özellik Çıkarımı ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Asfalt Durum İzleme Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 81-88.

Öz

Karayolu taşımacılığı günümüzde sıklıkla kullanılan bir taşımacılık yöntemi olup, araçların daha güvenli bir yolculuk yapabilmesi amacıyla sürekli gelişim göstermektedir. Karayollarında kullanılan temel kaplama malzemesi asfalttır. Asfalt malzemesi ise özellikle başta zaman olmak üzere, yoğun trafik kullanımına bağlı olarak deforme olabilmekte ve yıpranmaktadır. Bu çalışma deforme olan ve yıpranan asfalt görüntü işleme yöntemiyle tespit etmeyi ve sağlam-arızalı olarak sınıflandırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla bir karayolu aracına monte edilen kamera ile toplam 3912 adet asfalt görüntüsü toplanmıştır. Öncelikle bu görüntülere ortalama havuzlama yöntemi uygulanmış ve görüntüler bir ön işleme tabi tutulmuştur. Bu algoritma ile görüntülerde boyut azaltma işlemi yapılmıştır. Ön işleme adımından sonra yönlendirilmiş gradyan histogramı (HOG) yöntemi kullanılarak görüntülerden özellik çıkarımı yapılmıştır. Bu işlemden sonra Ki-Kare yöntemi ile özellik seçimi uygulanmış ve ağırlıklı öz nitelikler elde edilmiştir. Son olarak elde edilen bu özellikler destek vektör makineleri (SVM) yöntemi kullanılarak sınıflandırılmış ve elde edilen sonuçlar performans yönünden değerlendirilmiştir. Performans metrikleri olarak doğruluk, kesinlik, duyarlılık, geometrik ortalama ve f-skör değerleri hesaplanmıştır. Önerilen yöntem sonucunda %96.5 oranında bir doğruluk elde edilmiştir. Çalışma kapsamında test edilen yöntemin uygulanmasıyla asfalt kaplama malzemesinin insan müdahalesine gerek kalmadan yıpranma durumunun anlaşılacağı ortaya koyulmuştur. Dolayısıyla, sürekli kontrolün oldukça zor olduğu bu işlemde makine öğrenmesi tabanlı otomatik arıza tespit yöntemi kullanılabilir. Bu sayede daha güvenli bir sürüş deneyimi yaşanması için asfalt bakım ve onarım giderlerinin azaltılmasına katkıda bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, literatür ışığında tartışılmış ve yöntemin başarısı literatürle de desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asfalt durum izleme, arıza tespiti, HOG özellik çıkarımı, SVM sınıflandırma.

Feature Extraction and Machine Learning Based Pavement Condition Monitoring Approach for Smart Cities

Abstract

Road transport is a transportation method that is frequently used today, and it is constantly evolving in order for vehicles to travel more safely. The basic coating material used on highways is asphalt. Asphalt material can deform and wear out due to heavy traffic use, especially over time. This study aims to detect deformed and worn asphalt with image processing method and classify it as healthy or faulty. For this purpose, a total of 3912 asphalt images were collected through a camera mounted on a road vehicle. First of all, the average pooling method was applied to these images and the images were subjected to a pre-processing. With this algorithm, size reduction was performed on the images. After the pre-processing step, feature extraction from the images was made using the Histogram of Oriented Gradients (HOG) method. After this process, feature selection was applied with the Chi-Square method and

* Sorumlu Yazar: mehmetbaygin@ardahan.edu.tr

the most weighted attributes were obtained. Finally, these features were classified using Support Vector Machines (SVM) method and the results obtained were evaluated in terms of performance. Accuracy, precision, recall, geometric mean and f-score values were calculated as performance metrics. As a result of the proposed method, an accuracy of 96.5% was obtained. By applying the method tested within the scope of the study, it has been revealed that the wearing of the asphalt coating material can be understood without human intervention. Machine learning based automatic fault detection method has been developed in this process where continuous control is very difficult. In this way, it has contributed to the reduction of asphalt maintenance and repair costs for a safer driving experience. The results obtained were discussed in the light of the literature and the success of the method is supported by the literature.

Keywords: Asphalt condition monitoring, fault detection, HOG feature selection, SVM classification.

1. Giriş

Karayolu taşımacılığı günümüzde ulaşım sektöründe sıklıkla kullanılan en önemli taşımacılık yöntemidir. Hafif ve ağır vasıta araçlar kullanılarak gerek yolcu gerekse yük taşımacılığı genellikle karayolu ile yürütülmektedir. Günümüzde karayollarında kullanılan temel kaplama malzemesi asfalttır ve asfalt malzemesi yapısı gereği zaman içerisinde bazı sebeplerden dolayı bozulmaya uğramaktadır (Gopalakrishnan et al., 2017). Özellikle trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde bu durum daha sık gözlemlenmektedir. Ayrıca ağır vasıta araçların yoğun olarak kullanıldığı yollarda, asfalt yüzeyinde aşırı yükten dolayı meydana gelen bozulma, çatlama ve çökme gibi durumlar oluşabilmektedir (Some, 2016). Asfalt kaplama yüzeyinde kısa zamanda bozulmaya sebebiyet veren bir diğer durum ise gece gündüz sıcaklık farkının yoğun olarak yaşanmasıdır. Özellikle kış dönemlerinde meydana gelen bu durum neticesinde asfalt yüzeylerinde yoğun çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu ve benzeri durumlar sürücülere sürüş güvenliği noktasında büyük tehdit oluşturmaktadır (Bello-Salau et al., 2016; Shi et al., 2016). Ayrıca bu gibi durumların önceden tespit edilememesi neticesinde yüksek bakım maliyetleri meydana gelmektedir (Kawano et al., 2017).

1.1. Motivasyon

Makine öğrenmesi algoritmaları günümüzde sıklıkla kullanılan ve başta sınıflandırma olmak üzere birçok farklı alanda başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlayan yöntemler bütünüdür. Gerçekleştirilen bu çalışmada da otomatik asfalt arıza

tespitine yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Bu amaçla aktif olarak kullanılan asfalt kaplamalı yollardan 3912 adet görüntü toplanmış ve bir veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra bu veri setinden özellik çıkarımı yapılmış ve elde edilen özellikler özellik seçim algoritmasına gönderilmiştir. Bu noktada en ağırlıklı özelliklerin seçimi yapılmış ve elde edilen ağırlıklı özellikler SVM algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Temel olarak sağlıklı ve arızalı görüntülerin sınıflandırıldığı bu yaklaşımda, asfalt durum izlemeye yönelik otomatik ve yüksek doğruluklu bir yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca yöntemin performansı değerlendirildiğinde önerilen yaklaşımın %96.5 oranında bir verim sağladığı gözlemlenmiştir.

1.2. Literatür Özeti

Asfalt durum izleme konusu literatürde çalışılan önemli konuların başında gelmektedir. Gerek inşaat alanında gerekse bilgisayar bilimlerinde bu konu sıklıkla çalışılmakta ve asfalt durum izlemeye yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmektedir. Karayollarında kullanılan temel kaplama malzemelerinden birisi olan asfalt çeşitli sebeplerden dolayı bozulmaya uğramakta ve bu durumda başta sürüş güvenliği olmak üzere birçok probleme sebebiyet vermektedir (Jahanshahi et al., 2013). Bu sebepten asfalt durumunun sürekli gözetim altında tutulması, arızaların erken tespit edilmesi ve bu kaplama malzemesinin onarılması son derece önemli bir konudur. Bu konu üzerine literatürde yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Asfalt yüzeylerinin incelendiği bu çalışmalarda kullanılan yöntemlerin başında da makine öğrenmesi gelmektedir. Literatürde bu konuda yapılan bazı çalışmalar Tablo 1'de verildiği gibidir.

Tablo 1. Literatürde Yapılan Çalışmaların Özeti

Çalışmalar	Kısa Özet
Nguyen et al. (Nguyen et al., 2011)	Gerçekleştirilen bu çalışmada asfalt görüntülerinde çatlak tespiti için segmentasyon adımıyla parlaklık ve bağlanabilirliği dikkate alan yeni bir yöntem önerilmiştir. Serbest biçimli yol boyunca özellik çıkarımı sağlanmış ve bazı çatlak türleri tespit edilmiştir. Çalışmada ortalama %78 başarı sağlanmıştır.
Fan et al. (Fan et al., 2020)	Bu çalışmada, otomatik asfalt tespiti ve ölçümü için olasılık füzyonuna dayanan bir konvülsiyonel sinir ağı yöntemi önerilmiştir. Çalışmada 2 farklı veri seti kullanılmış olup, kullanılan veri setleri üzerinde ortalama %94 başarı sağlanmıştır.
Xu et al. (Xu & Tang, 2013)	Çalışma kapsamında asfalt çatlakları için eğitimsiz çatlak tespit yaklaşımı önerilmiştir. Belirginlik ve istatistiğe dayalı yöntemlerin kullanıldığı bu çalışmada 261 çatlak görüntüsü toplanmış ve önerilen yöntem bu görüntüler üzerinde test edilmiştir. Çalışmada %89 başarı elde edilmiştir.
Cheng et al. (Cheng et al., 2019)	Konu üzerine yapılan bu çalışmada derin evrişimli sinir ağı (U-Net) kullanılarak otomatik çatlak tespit yöntemi önerilmiştir. U-Net'in encoder-decoder mantığının kullanıldığı bu çalışmada test verisi olarak 2 farklı veri kümesi kullanılmıştır. Önerilen yöntem her iki veri kümesi içinde ortalama %92 başarı sağlamıştır.
Zhang et al. (Zhang et al., 2017)	Otomatik asfalt çatlak tespitine yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada Region of Belief (ROB) adı verilen yeni bir kavram önerilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen uygulamada ilk olarak alınan görüntüler piksel değerlerine göre kümelendirilmiştir. Daha sonra bu kümelere eşikleme yöntemi

	uygulanmış ve görüntü segmentasyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak ROB adı verilen ve çalışma çerçevesinde önerilen yaklaşım uygulanmış ve çatlaklar tespit edilmiştir. Toplam 10000 görüntünün kullanıldığı bu çalışmada %95'in üzerinde başarı oranı sağlanmıştır.
<i>Majidifard et al.</i> (Majidifard, Adu-Gyamfi, et al., 2020)	Gerçekleştirilen bu çalışmada Google Street View uygulaması kullanılarak çeşitli asfalt görüntüleri toplanmış ve geliştirilen uygulamada eğitim ve test amacıyla bu görüntüler kullanılmıştır. 9 türde problemin incelendiği bu çalışmada toplanan görüntüler kusur durumlarına göre etiketlenmiştir. YOLO ve U-Net derin öğrenme framework'lerinin kullanıldığı bu çalışmada 7237 görüntü kullanılmış olup, oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
<i>Zalama et al.</i> (Zalama et al., 2014)	Bu çalışmada yazarlar tarafından boyuna ve enine çatlaklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Gabor filtresi tabanlı bu yöntemde sınıflandırıcıların eşik değerlerini ayarlamak için 3 farklı yöntem kullanılmıştır. Çalışmada son olarak AdaBoost algoritması kullanılarak sınıflandırıcıların seçimi ve birleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Bu sayede tek bir sınıflandırıcı kullanılarak veri seti incelenmiştir. Kullanılan veriler bir araca yerleştirilen kamera ve gps cihazı ile elde edilmiştir.
<i>Shahnazari et al.</i> (Shahnazari et al., 2012)	Gerçekleştirilen bu çalışmada asfalt durumunu tanımlamak için kullanılan parametrelerden birisi olan Asfalt Durum İndeksi (PCI) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yumuşak hesaplama tekniklerinden olan Genetik programlama ve Yapay sinir ağları uygulamada kullanılmıştır. İran bölgesinde 1250 km'lik karayolundan alınan görüntülerin kullanıldığı bu çalışmada yapay sinir ağı ve genetik programlama için ayrı modeller oluşturulmuş ve test edilmiştir. Test sonuçları yapay sinir ağının daha doğru tahmin verdiğini göstermiştir.
<i>Mandal et al.</i> (Mandal et al., 2019)	Konu üzerine gerçekleştirilen bu çalışmada derin evrişimli sinir ağları kullanılarak otomatik yol çatlak tespiti geliştirilmiştir. Çalışmada YOLO v2 derin öğrenme modeli kullanılmış ve otomatik analiz sistemi yapılmıştır. Sistem 7240 görüntü ile eğitilmiş ve 1813 yol görüntüsü ile test edilmiştir. Çalışmada yaklaşık %87 oranında bir performans elde edilmiştir.
<i>Baoxian et al.</i> (Li et al., 2020)	Bu çalışmada da bir öncesine benzer şekilde derin sinir ağları kullanılmış olup, çatlak tespitinde otomatik sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Evrişimli sinir ağının kullanıldığı bu çalışmada %94'ün üzerinde bir başarı sağlanmıştır.
<i>Majidifard et al.</i> (Majidifard, Jin, et al., 2020)	Bu çalışmada da Google Street View uygulamasından toplanan 7237 adet asfalt kategorisi 9 farklı sınıf için sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Derin öğrenmenin kullanıldığı bu yaklaşımda YOLO v2 ve Faster R-CNN derin öğrenme modelleri kullanılmıştır. Doğruluk skorları YOLO v2 için 0.84 ve Faster R-CNN modeli için 0.65 elde edilmiştir.

1.3. Yöntem

Bu çalışmada arızalı asfaltın tespit edilmesi ve sağlam-arızalı şeklinde sınıflandırılabilmesi amacıyla görüntü işleme yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla asfalt durumunu analiz etmek için 3912 adet farklı görüntü kullanılmış ve elde edilen bu görüntüler sınıflandırılmıştır. Önerilen yaklaşımda ilk olarak görüntü ön işleme adımlarından birisi olan ortalama havuzlama yöntemi kullanılmış ve 360x640 çözünürlüğe sahip her bir görüntü karesi 90x160 çözünürlüğe indirilmiştir. Bu işlemin temel amacı görüntü boyutlarını küçültmek ve buna bağlı işlem süresini azaltmaktır. Bu işlemin ardından boyutu azaltılmış görüntülere HOG algoritması uygulanmaktadır. Bu yöntem ile her bir görüntüden özellik çıkarımı yapılmakta ve elde edilen özellikler kaydedilmektedir. Bu aşama sonucunda toplam 3912x6840 boyutuna sahip bir özellik matrisi elde edilmektedir. Elde edilen bu özellik matrisinde en ağırlıklı özelliklerin seçilmesi gerekmektedir. Bu sayede özellik matrisinin boyutu azaltılacak ve daha doğru sonuç elde edilmesi sağlanacaktır. Normalde HOG işlemi ile her bir görüntü karesinde toplam 6840 özellik elde edilmiştir. Özellik seçiminde uygulanan Ki-kare yöntemi sonucunda ise her bir görüntü karesi için bu sayı 443'e indirilmiş ve toplamda 3912x443 boyutunda ağırlıklandırılmış bir özellik matrisi elde edilmiştir. Elde edilen özellik matrisinin sınıflandırılması için SVM yöntemi kullanılmıştır. Bu noktada Lineer SVM, Quadratik SVM, Cubic SVM, Medium Gaussian SVM ve Cuiarse Gaussian SVM yöntemleri özellik matrisine

uygulanmış ve elde edilen sonuçlar gözlemlenmiştir. Tüm görüntüler için elde edilen sonuçlar karmaşıklık matrisine aktarılmış ve doğruluk, kesinlik ve duyarlılık değerleri hesaplanmıştır.

1.4. Sunulan Katkılar ve Yenilikler

Önerilen yöntemin sunduğu katkılar ve yenilikleri aşağıda verildiği gibidir;

- Çalışma kapsamında 3912 farklı asfalt görüntüsü toplanmış ve HOG algoritması ile özellik çıkarımı yapılmıştır.
- Elde edilen özelliklere Ki-kare yöntemi uygulanarak ağırlıklı özellikler tespit edilmiş ve başarı oranı artırılmıştır.
- Seçilen ağırlıklı özelliklerin SVM yöntemi kullanılarak sınıflandırılması sağlanmış ve %96.5 oranında bir doğruluk elde edilmiştir.
- Önerilen yöntemde kullanıcı müdahalesine gerek kalmayan tam otomatik bir durum izleme yaklaşımı geliştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

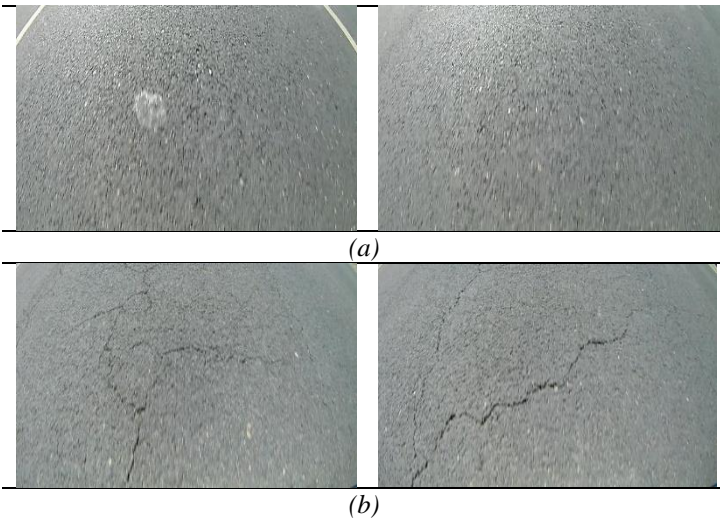
Önerilen yaklaşımın ilk aşamasında veri seti oluşturulma işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla hareket halinde bir araca kamera yerleştirilmiş ve bu kamera aracılığıyla seyahat halinde iken görüntü toplanmıştır. Görüntüler belirli aralıklarda ve farklı asfalt kaplamaya sahip çeşitli karayollarından alınmıştır. Seyahat öncesinde kamera aracın ön tamponuna monte edilmiş ve geniş

açıyla asfaltı kaydedebilecek pozisyona getirilmiştir. Bu sayede sağlam ve problemlili asfalt görüntülerinin toplanması amaçlanmıştır. Görüntülerin toplanması sürecinde ise bir aksiyon kamerası kullanılmış olup, kullanılan bu kameraya ait bazı temel özellikler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Asfalt Görüntülerinin Toplanmasında Kullanılan Aksiyon Kamera Özellikleri

Parametre	Değer
Sıvı kristal ekran	2.0 LCD ekran
Görüntü sensörü	12 megapiksel CMOS sensörü
Kaydedilen videonun çözünürlüğü	4 K 25FPS
	2.7 K 30FPS
	1080 P (1920*1080) 60FPS/30FPS 720 P (1280*720) 120FPS
Lens	170 + HD geniş açılı lens
Videoların formatı	H.264
Fotoğrafların çözünürlüğü	12 M/8 M/5 M/2 M
Zaman aşımı	Kapalı/2s/3s/5s/10s/20s/30s/60s
Optik kaynak frekansı	50Hz/60Hz/otomatik
Pil kapasitesi	1050 MAH
Boyut	59.3*24.6*41.1mm

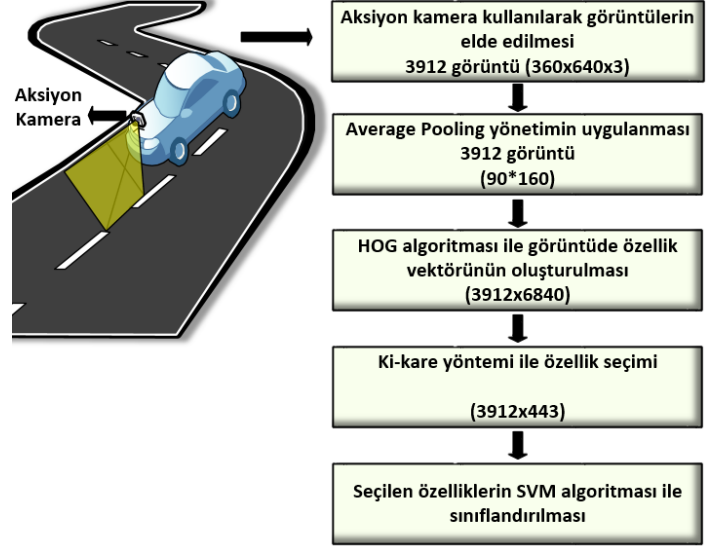
Çalışma kapsamında kullanılan aksiyon kamerasının monte edildiği araç ile görüntü alınacağı süreçte seyahat edilmiştir. Araçta mevcut bulunan hız sabitleyici sayesinde ort. 80 km/s hız sağlanmış olup, seyahat süresince kameranın video kayıt yapması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan kamera saniyede 30 görüntü karesi (fps) alacak şekilde ayarlanmıştır. Görüntü toplama sürecinin ardından kameraya kaydedilmiş görüntüler bilgisayar ortamına aktarılmış ve bu görüntülere seçim işlemi uygulanmıştır. Bu seçimin ardından toplam 3912 görüntü elde edilmiş ve bu görüntüler işlenmek üzere bir sonraki aşamaya aktarılmıştır. Çalışma kapsamında seçilen ve kullanılan (a) sağlıklı ve (b) arızalı asfalt durumlarına ait bazı örnek görüntüler Şekil 1’de verildiği gibidir.



Şekil 1. Örnek Sağlıklı ve Arızalı Asfalt Görüntüleri (a) Sağlıklı Asfalt Görüntüleri (b) Arızalı Asfalt Görüntüleri

3. Önerilen Yöntem

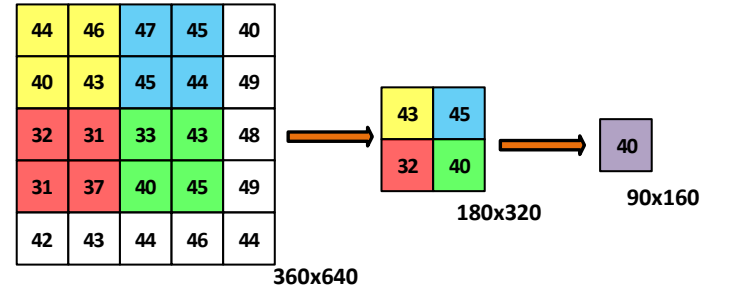
Çalışma kapsamında asfalt durum izlemeye yönelik otomatik sınıflandırma yapabilen bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemi özetleyen bir akış diyagramı Şekil 2’de sunulmaktadır. Ayrıca bu yöntemde kullanılan aşamaların detayları alt bölümler halinde verilmiştir.



Şekil 2. Önerilen Yöntemin Grafikselsel Özeti ve Akış Diyagramı

3.1. Ortalama Havuzlama Yöntemi

Ortalama havuzlama yöntemi temel olarak büyük boyutlu bir görüntüde ham görüntüyü bozmadan boyut küçültme işlemidir. Genellikle derin öğrenme yöntemlerinde kullanılan bu işlemde görüntüdeki piksellerin belirli bir kernel boyutuna göre ortalaması alınmaktadır. Genelde 2x2 veya 3x3 gibi kernel boyutlarının seçildiği bu işlemde, ana görüntüde belirli adım atma değerine göre filtre gezdirilmekte ve görüntüdeki piksellerin ortalaması alınarak yeni piksel değeri oluşturulmaktadır. Bu işlemi özetleyen bir blok diyagram Şekil 3’de sunulmuş olup, yine bu işlemin matematiksel karşılığı Denklem 1’de verilmiştir.



Şekil 3. Ortalama Havuzlama Yöntemi ile Görüntüde Boyut Azaltma

$$y = \frac{1}{hw} \sum_{i,j=1}^{h,w} p_{i,j} \quad (1)$$

Denklem 1’de verilen h ve w değerleri kullanılan kernelin boyutlarını gösterirken $p_{i,j}$ değeri ise kernel içerisinde kalan ve hesaplamaya alınacak piksel değerini ifade etmektedir. Bu çalışmada ortalama havuzlama yöntemi ile görüntünün boyutu

küçültülmüştür. Böylece önerilen yöntemin daha hızlı çalışması sağlanmıştır.

3.2. Yönlendirilmiş Gradyan Histogramı

Çalışma kapsamında önerilen özellik çıkarım yöntemi HOG algoritmasıdır. Bu yöntemin temel amacı görüntülerde yer alan nesnelere yüksek başarı oranı ile tanımlayabilmektir. Yöntem ilk olarak görüntüde düşey ve yatay gradyanı hesaplamaktadır (Alpaslan et al., 2012). Bu işlem temelde sobel algoritmasının benzeri olup Denklem 2’de sunulmaktadır (Karakaya et al., 2009). Bu işlemin ardından yatay ve düşey görüntü gradyanları kullanılarak görüntüdeki piksellerin yönelim (θ) ve büyüklük (G) değerleri elde edilmektedir. Bu değerlerin hesaplanması ise Denklem 3’de verilmektedir. Daha sonra gradyan yönü ve büyüklüğüne göre gradyan histogramı hesaplanmaktadır. Algoritmanın son aşamasında ise bir normalizasyon işlemi uygulanmaktadır. Normalizasyon işleminin temel amacı ise gradyan histogramının ışık değişimlerinden etkilenmesini ortadan kaldırmak olup, bu işlemin matematiksel karşılığı Denklem 4’de paylaşılmıştır.

$$\begin{aligned} f_x(x, y) &= I(x + 1, y) - I(x - 1, y) & \forall x \\ f_y(x, y) &= I(x, y + 1) - I(x, y - 1) & \forall x, y \end{aligned} \quad (2)$$

Denklem 2’de verilen $I(x, y)$, (x, y) noktasındaki piksel yoğunluğunu göstermektedir. Ayrıca f_x ve f_y sırasıyla yatay ve düşey eksenindeki görüntü gradyanlarını ifade etmektedir. Bu gradyan değerleri kullanılarak Denklem 3’de verilen gradyan büyüklükleri (G) ve gradyan yönelimleri (θ) hesaplanmaktadır.

$$G(x, y) = \sqrt{f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2} \quad (3)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{f_y(x, y)}{f_x(x, y)} \right)$$

$$h = \frac{v}{\sqrt{|v|^2 + \varepsilon}} \quad (\varepsilon = 1) \quad (4)$$

Burada v özellik vektörünü ifade etmektedir. Öncelikle özellik vektörünün öklid normu (L2-norm) hesaplanmaktadır. Daha sonra özellik vektöründe yer alan değerlerin öklid normuna bölünmesiyle normalize edilmiş histogram değerleri elde edilmektedir. Ayrıca burada kullanılan ε değeri yaşanabilecek sıfıra bölünme problemini ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır.

3.3. Ki-Kare Özellik Seçim Yöntemi

Önerilen yaklaşımda kullanılan bir diğer algoritma ise Ki-Kare yöntemidir. Bu yöntemin kullanılmasının amacı HOG algoritmasından elde edilen özelliklerden en ağırlıklı olanlarının seçilmesidir. Başka bir deyişle çözüme etki edebilecek olası özelliklerden en kaliteli olanlar belirli matematiksel işlemler ile seçilmekte ve sınıflandırma işleminde kullanılmaktadır (Yazıcı et al., n.d.). Gözlemlenen (O) ve beklenen (E) değerlerin ele alındığı Ki-Kare yönteminde değerlerin serbestlik dereceleri (c) belirlenmektedir. Ki-Kare algoritmasının matematiksel karşılığı Denklem 5’de verilmektedir.

$$x_c^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (5)$$

3.4. Destek Vektör Makineleri

Gerçekleştirilen bu çalışmada Ki-Kare yöntemi ile elde edilen en ağırlıklı özellikler SVM algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Lineer olmayan problemlerde başarılı çözümler sunan bu algoritma literatürde sıklıkla kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinden birisi olup, genellikle tahmin ve sınıflandırma uygulamalarında tercih edilmektedir (N. Baygin et al., 2019; Yaman et al., 2020). SVM algoritması temel olarak giriş vektörünü bir özellik uzayına dönüştürerek, bu özellik uzayının çıkış vektörü ile ilişkisini hesaplamaktadır. Makine öğrenmesi yöntemlerinden birisi olan SVM algoritmasının matematiksel karşılığı Denklem 6, 7 ve 8’de sunulmaktadır (Chia et al., 2020).

$$Y = w\varphi(X) + b \quad (6)$$

$$0.5\|w\|^2 + C \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_\varepsilon(y_{tahmin}, y_{gercek}) \quad (7)$$

$$L_\varepsilon(y_{tahmin}, y_{gercek}) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } |y_{tahmin} - y_{gercek}| < \varepsilon \\ |y_{tahmin} - y_{gercek}| - \varepsilon, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (8)$$

Burada Y çıkış vektörü olup, w ağırlık vektörü, φ kernel vektörü, X giriş vektörü ve b bias terimini ifade etmektedir. Ayrıca $0.5\|w\|^2$ düzenleme terimi, C ceza parametresi, ε SVM’nin marjini ifade etmektedir.

Bölüm başında da belirtildiği üzere SVM algoritması değişkenler arasındaki bağlantıyı incelemek için kullanılmaktadır. N boyutlu bir uzay oluşturularak noktalar arasındaki sınıflar belirlenmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada da çeşitli kernel fonksiyonlarına sahip SVM algoritmaları test edilmiştir. Bu kernel fonksiyonları sırasıyla Linear, Quadratic, Cubic ve Gauss SVM algoritmalarıdır. Çalışma kapsamında toplanan görüntülerden elde edilen öz nitelikler MATLAB Classification Learner uygulamasında mevcut bulunan SVM kernelleri ve algoritmaları kullanılarak test edilmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar

4.1. Deneysel Parametreler

Önerilen yöntem kapsamında sabit hızla hareket eden bir araçtan toplanan asfalt görüntüleri belirli ön işlemlerden geçirilmiş ve görüntüleri ait özellikler çıkarılmıştır. Daha sonrasında elde edilen bu görüntüler, makine öğrenmesi yöntemlerinden birisi olan destek vektör makineleri ile sınıflandırılma işlemine tabi tutulmuştur. Sınıflandırma aşamasında Linear, Cubic, Quadratic ve Gauss kernel yöntemlerine sahip SVM kullanılmış olup, bu kernel yöntemlerine ait bazı temel parametreler Tablo 3’de sunulmaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen bu yaklaşımın test edilmesinde Intel Core i7-3.00 GHz İşlemciye sahip, 32GB ram’li ve Windows 10 işletim sistemine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Çalışma süresince geliştirilen test uygulamasının kodları MATLAB 2020a ortamında yazılmış olup, sınıflandırma işlemi için MATLAB Classification Learner kütüphanesi kullanılmıştır.

Table 3. Önerilen Yöntemde Kullanılan Sınıflandırıcıların Parametreleri

Parametre	Kernel Fonksiyonu	Kernel ölçekleme modu	Manuel kernel ölçeği
Linear SVM	Linear	Auto	1
Quadratic SVM	Quadratic	Auto	1
Cubic SVM	Cubic	Auto	1
Medium Gaussian SVM	Gaussian	Manuel	21
Coarse Gaussian SVM	Gaussian	Manuel	84

Uygulamanın ilk aşamasında 80 km/s hıza sahip bir araca monte edilen kamera ile görüntüler toplanmış ve bu görüntüler incelenerek toplam 3912 kullanılabilir görüntü seçilmiştir. Çalışmada toplanan görüntüler ilk aşamada 360x640 boyutuna sahiptir. Daha sonra elde edilen görüntülere sırasıyla boyut azaltma, özellik çıkarımı, özellik seçimi ve sınıflandırma işlemleri uygulanmış ve önerilen yaklaşımın performansı karmaşıklık matrisi oluşturularak incelenmiştir. Bu performans değerleri ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde sunulmuştur.

4.2. Deneysel Sonuçlar

Çalışma kapsamında önerilen ve geliştirilen yöntemin performansını test edebilmek amacıyla karmaşıklık matrisi oluşturulmuştur. Bu performans parametreleri Doğru pozitif (TP), Yanlış pozitif (FP), Doğru Negatif (TN) ve Yanlış Negatif (FN) değerlerine göre hesaplanmaktadır (M. Baygin, 2019). Ayrıca performans değerlendirmesi yapılırken istatistik biliminde de sıklıkla kullanılan doğruluk, kesinlik, duyarlılık, geometrik ortalama ve f-skoru kullanılmış olup, bu parametrelerin matematiksel karşılığı sırasıyla Denklem 9, 10, 11, 12 ve 13'de sunulmaktadır.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (9)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (10)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (11)$$

$$Geometric_mean = \sqrt{\frac{TP * TN}{(TP + FN) * (TN + FP)}} \quad (12)$$

$$F - Measure = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \quad (13)$$

Bu performans metriklerini hesaplayabilmek için elde edilen sonuçların TP, TN, FP ve FN değerlerinin çıkarılması ve bir karmaşıklık matrisinde verilmesi gerekmektedir. Diğer bölümlerde de belirtildiği üzere önerilen yöntemde 5 farklı sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Bu kapsamda önerilen yaklaşım sonucunda elde edilen karmaşıklık matrisi Tablo 4'de verildiği gibidir.

Tablo 4. Önerilen Yöntem ile Elde Edilen Karmaşıklık Matrisi Sonuçları

	TP	FP	FN	TN
Linear SVM	1947	110	35	1820
Quadratic SVM	1949	108	24	1831
Cubic SVM	1951	106	34	1821
Medium Gaussian SVM	1949	108	23	1832
Coarse Gaussian SVM	1942	115	46	1809

5. Tartışma

Önerilen yöntemde, elde edilen özellik matrisi farklı SVM kernel yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmış ve bu sınıflandırma işleminin sonucunda bazı performans metrikleri kullanılarak sonuçlar incelenmiştir. Tablo 4'de de sunulan karmaşıklık matrisi kullanılarak 5 farklı sınıflandırma yönteminin doğruluk, kesinlik, duyarlılık, geometrik ortalama ve f-skoru değerleri elde edilmiş olup, bu sonuçlar Tablo 5'de detaylı bir şekilde paylaşılmıştır.

Tablo 5. 5 Farklı Sınıflandırıcı için Elde Edilen Performans Metrikleri

		Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	Geo. Ort.	F-Skor
Linear SVM	Max	96,29	96,26	96,38	96,36	96,32
	Min	95,85	95,82	95,92	95,92	95,87
	Mean	96,03	96,00	96,11	96,09	96,05
	Std	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Quadratic SVM	Max	96,62	96,60	96,72	96,70	96,66
	Min	96,24	96,21	96,33	96,31	96,27
	Mean	96,41	96,39	96,51	96,49	96,45
	Std	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07
Cubic SVM	Max	96,42	96,39	96,5	96,49	96,45
	Min	95,83	95,79	96,9	95,89	95,84
	Mean	96,04	96,01	96,12	96,11	96,06
	Std	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Medium	Max	96,65	96,63	96,75	96,73	96,46

Gaussian SVM	Min	96,34	96,33	96,45	96,42	96,39
	Mean	96,52	96,50	96,62	96,6	96,56
	Std	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Coarse Gaussian SVM	Max	95,88	95,85	95,96	95,95	95,90
	Min	95,60	95,56	95,67	95,66	95,62
	Mean	95,75	95,72	95,83	95,82	95,78
	Std	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

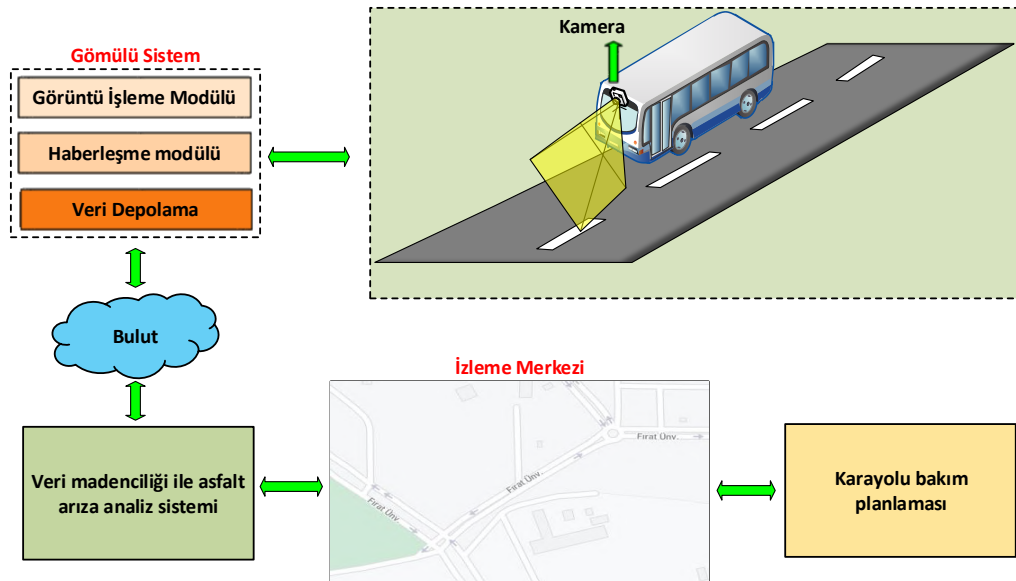
Tablo 5’den de görülebileceği üzere SVM sınıflandırma algoritması 5 farklı kernel yapısı için de yaklaşık %96.5’in üzerinde performans göstermiştir. Bu durumun elde edilmesindeki temel etken, verilerin toplandıktan sonra çeşitli ön işlemlerden geçirilmesidir. Bu çerçevede ilk olarak ortalama havuzlama yöntemi kullanılarak görüntüde boyut azaltma işlemi yapılmış olup, daha sonrasında yönlendirilmiş gradyan histogramı ile özellik çıkarımı uygulanmıştır. Çok sayıda elde edilen özellikler ki-kare yöntemi kullanılarak azaltılmış ve sadece en ağırlıklı öz niteliklerin sınıflandırıcı da kullanılması sağlanmıştır. Son olarak elde edilen özellik matrisi SVM tabanlı sınıflandırıcıya verilmiş ve en başta toplanan asfalt görüntüleri sağlıklı ve arızalı olacak şekilde 2 grupta sınıflandırılmıştır. Elde edilen performans metrikleri de önerilen yöntemin başarılı ve uygulanabilir olduğunu ispatlamaktadır.

5. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Taşımacılık sektöründe en sık kullanılan yöntem karayolu taşımacılığıdır. Gerek yolcu gerekse yük taşımacılığında aktif bir şekilde karayollarının kullanılması, zaman içerisinde bu yolların bozulmasına sebebiyet vermektedir. Günümüzde karayollarının kaplanmasında kullanılan temel hammadde asfalttır. Fakat asfalt yapısı gereği kullanıma ve çevresel koşullara bağlı olarak zaman içerisinde yıpranmakta ve yüzeyde bozulma, çökme, çatlama gibi durumlar meydana gelmektedir. Bu yıpranmaların kötü sonuçlara sebebiyet vermeden tespit edilmesi ve onarılması özellikle sürüş güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir. Ayrıca bozulmanın gerçekleştiği ilk aşamalarda bu onarımların gerçekleştirilmesi onarım maliyetlerini de ciddi derece de azaltmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışma ile asfalt yüzeylerde meydana gelen bozulmaların tam otomatik bir şekilde tespit edilmesi ve sağlıklı-arızalı kategorilere göre sınıflandırılması sağlanmıştır. Hareket halindeki bir araca monte edilen kamera sayesinde çeşitli asfalt görüntüleri toplanmış ve bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veri setine bazı ön işlemler uygulanmış ve görüntülerin boyutu küçültülmüştür. Daha sonraki aşamada veri setine özellik çıkarım işlemi uygulanmış ve elde edilen özelliklerden en önemlileri seçilmiştir. Son olarak SVM tabanlı sınıflandırma işlemi uygulanmış ve neticesinde yaklaşık olarak %96.5 oranında bir doğruluk elde edilmiştir. Çalışma kapsamında herhangi bir kullanıcı müdahalesine ihtiyaç duymayan otomatik asfalt durum izleme yaklaşımı geliştirilmiştir. Yüksek doğrulukla çalışan bu yöntem ile bozulmaya başlamış veya bozulmuş asfaltların durumları çok hızlı bir şekilde değerlendirilebilecek ve erken müdahale kabiliyeti sağlanabilecektir. Bu sayede yüksek onarım maliyetleri azaltılmış olacaktır.

Önerilen bu yaklaşımın bir sonraki aşamasında arızalı asfalt görüntülerinin literatürde de yer alan çeşitli arıza türlerine göre sınıflandırılması hedeflenmektedir. Gelecek çalışmalarda arıza türlerinin de yine kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan tespit edilmesi ve etiketlenmesi planlanmaktadır. Ayrıca akıllı şehir kapsamında toplu taşıma araçlarına yerleştirilecek kamera ve gömülü sistem ile yollardaki asfalt arızaları tespit edilecektir. Üstelik arıza boyutu, arıza türü ve konumu merkeze iletilerek harita üzerinden arızanın bulunduğu bölge analiz edilecektir. Bu noktada, gelecek çalışmalarda geliştirilebilecek sisteme yönelik bu öneri Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Gelecek Çalışmalara Yönelik Sistem Geliştirme Önerisi

Kaynakça

- Alpaslan, N., Talu, M. F., Gül, M., & Yiğitcan, B. (2012). *Hog Tabanlı YSA Kullanılarak Yağlı Karaciğer Tedavisindeki İlaç Etkinliklerinin Hesaplanması*.
- Baygin, M. (2019). Classification of Text Documents based on Naive Bayes using N-Gram Features. *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing, IDAP 2018*. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2018.8620853>
- Baygin, N., Baygin, M., & Karakose, M. (2019). A SVM-PSO Classifier for Robot Motion in Environment with Obstacles. *2019 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, IDAP 2019*. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2019.8875921>
- Bello-Salau, H., Aibinu, A. M., Onwuka, E. N., Dukiya, J. J., Onumanyi, A. J., & Ighagbon, A. O. (2016). Development of a laboratory model for automated road defect detection. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 8(9), 97–101.
- Cheng, J., Xiong, W., Chen, W., Gu, Y., & Li, Y. (2019). Pixel-level Crack Detection using U-Net. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON, 2018-October*(October), 462–466. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2018.8650059>
- Chia, M. Y., Huang, Y. F., & Koo, C. H. (2020). *Support vector machine enhanced empirical reference evapotranspiration estimation with limited meteorological parameters*. 175(April).
- Fan, Z., Li, C., Chen, Y., Mascio, P. Di, Chen, X., Zhu, G., & Loprencipe, G. (2020). *Ensemble of Deep Convolutional Neural Networks and Measurement*. 1–14.
- Gopalakrishnan, K., Khaitan, S. K., Choudhary, A., & Agrawal, A. (2017). Deep Convolutional Neural Networks with transfer learning for computer vision-based data-driven pavement distress detection. *Construction and Building Materials*, 157, 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.110>
- Jahanshahi, M. R., Jazizadeh, F., Masri, S. F., & Becerik-Gerber, B. (2013). Unsupervised approach for autonomous pavement-defect detection and quantification using an inexpensive depth sensor. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(6), 743–754. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000245)
- Karakaya, F., Altun, H., & Çavuşlu, A. (2009). *Gerçek Zamanlı Nesne Tanıma Uygulamaları için HOG Algoritmasının FPGA Tabanlı Gömülü Sistem Uyarlaması*. 508–511.
- Kawano, M., Mikami, K., Yokoyama, S., Yonezawa, T., & Nakazawa, J. (2017). Road marking blur detection with drive recorder. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2017, 2018-Janua*, 4092–4097. <https://doi.org/10.1109/BigData.2017.8258427>
- Li, B., Wang, K. C. P., Zhang, A., Yang, E., Wang, G., Li, B., Wang, K. C. P., Zhang, A., & Yang, E. (2020). *Automatic classification of pavement crack using deep convolutional neural network*. 8436. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1485917>
- Majidifard, H., Adu-Gyamfi, Y., & Buttlar, W. G. (2020). Deep machine learning approach to develop a new asphalt pavement condition index. *Construction and Building Materials*, 247, 118513. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118513>
- Majidifard, H., Jin, P., Adu-Gyamfi, Y., & Buttlar, W. G. (2020). *Pavement Image Datasets: A New Benchmark Dataset to Classify and Densify Pavement Distresses*. *Transportation Research Record*, 2674(2), 328–339. <https://doi.org/10.1177/0361198120907283>
- Mandal, V., Uong, L., & Adu-Gyamfi, Y. (2019). Automated Road Crack Detection Using Deep Convolutional Neural Networks. *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2018*, 5212–5215. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622327>
- Nguyen, T. S., Begot, S., Duculty, F., & Avila, M. (2011). *Free-Form Anisotropy: A New Method for Crack Detection on Pavement Surface Images. 1*, 1069–1072.
- Shahnazari, H., Tutunchian, M. A., Mashayekhi, M., & Amini, A. A. (2012). *Application of Soft Computing for Prediction of Pavement Condition Index*. *December*, 1495–1506. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE)
- Shi, Y., Cui, L., Qi, Z., Meng, F., & Chen, Z. (2016). Automatic Road Crack Detection Using Random Structured Forests. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(12), 1–12.
- Some, L. (2016). Automatic image-based road crack detection methods. *LIENE SOME KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY SCHOOL OF ARCHITECTURE AND THE BUILT ENVIRONMENT*. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A945233&dswid=-7141%0Ahttp://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A945233&dswid=1058%0Ahttp://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:945233/FULLTEXT03.pdf>
- Xu, W., & Tang, Z. (2013). *PAVEMENT CRACK DETECTION BASED ON SALIENCY AND STATISTICAL FEATURES* School of Computer Science and Engineering , Nanjing University of Science and Technology , China. 4093–4097.
- Yaman, O., Yetis, H., & Karakose, M. (2020). Band Reducing Based SVM Classification Method in Hyperspectral Image Processing. *Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, 21–25.
- Yazıcı, B., Yaslı, F., Gürleyik, H. Y., & Turgut, U. O. (n.d.). *Veri Madenciliğinde Özellik Seçim Tekniklerinin Bankacılık Verisine Uygulanması Üzerine Araştırma ve Karşılaştırmalı Uygulama*. 72–83.
- Zalama, E., Jaime, G., & Medina, R. (2014). *Road Crack Detection Using Visual Features Extracted by Gabor Filters*. 29, 342–358. <https://doi.org/10.1111/mice.12042>
- Zhang, D., Li, Q., Chen, Y., Cao, M., He, L., & Zhang, B. (2017). An efficient and reliable coarse-to-fine approach for asphalt pavement crack detection. *Image and Vision Computing*, 57, 130–146. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2016.11.018>



Bazı Tahıl Benzeri Ürünlerin Besin İçeriği ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı

Esra Doğu Baykut^{1*}

^{1*} İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9441-927X),
esra.dogubaykut@medeniyet.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 28 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 28 Şubat 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.789955)

ATIF/REFERENCE: Dogu-Baykut, E. (2021). Bazı Tahıl Benzeri Ürünlerin Besin İçeriği ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 89-98.

Öz

Tahıl ürünleri tüm dünyada ve ülkemizde insanların beslenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Kolay ulaşılabilir olması, çabuk bozulmaması ve yüksek enerji değeri olması gibi sebeplerle tahıllar yaygın olarak tüketilmektedir. Başta buğday olmak üzere çavdar, arpa ve yulaf gibi tahılların içerdiği gluten adlı protein ekme ve diğer unlu mamullerin yapımında önemli rol oynamaktadır. Fakat gluten allerjisi, çölyak hastalığı veya gluten hassasiyeti olan kişilerin gluten içeren besinler tüketmesi sindirim sorunları ve çok daha ciddi hastalıklara yol açabilmektedir. Ayrıca son yıllarda, gluten içermeyen gıdaların tüketilmesinin genel sağlık durumunu arttırdığını belirten çalışmaların da artması ile birçok insan beslenme alışkanlıklarında değişiklikler yapmıştır. Bu sebepler gluten içermeyen tahıl bazlı ürünlere olan ihtiyacı ortaya çıkarmış ve araştırmacıları tahıl alternatifi olabilecek, az kullanılan türlerin farklı kullanımları ile ilgili araştırmalar yapmaya yöneltmiştir. Karabuğday, amarant ve kinoa son yıllarda glutensiz ürün geliştirilmesinde sıklıkla kullanılan tahıl alternatifleridir. Karabuğday, amarant ve kinoa, Gramineae familyasının üyesi olmamakla birlikte, tahıl ürünlerine benzer besin içeriğine ve kullanım alanlarına sahiptir. Bu ürünler zengin besin içerikleri ve fonksiyonel özellikleri ile sadece gluten allerjisi, çölyak hastalığı veya gluten hassasiyeti olan kişiler için değil aynı zamanda sağlıklı beslenme bilincindeki tüketiciler için de katma değeri yüksek ürün üretiminde iyi birer alternatiftir. Bu derlemede karabuğday, amarant ve kinoa'nın besin içeriği ve gıda endüstrisinde kullanımını incelemiştir.

Anahtar Kelimeler: Tahıl benzeri, Karabuğday, Amarant, Kinoa, Besin içeriği.

Nutritional Content of Some Pseudocereals and Their Use in Food Industry

Abstract

Grain products have an important place in the nutrition of people all over the world and in our country. They are widely consumed for reasons such as being easily accessible, not degrading quickly and having high energy value. The protein called gluten, which is found especially in wheat and also rye, barley and oats, plays an important role in making bread and other bakery products. However, consuming gluten-containing foods can cause digestive problems and much more serious diseases in people with gluten allergy, celiac disease or gluten sensitivity. Also, in recent years, many people have made changes in their eating habits with the increase in studies indicating that consuming gluten-free foods increases the general health status. These reasons revealed the need for gluten-free grain-like products and directed researchers to conduct their research on the different uses of less used species that could be an alternative to grain. Buckwheat, amaranth and quinoa are frequently used grain alternatives in gluten-free product development in recent years. Although buckwheat, amaranth and quinoa are not members of Gramineae family, they have similar nutritional content and uses to cereal products. Because of their rich nutritional content and functional properties, these products are good alternatives not only for people with gluten allergy, celiac disease or gluten sensitivity but also for conscious consumers who want healthier foods. In this study, nutritional content and use of buckwheat, amaranth and quinoa in the food industry were examined.

Keywords: Pseudocereals, Buckwheat, Amaranth, Quinoa, Nutritional content.

* Sorumlu Yazar: esra.dogubaykut@medeniyet.edu.tr

1. Giriş

Tahıllar insanlığın ilk çağlarından beri toplumun temel besin kaynaklarından biridir. Tahıllar, Gramineae familyasına ait bitkilerin yenilebilir tohumlarıdır. Buğday, yulaf, pirinç, mısır, arpa, çavdar ve darı günümüzde de dünya çapında birçok ülkede yetiştirilen tahıl çeşitleridir. Gelişmekte olan ülkelerde tahıllar günlük beslenmenin çoğunluğunu karşılamaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) 2018 yılı verilerine göre dünyada 2,963 milyar ton tahıl üretimi gerçekleşmiştir. Dünyada en çok üretimi yapılan tahıllar sırasıyla mısır (1,148 milyar ton), pirinç (782 milyon ton) ve buğdaydır (734 milyon ton) (FAOSTAT, 2020).

Tahıl tanelerinin yapısal özellikleri benzerdir. Tahıl taneleri kepek (%10-14), endosperm (%80-85) ve embriyo (ruşeym, %2,5-3) olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Fardet, 2010). Kepek taneyi dış etmenlerden koruyan, taneyi saran kısımdır. Kepek kısmı yüksek miktarda lif içermektedir. Ayrıca vitamin ve mineral açısından da zengindir. Orta kısımda bulunan endosperm ise yoğun nişasta içerir. Endosperm, tahıl tanesi çimlenirse bitki gelişene kadar besin sağlayan kısımdır. Embriyo yeni bitkiyi içeren ince duvarlı bir yapıdır. Tanenin iç kısımda bulunur. Yağ, protein, mineral ve vitamin açısından zengindir (McKevith, 2004).

Öğütme, tahılların özellikle ekmeçlik buğday ve çavdarın elde edilmesinde kullanılan temel işlemdir. Eski zamanlarda taş ile tahılın ezilmesi ile yapılan öğütme işlemi, günümüzde farklı tekniklerle yapılabilmektedir. Öğütme sırasında kepek ve embriyo taneden ayrılarak, sadece endosperm kısmından elde edilen una "beyaz un" denir. Beyaz unun nişasta içeriği yüksektir fakat diğer besin maddelerinden yoksundur. Beyaz un elde edilirken diyet lifi, fenolik maddeler, vitamin ve mineraller gibi sağlığa faydalı besinlerin çoğunluğu kaybolmaktadır. Tam tahıl unları ise tahıl tanesinin üç kısmını da içermektedir. Bu sebeple, tam tahıl unları, beyaz unlara göre yağ, protein, lif, vitamin ve mineral açısından daha zengindir (Borneo ve León, 2012). Yapılan birçok çalışma tam tahıl tüketiminin diyabet, obezite, kanser ve kardiyovasküler rahatsızlıklar gibi kronik hastalıkların gelişmesine karşı koruyucu olabileceğini vurgulamaktadır (Anderson, 2003, Kaur ve ark., 2014; Schatzkin ve ark., 2008).

Tahıllar %8-15 oranında protein içermektedir. Buğday, çavdar, arpa ve yulaf gibi tahıllarda proteinin büyük kısmı (yaklaşık %80) gliadin ve glutenin olmak üzere iki farklı fraksiyonun birleşiminden oluşan gluten proteindir. Gluten, buğdaydan ekmeç, makarna ve diğer unlu mamuller yapılırken hamurun viskoelastik yapısından sorumlu olan proteindir (Delcour ve ark., 2012). Tahılların işleme özelliklerine önemli etkisi olan gluten, bazı insanların sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Gluten tüketen kişilerde gıda alerjisi, gluten hassasiyeti veya çölyak hastalığı (gluten intoleransı) görülebilmektedir (Rosell ve ark., 2014). Gluten tüketimi ile görülen gıda alerjisi, nüfusun %0,2-0,5'ini etkileyen fakat güçlü klinik etkileri olan bir rahatsızlıktır (Zuidmeer ve ark., 2008). Gluten hassasiyeti ise alerjik veya otoimmün bir mekanizma içermeyen ve toplumda daha yaygın görülen bir hastalıktır. Bu kişilerde gluten içeren ürünler tüketimi sonrası şişkinlik, kabızlık, karın ağrısı gibi olumsuz reaksiyonlar yaşanmaktadır (Fasano ve ark., 2015).

Çölyak hastalığı ise genetik olarak yatkın bireylerde görülen, diyetle gluten alımı ile tetiklenen ve bağırsaklardaki villus denilen çıkıntılıların düzleşmesine sebep olarak besin maddelerinin

emilimini engelleyen otoimmün bir hastalıktır. Dünya nüfusunun %1'i çölyak hastasıdır ve bu sayı giderek artmaktadır (Gobbetti ve ark., 2018). Çölyak sorunu olan insanlar için tek tedavi ömür boyu gluten içermeyen gıdaların tüketimidir. Bu sebeple, çölyak hastaları buğday, çavdar, arpa ve yulaf içeren hiçbir gıdayı tüketemez. Çeşitli çalışmalar ömür boyu glutensiz diyetle maruz kalmanın besin malabsorbsiyonuna sebep olabileceğini göstermiştir. Besin malabsorbsiyonu sendromunda birçok besin maddesinin sindirimi ve emilimi tam olarak gerçekleşmez. Ayrıca çölyak hastalarının çoğu, pirinç ve mısır gluten içermediği için, pirinç ve mısır yoğunluklu monoton bir diyet uygular. Bu sebeplerle çölyak hastalarında özellikle diyet lifi, folat, B12 vitamini, D vitamini, kalsiyum, demir, çinko ve magnezyum eksiklikleri sıklıkla görülmektedir. Glutensiz beslenme, kişileri yüksek glisemik indeksli ve doymuş yağ oranı yüksek gıdaları tüketmeye yönelmesi sebebiyle obezite riskini de arttırabilmektedir (Vici ve ark., 2016).

Glutensiz beslenen kişilerin sağlıklarını koruyabilmeleri için diyetlerini optimize etmeleri ve yıllık besin taraması yaptırması gerekmektedir. Ayrıca ürün etiketlerini okumak, besin bileşenleri açısından doğru kombinasyonları yaparak uygun yiyecek seçmekte çok önemlidir (Vici ve ark., 2016). Glutensiz beslenmek isteyen kişiler, diyetlerinde tahıl benzeri ürünleri kullanmaya teşvik edilebilir. Karabuğday, amarant ve kinoa, besin bileşimi tahıllara benzeyen ve gluten içermeyen ürünlerdir. Mineral, vitamin, esansiyel amino asitler ve yağ asitleri gibi besin bileşenleri açısından zengin olmaları sebebiyle nişasta ağırlıklı ve düşük besin değerli glutensiz gıdalara sağlıklı birer alternatifirler. Ayrıca, yüksek oranda diyet lifi içermeleri sebebiyle, insanlarda belirli kanser türleri, diyabet, obezite ve kardiyovasküler hastalıklar gibi kronik hastalıkların riskini de azaltabilirler (Zhu, 2020). Son yıllarda gluten içermeyen ürün yelpazesini genişletmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu makalede de kullanımları giderek artmakta olan karabuğday, amarant ve kinoanın besin içerikleri ve kullanım alanları hakkında bilgiler derlenmiştir.

2. Tahıl Benzeri Ürünler

2.1. Karabuğday

Karabuğday, Polygonaceae familyasına ait bir bitkidir. Taksonomik olarak tahılların ait olduğu Gramineae familyasından farklıdır. Tahıllar monokotiledonik (tek çenekli) iken karabuğday dikotiledonik (çift çenekli) bir bitkidir (Janssen ve ark., 2017). Ancak, karabuğdayın kimyasal bileşimi ve kullanım özellikleri tahıllara benzemektedir. Bu sebeple, pseudocereal (tahıl benzeri) olarak sınıflandırılmaktadır (Wijngaard ve Arendt, 2006). Karabuğdayın birçok türü olmakla birlikte, insan tüketimi için en çok ekilen iki türü Yaygın karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) ve Tatar karabuğdayıdır (*Fagopyrum tataricum* Gaertner) (Yu ve ark., 2018). Yaygın karabuğday en popüler olan türdür. Yaygın karabuğdayın tohumları daha büyüktür ve lezzetli bir tada sahiptir. Tatar karabuğdayı ise daha küçük tohumludur ve daha acı bir tada sahiptir (İnanır ve ark., 2019). Ayrıca bu iki türün dışında, daha az bilinen türlerde bulunmaktadır. Çin'de yetiştirilen ve kurutulup çay olarak tüketilen uzun karabuğday (*Fagopyrum cymosum* Meissner) buna örnek verilebilir (Hu, 2005).

Karabuğday dünyanın bazı bölgelerinde, özellikle Çin ve Rusya'da yaygın olarak yetiştirilen geleneksel bir üründür (Guo ve ark., 2017). Son yıllarda üretimi artmaktadır. 2018 yılı

verilerine göre dünyada 2,9 milyon ton karabuğday üretimi gerçekleştirilmiştir (FAOSTAT, 2020).

Karabuğdayın tohumları üçgen şeklindedir. Bu tohumlar koyu kahverengi veya siyah renkli perikarp denilen kabuk ile sarılmıştır. Perikarp sert, lifli bir yapıya sahiptir. Perikarp, endosperm ve embriyoyu sıkıca çevreler. Endosperm nişasta granülleri ile doludur ve endospermin en dışı aleuron isimli kalın hücre duvarlarına sahip hücre tabakası ile sarılıdır. Embriyo endospermin merkezindedir ve içerdiği iki ince yaprak benzeri kotiledonlar endosperm boyunca uzanır (Steadman ve ark., 2001a).

Karabuğday, protein, nişasta, diyet lifi, vitaminler, mineraller ve antioksidan maddeler gibi birçok değerli bileşen içeren zengin bir besin kaynağıdır (Yu ve ark., 2018). Karabuğdayın besin bileşimi Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu değerler genotip, iklim, toprak, çevre ve dölleme gibi koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Cai ve ark., 2016).

Tahıl tanelerinde olduğu gibi, karabuğdayda da karbonhidrat tohumun ana bileşenidir ve esas olarak nişasta şeklinde bulunur. Karabuğdayın karbonhidrat bileşimi yaklaşık %70 oranındadır. Amarant ve kinoa, karabuğdaya göre daha düşük karbonhidrat içermektedir. Genel olarak, karabuğdayın nişasta granülleri yuvarlak, oval veya çokgen şekillidir. Karabuğdaydaki nişasta granüllerinin boyutu 2 ila 7 µm arasında değişir ve bu da gerçek tahıl türlerinin çoğunun nişasta boyutunun (5-25 µm) altındadır. Kara buğdaydan elde edilen nişastanın, buğday nişastasından daha yüksek şişme gücü vardır. Buna karabuğdaydaki nişasta granüllerinin daha zayıf bağ kuvvetlerine sahip olmasının sebep olduğu düşünülmektedir (Biacs ve ark., 2002). Polimerizasyon derecesi 12 ila 45 glikoz birimi arasında değişen karabuğday nişastasının yaklaşık %35'i sindirime dirençlidir. Karabuğday tanesi ayrıca çoğunluğu embriyo ve aleuron tabakasında bulunmak üzere %1-%6 arasında çözünür karbonhidrat içermektedir. Karabuğdaydaki çözünür karbonhidratlar çoğunlukla indirgeyici şeker ve fagopiritol olarak bulunur (Tömösközi ve Langó, 2017). Karabuğdayın diyet lif içeriği (%10) tam buğday tanesine oranla daha düşüktür ancak diğer tahıllar, amarant ve kinoadan daha yüksektir. Yaygın karabuğday, Tatar karabuğdayından daha yüksek diyet lifi seviyelerine sahiptir (Steadman ve ark., 2001b). Karabuğdayın diyet lifi içeriğinin yaklaşık %20-30'u çözünür diyet lifidir. Tahıllardaki çözünür diyet lifi oranı daha düşüktür (Tömösközi ve Langó, 2017).

Karabuğday yaklaşık %13 oranında protein içerir. Karabuğdayın içerdiği protein miktarı buğdayın protein miktarı ile benzerdir (Steadman ve ark., 2001b). Fakat karabuğday hem esansiyel aminoasitler açısından yüksek konsantrasyona sahip olması hem de kükürt içeren aminoasitleri de içermesi sebebiyle tahıllardan daha dengeli bir aminoasit kompozisyonuna sahiptir. Karabuğday proteininin biyolojik değeri (%90'ın üzerinde) yüksektir (Aubrecht ve Biacs, 2001). Karabuğday yüksek miktarda arginin (%9,7) ve aspartik asit (%11,3) içermektedir (Wijngaard ve Arendt, 2006). Karabuğday proteinlerinin albümin ve globülin yüzdesi (%45) gerçek tahıllardan yüksektir (Zhu, 2021). Glutamin ve prolin içeriği ise gerçek tahıllara oranla düşüktür (Aubrecht ve Biacs, 2001). Amarant ve kinoa ile karşılaştırıldığında, karabuğdayın içerdiği histidin, lösin, lizin, metionin, fenilalanin, treonin ve valin miktarı daha yüksektir. Amarant ise, karabuğday ve kinoa ile karşılaştırıldığında, metionin dışındaki tüm esansiyel aminoasitler açısından en düşük bileşime sahiptir (Mota ve ark., 2016). Karabuğday proteini, yüksek miktarda lizin içerdiği için, lizin bakımından zayıf olan

bitkisel proteinleri iyi bir şekilde tamamlayabilir (Guo ve ark., 2017).

Tahıllarda olduğu gibi tahıl benzeri ürünlerde de yağ içeriği azdır fakat önemli fizyolojik role sahiptir. Yağlar depolanan tohumların ya da onların bozulmasına sebep olabilen, kaliteyi etkileyen önemli faktörlerdendir. Embriyonun dahil edildiği unların yağ sebebiyle bozulma riski önemlidir (Wijngaard ve Arendt, 2006). Karabuğdayın içerdiği yağ miktarı yaklaşık %3'tür ve yağ embriyoda yoğundur. Karabuğdayın yağ içeriği dokuz farklı yağ asitinden oluşur. Karabuğdayda bulunan başlıca yağ asitleri palmitik asit (16:0), oleik asit (18:1) ve linoleik (18:2) asittir. Toplam yağ asitlerinin %75-80'i doymamış olup, bunlarında %40'ını çoklu doymamış yağ asitleri oluşturur (Cai ve ark., 2016).

Karabuğday birçok önemli mineral için iyi bir kaynaktır. Karabuğdayın mineral içeriği Tablo 2'de gösterilmiştir. Makro minerallerden potasyum, magnezyum, kalsiyum ve sodyum ile mikro minerallerden bakır, çinko, demir ve manganez karabuğdayda oldukça yüksek seviyelerde bulunurken, krom ve selenyum gibi eser mineraller ise yalnızca çok düşük seviyelerde bulunur (Tömösközi ve Langó, 2017). Karabuğdayın potasyum ve magnezyum içeriği amarant ve kinoa göre düşüktür (Biacs ve ark., 2002). Yapılan araştırmalarda karabuğday ununun buğday ununa göre daha fazla magnezyum (11-13 kat), stronsiyum (5-36 kat), lityum (5-7 kat), demir (3-4 kat) ve potasyum (2,9-3,6 kat) içerdiği bulunmuştur (Cai ve ark., 2016). Tohumlardaki fosforun ana depolama şekli fitik asittir. Fitik asit, fitat oluşturan çeşitli metal katyonların, özellikle potasyum, magnezyum ve kalsiyumun güçlü bir şelatördür. Fitik asit ve ilgili mineraller embriyonun protein kısımlarında ve aleuron tabakasında birikirler. Fitik asit bitki dokularında birçok mineralin depolanmasını sağlarken, bir diyet bileşeni olarak, mineral emilimini azaltma potansiyeli nedeniyle "antibesin" olarak bilinmektedir (Steadman ve ark., 2001b).

Karabuğday önemli bir B vitamini kaynağıdır (Tablo 3). B vitamininin çoğu kepek kısmında toplanmıştır. Tatar karabuğdayının toplam B vitamini içeriği Yaygın karabuğdaya göre fazla iken Yaygın karabuğdayın E vitamini ise Tatar karabuğdayından fazladır (Tömösközi ve Langó, 2017). Tiamin karabuğdaydaki tiamin bağlayıcı proteinlere bağlı olduğu için biyayarlanımı belirsizdir (Wijngaard ve Arendt, 2006).

Karabuğday bazı biyoaktif bileşenleri de içermektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda karabuğdayda 178 biyoaktif bileşen rapor edilmiştir (Raguindin ve ark., 2021). Biyoaktif bileşenler besin ögesi değildir, gıdalarda çok küçük miktarlarda bulunur ama sağlığı geliştirici özellikleri açısından önemlidir. Flavonoidler biyoaktif bileşenlerdir ve doğal antioksidanların önemli bir grubudur. Karabuğdayın flavonoid içeriği yüksektir. Karabuğdaydan izole edilen flavonoidler rutin, kuersetin, orientin, viteksin, izoorientin ve izoviteksin olmak üzere altı tanedir (Kreft ve ark., 2006). Rutin ve kuersetin, karabuğdaydaki ana antioksidanlardır. Rutin en baskın olanıdır (Molinari ve ark., 2018). Tatar karabuğdayı, Yaygın karabuğdaydan 4 kat daha fazla flavonoid içermektedir. Tatar karabuğdayının acılığının bu bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Cai ve ark., 2016; Ruan ve ark., 2020). Yaygın karabuğday tanesinin flavonoid içeriği 4-13 mg/g iken Tatar karabuğdayının flavonoid içeriği yaklaşık 40 mg/g olarak bildirilmiştir. Fitostreoller diğer bir biyoaktif bileşen sınıfıdır. Karabuğdayın içeriğinde fitosteroller de bulunmaktadır. Karabuğdayın içerdiği başlıca fitosteroller β-sitosterol, kampesterol, stigmasterol ve izofukosteroldür. β-

sitosterol, toplam sterol miktarının %70'ini oluşturmaktadır. İnsan vücudunda sentezlenemediği için β -sitosterol önemli bir fitosteroldür (Tömösközi ve Langó, 2017). Ayrıca çimlendirme işleminin de toplam fenolik bileşiklerde önemli bir artış sağladığı ve antioksidan aktiviteyi artırdığı belirtilmiştir (Molinari ve ark., 2018).

Çoğunlukla Asya ve Doğu Avrupa'da yaygın olarak üretilen karabuğday çok çeşitli gıda ürünlerinde kullanılmaktadır. Noodle ve diğer makarna çeşitleri, bisküviler, ekmekler, kekler, hamur işleri, kahvaltılık gevrek ve atıştırmalıklar, soslar, sirke ve içecekler (çay, bira ve likör) karabuğday ile yapılan ürünlere örnek olarak verilebilir (Yu ve ark., 2018). Ayrıca yumuşak karabuğday filizleri taze sebze olarak kullanılabilen veya konserve sebze olarak işlenmektedir. Karabuğdaydan yapılan noodle (vermicelli) ve pankekler Çin'de popüler yiyeceklerdir. Japonya'da karabuğday eriştesi (soba), Kore'de ise karabuğdaydan yapılan jöle türü yiyecekler (mook) çok popülerdir. Hindistan'da karabuğday ile yapılan mayasız ekmek (chillare) ve gevrek (pakora) tüketilmektedir (Cai ve ark., 2016).

Karabuğday ürünleri bazı Asya ülkelerinde fonksiyonel gıda olarak kabul edilmektedir. Karabuğday Çin'de hem temel besin ürünü olarak hem de şifalı bitki olarak uzun süredir yaygın olarak yetiştirilmektedir (Zhu, 2021).

Karabuğday buğdaya benzer şekilde öğütülmektedir ve verimi, çeşide ve öğütme tekniğine bağlı olarak %58 ile %78 arasında değişmektedir. Gluten içermediği için karabuğday ununun davranışı farklıdır ve unlu yiyecekleri yapmak zordur. Bu nedenle karabuğday unu genellikle kullanılmadan önce buğday unu ya da diğer unlarla karıştırılır. Çin'de gevrek hamur işleri ve kekler için %10, noodle için %20-40 ve spagetti için %30-50 oranında karabuğday unu buğday unu ile karıştırılır. Karabuğday unu buğday ununa göre daha fazla albumin ve globulin içerdiği için bu karışımlar ile yapılan spagettiler, sadece buğday unu ile yapılanlara göre daha yüksek su emme kapasitesi, daha yüksek pişirme kaybı ve daha yüksek protein kaybı oranına sahiptir. Diğer ülkelerde de karabuğday ununun diğer unlara karıştırılma oranı çoğunlukla %50'nin altındadır (Cai ve ark., 2016).

Karabuğday unu glutensiz ürün geliştirmede de sıklıkla kullanılmaktadır. Noodle, kurabiye, ekmek gibi ürünlerde tek başına karabuğday ununun kullanılması düşük pişirme kalitesi ve düşük duyuşal kaliteye sebep olduğu için daha çok diğer glutensiz unlar ile karıştırılarak çalışmalar yapılmaktadır. Makarna yapımında amarant, kinoa ve karabuğdayın farklı oranlardaki karışımlarını deneyen bir çalışmada en iyi sonucun %20 amarant, %20 kinoa ve %60 karabuğday kullanılarak yapılan karışım ile elde edildiği belirtilmiştir (Schoenlechner ve ark., 2010). Karabuğday unundan noodle yapılan bir çalışmada, alkali çözelti (kansui) ilavesinin hamurun reolojik özelliklerini iyileştirdiği, karabuğdayın sertliğini ve çekme kuvvetini artırdığı görülmüştür. Bu değişime alkali ortamda proteinlerin çapraz bağlanma derecesinin artmasının sebep olduğu bildirilmiştir (Guo ve ark., 2018). Bira yapımında ise karabuğdayın tek başına kullanımı ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Giménez-Bastida ve ark., 2015). Ayrıca karabuğday ununun, gluten içermeyen tahıllar olan mısır ve pirinç ile yapılan karışımları da sıklıkla ürün geliştirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Glutensiz ekmek reçetelerine pirinç unu ve patates nişastası ilavesinin ekmeğin özgül hacmini ve kırıntı yumuşaklığını iyileştirdiği rapor edilmiştir (Janssen ve ark., 2017). Yapılan bir çalışmada %49,7 karabuğday unu, %34,8 mısır unu ve %14,9 pirinç unu karışımının, %0,1 propilen glikol aljinat ve %0,5 monogliserid yağ asidi ile birlikte kullanıldığında

yüksek besin değeri ve pişme kalitesine sahip glutensiz makarna elde etmek için en iyi kombinasyon olduğu bulunmuştur (De Arcangelis ve ark., 2020). Özellikle pirinç ununun glutensiz ürün geliştirmede buğday unu ikamesi olarak kullanımı giderek artmaktadır. Pirinç, tadı, beyaz rengi, sindirilebilirliği ve hipoalerjenik özellikleri nedeniyle glutensiz ürün üretiminde karabuğday ile kullanımı en uygun tahıldır (Torbica ve ark., 2010).

2.2. Amarant

Amarant, Amaranthaceae familyasına ait, çift çenekli bir bitkidir. Tahıllar ile aynı familyadan değildir, fakat besin bileşimi ve kullanım amaçları aynı olduğu için pseudocereal (tahıl benzeri) olarak sınıflandırılmaktadır (Berghofer ve Schoenlechner, 2002). İnká, Maya ve Aztek uygarlıkları da dahil olmak üzere tarih boyunca temel gıda maddesi olarak tüketilmiştir (Caselato-Sousa ve Amaya-Farfán, 2012). Latin Amerika'da çok ekilen ve tüketilen amarant, İspanyol fethinden sonra yasaklanmış ve sadece küçük ölçekte üretilmeye devam etmiştir (Berghofer ve Schoenlechner, 2002). Son yıllarda besleyici ve fonksiyonel özelliklerinin tanınmasıyla amaranta olan ilgi artsada, günümüzde hala amarant yetiştiriciliği düşüktür. FAO istatistiklerinde üretim miktarı listelenmemektedir.

Amarant çok çeşitli iklim koşullarında yetişebilmektedir (Chauhan ve ark., 2016). Yaklaşık 60 amarant türü vardır ama hepsi gıda olarak tüketilmez. Yenilebilir amarant türleri sebze veya tahıl olarak tüketilmektedir. Tahıl olarak tüketilen ve en çok bilinen üç amarant türü *Amaranth caudatus*, *Amaranth cruentus* ve *Amaranth hypochondriacus* olarak sayılabilir (Guardianelli ve ark., 2019).

Amarantın protein, yağ, kül, toplam karbonhidrat ve diyet lifi içeriği Tablo 1'de gösterilmiştir. Vitaminler ve mineraller açısından da çok zengin olan amarant, aynı zamanda birçok biyoaktif bileşen de içermektedir (Ayo ve Okoye, 2020).

Amarantın yaklaşık %65 karbonhidrat içermektedir. Ana bileşen olan nişastanın boyutları amarantın türüne göre 1-3,5 μ m arasında değişmektedir. Nişastanın *A. cruentus* türünde %48 ve *A. hypochondriacus* türünde %62 olduğu bildirilmiştir. Mısır ve buğday nişastaları ile kıyaslandığında bu iki türün nişastasının daha yüksek şişme gücüne, daha düşük çözünürlüğe, amilazlara karşı daha düşük duyarlılığa ve daha düşük amilaz içeriğine (%4,7-12,5) sahip olduğu bilinmektedir. Amarantta bulunan lif miktarı ise %6,7 olarak bildirilmiştir (Tablo 1). Amaranttaki lif oranı buğdaydan biraz düşüktür (Rastogi ve Shukla, 2013).

Amarant yaklaşık %13-14 oranında protein içerir. Amarantın protein miktarı genellikle tahıllardan yüksektir. Amarant proteinleri %40 albumin, %20 globulin, %2-3 prolamin ve %25-30 glutelinden oluşur. Amarant globulinlerinin emülsifiye edici özellikler gibi bazı fonksiyonel özelliklere de sahip olduğu bildirilmiştir (Berghofer ve Schoenlechner, 2002). Amarantın lizin aminoasiti içeriği mısır, pirinç ve buğday gibi tahıllara kıyasla zengindir. Ayrıca amarantta bulunan kükürtlü aminoasit miktarı (%2-5), normalde bakliyat ürünlerinde %1,4 oranında bulunan kükürtlü aminoasit miktarından daha yüksektir. Zengin aminoasit kompozisyonuna sahip olan amarantın protein içeriği, yumurta proteini ile benzerdir (Mlakar ve ark., 2009). Alinin, valin, lösin, arginin, fenilalanin, pralinler, metiyoninler, α -aminobütirik asit, triptofan, izölösin ve serin gibi aminoasitler içeren amarant, kaliteli bir protein kaynağıdır (Rastogi ve Shukla, 2013). Amarantın protein içeriği FAO/WHO tarafından dengeli bir diyet için önerilen seviyeye çok yakındır (Maurya ve Arya,

2018). Bebekler için esansiyel olan histidin ve arginin aminoasitlerini içermesi de amarantı bebek beslenmesinde önemli kılabilir (Berghofer ve Schoenlechner, 2002).

Amarant yaklaşık olarak %7 oranında yağ içermektedir. Amarantın içerdiği yağ miktarı, tahılların içerdiği yağ miktarından daha yüksektir. Amarantta bulunan doymuş yağ asitlerinin doymamış yağ asitlerine oranı 1:4'tür (Maurya ve Arya, 2018). Doymamış yağ oranı yüksek olan amarantın doymamış yağ içeriğinin büyük kısmını linoleik asit oluşturur. Toplam yağın %50'si linoleik asit, %20'si oleik asit, %20'si palmitik asit ve yaklaşık %1'i linolenik asit şeklindedir. Yağın %5'ini ise fosfolipidler oluşturmaktadır (Berghofer ve Schoenlechner, 2002; Rastogi ve Shukla, 2013).

Amarant tahıl türlerine göre yaklaşık iki kat daha fazla mineral içermektedir. Ayrıca amarant karabuğdaydan da fazla mineral içermektedir (Tablo 2). Bu minerallerin %66'sı kepek ve embriyo katmanlarında bulunur. Özellikle yüksek miktarda kalsiyum, fosfor, demir, magnezyum, potasyum, sodyum ve çinko içermektedir (Mlakar ve ark., 2009). Amarant bitkisinde bulunan fosfor, fitik asit varlığında üretilmektedir. Amarantta bulunan fitik asit miktarı %0,3-0,6 arasında değişmektedir. Fitik asidin ayrıca insanlardaki kolesterol seviyesini düşürücü etkisi de görülmüştür (Rastogi ve Shukla, 2013).

Amarant önemli düzeyde vitamin içerir ve günlük gerekli vitaminleri almak için güzel bir kaynaktır. Tahıllardan daha fazla riboflavin ve C vitamini içermektedir. Ayrıca antioksidan özelliği olan E vitamini için de iyi bir kaynaktır (Berghofer ve Schoenlechner, 2002). Amarantın içerdiği vitaminler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, kronik hastalık riskini azaltmadaki potansiyelleri nedeniyle, amarantın içerdiği biyoaktif bileşenler üzerine yoğunlaşmıştır. Amarant, fenolik bileşikler, betaninler ve karotenoidler gibi biyoaktif fitokimyasalları içermektedir. Fitokimyasallar esas olarak tohumların dış katmanlarında bulunur ve böcekler ile mikroorganizmalara karşı bir savunma işlevi görür (Tang ve Tsao, 2017).

Amarantın bugüne kadar incelenen antibesinsel bileşenlerinin herhangi bir sağlık problemine sebep olacak seviyelerde olmadığı bildirilmiştir. Amaranttaki tanen ve fitik asit seviyeleri tahıllar ile benzerdir, tripsin ve kimotripsin aktivitesi ise tahıllara göre daha düşüktür. Aflatoksin ve zearalenon üretim potansiyeli de tahıllara benzer veya daha düşük seviyelerdedir. Amarant düşük miktarda saponin içermektedir ve üretilen saponinler düşük toksisitededir. Amarant ile yapılan çalışmalarda okzalik konsantrasyonunun yüksek olduğu bulunmuştur. Fakat bu okzaliklerin çoğu çözünmez okzalik olarak bulunmaktadır. Ayrıca düşük okzalik/kalsiyum oranı ve yüksek kalsiyum konsantrasyonu ile amarantın iyi bir kalsiyum kaynağı olabileceği belirtilmiştir (Gelinas ve Seguin, 2007).

Amarant tane olarak veya öğütülerek yemeklerde farklı şekillerde kullanılabilir. Amarant taneleri çorbalara, yemeklere, salatalara veya pilavlara katılmaktadır. Amarant taneleri kaynatıldığında nişasta jale haline gelerek pişirme suyunun kıvamını yoğunlaştırır ve lapa şeklini almasına sebep olur (Mlakar ve ark., 2009).

Amarant bira yapımında da kullanılmaktadır. Amarant tanelerinin çimlendirilmesiyle elde edilen malt, özellikle Peru'da geleneksel bira (chicha) yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca amarant fermente edilerek ogi (Afrika'da laktik asit fermentasyonu ile elde edilen tahıl lapası) yapımında veya soya

yerine shoyu (Japonya'da kullanılan soya sosu) yapımında kullanılmaktadır. Yüksek protein içeriğinden dolayı protein konsantrasyonlarında, müsli ve granola barlarda da kullanılabilir. Amarant tohumları çimlendirilerek ya da sadece öğütülüp un haline getirildikten sonra pankek, ekmekek, tortilla, kek, köfte, kraker, kurabiye, puding vb. ürünlerin yapımında farklı un karışımlarına ilave edilebilir (Guardianelli ve ark., 2019; Mlakar ve ark., 2009). Ekmekek ve makarna gibi ürünlerin yapımında, buğday ununa %20 oranında amarant unu eklenmesinin kalite kaybına sebep olmadığı bildirilmiştir. Daha yüksek oranda amarant unu kullanımı ekmekek daha düşük hacme, makarnada ise dokunun çok yumuşak olmasına sebep olabilmektedir (Berghofer ve Schoenlechner, 2002). Sanz-Penella ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada buğday ununa %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında amarant unu ilave edilerek yapılan ekmekekler incelenmiştir. Amarant ununun %30 ve %40 oranında kullanıldığı ekmekeklerde fitat miktarı yüksek olduğu için minerallerin biyoyararlanımını etkileyeceği, bu sebeple hem kalite hem besinsel içerik açısından amarant ununun maksimum %20 oranında ilave edilmesinin uygun olacağı bildirilmiştir.

Çimlendirilmiş ve çimlendirilmemiş amaranttan elde edilen unların %5, %15 ve %25 oranlarında buğday ununa katılması ile yapılan bir çalışmada, %25 amarant unu ilavesi ile elde edilen hamur da dahil olmak üzere tüm hamurların ekmekek yapımı için kabul edilebilir reolojik özelliklere sahip olduğu ve filizlendirmenin önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Guardianelli ve ark., 2019).

Son yıllarda makarna, ekmekek, bisküvi ve kraker gibi glutensiz ürünlerin formülasyonlarında da amarant ununun kullanımı artmıştır. Amarant ile yüksek kaliteli ve lezzetli glutensiz gıdalar üretebilmek için gerekli emülgatör, maya, protein izolatları vb. içeriği tanımlamak ve optimize etmek için çok sayıda denemeler yapılmaktadır (Ballabio ve ark., 2011). Yapılan bir çalışmada çimlendirilmiş amarant unu kullanılarak hazırlanan kurabiyelerin buğday unu kullanarak hazırlanan kurabiyelerden daha yüksek antioksidan aktivite ve diyet lifine sahip olduğu görülmüştür. Amarant unu ve buğday unu ile yapılan kurabiyelerin duyu değerlendirmesinde de kurabiyeler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmadığı bildirilmiştir (Chauhan ve ark., 2015). Kurabiye yapımında buğday ununa %20, %40, %60, %80 ve %100 oranında amarant unu katılmasının kurabiyelerin fiziksel, dokusal ve organoleptik özelliklere etkisini araştıran bir çalışmada da, buğday ununa %60'a kadar amarant unu ilavesinin duyu olarak kabul edilebilir olduğu ve besleyici avantajları sebebiyle tercih edilebileceği belirtilmiştir (Chauhan ve ark., 2016). Acha (Digitaria exilis) tek çenekli, gluten içermeyen bir tahıldır. Acha unu ve amarant ununun karışımları ile yapılan çalışmalarda, acha ununa %20 veya daha az oranda amarant unu ilavesinin karışım ununun besin kompozisyonunu geliştirdiği ve bu unların besin değeri daha yüksek ürünler üretmek için kullanılabilir olduğu bildirilmiştir (Ayo ve Okoye, 2020). Gebriel ve ark. (2020), mısır unu ve amarant unu karışımları ile çalışmıştır. Çalışma kapsamında yapılan kraker (%25 mısır unu/%75 amarant unu) ve tortilla (%50 mısır unu/%50 amarant unu) örneklerinin %100 mısır unu ile yapılan kontrol örneklerine göre fizyokimyasal özelliklerinin, esansiyel amino asit, esansiyel yağ asidi ve mineral miktarlarının daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Fakat kraker ve tortilla örneklerinin duyu analizinde renk ve genel beğeni açısından önemli ölçüde düşük puanlar aldığı, amarant unundan kaynaklanan acı tadın beğeniyi düşürmüş olabileceği belirtilmiştir.

Tablo 1. Karabuğday, amarant ve kinoanın enerji ve besin öğeleri (100 g. için) (USDA, 2020)

Bileşen	Karabuğday	Amarant	Kinoa
Su (g)	9,75	11,29	13,28
Protein (g)	13,25	13,56	14,12
Yağ (g)	3,4	7,02	6,07
Kül (g)	2,1	2,88	2,38
Toplam Karbonhidrat (g)	71,5	65,25	64,16
Diyet lifi (g)	10	6,7	7
Enerji (kcal)	343	371	368

Tablo 2. Karabuğday, amarant ve kinoanın mineral içerikleri (100 g. için) (USDA, 2020)

Mineral	Karabuğday	Amarant	Kinoa
Kalsiyum, Ca (mg)	18	159	47
Demir, Fe (mg)	2,2	7,61	4,57
Magnezyum, Mg (mg)	231	248	197
Fosfor, P (mg)	347	557	457
Potasyum, K (mg)	460	508	563
Sodyum, Na (mg)	1	4	5
Çinko, Zn (mg)	2,4	2,87	3,1
Bakır, Cu (mg)	1,1	0,525	0,59
Manganez, Mn (mg)	1,3	3,333	2,033
Selenyum, Se (µg)	8,3	18,7	8,5

Tablo 3. Karabuğday, amarant ve kinoanın vitamin içerikleri (100 g. için) (USDA, 2020)

Vitamin	Karabuğday	Amarant	Kinoa
C vitamini (mg)	0	4,2	Belirtilmemiş
Tiamin, B1 (mg)	0,101	0,116	0,36
Riboflavin, B2 (mg)	0,425	0,2	0,318
Niasin, B3 (mg)	7,02	0,923	1,52
Pantotenik asit, B5 (mg)	1,233	1,457	0,772
Piridoksin, B6 (mg)	0,21	0,591	0,487
Folat, B9 (µg)	30	82	184
Kolin (mg)	Belirtilmemiş	69,8	70,2
Betain (mg)	Belirtilmemiş	67,6	630,4
β-karoten (µg)	Belirtilmemiş	1	8
Lutein + zeaksanthin (µg)	Belirtilmemiş	28	163
E vitamini (α-tokoferol) (mg)	Belirtilmemiş	1,19	2,44
γ-tokoferol (mg)	Belirtilmemiş	0,19	4,55

2.3. Kinoa

Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Chenopodiaceae familyasına ait, çift çenekli, tek yıllık bir bitki türüdür. Kinoa, Güney Amerika'nın Andean bölgesine özgüdür fakat farklı toprak türlerine ve iklim koşullarına da uyum sağlayabilmektedir. Kinoa tohumları küçük (1,4-1,6 mm) ve yuvarlaktır. Kinoa'nın bileşimi de tahıllara benzediği için, karabuğday ve amarant gibi kinoa da pseudocereal (tahıl benzeri) kabul edilen tohumlardandır (Taylor ve Parker, 2002).

Kinoa, son yıllarda Amerika'da üretimi hızla artan bir bitkidir. Özellikle sırasıyla Peru, Bolivya ve Ekvador en çok üretimi yapılan bölgelerdir. 2018 yılı verilerine göre dünyada 159 bin ton kinoa üretimi gerçekleştirilmiştir (FAOSTAT, 2020).

Kinoa'nın besin içeriği Tablo 1'de gösterilmiştir. Kinoa yüksek miktarda protein, lif ve yağ içerir, ayrıca bir çok mineral ve vitamin için çok güzel bir kaynaktır. Bu özellikleri sebebiyle bir çok ürün formülasyonunda besinsel içeriği arttırmak için

kullanılmaktadır (Contreras-Jiménez ve ark., 2019). Ayrıca fenolik bileşenler gibi biyoaktif bileşenleri de içermesi sebebiyle fonksiyonel ürün geliştirmede de kullanılmaktadır (Vilcacundo ve Hernández-Ledesma, 2017).

Kinoa'nın karbonhidrat içeriği arpa ve pirince benzemektedir. Nişasta, diğer tahıl benzerleri gibi kinoa karbonhidratlarının da ana bileşenidir. Mısır ve buğday nişastasının amiloz içeriği %20-30 iken, kinoa nişastasının amiloz içeriği %3-20 arasındadır. Kinoa nişastasının amiloz içeriği buğday ve mısır nişastasından düşükken, bazı arpa ve pirinç türlerine benzerdir. Kinoa'nın nişasta granüllerinin boyutu 0,6-2 µm olup, tahıl nişastalarına göre oldukça küçüktür (James, 2009). Kinoa nişastasının amilopektin oranı yüksek olduğu için mısır nişastasına göre daha düşük sıcaklıkta jelatinleşir. Jelatinleşme sıcaklığı farklı türler için 55-72 °C aralığında değişmektedir (Repo-Carrasco ve ark., 2003). Mısır nişastasının aksine, kinoa nişastası daha düşük viskozitede tek aşamalı şişme sergiler. Bu özelliğinin granüllerinin küçük boyutlu olmasından

kaynaklandığı düşünülmektedir. Kinoa nişastası ayrıca, amilopektin içeriğinin yüksek olması sebebiyle, mükemmel donma-çözünme stabilitesine de sahiptir (Taylor ve Parker, 2002). Donma-çözünme kararlılığı, düşük jelleşme noktası ve düşük depolama sıcaklıklarına dayanıklılığı ile kinoa, soslar, çorbalar ve unlar için ideal bir koyulaştırıcıdır. Retrogradasyona karşı dirençli olması, kinoanın farklı uygulamalarda da kullanılarak yağlara benzer kremi ve pürüzsüz bir doku elde edilmesine olanak sağlar (Navruz-Varli ve Sanlier, 2016). Kinoanın toplam diyet lifi tahıllara yakındır (James, 2009). Diyet lifinin %80'inden fazlası çözünmez formdadır (Taylor ve Parker, 2002). Kinoada, monosakkaritler (%2), disakkaritler (%2,3) ve pentozanlar (%2,9-3,6) gibi diğer karbonhidratlar da küçük miktarlarda bulunur (Jancurová ve ark., 2009).

Kinoa, tahıllardan daha yüksek oranda (%14) protein içermektedir. Kinoa proteinlerin büyük çoğunluğu albumin (%35) ve globulinlerden (%37) oluşmakta ve düşük konsantrasyonlarda prolamin (%0,5-7) içermektedir (Jancurová ve ark., 2009; Navruz-Varli ve Sanlier, 2016). Kinoa proteininin aminoasit bileşimi amarant proteinine benzemektedir ancak kinoanın fenilalanin ve tirozin miktarı biraz daha düşüktür. Kinoanın protein kalitesinin kazein proteinine benzer olduğu bildirilmiştir (Taylor ve Parker, 2002). Tiyonik aminoasitler ve lizin içeren kinoa, insanlar için gerekli bütün aminoasitleri içeren az sayıdaki bitkilerdendir (Vilcacundo ve Hernández-Ledesma, 2017). Kinoa proteinleri hem tahıllarda düşük miktarda bulunan lizin aminoasitini hem de bakliyat ürünlerinde düşük miktarda bulunan kükürtlü aminoasitleri (özellikle metionin ve sistin) yüksek miktarda bulundurduğu için kaliteli protein olarak kabul edilmektedir. Kinoa ayrıca diğer bir sınırlayıcı aminoasit olan triptofanı da yeterli derecede yüksek konsantrasyonlarda içermektedir. Kinoanın aminoasit kompozisyonu FAO tarafından mükemmel aminoasit dengesi olarak belirlenen değerlere çok benzerdir. Kinoa aminoasitlerinin biyoyararlanımı ve protein sindirilebilirliği türe göre değişmekte ve pişirme ile önemli derecede artmaktadır (Navruz-Varli ve Sanlier, 2016).

Kinoanın yağ içeriği tahıllara göre yüksektir. Kinoa yaklaşık %6 yağ içermektedir. En yüksek yağ konsantrasyonu embriyodadır. Yağ içeriğinin yaklaşık %74'ünü trigliseritler, %20'sini diğliseritler, %3'ünü monogliseritler ve vakslar oluşturur. Kinoa %1,8 oranında fosfolipit (lesitin) içerir. Kinoa tekli doymamış (oleik asit) ve çoklu doymamış (linoleik ve linolenik asit) yağ asitleri açısından zengin olan bileşimi ile mısır yağına çok benzer ancak linolenik asit içeriği biraz daha yüksektir. Kinoanın doymamış/doymuş yağ asiti oranı 4,9'dur ve bu oran mısır (4,65) ve soyadan (3,92) daha yüksektir. Doymamış yağ asitlerinin seviyesinin yüksek olması kinoanın besin kalitesini arttırmaktadır. Kinoa yağı doymamış yağ oranı yüksek olduğu için teorik olarak oksidatif acılaşmaya eğilimli görünmekle birlikte doğal antioksidan olan tokoferoller açısından da zengin olduğu bilinmektedir (Taylor ve Parker, 2002).

Kinoa tanesinin mineralleri de tahıllarda olduğu gibi dış kepek katmanında yoğunlaşmıştır. Kabuktaki mineral konsantrasyonu, kabuğu soyulmuş taneden üç kat daha yüksektir. Kinoanın içerdiği başlıca mineraller potasyum, fosfor ve magnezyumdur (Tablo 2). Fakat kinoa kalsiyum, demir, bakır, çinko ve manganez açısından da zengindir. 100 gr. kinoada bulunan magnezyum, manganez, bakır ve demir bebeklerin ve yetişkinlerin günlük ihtiyacını karşılayabilecek seviyededir. 100 gr.'daki fosfor ve çinko miktarı ise çocuklar için yeterli olmakla birlikte yetişkinlerin günlük ihtiyaçlarının %40-60'ını karşılar. Kinoanın potasyum içeriği, bebeklerin ve yetişkinlerin günlük

ihtiyacının %18-22'sini karşılayabilecek seviyedeysen, kalsiyum içeriği günlük ihtiyaçlarının %10'una denk gelmektedir. Kinoanın potasyum, magnezyum ve kalsiyum içeriği, yulaf ve arpa gibi tahıllardan yüksektir (James, 2009).

Kinoanın vitamin bileşimi tahıllara benzemektedir. Tahıllar gibi, kinoa da yüksek B vitamini ve folat içermektedir. Kinoa ayrıca yüksek düzeyde tokoferol içerir (Tablo 3). Vitaminlerin embriyoda yoğunlaştığı varsayılmaktadır (Taylor ve Parker, 2002). 100 gr. kinoada bulunan piridoksin ve folat miktarları çocukların ve yetişkinlerin günlük ihtiyacını karşılayabilecek seviyededir. 100 gr.'daki riboflavin içeriği çocukların günlük ihtiyaçlarının %80'ine ve yetişkinlerin %40'ına denk gelmektedir. Niasin içeriği günlük ihtiyaçları karşılayacak seviyede değildir. Kinoadaki tiamin miktarı, yulaf ve arpanın tiamin miktarından düşüktür ancak kinoanın niasin, riboflavin, piridoksin ve toplam folat değerleri buğday, yulaf, arpa, çavdar, pirinç ve mısır gibi diğer tahılların çoğundan daha yüksektir. Ayrıca buğdaydan daha yüksek miktarda E vitamini içermektedir (Navruz-Varli ve Sanlier, 2016).

Kinoadaki temel fitokimyasal grupları saponinler, fitosteroller ve fitoekdisteroidlerdir. Saponinler kinoanın tadını ve sindirilebilirliğini etkilediği için, tüketilmeden önce çıkarılmalıdır. Saponin içeriğine göre kinoa "tatlı" veya "acı" olarak sınıflandırılır. Tatlı kinoada %0,11'den az serbest saponin bulunur. Bitkiye kötü bir tat vermelerine rağmen saponinler, antifungal, antiviral, antikanser, hipokolesterolemik, hipoglisemik, antitrombik, idrar söktürücü ve anti enflamatuar aktiviteler gibi çeşitli biyolojik etkilere sahiptir (Repo-Carrasco ve ark., 2003; Nowak ve ark., 2016). 100 gr. kinoada 118 mg.'a kadar fitosterol bulunabilmektedir. Kinoadaki önemli fitosterol bileşenleri, β -sitosterol (63,7 mg/100 g), kampesterol (15,6 mg/100 g), stigmasterol (3,2 mg/100 g) ve brassicasteroldür. Kinoadaki fitosterollerin miktarı arpa, çavdar, mısır ve darı gibi tahıllardakinden daha yüksektir. Fitosteroller insanlarda kolesterölü düşürmede önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca fitosterollerin antiinflamuar, antioksidan ve antikarsinojenik etkileri de bulunmuştur. Kinoa, yenilebilen bitkiler arasında fitoekdisteroidleri en yüksek oranda içeren bitkidir. Kinoanın fitoekdisteroid içeriği 138-570 μ g/g aralığındadır. Kinoada en az 13 farklı ekdisteroid bulunmaktadır ve en yaygın olanı diğer birçok bitkide de bulunan 20-hidroksiekdisondur. 20-hidroksiekdison, kinoada bulunan toplam fitoekdisteroidlerin %62-90'ını oluşturmaktadır (Navruz-Varli ve Sanlier, 2016).

Kinoa pirinç yerine tüketilebilmekte, kahvaltılık gevrek olarak ya da suda kaynatılıp bebek maması yapmak için kullanılabilir. Kinoa tohumları, patlamış mısır gibi patlatılabilir (Jancurová ve ark., 2009). Kinoa tohumları öğütülerek un olarak kullanılabilir veya filizlendirilebilir. Filizleri yeşile döndüğünde salatalarda kullanılabilir veya ıspanak gibi yemek olarak pişirilip tüketilebilir (Vilcacundo ve Hernández-Ledesma, 2017). Kinoa unu, mısır veya buğday unu ile karıştırılarak ekmeke (%10-13 kinoa unu), erişte ve makarna (%30-40 kinoa unu) ve bisküvilerde (%60 kinoa unu) çeşitli düzeylerde kullanılabilir. Ayrıca çorbaları koyulaştırmak için de ilave edilebilir (Jancurová ve ark., 2009). Buğday ununa %20'ye kadar kinoa unu katılarak elde edilen karışım unları ile yapılan ekmekeleleri inceleyen bir çalışmada, %5-10 arası kinoa unu ilavesinin, ekmeğin duysal özelliklerini ve besin içeriğini arttırmak için kullanılabilirliği bildirilirken, %20 kinoa unu ilavesinin ekmeğin hacmini, elastikiyetini ve gözenekliliğini azalttığı belirtilmiştir (Codinã ve ark., 2017). Bir diğer çalışmada

da buğday ununa %15'e kadar kinoa unu ilavesi ile yapılan ekmeklerin antioksidan aktivitesinin daha yüksek ve glisemik indeksinin daha düşük olduğu bildirilmiştir. Bu ekmeklerin duysal analizlerde de kontrolden farklı çıkmadığı belirtilmiş ve endüstriyel ekmek üretiminde kullanılan un karışımlarında buğday ununa %15 kinoa unu ilavesi önerilmiştir (Xu ve ark., 2019).

Kinoa glutensiz ürün geliştirmek için yapılan araştırmalarda da çok kullanılmaktadır. Kinoa tohumu veya unu, bira, tarhana, ekmek, makarna, bisküvi gibi bir çok gluten içermeyen ürünün yapımında kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Tarhana yapımında farklı oranlarda kinoa, pirinç ve patates kullanan bir çalışmada, kinoa oranının artırılmasının ürünün protein ve mineral miktarını arttırdığı ve %50 kinoa unu kullanılan tarhana çorbasının duysal analizde en yüksek puanları aldığı belirtilmiştir (Demir, 2014). Mısır unu ve kinoa unu ile glutensiz spagetti yapımı üzerine yapılan bir çalışmada da kinoa ununun az miktarda kullanıldığında (100 g/kg) bile ürünün aminoasit içeriğini önemli ölçüde geliştirdiği ve glutensiz spagettinin duysal analiz testlerinde de tüketiciler tarafından kabul edilebilir puanlar aldığı bildirilmiştir (Caperuto ve ark., 2001). Kontrol olarak pirinç ve mısır unu ile yapılan glutensiz ekmeğin kullanıldığı bir çalışmada ise pirinç ve mısır unu yerine kinoa unu kullanılarak yapılan ekmeklerde daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Elgeti ve ark., 2014). Glutensiz makarna yapımında kontrol grubu olarak %50 mısır ve %50 pirinç unu kullanılan bir çalışmada da %30'a kadar kinoa unu ilavesinin ürünün protein, mineral, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitesini arttırdığı belirtilmiştir (Demir ve Bilgiçli, 2020).

Güney Amerika'da kinoa tohumları fermente edilerek 'chicha' adlı geleneksel alkollü bir içki yapılmaktadır (Vilcacundo ve Hernández-Ledesma, 2017). Arpa yerine kinoa kullanarak glutensiz bira yapımını araştıran bir çalışmada ise elde edilen kinoa içeceğinin görünümünün biraya benzemediği fakat tüketim için uygun bir içecek olduğu belirtilmiştir. Kinoa ile yapılan bu içecek daha siyaha yakın renkli ve cevizimsi aromalı olarak tanımlanmıştır. Kinoa içeceğinin, biraya göre alkol oranı daha düşük ama mineral ve aminoasit içeriği daha yüksek bulunmuştur (Deželak, 2014).

3. Sonuç

Son yıllarda tüketimi artan karabuğday, amarant ve kinoa besin içerikleri ve fitokimyasallar açısından zengindir. Bu özelliklerinden dolayı bu tahıl benzeri ürünleri, besin çeşitliliğini arttırmak için herkesin tüketmesi önerilebilir. Ekmek, makarna, bisküvi ve kek gibi ürünlerin geliştirilmesinde tahıllar ile bu ürünlerin karışım halinde kullanılmasıyla daha fonksiyonel ve besin değeri yüksek ürünler elde edilebilir. Ayrıca tahıl benzeri ürünler glutensiz ürün geliştirmede kullanım için de çok iyi birer alternatiftir. Glutensiz beslenen kişilerin karabuğday, amarant ve kinoa tüketmesi, glutensiz beslenmenin sebep olduğu protein, diyet lifi, mineral (özellikle kalsiyum, magnezyum ve demir) ve vitamin (özellikle B vitaminleri) eksikliklerini gidermeye yardımcı olacaktır. Bu ürünlerle yapılan gluten içermeyen gıdaların artarak ürün yelpazesinin genişlemesi ve daha geniş kitlelere tanıtılması ile kullanımları artacaktır.

Kaynakça

- Anderson, J. W. (2003). Whole grains protect against atherosclerotic cardiovascular disease. *Proceedings of Nutrition Society*, 62, 35-142.
- Aubrecht, E., & Biacs, P. A. (2001). Characterization of buckwheat grain proteins and its products. *Acta Alimentaria*, 30(1), 71-80.
- Ayo, J. A., & Okoye, E. (2020). Nutrient Composition and Functional Properties of Fonio (*Digetaria exilis*) and Amaranth (*Amaranthus cruentus*) Flour Blends. *Asian Food Science Journal*, 53-62.
- Ballabio, C., Uberti, F., Di Lorenzo, C., Brandolini, A., Penas, E., & Restani, P. (2011). Biochemical and immunochemical characterization of different varieties of amaranth (*Amaranthus L. ssp.*) as a safe ingredient for gluten-free products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(24), 12969-12974.
- Berghofer, E. & Schoenlechner, R. (2002). Grain amaranth. In P. S. Belton & J. R. N. Taylor (Eds.), *Pseudocereals and Less Common Cereals* (pp.219-253). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Biacs, P., Aubrecht, E., Léder, I., & Lajos, J. (2002). Buckwheat. In P. S. Belton & J. R. N. Taylor (Eds.), *Pseudocereals and Less Common Cereals* (pp.123-147). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Borneo, R., & León, A. E. (2012). Whole grain cereals: functional components and health benefits. *Food & Function*, 3(2), 110-119.
- Cai, Y. Z., Corke, H., Wang, D., & Li, W. D. (2016). Buckwheat: overview. In C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman & J. Faubion (Eds.), Volume 1, *Encyclopedia of Food Grains* (pp.307-315). Elsevier, Oxford.
- Caperuto, L. C., Amaya-Farfán, J., & Camargo, C. R. O. (2001). Performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) flour in the manufacture of gluten-free spaghetti. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(1), 95-101.
- Caselato-Sousa, V. M., & Amaya-Farfán, J. (2012). State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of Food Science*, 77(4), R93-R104.
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus spp.*) flour. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 939-945.
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016). Physical, textural, and sensory characteristics of wheat and amaranth flour blend cookies. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1125773.
- Codină, G. G., Francius, S. G., & Todosi-Sănduleac, E. (2017). Studies on the influence of quinoa flour addition on bread quality. *Food and Environment Safety Journal*, 15(2).
- Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O. L., & Rodríguez-García, M. E. (2019). Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, 298, 124982.
- De Arcangelis, E., Cuomo, F., Trivisonno, M. C., Marconi, E., & Messia, M. C. (2020). Gelatinization and pasta making conditions for buckwheat gluten-free pasta. *Journal of Cereal Science*, 95, 103073.
- Delcour, J. A., Joye, I. J., Pareyt, B., Wilderjans, E., Brijs, K., & Lagrain, B. (2012). Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3, 469-492.

- Demir, M. K. (2014). Use of quinoa flour in the production of gluten-free tarhana. *Food Science and Technology Research*, 20 (5), 1087-1092.
- Demir, B., & Bilgiçli, N. (2020). Utilization of quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) in gluten-free pasta formulation: Effects on nutritional and sensory properties. *Food Science and Technology International*, 1082013220940092.
- Deželak, M., Zarnkow, M., Becker, T., & Košir, I. J. (2014). Processing of bottom-fermented gluten-free beer-like beverages based on buckwheat and quinoa malt with chemical and sensory characterization. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(4), 360-370.
- Elgeti, D., Nordlohne, S. D., Föste, M., Besl, M., Linden, M. H., Heinz, V., Jekle, M., & Becker, T. (2014). Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. *Journal of Cereal Science*, 59(1), 41-47.
- FAOSTAT. (2020). Food Agriculture and Organization Online Database (Erişim adresi: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Erişim tarihi: 05.07.2020)
- Fardet, A. (2010). New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre?. *Nutrition Research Reviews*, 23, 65–134.
- Fasano, A., Sapone, A., Zavallos, V., & Schuppan, D. (2015). Nonceliac gluten sensitivity. *Gastroenterology*, 148(6), 1195–1204.
- Gebreil, S. Y., Ali, M. I. K., & Mousa, E. A. M. (2020). Utilization of Amaranth Flour in Preparation of High Nutritional Value Bakery Products. *Food and Nutrition Sciences*, 10(05), 336.
- Gelinas, B., & Seguin, P. (2007). Oxalate in grain amaranth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(12), 4789-4794.
- Giménez-Bastida, J. A., Piskula, M., & Zieliński, H. (2015). Recent advances in development of gluten-free buckwheat products. *Trends in Food Science & Technology*, 44(1), 58-65.
- Gobbetti, M., Pontonio, E., Filannino, P., Rizzello, C. G., De Angelis, M., & Di Cagno, R. (2018). How to improve the gluten-free diet: The state of the art from a food science perspective. *Food Research International*, 110, 22–32.
- Guardianelli, L. M., Salinas, M. V., & Puppo, M. C. (2019). Hydration and rheological properties of amaranth-wheat flour dough: Influence of germination of amaranth seeds. *Food Hydrocolloids*, 97, 105242.
- Guo, X. N., Wei, X. M., & Zhu, K. X. (2017). The impact of protein cross-linking induced by alkali on the quality of buckwheat noodles. *Food Chemistry*, 221, 1178-1185.
- Hu, S. Y. (2005). *Food Plants of China*. Chinese University Press, p.370.
- İnanır, C., Albayrak, S., & Ekici, L. (2019). Karabuğdayın fitokimyası, farmakolojisi ve biyofonksiyonel özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 713-722.
- James, L. E. A. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58, 1-31.
- Jancurová, M., Mínarovičová, L., & Dandar, A. (2009). Quinoa—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(2), 71-79.
- Janssen, F., Pauly, A., Rombouts, I., Jansens, K. J., Deleu, L. J., & Delcour, J. A. (2017). Proteins of amaranth (*Amaranthus* spp.), buckwheat (*Fagopyrum* spp.), and quinoa (*Chenopodium* spp.): a food science and technology perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 39-58.
- Kaur, K. D., Jha, A., Sabikhi, L., & Singh, A. K. (2014). Significance of coarse cereals in health and nutrition: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(8), 1429-1441.
- Kreft, I., Fabjan, N., & Yasumoto, K. (2006). Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products. *Food Chemistry*, 98(3), 508-512.
- Maurya, N. K., & Arya, P. (2018). Amaranthus grain nutritional benefits: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 2258-2262.
- McKevith, B. (2004). Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bulletin*, 29, 111–142.
- Mlakar, S. G., Turinek, M., Jakop, M., Bavec, M., & Bavec, F. (2009). Nutrition value and use of grain amaranth: potential future application in bread making. *Agricultura*, 6(4), 43-53.
- Molinari, R., Costantini, L., Timperio, A. M., Lelli, V., Bonafaccia, F., Bonafaccia, G., & Merendino, N. (2018). Tartary buckwheat malt as ingredient of gluten-free cookies. *Journal of Cereal Science*, 80, 37-43.
- Mota, C., Nascimento, A.C., Santos, M., Delgado, I., Coelho, I., Rego, A., Matos, A.S., Torres, D. & Castanheira, I. (2016). The effect of cooking methods on the mineral content of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amarant (*Amaranthus* spp.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 57-64.
- Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371-376.
- Nowak, V., Du, J., & Charrondiére, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47-54.
- Raguindin, P.F., Itodo, O.A., Stoyanov, J., Dejanovic, G.M., Gamba, M., Asllanaj, E., Minder, B., Bussler, W., Metzger, B., Muka, T. & Glisic, M. (2021). A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat. *Food Chemistry*, 338, 127982.
- Rastogi, A., Shukla, S. (2013). Amaranth: a new millennium cop of nutraceutical values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53: 109-125.
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19(1-2), 179-189.
- Rosell, C. M., Barro, F., Sousa, C., & Mena, M. C. (2014). Cereals for developing gluten-free products and analytical tools for gluten detection. *Journal of Cereal Science*, 59(3), 354-364.
- Ruan, J., Zhou, Y., Yan, J., Zhou, M., Woo, S.H., Weng, W., Cheng, J. & Zhang, K. (2020). Tartary buckwheat: an under-utilized edible and medicinal herb for food and nutritional security. *Food Reviews International*, pp.1-15.
- Sanz-Penella, J. M., Wronkowska, M., Soral-Smietana, M., & Haros, M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 679-685.
- Schatzkin, A., Park, Y., Leitzmann, M. F., Hollenbeck, A. R., & Cross, A. J. (2008). Prospective study of dietary fiber, whole grain foods, and small intestinal cancer. *Gastroenterology*, 135(4), 1163–1167.
- Schoenlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V., Jurackova, K., & Berghofer, E. (2010). Functional properties of gluten-free pasta produced from amaranth, quinoa and

- buckwheat. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(4), 339-349.
- Steadman, K. J., Burgoon, M. S., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., & Obendorf, R. L. (2001a). Buckwheat seed milling fractions: description, macronutrient composition and dietary fibre. *Journal of Cereal Science*, 33(3), 271-278.
- Steadman, K. J., Burgoon, M. S., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., & Obendorf, R. L. (2001b). Minerals, phytic acid, tannin and rutin in buckwheat seed milling fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(11), 1094-1100.
- Tang, Y., & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(7), 1600767.
- Taylor, J. R. N. & Parker, M. L. (2002). Quinoa. In P. S. Belton & J. R. N. Taylor (Eds.), *Pseudocereals and Less Common Cereals* (pp.93-123). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Torbica, A., Hadnadev, M., & Dapčević, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24(6-7), 626-632.
- Tömösközi, S., & Langó, B. (2017). Buckwheat: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In J.R.N. Taylor & Joseph M. Awika (Eds.) *Gluten-Free Ancient Grains* (pp. 161-177). Woodhead Publishing.
- USDA. (2020). USDA National Nutrient Database for Standard Reference. (Erişim sdresi: <https://fdc.nal.usda.gov/> Erişim tarihi 9.06.2020)
- Vici, G., Belli, L., Biondi, M., & Polzonetti, V. (2016). Gluten free diet and nutrient deficiencies: A review. *Clinical Nutrition*, 35(6), 1236–1241.
- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6.
- Wijngaard, H., & Arendt, E. K. (2006). Buckwheat. *Cereal Chemistry*, 83(4), 391-401.
- Xu, X., Luo, Z., Yang, Q., Xiao, Z., & Lu, X. (2019). Effect of quinoa flour on baking performance, antioxidant properties and digestibility of wheat bread. *Food Chemistry*, 294, 87-95.
- Yu, D., Chen, J., Ma, J., Sun, H., Yuan, Y., Ju, Q., Teng, Y., Yang, M., Li, W., Fujita, K. & Tatsumi, E. (2018). Effects of different milling methods on physicochemical properties of common buckwheat flour. *LWT*, 92, pp.220-226.
- Zhu, F. (2020). Dietary fiber polysaccharides of amaranth, buckwheat and quinoa grains: A review of chemical structure, biological functions and food uses. *Carbohydrate Polymers*, 248, 116819.



Türkçe Duruş Tespit Analizi

Kaan Kemal Polat^{1*}, Nilgün Güler Bayazıt², Olcay Taner Yıldız³

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5472-8297), kemalp@yildiz.edu.tr

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0221-294X), guler@yildiz.edu.tr

³ Özyeğin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5838-4615), olcay.yildiz@ozyegin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 31 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 12 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.851584)

ATIF/REFERENCE: Polat, K. K., Güler Bayazıt, N., & Yıldız, O. T. (2021). Türkçe Duruş Tespit Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 99-107.

Öz

İnternet kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte insanlar düşüncelerini, o anki duygu durumlarını sosyal medya araçları ve çevrimiçi forumlar üzerinden paylaşmaya başladılar. Bu durum metin verilerinin miktarında büyük bir artışa neden oldu. Başta Twitter platformundan elde edilen veriler olmak üzere sosyal medya kaynaklı veriler duygu analizi, metin sınıflandırma, konu modelleme, ironi tespiti, görüş madenciliği gibi pek çok çalışmada kullanılmaktadır. Bu çalışmalardan biri de duruş tespitidir. Duruş tespiti, bir hedef-yorum çifti için yorum yazarının hedefe yönelik duruşunun yorum metninden otomatik olarak çıkarılması işlemidir. Burada hedef bir insan, olay, durum veya bir ürün olabilir. Duruş tespitinde amaç bir yorumun sahibinin belirli bir hedefe yönelik duruşunun “Destekliyor” / “Desteklemiyor” / “Duruş Yok” olarak sınıflandırılmasıdır. Türkçe dilinde duruş tespiti çalışmalarında kullanılmak üzere hazırlanmış kapsamlı bir veri kümesi bildiğimiz kadarıyla bulunmamaktadır. Çalışmada ilk olarak bir çevrimiçi forumdan veri kazıma yöntemi ile 6 hedef için toplanmış yorumlardan oluşan bir Türkçe Duruş Veri Seti oluşturulmuştur. Veri seti toplam 5031 hedef-yorum çiftinden oluşmaktadır. Her bir hedef-yorum çifti üniversite dil bölümü mezunu kişilerce etiketlenmiştir. Veri seti üzerinde Naive Bayes, Destek Vektör Makinesi, AdaBoost, XGBoost, Rastgele Orman ve Evrişimli Sinir Ağı yöntemleri ile duruş tespit analizi yapılarak sonuçlar paylaşılmıştır. Metin temsili olarak sözcük torbası, terim frekansı – ters doküman frekansı ve kelime gömme yöntemleri kullanılmıştır. Performans değerlendirmesinde Matthews Korelasyon Katsayısı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde en iyi sonuçların XGBoost ve Evrişimli Sinir Ağı yöntemleri ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Oluşturulan Evrişimli Sinir Ağı modelinden çıkartılan özniteliklere entegre grandyanlar yöntemi uygulanarak girdi verilerindeki özniteliklerin model tahminine katkıları incelenmiş; yazılan bir yorumdaki her kelimenin modelin tahminine katkısı görselleştirilerek örneklerle sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Duruş Tespiti, Metin Madenciliği, Destek Vektör Makinesi, Kolektif Öğrenme.

Turkish Stance Detection Analysis

Abstract

With the widespread use of internet, people began to share their thoughts and their current moods through social media platforms and online forums. This led to a larger increase in the amount of generated text data. Data from social media, especially data obtained from Twitter, are used in many studies such as sentiment analysis, text classification, topic modelling, irony detection, opinion mining. One of these is stance detection. Stance detection is the process of automatically extracting the stance of a person commenting on a text from a target-comment pair. Here the target can be a person, event, case or a product. In stance detection, the purpose is to classify the stance of the commenting person as “Favor” / “Against” / “Neither”. As far as we know, there is no comprehensive dataset ready for use in stance detection studies in the Turkish language. The first contribution of the current work is the creation of a Turkish Stance Dataset consisting of comments collected for 6 targets by web scraping from an online forum. The dataset consists of a total of 5031 target-comment pairs. Each target-comment pair has been tagged by Language Department graduates. The Bag of Words, Term Frequency – Inverse Document Frequency and Word embedding methods have been used for text representation. The analysis of the results for stance detection based on Naive Bayes, Support Vector Machine, AdaBoost, XGBoost, Random Forest and Convolution Neural Networks methods are presented. Matthews Correlation Coefficient has been used for performance assessment. It has been observed that the best results have been obtained with the XGBoost and Convolutional Neural Network methods. By applying the integrated

* Sorumlu Yazar: kemalp@yildiz.edu.tr

gradients method to the features extracted by the Convolutional Neural Network model, the contribution of the features input to this method to the prediction performance has been analyzed and the contribution of each word in a comment to the prediction performance has been presented by visual examples.

Keywords: Stance Detection, Text Mining, Support Vector Machine, Ensemble Learning.

1. Giriş

Günümüzde dijital iletişim araçları, insanlar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu dijital iletişim araçlarına forumlar, bloglar, çeşitli yayın platformları, Facebook, Instagram ve Twitter örnek olarak verilebilir. İnsanların sosyal yaşantılarında çok fazla yer tutar hale gelen bu iletişim araçları, çeşitli amaçlar için analiz edilebilir büyük miktarda metinsel verinin toplanmasına katkı sağlamaktadır. Toplanan bu dijital verilerden otomatik bilgi çıkarmanın önemi de giderek artmaktadır. Bu sebeple metinsel verilerin işlenmesine yönelik çalışmalara gösterilen ilgi de son yıllarda giderek artmıştır. Duygu analizi, metin sınıflandırma, konu modelleme, ironi tespiti, görüş madenciliği gibi çalışmalar, metin madenciliği için popüler araştırma konularıdır. Bu konular arasında son yıllarda duruş tespiti çalışmaları da önemli şekilde yer almıştır. Duruş tespiti çalışmalarının sayısının artmasının sebebi dijitalleşmenin insan hayatında artması ile insanların belirli bir konu/nesne/kişi hakkında tutumlarının belirlenebileceği metinsel verileri üretmeleri, duruş tespitinin sahte haber tespitinin ilk adımı için önemli bir aşama olabileceği fikri ve duruş tespiti ile ilgili çeşitli yarışmaların yapılmasıdır (S. Mohammad et al., 2016; Taulé et al., 2017; R. Xu et al., 2016).

Duruş ile ilgili çalışmalar incelendiğinde birbirine yakın çeşitli tanımlar yapılmıştır. Bu tanımlar arasından en kapsamlı olanı bir dilbilimci olan John W. Du Bois tarafından yapılmıştır. Du Bois'e göre "Duruş sosyokültürel alanın herhangi bir göze çarpan boyutuna göre nesnelere eşzamanlı olarak değerlendirme, özneyi (benlik ve diğerleri) konumlandırma ve diğer konulara hizalama yoluyla açık iletişim araçlarıyla diyolojik olarak gerçekleştiren bir sosyal aktör tarafından gerçekleştirilen kamusal bir eylemdir." (Du Bois, 2007). Bu tanımdan yola çıkarak duruş için bir kişinin belirli bir hedefle ilgili bakış açısı, görüşü veya yargısı diyebiliriz.

Duruş Tespiti, bir metin parçası ve bir hedef çifti için metnin yazarının duruşunun (tutumunun) "Destekliyor" (Favor), "Desteklemiyor" (Against) ve "Duruş Yok" (Neither) etiketlerinden biri ile sınıflandırılması problemi (S. Mohammad et al., 2016). Duruş tespitinde hedef olay, fikir, ürün, insan veya bir hareket olabilir. Hedef metin içerisinde açıkça geçebilir veya geçmeyebilir.

Literatür incelemesi yapıldığında Türkçe dili için yapılan otomatik duruş tespiti çalışmalarının oldukça az olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi yeterli sayıda Türkçe duruş veri setinin bulunmamasıdır. Bu açığı kapatmak amacıyla, çalışmada 6 hedef için bir çevrimiçi forumdan toplanmış yorumlardan oluşan duruş etiketli bir veri seti hazırlanmıştır.² Duruş tespiti çalışmalarında kullanılan mevcut veri setleri çoğunlukla mikroblog veya sosyal medya uygulamalarından toplanan verilerden oluşmaktadır. Bu sebeple veriler sınırlı sayıda karakterden oluşmakta ve yorum metni dışında platforma ait özelliklerde yapılan sınıflandırmada kullanılmaktadır.

Oluşturulan veri setinde karakter sınırlaması yapılmamıştır. Bundan dolayı veri seti çok sayıda kelimedenden oluşan yorumları da içermektedir. Oluşturulan Türkçe veri seti üzerinde duruş tespiti analizi için Destek Vektör Makineleri (DVM), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RO), AdaBoost, XGBoost ve Evrişimli Sinir Ağı (ESA) yöntemleri kullanılmıştır. Metin madenciliği çalışmalarında en önemli kısım metinlerin iyi bir şekilde temsil edilmesidir. Bunun için makine öğrenmesi ve kolektif öğrenme yöntemlerinde sözcük torbası ve terim frekansı – ters doküman frekansı modelleri, ESA için ise kelime gömme modeli kullanılmıştır.

Çalışmanın devamında ikinci bölümde ilgili çalışmalar, üçüncü bölümde çalışmada kullanılan materyal ve metodlar, dördüncü bölümde araştırma sonuçları, beşinci bölümde sonuç ve gelecek çalışmalar sunulmuştur.

2. İlgili Çalışmalar

Literatür incelendiğinde, otomatik duruş tespiti ile ilgili çalışmanın amacına yönelik çeşitli tanımlara rastlanmaktadır. Bu tanımlar genel olarak 5 ana başlık altında toplanabilir. Bunlar şöyle sıralanabilir: Otomatik Duruş Tespiti (S. Mohammad et al., 2016), Çok Hedefli Duruş Tespiti (Sobhani et al., 2017), Çapraz-Hedef Duruş Tespiti (C. Xu et al., 2018), Söylenti Duruş Tespiti (Zubiaga et al., 2018) ve Sahte Haber Duruş Tespiti (Fake News Challenge, 2017). Bu tanımlar arasında en yaygın kullanılanı, bu çalışmada da üzerinde durulacak olan Otomatik Duruş Tespitidir.

Duruş tespiti, yeni bir araştırma konusu olmasına rağmen literatür incelendiğinde bu konuda yapılmış çok sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda çeşitli yöntemler ile duruş sınıflandırmaları yapılmıştır. Çalışmalar incelendiğinde literatürde en çok kullanılan yöntem DVM'dir (Addawood et al., 2017; Aldayel & Magdy, 2019; Dey et al., 2017; Küçük & Can, 2018; Liu et al., 2016; S. M. Mohammad et al., 2017; Sobhani et al., 2015). DVM duruş sınıflandırmasında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bu sebeple baz yöntem olarak kullanılmaktadır. Sıklıkla kullanılan diğer yöntemler arasında NB (HaCohen-Kerner et al., 2017; Lai et al., 2016), ESA (Hercig et al., 2017; Zhang et al., 2017; Zhou et al., 2017), RO Algoritması (Aker et al., 2017; Tsakalidis et al., 2018) yer almaktadır.

Yapılan duruş tespiti çalışmalarının çoğu İngilizce odaklıdır. Bu durum İngilizce dışındaki dillerde duruş sınıflarına ("Destekliyor", "Desteklemiyor", "Duruş Yok") göre etiketlenmiş yeterli sayıda derlemin (corpus) bulunmamasından kaynaklanmaktadır. İlgili literatür incelendiğinde Arapça, Katalanca, Çince, Çekçe, İtalyanca, Japonca, Rusça, İspanyolca gibi diğer dillerde de yeni yeni derlemler oluşturulmaya başlandığı görülmektedir. Bu veri setleri genellikle insanların sosyal medya platformlarındaki belli konularda paylaşımları kullanılarak oluşturulmaktadır.

Türkçe dili açısından incelendiğinde ise oldukça kısıtlı çalışma bulunduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda Türkiye'deki popüler iki futbol kulübü hakkında tweetler toplanarak 2

² Çalışmada verilmiş olan sonuçların bu alanda çalışacak kişiler tarafından da doğrulanması amacıyla istenirse veri seti araştırmacılar ile paylaşılacaktır. Veri seti sorumlu yazara e-posta gönderilerek elde edilebilir.

hedef (Galatasaray ve Fenerbahçe) 2 duruş sınıf etiketi (Favor ve Against) içeren bir veri seti oluşturularak DVM yöntemiyle sınıflandırma çalışması yapılmıştır (Küçük, 2017). Daha sonra veri sayısı artırılmış ve varlık isim bilgisi eklenmiştir (Küçük & Can, 2018, 2019).

3. Materyal ve Metot

Bu bölümde analiz edilen veri seti ve kullanılan metotlar hakkında bilgi verilmiştir.

3.1. Veri Seti

Türkçe duruş tespit analizi için çevrimiçi forumlardan toplanan yorumlar tercih edilmiştir. Veriler, veri kazıma yöntemi ile ekşi sözlük platformundan toplanmıştır. Bildiğimiz kadarıyla şimdiye kadarki en çok hedef-yorum ikilisine sahip yeni bir Türkçe duruş etiketli veri seti oluşturulmuştur. Veri seti 6 hedef için toplam 5031 yorum içermektedir. Bu hedefler Evden

Çalışma, Maske, E-kitap, Vegan, E-sigara ve Aşıdır. Veri setindeki yorumlar Türkiye’ de yaşayan insanların rahatça anlayabileceği Türkçe ile yazılmış metinlerdir. Hedef, metin içinde açıkça bulunabilir veya bulunmayabilir. Veri seti, yazarların duruşunu açıkça, kinayeli veya dolaylı olarak bildirdikleri çeşitli yorumlardan oluşmaktadır. Her hedef için farklı olmak üzere her yorum üniversite dil bölümü mezunu 2 kişi (etiketleyeci) tarafından “Destekliyor” / “Desteklemiyor” / “Duruş Yok” etiketlerinden biri ile etiketlenmiştir. Her yorum için duruş etiketi doküman seviyesinde yapılmıştır. Tablo 1’ de Türkçe Duruş Etiketli Veri Setinde yer alan örnek hedef-yorum çiftleri gösterilmiştir. Toplanan yorumlarda karakter sınırlaması yapılmamıştır. Bu sebeple yorumlar oldukça fazla sayıda kelime içerebilmektedir. Tablo 2’ de her hedef için en kısa yorumun kelime sayısı, yorumların ortalama kelime sayısı, en uzun yorumun kelime sayısı gösterilmiştir. Oluşturulan veri seti hedefler için dengesiz sınıf dağılımı göstermektedir. Şekil 1’ de her hedef için sınıf etiket sayılarının dağılımları gösterilmiştir.

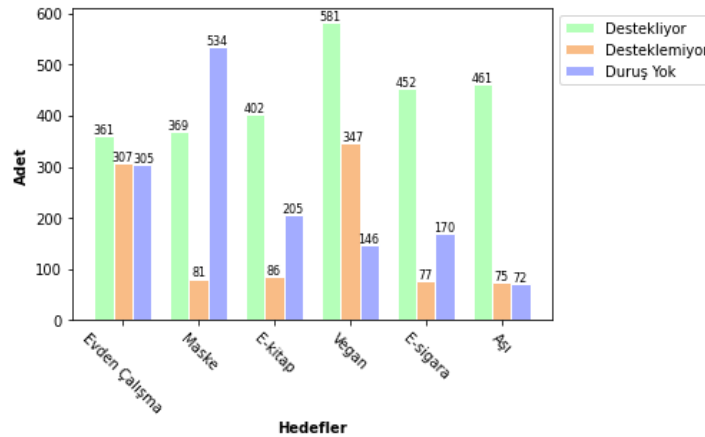
Tablo 1. Türkçe Duruş Etiketli Veri Seti Örnek Hedef-Yorum Çiftleri

Hedef	Yorum	Duruş
Evden Çalışma	2 gün işe gidememe durumunda kaldım rahatsızlığımdan dolayı ve çok net bir şekilde evden işi yürütmenin çok daha zor ve stresli olduğunu söyleyebilirim. ³	“Desteklemiyor”
E-kitap	o kadar fiyasko ki e- kitap okuyucuları satış rekorları kırıyor. o fiyaskodan bir tane de ben alabilir miyim? ⁴	“Destekliyor”

Tablo 2. Her Hedef İçin Mevcut Yorumların Kelime Sayıları Bilgisi

Hedef	En Az	Ortalama	En Çok
Evden Çalışma	1	63	876
Maske	1	45	551
E-kitap	1	80	1149
Vegan	1	133	3902
E-sigara	2	174	2182
Aşı	1	90	3642

Şekil 1. Her Hedef İçin Duruş Etiketli Sınıf Dağılım Bilgisi



³ <https://eksisozluk.com/entry/104072994> (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2021).

⁴ <https://eksisozluk.com/entry/37685827> (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2021).

3.2. Veri Ön İşleme

Sınıflandırma işlemi için öncelikle verinin temizlenmesi ve hazırlanması gerekmektedir. Bunun için ilk olarak metinde yer alan noktalama işaretleri, nümerik değerler, gereksiz terimler, özel karakterler, bağlantı adresleri, fazla boşluklar kaldırılmış ve tüm harfler küçük harfe dönüştürülmüş, yazım hataları düzeltilmiştir. Daha sonra kelimelerin gövdeleri çıkartılmıştır. Kelime gövdelerinin bulunmasında python programlama dili ile hazırlanmış TurkishMorphologicalAnalysis kütüphanesi kullanılmıştır (Yildiz et al., 2019).

Veri ön işlemlerinde genellikle gürültüyü engellemek için metin verilerinde durak kelimeleri kaldırılır. Fakat son yıllarda durak kelimelerini kullanmanın etkisi duygu sınıflandırma çalışmaları için tartışılmaktadır (Saif et al., 2014). Bu nedenle durak kelimelerinin duruş tespitinde etkisini görebilmek için veriler durak kelimeleriyle birlikte ve durak kelimeleri kaldırılmış olarak iki şekilde incelenmiş ve durak kelimeleri kullanılmasının model başarımını arttırdığı görülmüştür.

3.3. Sınıflandırma

Türkçe duruş etiketli veri seti üzerinde DVM, NB, ESA, RO, AdaBoost, XGBoost algoritmaları kullanılmıştır. Sınıflandırma algoritmaları doğrudan metin verileri ile çalışmaz. Metin verilerini sınıflandırma algoritmalarında kullanabilmek için sayısal verilere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu şekilde metin verilerinden oluşan yorumlar sınıflandırma algoritmalarında kullanılmak üzere sayısal matrislerle ifade edilir. Metinlerin sayısal olarak ifade edilebilmesi için bazı yöntemler kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi ve kolektif öğrenme yaklaşımları için metinlerin temsil edilmesinde sözcük torbası ve Terim Frekansı-Ters Doküman Frekansı (TF-TDF) modelleri kullanılmıştır. Derin öğrenme yaklaşımında ise metin temsili için kelime gömme kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan metin temsil yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

Sözcük Torbası (Bag of Words): Sözcük Torbası (ST) modeli bir metni nümerik olarak temsil etme yöntemlerinden biridir. Sıklıkla kullanılan basit bir yöntemdir. Model için derlemde bulunan bütün tekil kelimelerin tutulduğu bir sözcük torbasına ihtiyaç vardır. Sözcük torbası oluşturulduktan sonra metindeki kelimelerin frekansları hesaplanır. Metin içinde yer alan kelimeler yer ve dilbilgileri gözardı edilerek temsil edilir.

Terim Frekansı – Ters Doküman Frekansı (Term Frequency – Inverse Document Frequency): Terim Frekansı – Ters Doküman Frekansı (TF-TDF), derlemdeki bir kelimenin metinlerdeki öneminin bir ölçüsüdür. Metinde kelimenin kullanılma sıklığı ve derlemde kullanılma sıklığı bilgilerinin birlikte kullanılması ile elde edilir. Bir kelimenin metinde sıklığı arttıkça TF-TDF değeri artarken derlemde kullanılma sıklığı arttıkça TF-TDF değeri azalır. Bu şekilde her metinde karşılaşılabilecek sıklıkla kullanılan kelimelerin değeri azaltılmış olur.

TF, belirli bir kelimenin belirli bir dokümandaki sıklığının dokümandaki toplam kelime sayısına oranı olarak ifade edilir. TF değeri, Denklem 1’de gösterildiği gibi hesaplanır. Burada belirli bir doküman için $d(K_i)$ i 'nci kelimenin dokümanda kaç defa kullanıldığını, N dokümandaki toplam kelime sayısını gösterir.

$$TF(K_i) = \frac{d(K_i)}{N} \quad (1)$$

TDF, belirli bir kelimenin derlemde bulunduğu dokümanların sayısının toplam doküman sayısına oranının logaritması olarak ifade edilir. TDF değeri, Denklem 2’de gösterildiği gibi hesaplanır. Burada N i 'nci kelimenin bir derlemde kullanıldığı doküman sayısını, M ise derlemdeki toplam doküman sayısını gösterir.

$$TDF(K_i) = \log \frac{N}{M} \quad (2)$$

TF-TDF ise TF*TDF olarak hesaplanır.

$$TF - TDF(K_i) = TF(K_i) * TDF(K_i) \quad (3)$$

Kelime Gömme (Embedding): Kelime gömme (KG) vektör gösteriminin de çok büyük kelime dağarcığına sahip metinler 256 boyutlu, 512 boyutlu veya 1024 boyutlu kelime vektörleri ile temsil edilebilmektedir. Bu yaklaşımda her kelime için yoğun ve dağıtık bir gösterim kullanılır. Her kelime bir vektöre eşlenir ve vektör değerleri yapay sinir ağları benzeri bir algoritmalar ile işlenerek gerçek değerli kelime gömme vektörleri oluşturulur (Chollet, 2018). Bu yaklaşım göre; benzer şekilde kullanılan kelimeler benzer vektörlerle temsil edilirler.

3.3.1. Naive Bayes

Naive Bayes, bayes teoreminden yararlanılarak elde edilmiş metin verilerinin sınıflandırmasında çok sık kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarından birisidir. Anlaşılabilir ve uygulaması kolay bir yöntemdir. Metin verileri ile çalışırken genellikle NB algoritmasının özelleştirilmiş bir hali olan Multinomial Naive Bayes (MNB) algoritması kullanılır. MNB algoritmasında metinler vektörleştirildikten sonra kelimelerin metinlerde kaç defa kullanıldığı hesaplanır. Bu şekilde NB algoritmasındaki kelimenin metinde olup olmaması durumunun incelenmesine kıyasla metnin dahil olduğu sınıfa olan ilişkisi artırılmaya çalışılmıştır. $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i\}$ sınıf etiketleri olmak üzere, derlemdeki n adet kelime için $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ olarak gösterilsin.

$$P(s_i|m) = \frac{P(m|s_i)P(s_i)}{P(m)} \quad (4)$$

Verilen bir m metnin s_i sınıfına ait olma olasılığı bayes teoremine göre Denklem 5 ile hesaplanır.

$$s^*(m) = \operatorname{argmax}(s_i)P(s_i|m) \\ = P(s_i) \prod_{t=1}^n P(k_t|s_i)^{o(k_t,m)} \quad (5)$$

Denklem 5, m metni için en olası sınıfı gösteren denklemdir. Burada $o(k_t, m)$, m metni içerisinde k_t kelimesinin kaç defa geçtiğini gösterir. Bu şekilde belirli bir kelimenin bir sınıfa bulunma olasılığı frekans sayısı kadar güçlendirilmiş olur. Ek olarak $P(k_t|s_i)$ değeri Denklem 6’ daki gibi hesaplanır.

$$P(k_t|s_i) = \frac{\sum_{m_j \in s_i} o(k_t, m_j)}{\sum_{t=1}^n \sum_{m_j \in s_i} o(k_t, m_j)} \quad (6)$$

Eğer belirli kelime metin içinde yer almıyorsa Denklem 6' nın sonucu sıfır olacaktır. Bu sebeple Denklem 5' in sonucu da sıfır olacaktır. Bu durumun önüne geçebilmek için Laplace dönüşümü yapılmaktadır. Bu şekilde Denklem 7' de gösterilmiştir.

$$P(k_t|s_i) = \frac{1 + \sum_{m_j \in s_i} o(k_t, m_j)}{n + \sum_{t=1}^n \sum_{m_j \in s_i} o(k_t, m_j)} \quad (7)$$

3.3.2. Destek Vektör Makineleri

DVM, uzayın iki, üç veya çok boyutlu olmasına göre doğrusal, düzlemsel veya hiperdüzlem ayırma mekanizmaları ile uzaydaki verileri sınıflara ayırmayı sağlar. Doğrusal olarak ayrılabilen sınıflar için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Doğrusal olarak ayrıştırılamayan sınıflardan oluşan verilerde çekirdek fonksiyonu yardımıyla verileri daha yüksek boyutta doğrusal olarak ayrıştırılabilen bir uzaya aktararak doğrusal olmayan verilerde de başarılı şekilde sınıflandırma yapabilir.

3.3.3. Kolektif Öğrenme Yöntemleri

Kolektif öğrenme yöntemleri, varyans ve önyargı hatalarını azaltarak daha gürbüz tahminleme modelleri üretmek amacıyla birden fazla zayıf sınıflandırıcının bir araya gelmesiyle oluşturulan meta algoritmalarıdır. Burada temel amaç tek bir sınıflandırıcı modelin elde ettiği tahminden daha yüksek tahmin doğruluğuna sahip model üretmektir. Paralel kolektif öğrenme teknikleri ve ardışık kolektif öğrenme yöntemleri olarak iki temel başlık altında özetlenebilir. Paralel kolektif öğrenme teknikleri, birbirinden bağımsız zayıf öğrenicilerin birbirine paralel olarak birleştirilmesiyle oluşturulan öğrenme yöntemidir. Bagging yöntemi buna örnek olarak verilebilir.

(Breiman, 2001) tarafından önerilen RO yöntemi, birbiriyle ilişkisiz çok sayıda karar ağacı modelinin birleşimine dayanan bir paralel kolektif öğrenme yöntemidir. Her örnek, sınıfının tahmin edilmesi için tüm ağaçlara aktarılır ve en çok oy alan sınıf, RO modelinin tahmini olarak belirlenir.

Ardışık kolektif öğrenme yöntemlerinde ise eğitim kümesindeki tüm örneklerin seçilme olasılıkları her eğitim iterasyonunda güncellenmektedir. Başlangıçta eğitim kümesindeki bütün örneklerin ağırlıkları aynıken ilerleyen iterasyonlarda yanlış sınıflandırılan örneklerin ağırlıkları artırılarak sınıflandırıcının yanlış sınıflandırılmış örneklere odaklanması sağlanıp, model başarı oranı artırılmaktadır. (Freund & Schapire, 1997) tarafından geliştirilen Adaboost algoritması ilk geliştirilen boosting algoritmalarındandır.

Diğer bir boosting yöntemi olan Gradyan Boosting, modeldeki zayıf regresyon ağaçlarına yinelemeli bir şekilde yeni ağaçlar ekleyerek regresyon ağaçları topluluğu oluşturan ve bunu da türevi alınabilen bir kayıp fonksiyonunun eniyilenmesi sayesinde iyileştiren bir yöntemdir (Natekin & Knoll, 2013). Bu yöntemin en yeni gerçeklemelerinden biri XGBoost algoritmasıdır. Boosting, Regularized boosting ve Stokastik

boosting tekniklerini gerçekleyen XGBoost algoritması işlem süresini azaltarak ve bellek kaynaklarının optimum kullanılmasını sağlamaktadır (Chen & Guestrin, 2016). Ayrıca düzenleme (regularization) parametrelerini ayarlama özelliği sayesinde modelin aşırı uyum (overfitting) göstermesini engellemekte ve modeldeki ağaçların karmaşıklığını kontrol ederek yüksek başarı oranı elde etmektedir.

3.3.4. Evrişimli Sinir Ağı

ESA, günümüzde oldukça başarılı sonuçlar veren önemli derin öğrenme yapılarından biridir. Çeşitli doğal dil işleme problemlerinde de kullanılmaktadır. ESA mimarisi temelde girdi katmanında bir matris alan, evrişim katmanı, ortaklama katmanı ve tam bağlantı katmanı olmak üzere dört kısımdan oluşur. Evrişim katmanında girdiler farklı filtrelerle evrişim işleminden geçirilerek öznitelik haritaları çıkartılır. Ortaklama katmanında, elde edilen öznitelik haritalarının boyutları azaltılır. Tam bağlantı katmanında ise tüm nöronlar kendinden önceki katmanın tüm çıktılarına bağlı bir çıkış değeri üretir.

3.4. Model Performans Ölçütü

Model performanslarını karşılaştırmak için karışıklık matrisinden (Şekil 2) elde edilen doğruluk oranı, kesinlik, anma ölçümleri kullanılmaktadır. Ancak, veri setindeki sınıf dengesizliğinin sınıflandırma performans ölçütleri üzerindeki etkisi büyüktür ve gözlem sayısı olarak baskın durumdaki sınıf doğruluk oranı, kesinlik, anma ölçümlerini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu yüzden, dengesiz veri setleri üzerinde yapılan çalışmalarda model performanslarını karşılaştırmak için genellikle kesinlik ve anma ölçümlerinin harmonik ortalaması olan F1 Ölçümü yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 2. Karışıklık Matrisi

		Gerçek	
		Pozitif	Negatif
Öngörülen	Pozitif	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Pozitif (YP)
	Negatif	Yanlış Negatif (YN)	Doğru Negatif (DN)

$$Anma(Recall) = \frac{Doğru Pozitif}{Doğru Pozitif + Yanlış Negatif} \quad (8)$$

$$Kesinlik(Precision) = \frac{Doğru Pozitif}{Doğru Pozitif + Yanlış Pozitif} \quad (9)$$

$$F1 Ölçüm = \frac{Kesinlik * Anma}{Kesinlik + Anma} \quad (10)$$

Doğruluk ve F1 Ölçüm ölçümleri literatürde popüler olmasına rağmen dengesiz veri kümelerinde, yanıltıcı sonuçlar doğurabilmektedir. (Luque et al., 2019), sınıflandırma hatalarının da dikkate alınması gerektiği durumlarda Matthews Korelasyon Katsayısının (MKK) (Matthews, 1975) performans ölçütü olarak kullanılmasının en iyi seçim olduğunu göstermişlerdir. MKK hesaplanırken, karışıklık matrisindeki denge oranlar (GP, GN, YP, YN) hesaba katıldığından, MKK F1 Ölçümünden daha

bilgilendiricidir. Denklem 11’de görüldüğü üzere MKK değeri yalnızca model hem negatif hem de pozitif öğeler üzerinde iyi performans gösteriyorsa yüksektir, aksi taktirde sifıra yakın değerler alır. (Chicco & Jurman, 2020)’deki çalışmalarında sınıf dengesizliğinin olduğu veri kümelerinde MKK ölçümü kullanılmasının avantajlarını göstermişlerdir.

$$MKK = \frac{DP * DN - YP * YN}{\sqrt{(DP + YP)(DP + YN)(DN + YP)(DN + YN)}} \quad (11)$$

-1 ve +1 arasında bir değer alan MKK katsayısı, +1 değerini aldığıında model mükemmel bir tahminde bulunur, 0 değerinde modelin tahmini rastgele tahminlerden daha iyi değildir. -1 değerini aldığıında ise model tahmini ile gözlem arasındaki toplam uyumsuzluğu gösterir. Şekil 1’ de görüldüğü üzere veri setimizdeki duruş etiketleri dengesiz bir yapı göstermektedir. Bu yüzden model performans başarımlarını sıralamasını MKK ölçümü ve F1 ölçümlerini birlikte göz önünde bulundurarak yaptık.

3.5. Entegre Gradyanlar Yöntemi

Entegre Gradyanlar (EG), gradyanlara dayalı bir makine öğrenmesi modelinde girdinin her bir özelliğine bir önem değeri atamayı amaçlayan bir yöntemdir (Sundararajan et al., 2017). EG, sınıflandırma ve regresyon modelleri için kullanılabilir.

EG, $F : R^n \rightarrow [0,1]$ bir derin ağı fonksiyonunda $x' \in R^n$ ise temel girdisinden $x \in R^n$ mevcut girdisine kadarki bütün noktadaki gradyanlarının toplamıdır. EG hesaplanırken metin modellerinde temel girdi için genellikle sıfır gömme vektörü kullanılır. Mevcut bir x girdisinin temel x' girdisine kadar i . Boyut boyunca entegre gradyanı aşağıdaki gibi ifade edilir (Sundararajan et al., 2017).

$$EG_i(x, x') = (x_i - x'_i) \int_{\theta=0}^1 \frac{\partial F(x' + \theta(x - x'))}{\partial x_i} d\theta \quad (12)$$

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

4.1. Deneysel Sonuçlar

Oluşturulan veri seti üzerinde makine öğrenmesi, kolektif öğrenme yöntemleri ve evrişimli sinir ağı modeli ile performans ölçümleri yapılmıştır. Veri temsili için makine öğrenmesi ve kolektif öğrenme yöntemlerinde sözcük torbası ve kelime seviyesinde TF-TDF, derin öğrenme yönteminde ise kelime gömme modeli kullanılmıştır. Makine öğrenmesi ve kolektif öğrenme modellerinde 5-kat çapraz geçişleme uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’ te gösterilmiştir.

Tablo 3. Türkçe Duruş Etiketli Veri Seti Üzerinde Yapılan Duruş Sınıflandırması Sonuçları*

Hedef	Evden Çalışma		Maske		E-kitap		Vegan		E-sigara		Aşı	
	F1 Ölçüm	MKK	F1 Ölçüm	MKK	F1 Ölçüm	MKK	F1 Ölçüm	MKK	F1 Ölçüm	MKK	F1 Ölçüm	MKK
NB/ST	0,46	0,24	0,61	0,31	0,49	0,11	0,49	0,13	0,56	0,11	0,70	0,21
NB/TF-TDF	0,32	0,18	0,60	0,31	0,43	0,02	0,38	-0,01	0,52	0,00	0,66	0,00
DVM/ST	0,52	0,28 ³	0,59	0,26	0,55	0,22 ²	0,53	0,22 ³	0,65	0,31 ³	0,76	0,39 ³
DVM/TF-TDF	0,53	0,30 ²	0,62	0,33 ³	0,53	0,18	0,50	0,16	0,62	0,25	0,76	0,43 ¹
AdaBoost/ST	0,51	0,27	0,57	0,23	0,55	0,22 ³	0,52	0,18	0,64	0,33 ²	0,75	0,34
AdaBoost/TF-TDF	0,44	0,18	0,55	0,20	0,55	0,20	0,48	0,13	0,63	0,28	0,75	0,34
XGBoost/ST	0,54	0,31 ¹	0,64	0,37 ¹	0,54	0,18	0,51	0,20	0,65	0,30	0,76	0,39 ²
XGBoost/TF-TDF	0,19	0,01	0,38	0,01	0,43	0,01	0,28	0,02	0,52	0,01	0,68	0,13
RO/ST	0,50	0,27	0,61	0,32	0,55	0,20	0,51	0,21	0,65	0,31 ³	0,69	0,18
RO/TF-TDF	0,49	0,26	0,61	0,33 ²	0,54	0,19	0,51	0,22 ²	0,64	0,28	0,69	0,19
ESA/KG	0,52	0,27	0,60	0,33 ³	0,55	0,24 ¹	0,56	0,25 ¹	0,62	0,36 ¹	0,75	0,33

*MKK değerlerindeki üst indis sıralama göstermektedir.

Yapılan deneylerde yüksek F1 Ölçüm değeri elde eden bazı modeller karışıklık matrisi incelendiğinde tüm sınıfları ayırt etmede başarılı olmadığı görülmüştür. Bu durum veri kümesindeki sınıfların dengesiz dağılımından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple MKK değeri ağırlıklı olmak üzere model başarımları değerlendirilmiştir. Özellikle E-sigara hedefi için alınan sonuçlar incelendiğinde en yüksek F1 Ölçümü sözcük torbası metin temsili ile XGBoost, RO ve DVM modelleri ile elde edilmiş olmasına rağmen MKK değeri ile birlikte başarımları en yüksek model ESA olarak belirlenmiştir.

Tablo 3’ te verilen sonuçlar incelendiğinde Evden Çalışma ve Maske hedefleri için sözcük torbası metin temsili ile XGBoost modeli, E-kitap, Vegan ve E-sigara hedefleri için ESA modeli, Aşı hedefi için TF-TDF metin temsili ile DVM modeli en yüksek başarımları elde etmiştir. Oluşturulan veri seti üzerinde duruş tespit analizi için XGBoost ve ESA modellerinin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Çalışmada kullanılan veri kümesinde karakter sınırlaması yapılmamıştır. Tablo 2’de de görüldüğü üzere yazarlar duruşlarını uzun yorumlar yazarak ifade etmektedirler. Bazı hedefleri için yapılan yorumların, çok uzun yazıldığı, yorumlar da hedef dışındaki konulardan bahsedildiği hatta diğer duruş sınıflarını da destekleyecek şekilde ifadelerin kullanıldığı görülmüştür. Bu durum her hedef için oluşturulan modellerin girdi vektörlerinde kullanılan tekil kelime sayısının farklı olmasına, dolayısıyla birçok elemanı sıfır olan büyük girdi vektörleri kullanan modeller oluşturulmasına neden olmuştur. Örneğin Vegan hedefi için yapılan yorumlarda 10526 tekil kelime kullanılırken Maske hedefi için 4343 tane tekil kelime kullanılmıştır. Bu yüzden en yüksek başarımları gösteren modeller, her hedef için farklılık göstermektedir.

4.2. Entegre Gradyanlar Yöntemi ile Girdi Verilerinin Yorumlanması

Günümüzde yapay öğrenme modelleri ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Modellerin açıklanabilir ve yorumlanabilir olması sonuçların değerlendirilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu sebep ile bu bölümde EG yöntemi Türkçe Duruş Etiketli Veri Seti üzerinde eğitilmiş bir ESA modeline uygulanmıştır. ESA modeli 250 filtrelili bir evrişim katmanı, global maksimum hesaplaması yapan bir ortaklama katmanı ve 250 düğümden oluşan bir gizli katmandan oluşmaktadır. Metin sınıflandırma modellerinde, EG, girdi cümlesindeki her kelime için bir önem değeri hesaplar. Oluşturulan ESA modeli için girdilerin her bir özneliğinin model tahminine katkısı hesaplanmıştır. Girdi verisinde yer alan her kelimenin model tahminine sağladığı katkı görselleştirilerek sunulmuştur. Bu görselleştirme yorumlardaki kelimelerin katkılarına göre renklendirilerek yapılmıştır. Modelin kararına olumlu katkı sağlayan kelimeler yeşil, olumsuz katkı sağlayan kelimeler pembe ve katkısı olmayan kelimeler gri olarak renklendirilmiştir. Renklerin yoğunluğunun artması kelimenin model tahminine yaptığı katkının arttığı anlamına gelmektedir. Şekil 3' de EG

yöntemi ile girdi verilerinin model tahminine katkısı görsel olarak gösterilmiştir.

EG yöntemi ile girdi verilerinde yer alan kelimeler incelendiğinde model tahminlerinde bazı hedefler için bazı kelimelerin katkı sağladığı görülmüştür. Aşı ve E-sigara hedefleri için yapılan yorumlarda bağlaçların kullanılması modelin “Duruş Yok” tahmini yapmasına katkı sağlamıştır. E-kitap hedefi için ‘e’, ‘elektronik’, ‘amazon’, ‘internet’ gibi kelimeler modelin “Destekliyor” duruş tahmini yapmasına katkı sağlarken E-sigara hedefi için ‘cihaz’, ‘nikotin’, ‘elektronik’, ‘likit’, ‘normal’, ‘değil’ kelimeleri, modelin “Destekliyor” duruş tahmini yapmasına katkı sağlamıştır. Benzer şekilde Evden Çalışma hedefi için ‘süre’, ‘mesai’, ‘daha’, ‘zor’ kelimeleri modelin “Desteklemiyor” duruş tahmini yapmasına katkı sağlarken, Maske hedefi için ‘takmak’, ‘çünkü’, ‘korumak’, ‘hasta’ kelimeleri modelin “Destekliyor” duruş tahmini yapması için katkı sağlamıştır. Vegan hedefi için ayırt edici kelime grupları elde edilememiştir. Kelimelerin tek başına katkılarından ziyade girdi verisinde birlikte buldukları kelimelerle tahmine daha çok etki ettikleri görülmüştür. Art arda yer alan bazı ikili ve üçlü kelime gruplarının model tahminine daha çok katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Şekil 3. EG Yöntemi ile Girdi Verilerinin Model Tahminine Katkılarının Görselleştirilmesi.⁵

Hedef	Yorum	Tahmin
Evden Çalışma	ofisten çalışmaktan kesinlikle daha zor *	Desteklemiyor
Maske	maske takmak seni korumaz karşıdakini korur ama kimin taşıyıcı kimin pozitif olduğunun bilinmediği kalabalık yerlerde herkesin takması daha iyidir herkes takarsa anlamı vardır eldiven de ancak yarım saat korur sonra çıkartmak gerekir ve eldivenli iken ele yüze dokunmamak gerekir **	Destekliyor
e-kitap	kitaplardan kurtulabileceğinizi sanmayın ***	Duruş Yok

5. Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Duruş tespit analizi, metin yazarının bir hedefe yönelik duruşunun otomatik olarak bulunmasını amaçlayan bir çalışma konusudur. Bu çalışmanın en büyük katkısı Türkçe dilinde kapsamlı bir duruş etiketli veri setinin oluşturulmuş olmasıdır. Bu veri seti bildiğimiz kadarıyla Türkçe dili için en büyük duruş etiketli veri setidir. Bu veri seti üzerinde NB, DVM, Kolektif Öğrenme ve ESA yöntemleri kullanılarak duruş analizi çalışması yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda hedef bazı farklılıklar olmakla beraber en yüksek başarımlar XGBoost ve Evrişimli Sinir Ağı modelleri ile elde edilmiştir. Deney sonuçları literatürdeki mevcut duruş tespiti çalışmalarında elde edilen sonuçlara benzerdir. Durak kelimelerinin kullanımı modellerin performansını yükseltmiştir. Veri setinde çok uzun yorumların bulunması ve sınıfların dengesiz dağılımı modellerin performansını olumsuz etkilemiştir. Bu sebeple oluşturulan veri setinin genişletilmesi amaçlanmaktadır. Kullandığımız üç metin temsili de kelimelerin cümle içindeki yer bilgisini göz ardı etmektedir. Bu bilginin duruş tespiti için önemli olabileceği

düşünülmektedir. Bu sebeple, Türkçe Bert gibi önceden eğitilmiş dil modelleri ve dikkat mekanizmalı derin bellek ağları gibi yapılar kullanılarak daha başarılı modeller geliştirilmesi planlanmaktadır.

EG yöntemi ile ESA modelinde girdilerin özneliklerinin model tahminine katkıları incelenmiştir. Yorumdaki kelimelerin duruş tahmini için modele etkileri görselleştirilerek yorumlanmıştır. Bunun sonucunda bazı hedefler için bazı kelimelerin model tahminine yüksek katkı yaptıkları görülmüştür. Fakat bu kelimeler Türkçe dili için hedef bazlı bir duruş sözlüğü oluşturulmasına yeterli olmamıştır. İlerleyen zamanlarda hedef bazlı Türkçe duruş sözlükleri oluşturularak Türkçe duruş tespit başarımının artırılması amaçlanmaktadır.

6. Teşekkür

Türkçe Duruş Veri Setinin hazırlanması sırasında metinlerin “Destekliyor” / “Desteklemiyor” / “Duruş Yok” olarak etiketlemedeki yardımlarından dolayı Starlang Yazılım ve Danışmanlık Sanayi ve Ticaret Ltd. çalışanları Sayın Büşra

⁵ * <https://eksisozluk.com/entry/109334587> (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2021).

** <https://eksisozluk.com/entry/103795301> (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2021).

*** <https://eksisozluk.com/entry/26973184> (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2021).

Marşan, Bilge Nas Arıcan, Neslihan Kara, Neslihan Cesur, Ezgi Sanıyar, Oğuzhan Kuyrukçu, Aslı Kuzgun, Merve Özçelik'e yazarlar olarak teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- Addawood, A., Schneider, J., & Bashir, M. (2017). Stance Classification of Twitter Debates: The Encryption Debate as A Use Case. *Proceedings of the 8th International Conference on Social Media & Society*. <https://doi.org/10.1145/3097286.3097288>
- Aker, A., Derczynski, L., & Bontcheva, K. (2017). Simple open stance classification for rumour analysis. *ArXiv Preprint ArXiv:1708.05286*.
- Aldayel, A., & Magdy, W. (2019). Your stance is exposed! analysing possible factors for stance detection on social media. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 3(CSCW), 1–20.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). Xgboost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794.
- Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, 21(1), 6.
- Chollet, F. (2018). *Deep Learning mit Python und Keras: Das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek* (pp. 180–195). MITP-Verlags GmbH & Co. KG.
- Dey, K., Shrivastava, R., & Kaushik, S. (2017). Twitter stance detection—A subjectivity and sentiment polarity inspired two-phase approach. *2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, 365–372.
- Du Bois, J. W. (2007). The stance triangle. *Stancetaking in Discourse: Subjectivity, Evaluation, Interaction*, 164(3), 139–182.
- Fake News Challenge*. (2017). <http://www.fakenewschallenge.org/>
- Freund, Y., & Schapire, R. E. (1997). A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. *Journal of Computer and System Sciences*, 55(1), 119–139.
- HaCohen-Kerner, Y., Ido, Z., & Ya'akobov, R. (2017). Stance classification of tweets using skip char ngrams. *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*, 266–278.
- Hercig, T., Krejzl, P., Hourová, B., Steinberger, J., & Lenc, L. (2017). Detecting Stance in Czech News Commentaries. *ITAT*, 176–180.
- Küçük, D. (2017). Stance Detection in Turkish Tweets. *ArXiv Preprint ArXiv:1706.06894*.
- Küçük, D., & Can, F. (2018). Stance Detection on Tweets: An SVM-based Approach. *ArXiv Preprint ArXiv:1803.08910*.
- Küçük, D., & Can, F. (2019). A Tweet Dataset Annotated for Named Entity Recognition and Stance Detection. *ArXiv Preprint ArXiv:1901.04787*.
- Lai, M., Farvías, D. I. H., Patti, V., & Rosso, P. (2016). Friends and enemies of clinton and trump: using context for detecting stance in political tweets. *Mexican International Conference on Artificial Intelligence*, 155–168.
- Liu, C., Li, W., Demarest, B., Chen, Y., Couture, S., Dakota, D., Haduong, N., Kaufman, N., Lamont, A., Pancholi, M., & others. (2016). Iucl at semeval-2016 task 6: An ensemble model for stance detection in twitter. *Proceedings of the 10th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval-2016)*, 394–400.
- Luque, A., Carrasco, A., Martín, A., & de las Heras, A. (2019). The impact of class imbalance in classification performance metrics based on the binary confusion matrix. *Pattern Recognition*, 91, 216–231.
- Matthews, B. W. (1975). Comparison of the predicted and observed secondary structure of T4 phage lysozyme. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Protein Structure*, 405(2), 442–451.
- Mohammad, S., Kiritchenko, S., Sobhani, P., Zhu, X., & Cherry, C. (2016). Semeval-2016 Task 6: Detecting Stance in Tweets. *Proceedings of the 10th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval-2016)*, 31–41. <https://doi.org/10.18653/v1/S16-1003>
- Mohammad, S. M., Sobhani, P., & Kiritchenko, S. (2017). Stance and sentiment in tweets. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 17(3), 1–23.
- Natekin, A., & Knoll, A. (2013). Gradient boosting machines, a tutorial. *Frontiers in Neuroinformatics*, 7, 21.
- Saif, H., Fernández, M., He, Y., & Alani, H. (2014). *On stopwords, filtering and data sparsity for sentiment analysis of twitter*.
- Sobhani, P., Inkpen, D., & Matwin, S. (2015). From argumentation mining to stance classification. *Proceedings of the 2nd Workshop on Argumentation Mining*, 67–77.
- Sobhani, P., Inkpen, D., & Zhu, X. (2017). A Dataset for Multi-Target Stance Detection. *Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Volume 2, Short Papers*, 551–557. <https://www.aclweb.org/anthology/E17-2088>
- Sundararajan, M., Taly, A., & Yan, Q. (2017). Axiomatic attribution for deep networks. *ArXiv Preprint ArXiv:1703.01365*.
- Taulé, M., Martí, M. A., Rangel, F. M., Rosso, P., Bosco, C., Patti, V., & others. (2017). Overview of the task on stance and gender detection in tweets on Catalan independence at IberEval 2017. *2nd Workshop on Evaluation of Human Language Technologies for Iberian Languages, IberEval 2017*, 1881, 157–177.
- Tsakalidis, A., Aletras, N., Cristea, A. I., & Liakata, M. (2018). Nowcasting the stance of social media users in a sudden vote: The case of the Greek Referendum. *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, 367–376.
- Xu, C., Paris, C., Nepal, S., & Sparks, R. (2018). *Cross-Target Stance Classification with Self-Attention Networks*.
- Xu, R., Zhou, Y., Wu, D., Gui, L., Du, J., & Xue, Y. (2016). Overview of nlpcc shared task 4: Stance detection in chinese microblogs. In *Natural Language Understanding and Intelligent Applications* (pp. 907–916). Springer.
- Yildiz, O. T., Avar, B., & Ercan, G. (2019). An Open, Extendible, and Fast Turkish Morphological Analyzer. *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Natural Language Processing (RANLP 2019)*, 1364–1372. https://doi.org/10.26615/978-954-452-056-4_156
- Zhang, S., Qiu, L., Chen, F., Zhang, W., Yu, Y., & Elhadad, N. (2017). We make choices we think are going to save us: Debate and stance identification for online breast cancer

CAM discussions. *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*, 1073–1081.
Zhou, Y., Cristea, A. I., & Shi, L. (2017). Connecting targets to tweets: Semantic attention-based model for target-specific stance detection. *International Conference on Web*

Information Systems Engineering, 18–32.
Zubiaga, A., Aker, A., Bontcheva, K., Liakata, M., & Procter, R. (2018). Detection and Resolution of Rumours in Social Media: A Survey. *ACM Comput. Surv.*, 51(2).
<https://doi.org/10.1145/3161603>



Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan FRP Kompozitin Yapısal Performansa Etkisi

Müslüm Murat Maraş^{1*}

^{1*} İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6324-207X), murat.maras@inonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 20 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 6 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.797437)

ATIF/REFERENCE: Maraş, M.M. (2021). Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan FRP Kompozitin Yapısal Performansa Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 108-119.

Öz

Son yıllarda betonarme yapılarda deprem sonrası yapılan araştırmalarda, betonarme yapı tasarımındaki koşulların dikkate alınmadığı gözlenmiştir. Betonarme yapı elemanlarında, farklı tasarım hataları ve yapısal düzensizliklerden dolayı, birçok hasar meydana gelmektedir. Deprem etkisi altında, bu yapılarda özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde donatının akma noktasını geçmesi ile büyük dönmelerin meydana gelmesi sonucu, ağır hasarlar oluşmaktadır. Günümüzde, bu hasarlı yapılar için farklı güçlendirme çalışmaları yapılmaktadır. İnşaat sektöründeki gelişmelerle birlikte bu hasarlı betonarme binaların Fiber Takviyeli Polimer (FRP) kompozitlerle güçlendirilmesi büyük bir önem kazanmıştır. Yüksek çekme mukavemetine sahip olan bu kompozitler, deprem etkisinde yüksek oranda enerji yutarak ve büyük deplasmanlar yaparak sünek davranış sergilerler. Yapılan çalışmada, FRP kompozitlerin betonarme yapı elemanlarındaki önemi ve mühendislik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu kompozitlerin yapı taşıyıcı sistemlerinin farklı bölgelerinde farklı teknikler kullanarak uygulanmasıyla, taşıyıcı yapısal davranışlarının öneminin arttığı görülmüştür. Sonuç olarak, FRP kompozitlerin inşaat sektöründe yapı taşıyıcı sistemlerde güçlendirme çalışmalarında kullanılmasıyla birlikte yapının ekonomik ömrünün arttırılabileceği ve yapı elemanlarının kesit ve donatı oranlarında azalmalara gidilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Fiber takviyeli polimer (FRP), güçlendirme, çekme, sünek.

Effect of FRP Composite Used in Strengthening Reinforced Concrete Structures on Structural Performance

Abstract

In recent years, in post-earthquake studies on reinforced concrete (RC) structures, it has been observed that the conditions in reinforced concrete structure design are not considered. Much damage occurs in these structures due to different design errors and structural irregularities. Under the influence of earthquakes, severe damages occur in the RC building elements, especially in column-beam joints, as a result of large rotations occurring when the reinforcement passes the yield point. Nowadays, different strengthening works are carried out for these damaged structures. Along with developments in the construction industry, the idea of strengthening buildings has gained great importance to reinforce these damaged RC buildings with fiber reinforced polymer (FRP) composites. These composites have high tensile strength, exhibit ductile behavior by absorbing high amounts of energy, and cause large displacements under earthquake conditions. In this study, the importance of FRP composites in RC building elements and their effects on engineering properties were investigated. It was observed that the importance of structural behaviors of these composites increases with the application of different techniques to using different parts of the building carrier systems. As a result, it is thought that by using FRP composites in reinforced works in building carrier systems in the construction sector, the economic life of the building can be increased, and the cross-section and reinforcement ratios of the building elements can be reduced.

Keywords: Reinforced concrete (RC), Fiber-Reinforced Polymer (FRP), strengthening, tensile, ductile.

* Sorumlu Yazar: murat.maras@inonu.edu.tr

1. Giriş

Fiber Takviyeli Polimer (FRP) kompozit malzemeler ilk olarak 1975 yılında Rusya'da FRP takviyeli donatı çubukları olarak kullanılmıştır (Hollaway, 2010). 1980'lerde Avrupa'da, köprü restorasyonlarının güçlendirme çalışmalarında bu kompozit malzemeler kullanılmıştır (Mugahed ve ark., 2018). Japonya'da, FRP 1990'lı yıllarda betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılırken, Amerika Birleşik Devletleri'nde ise bu kompozitler yaklaşık son 25 yıldır güçlendirme çalışmalarında kullanılmaktadır (Nanni 2001, Teng ve ark., 2002). Son yıllarda ülkemizde mevcut yapıların iyileştirilmesi amacıyla, çevresel kaynaklı etkiler (deprem, sel, v.b) ve mevcut tasarım gereksinimlerini karşılama ihtiyacından dolayı FRP kompozitler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (İlki ve ark., 2011, Lampros ve ark., 2019). Bu kompozitlerin avantajları (hafif olması, uygulama kolaylığı sağlaması, yüksek korozyon direnci ve daha az işçilik gerektirmesi vb.) (Arboleda ve ark., 2016) ve dezavantajları (yüksek maliyete sahip olması, yüksek sıcaklıklarda zayıf performans göstermesi ve ıslak yüzeylere uygulanamaması vb.) (Bournas ve ark., 2015) vardır. Mevcut avantaj ve dezavantajlar göz önüne alındığında, daha üstün özelliklerinden dolayı, son yıllarda FRP kullanımı inşaat sektöründe birçok araştırmacı tarafından güçlendirme çalışmalarında tercih edilmektedir (Kaproń ve Van Gemert 2013, Rasheed ve ark., 2018, Hawileh ve ark., 2019).

Yüksek performanslı FRP malzemeleri yük direncinin yanı sıra, mevcut yapısal elemanları geri kazanmak amacıyla yapı taşıyıcı elemanlara da uygulanmaktadır (Junaid ve ark., 2020). Bu malzemeler özellikle; kirişlerin, döşemelerin, kolonların ve duvar yapı elemanlarının eğilme ve kayma direncine karşı kullanılmaktadır (Maranan, 2016). FRP'ler genelde karbon (CFRP), aramid (AFRP) ve cam (GFRP) takviyeli polimer malzemelerden elde edilmektedir. CFRP, çok yüksek çekme mukavemetine sahip olması nedeniyle, güçlendirme çalışmalarında geniş kullanıma sahiptir. Bu malzeme geleneksel çelik malzemeden 5 kat daha hafif olup, gerilme dayanımı ise 8-10 kat daha fazladır (Garcia ve ark., 2014). CFRP, GFRP ve AFRP kompozit malzemelerin birim ağırlığı sırasıyla 1,5-1,6 g/cm³, 1,2-2,1 g/cm³ ve 1,2-1,5 g/cm³ arasında değişmektedir (Siddika ve ark., 2019). Bu malzemelerin geleneksel tekniklere göre oldukça hızlı ve kolay uygulanması ve yüksek çekme mukavemetine sahip olmaları nedeniyle güçlendirme alanında kullanımları giderek artmaktadır (İlki ve Kumbasar, 2002). FRP'ler güçlendirme çalışmalarında betonarme eleman kesitlerin dayanım kaybına uğramadan ulaşabileceği şekil değiştirme düzeyini artırmış ve bu özelliğiyle enerji yutma kapasitesini geliştirdiği görülmüştür (Camata ve Soudki 2004, El-Hacha ve ark., 2013).

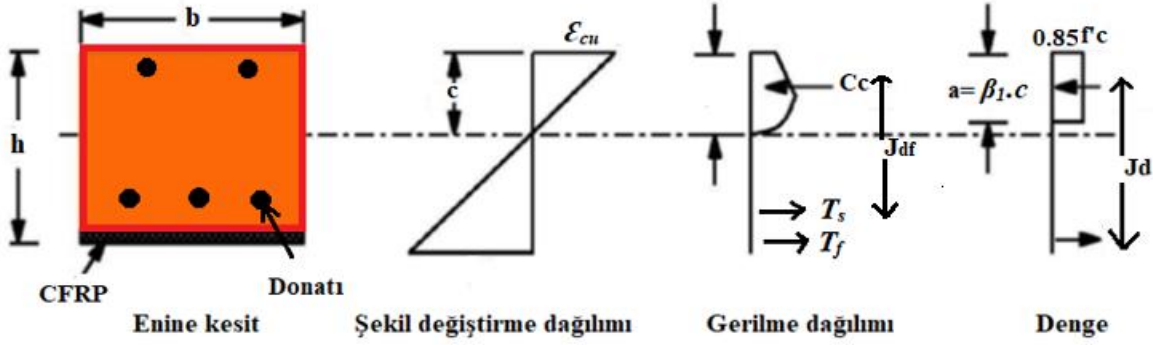
Bu çalışmada, FRP kompozitlerin güçlendirme çalışmalarında yapı elemanlarındaki mekanik özellikleri nasıl etkilediği çok sayıda literatür çalışması göz önüne alınarak incelenmiştir. Ayrıca, bu kompozitlerin inşaat mühendisliği uygulamalarındaki gelişimi ve bu gelişmelerin betonarme elemanların yapısal performansına etkisi sunulmuştur. Bu çalışmada, kompozit üretiminde FRP kullanımının önemi, farklı türleri, uygulama şekilleri ve hasar biçimleri betonarme yapı elemanları üzerinde etkisi hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

2. FRP Kullanımının Yapısal Davranışa Etkisi

Ülkemizde, son yıllarda deprem sonrası hasar tespitlerinde betonarme yapıların deprem yönetmeliklerine uyulmadan inşaa edildiği, yapılan birçok çalışmada (Dogangün 2004, Celep ve ark., 2011, Baran ve Tankut 2011) belirtilmiştir. Bu yapılarda geçmişte yaşanan depremler sonrası yapılan incelemelerde, birçok ağır hasar ve göçmeler meydana gelmiştir. Betonarme binalarda genellikle kötü işçilik ve yapım hatalarından kaynaklı hasarlar gözlenmiştir (Erberik 2008). Bu tür yapıların taşıyıcı sistemlerinde; yetersiz etriye kullanımı, kısa kolon, güçlü kiriş-zayıf kolon gibi birçok düzensizlikten dolayı ağır hasarlar meydana gelmiştir (Dazio ve ark., 2008). Depreme maruz kalmış bu yapı elemanlarında, özellikle birleşim bölgelerine yakın kısımlarda, kesitlerin çekme bölgesinde donatı akma noktasını geçerek plastik mafsallar oluşmuştur (Laura ve ark., 2014). Ayrıca, yanal yük etkisinde betonarme dolgu duvar elemanları kullanılmadan üretilen çerçeve sistemlerde ise, ciddi oranda dayanım ve yanal rijitlik değerlerinde azalmalar olduğu görülmüştür (Anil ve Altın, 2017). Yapının deprem davranışına olumlu katkısı bulunan bu dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin, mevcut yapı elemanlarının FRP güçlendirme yöntemleriyle ideal betonarme perdeli sistem davranışına yaklaştırdığı gözlenmiş olup, son yıllarda da bu malzemelerin kullanımı popülerlik kazanmıştır (Asteris ve ark., 2011).

FRP malzemelerin yüksek eğilme, kayma ve çekme mukavemetleri gibi mekanik özelliklerinden dolayı, güçlendirme çalışmalarındaki yapısal davranışları oldukça önemlidir (Zarringol, 2016). Bu malzemelerin uygulamalarında genellikle epoksi ve polyester esaslı yapıştırıcılar kullanılır (Ammar, 2014). Epoksi esaslı kompozitlerin dayanımları, polyester bazlı kompozitlerin dayanımından daha fazladır (Dhawan ve ark., 2013). Şekil 1'de dikdörtgen kesitli betonarme kiriş elemanın FRP kompozit malzeme kullanılarak güçlendirilen kiriş numunesinin yapısal davranışı (enine kesiti, gerilme ve şekil değiştirme dağılımı) detaylı olarak gösterilmiştir (Tarigan ve ark., 2019). Eğilme yükü altında parabolik gerilme dağılımının hesaplanmasında, betonarme elemanlarda çekme kuvvetlerini karşılayan bu FRP kompozitler, oldukça büyük öneme sahip olduğu da yapılan teorik hesaplamalarla gözlenmiştir. Bu yapı elemanlarında farklı yükler altında özellikle yetersiz etriye kullanılmasından dolayı; düşük çekme dayanımı, düşük tokluk değerleri elde edilmekte ve bu elemanlar gevrek özelliğe sahip davranışlar sergilemektedirler. FRP ile güçlendirilen yapı elemanları ise, sünek kırılma davranışı göstererek, hasar oluşumları engellenmiş ve böylece bu elemanların sismik yükler altında yapısal davranışı gelişmiştir. Ayrıca, bu kompozitler, plastik şekil değiştirme esnasında, birçok kılcak çatlak oluşmasını engellemiş ve ilk çatlak oluşumundan sonra yük taşıma kapasitesi artarak şekil değiştirmeye devam etmiştir (Gu ve ark., 2012).

Denklem (3) çift donatılı bir betonarme kiriş için denge denklemi olarak kullanılmaktadır. Denklem (4)'e göre, FRP kompozit malzemelerin eğilme kapasitesine katkısı $A_{sf} \cdot f_{yf} \cdot j_{df}$ olarak ifade edilmiştir. Bu nedenle, FRP kompozitleri eklenerek betonarme kirişlerin eğilme kapasitesinin artacağı görülmektedir.



Şekil 1. FRP malzemelerinin betonarme kesitinde gerilme-şekil değiştirme dağılımı

$$T_f = A_{sf} \cdot f_{yf} \quad (1)$$

$$C_c = T_s + T_f \quad (2)$$

$$0,85 f'c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y + A_{sf} \cdot f_{yf} \quad (3)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot j_d + A_{sf} \cdot f_{yf} \cdot j_{df} \quad (4)$$

Burada, T_f : FRP çekme dayanımı (N); T_s : donatının çekme dayanımı(N); J_d : C_c ile T_s arasındaki mesafe; A_{sf} : FRP alanı

3. Fiber Takviyeli Polimer

3.1. FRP türleri

FRP kumaşlar güçlendirme alanında en sık kullanılan fiber polimer kompozit türü olan lif katmanlarının bir araya getirilmesiyle oluşur (Dindar, 2020). Her katmanda farklı doğrultularda dizilerek farklı fiziksel ve mekanik özelliklerle tek ve çift yönlü olarak elde edilirler. Tek yönlü fiberler "anizotropik" olarak adlandırılırlar. Çift doğrultulu düzlem şeklindeki fiberler ise, her açıda farklı mukavemet gösterirler (Ozkul ve Yıldırım, 2000). Üç boyutlu olarak dizilen fiberler ise "izotropik" olarak adlandırılırlar. Fakat tek yönlü olanlara göre dayanımları daha düşüktür (Liu ve ark., 2010). İnşaat sektöründe kullanılan pultrüzyon tekniği ile üretilen Karbon elyaf (CFRP üretmek için), cam elyaf (GFRP üretmek için), bazalt elyaf (BFRP üretmek için), aramid elyaf (AFRP üretmek için) ve hibrit elyaf (HFRP üretmek için) olmak üzere beş farklı FRP kompozit takviyesi bulunmaktadır (Sahu, 2014). Şekil 2'de FRP türleri detaylı olarak verilmiştir.

3.1.1. CFRP

Karbon fiberlerin çapları 5 ila 10 μ m arasında sınırlıdır. Bu lifler, kristal düzenlemede yüksek mukavemet/hacim oranı göz önüne alındığında, her iki kristalde de bağlanan ve liflerin uzun eksenine paralel olarak daha az veya daha fazla hizalanan karbon atomlarından oluşur (Meier, 2012). CFRP, son derece hafif ve güçlü bir FRP kompozit malzeme türüdür. Bu kompozit son derece yüksek gerilme mukavemetine sahiptir ve ayrıca çeliğe benzer şekilde ultra sünek bir davranış gösterir (Dindar, 2020). Bu malzemeler en yüksek çekme dayanımına ve güçlendirmelerde geniş kullanım alanına sahip olan kompozitlerdir (Zhou ve ark., 2010).

3.1.2. GFRP

Cam elyafı olarak da bilinen GFRP, genellikle kompozit olarak ağırlıkça %0,5–2,0 oranında fibreglas kullanılan takviyeli plastik kompozit malzemedir (Lubin, 1975). GFRP, bir tür plastik bileşiktir. GFRP'nin mekanik özellikleri lif tipi, lif içeriği ve lif ile matris arasındaki bağ ile değişmektedir (Cabral, 2005). GFRP yüksek mukavemete sahiptir ve ayrıca; mükemmel ısı yalıtımı, yüksek ısı direnci ve düşük maliyete sahip olma özelliğiyle köprülerde, tarihi yapılar ve betonarme yapı elemanlarında güçlendirme malzemesi olarak kullanılmaktadır (Dindar, 2020). GFRP, bu malzemeler içerisinde en düşük maliyetli olanıdır. Bu sebeple çokça tercih edilir (Brothers, 2001).

3.1.3. AFRP

Aramid elyaflar yapay yüksek performanslı, orta derecede sert polimer zincirler ile üretilmiş ve ısıya dayanıklı olarak sınıflandırılmış, güçlü sentetik elyaflardır (Ammar, 2014). AFRP ise, lif hizalama yönüne ve yüksek yüke bakılmaksızın düşük basınç dayanımı göstermesi nedeniyle popüler bir yapısal malzeme değildir (Davies ve ark., 2010). Aramid elyaf, genelde savunma ve otomotiv sanayisinde etkili bir şekilde dayanıklı kumaşlar olarak kullanılır (Palmieri ve ark., 2012). Alkali ortamlara yüksek sülfat direnci göstermesi nedeniyle, CFRP takviye malzemelerinden daha fazla tercih edilir. AFRP son derece düşük basınç dayanımına ve yüksek gerilme dayanımına sahip olduğundan, genelde hafif yapılarda güçlendirme olarak kullanılır (Nakayama ve ark., 2008).

3.1.4. BFRP

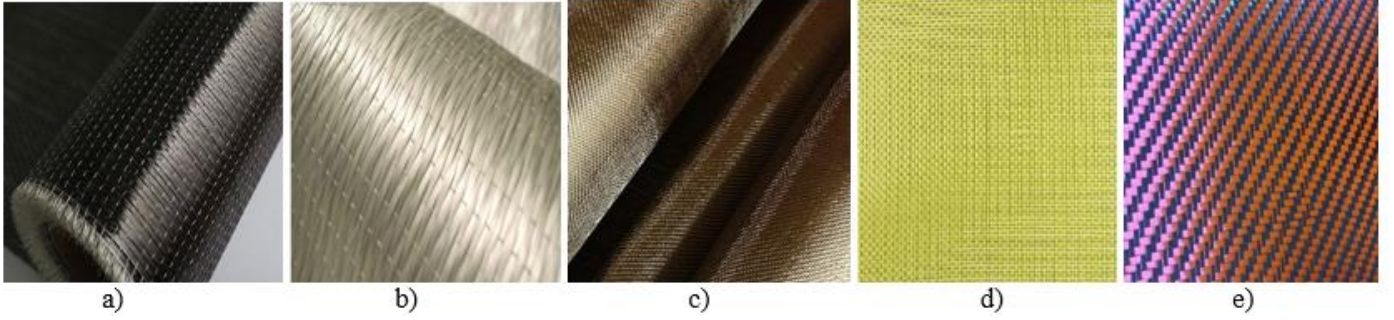
Bazalt lifleri, ince liflerden yapılmış kompozit malzemelerdir. Çapı yaklaşık 10 ile 20 μ m arasındadır. BFRP, inşaat sektörü için yeni kompozit malzeme olarak tasarlanan alternatif polimerik kompozittir (Sarasini ve ark., 2014). Bu kompozit, sertlik, mukavemet, matris oluşumu ve geliştirmeye yardımcı olur, ayrıca termal iletkenlik, ısıya, korozyona, kimyasal ve fiziksel dirence karşı da, oldukça dayanıklıdır.

GFRP'den farklı olarak, BFRP'nin üretici kapasitesi yetersizliği nedeniyle maliyeti daha yüksektir (Banibayat ve Patnaik, 2013).

3.1.5. HFRP

Hibrit fiber takviyeli polimer (HFRP) tek bir matris içinde iki veya daha fazla takviye edici polimer lif türü ile üretilen kompozit malzemelerdir. Yüksek modüllü lif esaslı kompozit malzemelerin, düşük modüllü olanlara göre sertlik ve yük taşıma kapasite özellikleri daha iyi olup ancak maliyet bakımından ekonomik değildir. Benzer şekilde Yang ve ark., (2013) tarafından yapılan çalışmada, bu kompozitlerin üretiminde daha

düşük bir maliyetle yüksek dayanıma sahip kompozit üretilmesi hedeflenmiştir. Bu FRP polimer kompozitler, güçlendirme alanında en fazla geliştirilmiş malzemelerdir, çünkü dayanımları genellikle aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre oldukça yüksektir (Zhang ve ark., 2007, Yıldız ve ark., 2019). CFRP ve BFRP elyaf kompozitler, AFRP ve GFRP elyaf kompozitlere göre daha çok dayanımına ve tokluğa sahiptirler (Lawler ve ark., 2005, Maalej ve ark., 2005). Tablo 1'de FRP türlerinin mekanik ve fiziksel özellikleri, Tablo 2'de ise bu özelliklerin detaylı olarak karşılaştırılması sunulmuştur.



Şekil 2. a) karbon elyaf (CFRP); b) cam elyaf (GFRP); c) bazalt elyaf (BFRP); d) aramid elyaf (AFRP); e) hibrit elyaf (HFRP)

Tablo 1. Değişik türdeki FRP tiplerinin mekanik ve fiziksel özellikleri

FRP türü	Birim hacim ağırlık ($g.m^{-3}$)	FRP kalınlık (mm)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Kopma miktarı (%)
BFRP[Ammar, 2014]	1500	-	1350	52	2,80
CFRP[Ammar, 2014]	1600	-	3600	580	1,90
BFRP[Banibayat v.d., 2013]	-	-	1100	70	2,20
HFRP[Gribniak v.d., 2017]	-	1,60	400	28	2,10
HFRP[Gribniak v.d., 2017]	-	1,60	218	28	0,85
CFRP[Koutas v.d., 2013]	200	0,115	3790	230	25,6
GFRP[Koutas v.d., 2013]	915	0,36	3240	72,4	-
CFRP[Al-Saidy v.d., 2010]	340	0,45	1548	89	1,74
CFRP[Adhikari v.d., 2009]	-	-	2068	124	1,70
GFRP[Adhikari v.d., 2009]	-	-	710	46,4	1,50
AFRP[Adhikari v.d., 2009]	1440	-	2800	123	2,00

Tablo 2. FRP kompozitlerinin tasarımındaki özelliklerinin karşılaştırması

FRP kriterleri	FRP Türleri				
	CFRP	GFRP	AFRP	BFRP	HFRP
Çekme dayanı	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi	Çok iyi
Basınç dayanımı	Çok iyi	Yetersiz	İyi	İyi	Çok iyi
Elastisite modülü	Çok iyi	İyi	Yeterli	İyi	Çok iyi
Süneklik	Çok iyi	İyi	Yeterli	İyi	Çok iyi
Kırılma	Mükemmel	İyi	Yeterli	Yeterli	Mükemmel
Yoğunluk	İyi	Mükemmel	Yeterli	Yeterli	İyi
Alkali direnci	Çok iyi	İyi	Yetersiz	Mükemmel	Çok iyi
Maliyet	Pahalı	Ucuz	Pahalı	Normal	Pahalı

3.2. Polimer matrisler (reçineler)

Reçineler fiberleri birbirine bağlayan plastik veya polimerlerle oluşturulan malzemelerdir. Bu malzemeler lifler arasında yük transferini sağlayarak oluşabilecek hasarlardan korur. FRP'de asıl taşıyıcı bu liflerdir, ama reçinenin önemi hiçbir zaman göz ardı edilmemelidir. Üretim sırasında reçine seçimi çok önemlidir, çünkü seçilen reçine kompozitlerin

özelliklerinde düşük sürtünme nedeniyle güçlendirmede kullanılmayacak ve termal dirençlerde termoplastik polimer olarak uygulanamayacaktır (Önal, 2014). Reçine, birçok FRP kompozitin etkileşim maddesidir ve matris olarak da bilinir. En tipik reçineler iki farklı türde olup, termoplastik ve termoset reçinelerdir, bu polimerler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır (Daniel ve ark., 2019).

3.2.1. Termoplastikler

Termoplastikler, sentetik polimerlerin büyük bir kısmını oluşturan, belirli sıcaklıklarda yumuşayarak kolay olarak şekillendirilen ve defalarca sıcaklık değişimlerinden etkilenmeden yeniden şekil verilebilen yapı malzemeleridir (Çöğür, 2007).

3.2.2. Termosetler

Termosetler, genellikle çapraz bağlı molekül yapılarında meydana gelen polimerleşme sonucu, yumuşama sırasında ilk formlarını koruyarak belli bir sıcaklık derecesinden sonra erimeksizin karbonlaşmaya uğrayan ve ısı karşısında artık değişim göstermeyen plastik malzemelerdir. Termoset matris polimerler, düşük vizkoziteli ve düşük moleküler ağırlıklı sıvılardan oluşur (Lee ve ark., 2000).

Termoset reçineleri, gelişmiş mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptirler. Polietilen, polivinil klorür, polipropilen ve poliüretan gibi termoplastikler termosetlere göre, üretimi daha pahalı ve çevreci ürünlerdir. Genel olarak reçineler, polimer, metal ve seramik malzemelerden oluşabilir. Lif türüne ve polimer matrisine bağlı olarak bu malzemelerin davranışı, mekanik özelliklerine göre Tablo 3'de, detaylı olarak verilmiştir (Nasser ve ark., 2019). Bu matrislere kolayca şekil verilebilir ve bu matrislerin priz alma süresi de oldukça hızlıdır. Epoksi, vinylester ve polyester malzemeleri, termoset matrisleri adı altında yer almaktadır.

3.2.2.1. Epoksi

Epoksi, temel yapışkan bileşenlerden veya kürlenmiş son ürünlerden üretilen termoset reçine türüdür. Genellikle temiz yüzeye uygulanır (Dindar, 2020). Ana epoksi türleri, glisidil olmayan ve glisidil epoksilerdir. Glisidil epoksi reçineleri, glisidil eter ve glisidil ester; glisidil olmayan epoksi reçineleri ise, sikloalifatik ve alifatik reçinelerdir (Din, 1994).

3.2.2.2. Vinylester

Vinylester, bir epoksi reçinesinin doyumsuz bir monokarboksilik asit ile esterleştirilmesiyle oluşturulan matriktir. Bu reçine çoğunlukla GFRP'nin yapılandırılmasında ve bazalt elyaf takviyeli polimer (BFRP) uygulamalarında kullanılır (Shokrieh ve Omid, 2009).

3.2.2.3. Polyester

Polyester, FRP kompozit endüstrilerinde en yaygın olarak kullanılan bir reçine türüdür. Daha ucuz olması, korozyona dayanıklı, hızlı kürlenir ve katalizör aşırılıklarına uygun olmasından dolayı, tercih edilmektedir (Chen ve ark., 2006). Ayrıca, polyester reçine esas olarak düşük maliyetli olması sebebiyle, GFRP kompozitlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Dindar, 2020).

Tablo 3. Termoset reçinelerin mekanik özellikleri

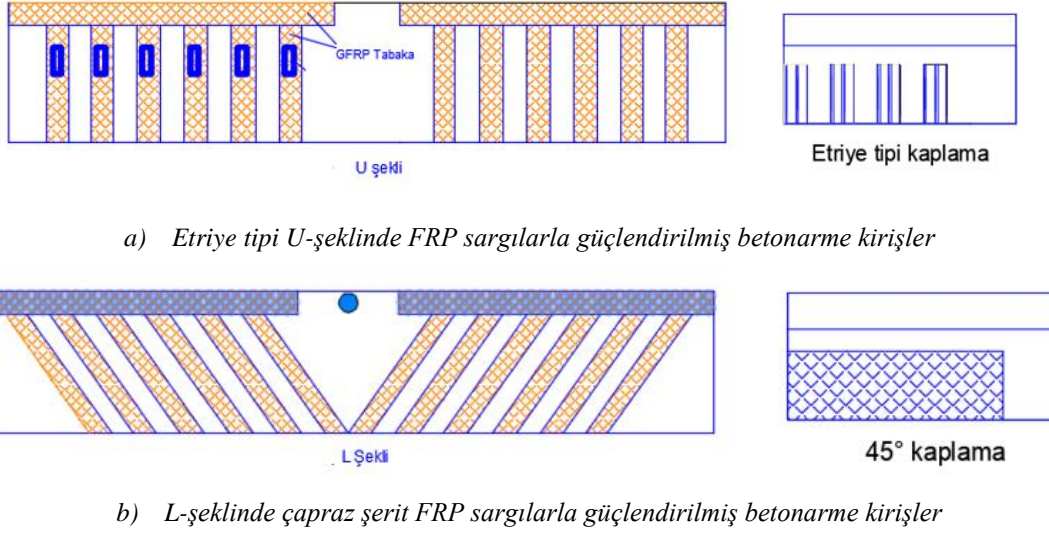
Termoset reçineleri	Özgül Ağırlık (g.cm ⁻³)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Kuruma büzülmesi (%)
Epoksi	1,2-1,3	55-130	2,75-4,1	1-5
Vinylester	73-81	1,12-1,32	3,0-3,35	5,4-10,3
Polyester	1,1-1,4	34,5-103,5	2,1-3,45	5-12

4. Yapısal Elemanlarda FRP Uygulama Şekilleri

4.1. Betonarme kiriş ve plaklarda yapısal güçlendirme

Betonarme yapı elemanlarında FRP kompozitler kullanılarak yapılan yapısal güçlendirme çalışmalarında, birçok farklı konfigürasyon ve bölgesel iyileştirme çalışmaları mevcuttur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Smith ve ark., (2011) son yıllarda FRP kompozitler kullanarak güçlendirilen betonarme kiriş ve levhalar gibi eğilme elemanlarının, yük altında davranışlarını incelemiştir. FRP kompozit malzemelerle sonradan güçlendirilen bu yapı elemanları, oldukça sünek davranış sergileyerek, deprem sırasında yüksek enerji yutma kapasitesi özelliği göstermektedir. Ayrıca, güçlendirme şeması gerçekçi geometrik kısıtlamalar göz önünde bulundurularak, betonarme kirişlerin eğilme ve kesme kapasitelerini geliştirmek için, farklı yönlerde ve bölgelerde delikler açılarak, FRP kompozit malzemeler laboratuvar ortamında güçlendirme elemanı olarak kullanılmıştır. Betonarme kirişler bu CFRP kumaşlarla, şerit bantlar şeklinde farklı açılarda sarılmıştır.

Yapılan güçlendirme çalışmaları sonucunda, dayanım değerlerinde %70 oranında artış gözlenmiş ve yüksek oranlarda tokluk özelliği göstermiştir. Ancak kirişler boyunca sabitleme olmaması nedeniyle, kiriş alt bölgelerinde bazı açılmalar meydana gelmiştir (Daniel ve ark., 2019). Diğer bir çalışmada Deng ve ark., (2004), kirişin serbest açıklığında üç katmanlı ve iki yönlü CFRP kompozitler yerleştirilmiş, kirişler boyunca sarılmış ve çapraz FRP kompozit plakalar kullanılarak sabitlenmiştir. Eğilme yükü altında, güçlendirilmiş örnekler için, kesme çatlaklarının azaldığı ve kirişte ağır hasarlar meydana gelmediği gözlenmiştir. Ayrıca yapılan diğer çalışmada Del Vecchio ve ark., (2014) ise, tam ölçekli kiriş elemanlarında mesnet bölgelerine yakın bölgelerde kesme çatlaklarını önlemek için, CFRP levhalar kullanılmış ve kaplama olarak ise, U şeklinde sargılarla güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, eğilme yükü altında kiriş numunelerinin bu yükü absorbe ederek, sünek bir davranış sergilediği gözlenmiştir. Birçok araştırmacı (Yılmaz ve ark., 2002, Dong ve ark., 2013 Riadh ve Kalfat, 2018) tarafından yapılan çalışmalarda, betonarme kirişlerde FRP kaplama biçimleri ve yönlerine göre fiber uygulama şekilleri Şekil 3'te gösterilmiştir.

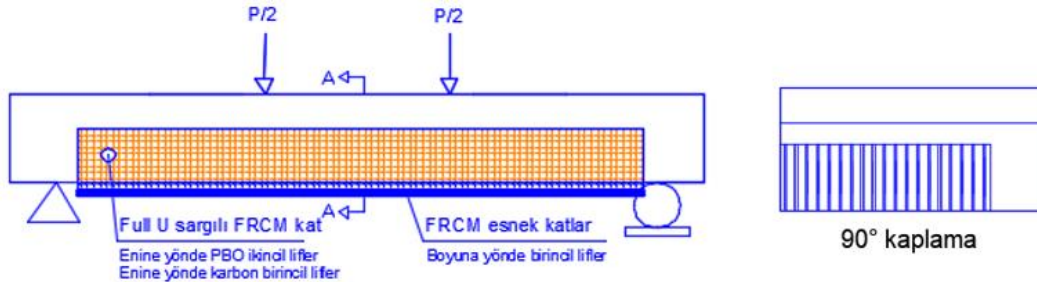


Şekil 3. Betonarme kirişlerde FRP kaplama biçimleri ve yönlerine göre fiber uygulama şekilleri (Yılmaz ve ark., 2002, Dong ve ark., 2013 Riadh ve Kalfat, 2018)

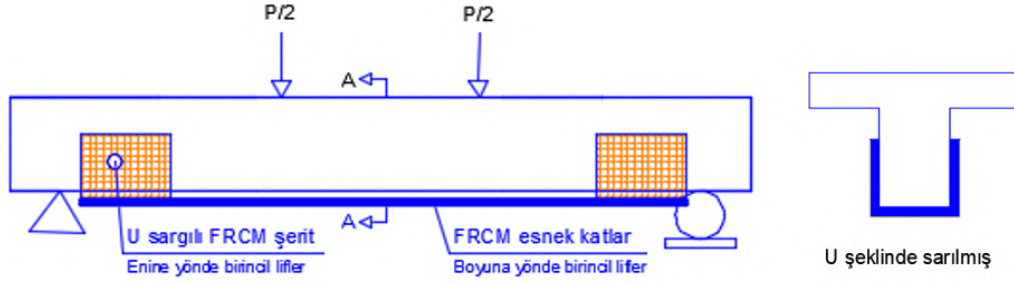
Yapılan deneysel çalışmalarda, uygulama biçimleri ve bölgeleriyle ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. FRP kompozit malzemelerin hem pahalı olması hem de üretimi oldukça sınırlı olması nedeniyle, gerçek uygulamalarda tüm yüzey boyunca bu malzemenin kullanılması giderek azalmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda, özellikle mesnet bölgelerine yakın olan bölgelerde kesme çatlakları oluşmaktadır. L-şeklinde çapraz FRP şeritleriyle güçlendirilen betonarme kirişlerin bu kompozitler yardımıyla, oluşabilecek kesme çatlaklarını engellediği görülmektedir. Ayrıca, kiriş elemanlarda güçlendirme için kullanılan U-şeklinde şerit bantlar ise, etriye görevi görerek kesme çatlaklarının oluşmasını engellemektedir.

Yapılan laboratuvar çalışmalarında, dıştan yapıştırılmış CFRP veya GFRP plakaları kullanarak güçlendirilen betonarme kirişlerin eğilme kapasitesindeki artış, kontrol kirişine göre %41 ile %125 arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca, kesme kapasitelerinde %31 ile %74 arasında artış gözlenmiştir (Dong ve ark., 2013). Ek olarak, korozyona maruz kalmış betonarme kirişler üzerinde

farklı kumaş takviyeli çimento esaslı matris (FRCM) kompozitler, farklı katmanlarda (iki, üç ve dört kat) ve bölgelerde olacak şekillerde güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarında, FRCM ile güçlendirilen kirişlerde, kontrol numunelere göre %7 ile %44 arasında dayanım artışı gözlenmiştir. Sonuç olarak, çimento takviyeli bu kompozitin mekanik özellikleri kumaş katmanlarına bağlanmasında ve aderansın artmasında önemli rol oynamıştır (Elghazy ve ark., 2017). Yapılan diğer çalışmada (Ariyachandra ve ark., 2017) CFRP kompozitlerle güçlendirilen betonarme kirişlerin eğilme yükü altında yapısal davranışı belirlenmiştir. Bu kirişlere orta ve mesnet bölgelerinde farklı yönlerde FRP uygulaması yapılmıştır. Sonuç olarak, tüm yüzey boyunca uygulanan CFRP kumaşları ortalama %42 oranında dayanım kazanımı sağlamıştır. Ayrıca, FRP kompozitlerin enine U sargılarının daha yüksek dayanım sağladığı belirtilmiştir. Betonarme kirişlerde FRP kaplama biçimleri ve yönlerine göre fiber uygulama şekilleri (Yılmaz ve ark., 2002, Elghazy ve ark., 2017, Ariyachandra ve ark., 2017) Şekil 4'te verilmiştir.



a) U-şeklinde tüm yüzey boyunca FRP sargılarla güçlendirilmiş betonarme kirişler



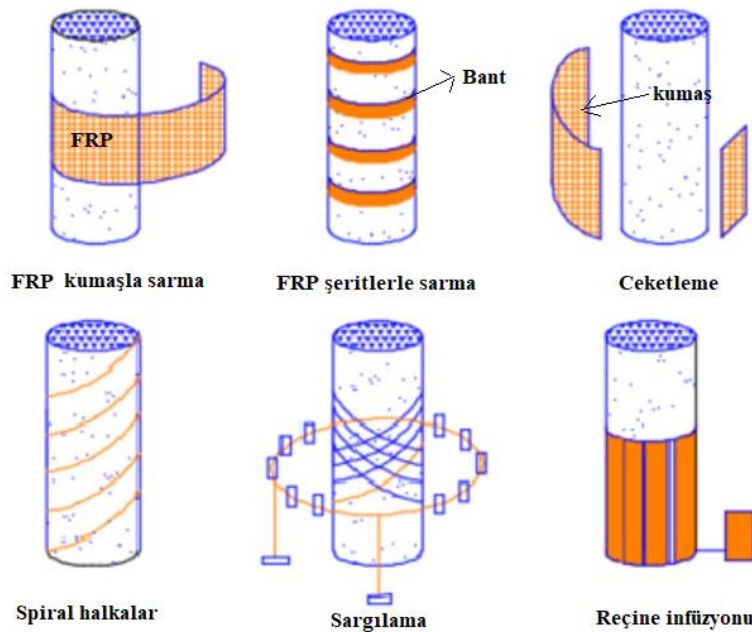
b) U-şeklinde mesnete yakın bölgelerde FRCM sargularla güçlendirilmiş betonarme kirişler

Şekil 4. Betonarme kirişlerde FRP kaplama biçimleri ve yönlerine göre fiber uygulama şekilleri (Yılmaz ve ark., 2002, Elghazy ve ark., 2017, Ariyachandra ve ark., 2017)

4.2. Betonarme kolonlarda yapısal güçlendirme

Hasar görmüş kolonun deprem etkisinde yük taşıma kapasitesinin artırılması için FRP kompozit sünek malzemeler oldukça önemlidir. Bu taşıyıcı elemanlarda kesme kuvvetini ve yatay yükleri enine donatı elemanları ve bu yapısal kompozitler karşılamaktadır (Celep ve Kumbasar, 2000). Günümüzde, düşey taşıyıcı elemanlar olan kolonların güçlendirilmesi için, lif takviyeli polimer (LP) kompozit malzemeler dış yüzeye yapıştırılarak uygulanmaktadır. Düşük özgül ağırlık, yüksek dayanım ve kolay uygulanabilir olma özellikleri sebebiyle bu malzemelerin, inşaat mühendisliğinin çeşitli alanlarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Yoshimura ve ark., (2000) yaptıkları çalışmada, kısa kolon numuneler üretmişlerdir ve bu numunelere farklı kat ve tipte lifli polimerlerle güçlendirmeler uygulamışlardır. Başeğmez (2007) tarafından yapılan deneyler sonucunda, karbon LP kompozitlerle güçlendirilen kısa kolonlarda, ani göçmeler ve mafsallı oluşumu gözlenmemiştir. Suleiman (1991) tarafından yapılan çalışmada, mantolanarak güçlendirilen betonarme kolonların aksenal yük ve tek eğrilikli eğilme altındaki davranışı ve dayanımını deneysel olarak incelenmiştir.

Beş deney elemanından üçü tersinir yük altında denenmiş ve daha sonra bu elemanlar mantolanarak tekrar deneye tabi tutulmuştur. Bu elemanlara ek olarak, iki adet hasarsız referans elemanı daha yüklemeye altında test edilmiştir. Deney numuneleri, dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik bakımından incelenmiştir. Sonuçta; mantolama yöntemiyle güçlendirilen elemanlar hem monotonik hem de tersinir yük altında referans alınan hasarsız elemanlar kadar iyi davranış göstermiştir. Onarılan elemanlarda ise, rijitlik ve dayanımlarda azalmalar görülmüştür. Şekil 5'te betonarme kolonlarda yapılan güçlendirme yöntemlerinin yeri ve uygulamaları detaylı olarak gösterilmiştir (Nicolae ve ark., 2008). Mevcut betonarme kolonların güçlendirilmesinde FRP kompozit kullanılarak, taşıyıcı elemanların yanal aksenal dayanımı, mukavemeti ve süneklik özelliği önemli ölçüde artırılmıştır. Gevrek malzemelerde görülen kırılma davranışları yerine, FRP kompozitleri sayesinde, aksenal yük altında daha sünek ve yüksek şekil değiştirme özelliği gösteren kolonlar elde edilmiştir.



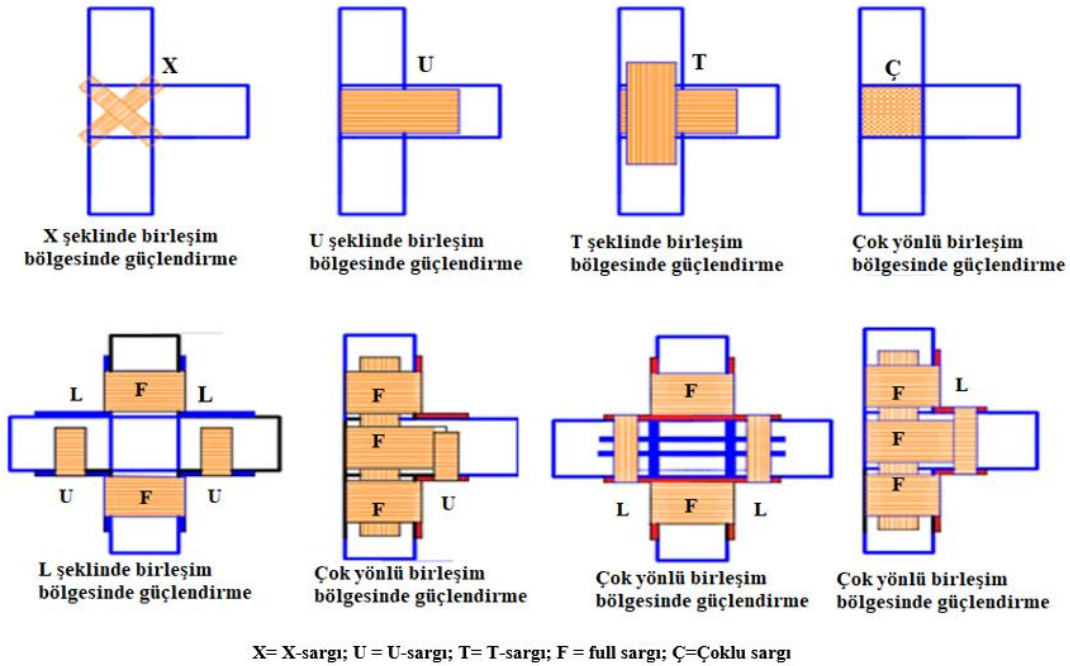
Şekil 5. Betonarme kolonlarda FRP uygulama şekilleri (Nicolae ve ark., 2008).

4.3. Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde yapısal güçlendirme

Betonarme yapılarda, kolon-kiriş birleşim bölgeleri depremlerde en çok hasara uğrayan ve güçlendirilmesi gereken bölgelerdir. Bu birleşim bölgelerinde, iki boyutlu FRP ile güçlendirme yöntemleriyle sargılama işlemleri uygulanan birçok çalışma (Daniel ve ark., 2019, Ghobarah ve Said, 2002) mevcuttur. Şekil 6 'da kolon-kiriş bölgesinde güçlendirme çalışmalarında önerilen dört farklı konfigürasyon uygulanmaktadır. Bu güçlendirme yöntemleri şu şekilde sıralanabilir:

- 1) U-şekilli FRP kullanarak güçlendirilen kolon-kiriş birleşim bölgesi
- 2) Derz üzerinde yatay ve düşey yönlerde FRP uygulayarak T-şekilli konfigürasyon;
- 3) X-şeklinde güçlendirilen birleşim bölgesi,
- 4) Çoklu konfigürasyonlarla iki veya dört eksenli FRP kompozitlerle güçlendirilen birleşim bölgeleri

Yapılan çalışmalarda, önerilen güçlendirme türleri, birçok araştırmacı tarafından detaylı olarak açıklanmıştır (Eslami ve Ronagh 2014, Elsanadedy ve ark., 2021). Bu deneylerden elde edilen ana gözlem U-şeklindeki konfigürasyonlar için, ankraj olmadan yapısal davranışta herhangi bir gelişme olmadığı gözlemlenmiştir (Ghobarah ve Said, 2002). Sabit bir şekilde ankrajla sabitlenmiş U-şekilli güçlendirmede ise +%99 oranında bir mukavemet artışı elde edilmiştir (Realfonzo ve ark., 2014). T-şekilli FRP ile güçlendirilen numunelerde de yüksek oranda dayanım artışı tespit edilmiştir (Antonopoulos, 2003). X-şekilli, U-şekilli ve T-şekilli güçlendirmeler karşılaştırıldığında, liflerin temel gerilim eksenine yönlendirilmesine rağmen, her üç durumda da, X-şekilli konfigürasyonda özellikle kesme kuvvetlerine karşı, oldukça önemli sonuçlar elde edilmiştir (Le-Trung ve ark., 2010). U-şekilli FRP-sargısı uygulamadan önce kiriş köşe kesitleri traşlanarak yuvarlatılmasıyla, bu kompozitlerin zarar görmesi engellenmiş ve daha yüksek dayanım artışı sağladığı gözlenmiştir (Hadi ve Tran, 2014). Şekil 6'da kolon-kiriş bölgeleri için farklı kombinasyonlarda ve yönlerde güçlendirme şemaları detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 6. Kolon-kiriş bölgeleri için güçlendirme şemaları (Daniel ve ark., 2019)

4.4. Betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme tekniklerinin karşılaştırılması

Yapılan araştırmalar sonucunda, betonarme yapı elemanlarında farklı konfigürasyonlarda yapılan güçlendirme yöntemlerinin artış oranı Tablo 4'te detaylı olarak verilmiştir (Daniel ve ark., 2019). Güçlendirme çalışmalarında dört farklı; (a) X-şeklinde, (b) U-şeklinde, (c) T-şeklinde ve (d) çok eksenli güçlendirme yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Çift yönlü GFRP tabakası olan "U" konfigürasyonu kullanıldığında, çelik plakalarla numuneler sabitlendiğinde, dayanım değerlerinde yüksek oranda artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, süneklik yaklaşık olarak iki kat artmış, kesme çatlağı gözlemlenmemiş, sadece tek FRP tabakasının yırtılması ile

sınırlı kalmıştır (Ghobarah ve Said, 2002). Tüm FRP kombinasyonlarında, T şeklinde yapılan güçlendirme uygulamasında, düşey ve yatay eksen boyunca mafsals üzerine yerleştirilmiş ve kesme başarısızlığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, CFRP kompozit malzemeler, daha yüksek oranda kopma mukavemetinden dolayı, GFRP'ye kıyasla daha yüksek enerji dağılımı (+% 41) ve kayma mukavemeti (+% 45) elde edilmiştir. FRP katmanlarının sayısındaki artışın da dayanımı ve enerji dağılımını arttırdığı, ancak orantılı olmadığı belirlenmiştir. Sonuçlar, özellikle yatay tabaka sayısının iki katına çıkarılmasıyla, tek katmanlı FRP kompozit güçlendirmelerine kıyasla düşey yönde +% 15 oranında bir mukavemet artışı elde edilmiştir. Ayrıca, uygulanan eksenel yükün iki katına çıkarılmasıyla, yük kapasitesinin de artması sağlanmıştır (Daniel ve ark., 2019).

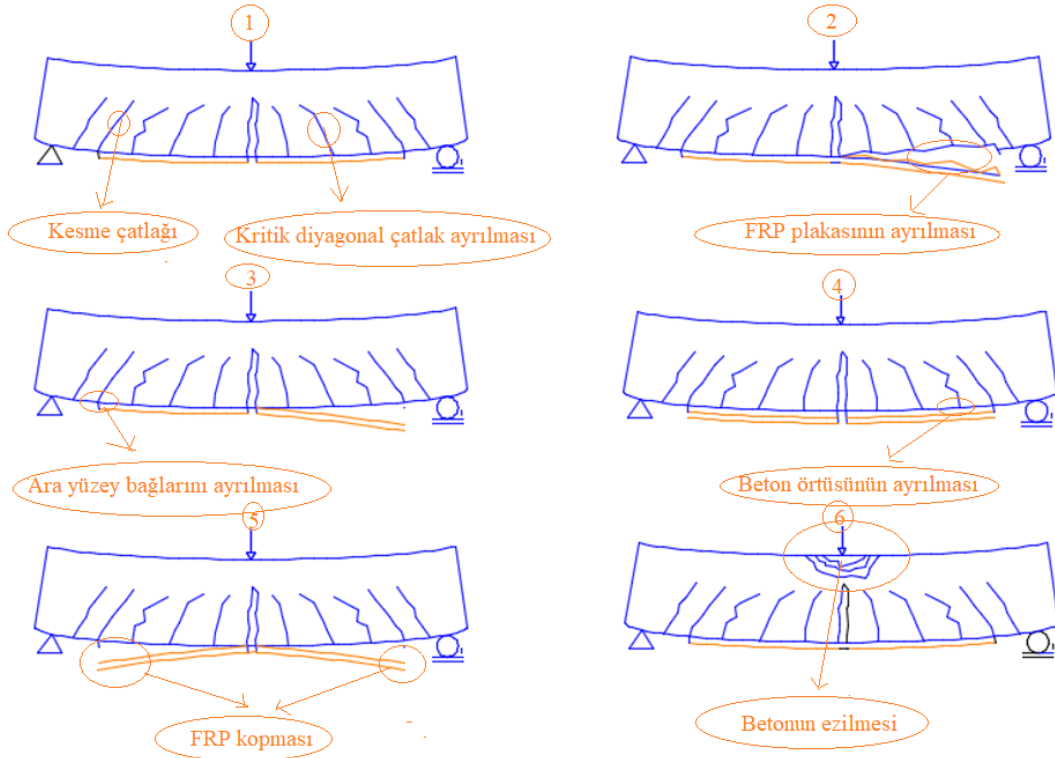
Tablo 4. Farklı konfigürasyonlarda FRP ile güçlendirilmiş yapısal elemanlardaki değişim

FRP tipi	U-şekil (%)	T-şekil (%)	X-şekil (%)	Çoklu-şekil (%)
CFRP[Ilki ve ark., 2011]	-	-	-	+18
FRP[Garcia ve ark., 2014]	+69	-	-	-
CFRP[Lee ve ark., 2000]	-	+36	-	-
FRP[Del Vecchio v.d., 2014]	-	-	-	+49
CFRP[Ghobarah ve Said, 2002]	+18	-	+11	-
CFRP[Elsanadedy v.d, 2021]	-	+32	+17	-
CFRP[Realfonzo ve ark., 2014]	+23	-	-	-
CFRP[Antonopoulos, 2003]	-	+41	-	-
FRP[D'Ayala v.d., 2003]	-	+17	+93	-
GFRP[Triantafillou, 1998]	-	+45	-	-
BFRP[Yu ve ark., 2016]	-	-	-	+11

4.5. Betonarme elemanlarda hasar modları ve çatlak modelleri

Betonarme yapı elemanlarında yetersiz etriye, güçlü kiriş-zayıf kolon, düşük beton dayanımı ve donatı yetersizliği gibi istenmeyen durumlardan dolayı birçok hasar oluşmaktadır. Hasarlı yapı elemanlarında güçlendirme çalışmaları oldukça büyük önem arz etmektedir. Güçlendirmenin etkinliği FRP ile güçlendirilmiş yapı elemanlarında hasar modları ve çatlak modelleri ile yansıtılabilir. Bu yapıların statik ve dinamik yüklemeye altında bu kompozitlerle sünek davranış göstererek yapının ayakta kalması sağlanır. Betonarme kirişlerde yüklemeye altında, hasar modları ve çatlak analizleri Şekil 7'de gösterilmiştir (Pham 2015, Gribniak ve ark., 2017, Siddika ve ark., 2019,).

Betonarme elemanların eğilme kapasitesini artırmak için, harici olarak yapıştırılmış FRP plakaları, kirişlerin alt bölgesine yerleştirilmiştir. Yüke maruz kalan kirişlerde önce FRP plakalar yırtılmakta olup, daha sonra FRP malzemelerin betondan ayrılmasıyla hasarlar oluşmuştur. FRP plakaların ayrılması genellikle eğilme veya maksimum moment bölgesi yakınındaki bölgede gerçekleşmekte olup, güçlendirilmiş elemanlarda FRP uzunluğu boyunca ilerleyerek devam etmiştir. FRP kopması kırılğan bir şekilde meydana gelebilirken, deneyler FRP ile güçlendirilmiş kirişlerin FRP bağ açma / kırılmasından sonra orijinal mukavemetini ve sünekliklerini sürdürdüğünü göstermiştir.



Şekil. 7. Eğilme altında FRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin hasar modları (Pham 2015, Siddika ve ark., 2019)

5. Sonuç

Bu çalışma, yapılan diğer çalışmalar ışığında FRP kompozit malzemelerin güçlendirme alanında sağladığı avantajlardan dolayı mühendislik alanında önemli katkılar sunmaktadır. Yüksek çekme mukavemetine sahip bu kompozitler, özellikle deprem sırasında büyük deplasmanlar yaparak yüksek enerji ile birlikte sünek davranış göstermektedir. Ayrıca, bu kompozitlerin yapı taşıyıcı sistemlerinde farklı bölgelerde ve farklı tekniklerde kolayca uygulanması ve korozyon oluşturmaması nedeniyle de bu kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak, FRP kompozitlerin inşaat sektöründe yapı taşıyıcı sistemlerde güçlendirme çalışmalarında kullanılmasıyla birlikte, yapının ekonomik ömrünün arttırılabileceği ve güçlendirme yapı elemanlarının kesit ve donatı oranlarında azalmalara gidilebileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Ahikari, S. (2009). Mechanical properties and flexural applications of basalt fiber reinforced polymer (BFRP) bars. M.Sc. thesis, Univ. of Akron, Akron, OH.
- Al-Saidy A.H., Al-Harthy A.S., Al-Jabri K.S., Abdul-Halim M., Al-Shidi N.M. (2010). Structural performance of corroded RC beams repaired with CFRP sheets, *Composite Structure*, 92, 1931-1938.
- Ammar M.A. (2014). Bond durability of basalt fibre-reinforced polymers (BFRP) bars under freeze-and-thaw conditions Ph.D thesis Dept. of Civil Engineering, Université Laval; p. 125.
- Anil Ö., Altın S. (2007). An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames, *Engineering Structures*, 29, 449-460.
- Antonopoulos C. (2003). Seismic strengthening of RC beam-column joints with advanced composites, Analytical modeling and experimental verification fib Symposium on Concrete Structures in Seismic Regions.
- Arboleda D.F.G., Carozzi A., Nanni, Poggi C. (2016). Testing procedures for the uniaxial tensile characterization of fabric-reinforced cementitious matrix composites. *Journal of Composite Construction* 20 (3): 04015063.
- Ariyachandra M.R.E.F, Gamage J.C.P.H, Mahaidi R., Kalfat R. (2017). Effects of surface roughness and bond enhancing techniques on flexural performance of CFRP/concrete composites, *Composite Structures*, 180 (15), 994-1006.
- Asteris P.G., Kakaletsis D.J., Chrysostomou C.Z., Smyrou E.E. (2011). Failure Modes of In-filled Frames, *Electronic Journal of Structural Engineering*, 11 (1), 11-20.
- Banibayat P., Patnaik A. (2013). Creep rupture performance of basalt fiber-reinforced polymer bars, *Journal of Aerospace Engineering*, 28(3), 04014074.
- Baran M., Tankut T., (2011). Experimental Study on Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Precast Concrete Panels, *ACI Structural Journal*, 108(2), 227-237.
- Başeğmez İ.H. (2007). Kesme Açısından Yetersiz Betonarme Kısa Kolonların Lifli Polimerler ile Depreme Karşı Güçlendirilmesi, *İTÜ Fen Bilimleri*, İstanbul.
- Bournas D.A., Pavese A., Tizani W. (2015). Tensile capacity of FRP anchors in connecting FRP and TRM sheets to concrete, *Engineering Structure*, 82 (1), 72–81.
- Brothers H. (2001). Glass fiber reinforced polymer (GFRP) rebar Aslan 100. Seward, Neb.
- Cabral F.S. (2005). Polymeric composite material reinforced with fibers used in civil engineering Features and application. LNEC, Lisbon, Portuguese: Scientific and technical information.
- Camata G., Spacone E., Al-Mahaidi R., Saouma V. (2004). Analysis of test specimens for cohesive near-bond failure of fiber-reinforced polymer-plated concrete, *Journal Composite Construction*, 8(6), 528–538.
- Celep Z. Kumbasar N. (2000). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Rehber Matbaacılık, İstanbul.
- Celep Z., Erken A., Taskin B, Ilki A. (2011). Failures of masonry and concrete buildings during the March 8, 2010 Kovancılar and Palu (Elazığ) earthquakes in Turkey, *Engineering Failure Analysis*, 18(3), 868-889.
- Chen Y., Davalos J.F., Ray I. (2006). Durability prediction for GFRP reinforcing bars using short-term data of accelerated aging tests, *Journal Composite Construction*, 10(4), 279–86.
- Çöğürçü M.T. (2007). Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi Doktora Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- D'Ayala D., Penford A., Valentini S. (2003). Use of FRP fabric for strengthening of reinforced concrete beam-column joints. In Proc., 10th Int. Conf. on Structural Faults and Repair. Edinburgh, UK: Engineering Technics Press.
- Daniel A. Pohoryles D., Jose M., Tiziana R., Humberto V. (2019). Seismic Retrofit Schemes with FRP for Deficient RC Beam–Column Joints: State-of-the-Art Review *Journal of Composites for Construction*, vol. 23.
- Davies P., Reaud Y., Dussud L., Woerther P. (2011). Mechanical behaviour of HMPE and aramid fibre ropes for deep sea handling operations. *Ocean Engineering*, (17), 2208–14.
- Dazio A., Buzzini D., Trüb M. (2008). Nonlinear cyclic behavior of hybrid fiber concrete structural walls, *Engineering Structures*, 30, 3141–50.
- Del Vecchio C., Di Ludovico M., Balsamo A., Prota A., Manfredi, G., Dolce, M. (2014). Experimental Investigation of Exterior RC Beam-Column Joints Retrofitted with FRP Systems, *Journal of Composites for Construction*, 18(4).
- Deng J., Lee M.M.K., Moy S.S.J. (2004). Stress analysis of steel beams reinforced with a bonded CFRP plate, *Composite Structure*, 65, 205-215.
- Dhawan V., Singh S., Singh I. (2013). Effect of Natural Fillers on Mechanical Properties of GFRP Composites, *Journal of Composites*, 792620.
- Din E. (1994). Adhesives. Determination of tensile lap-shear strength of bonded joint- 1465.
- Dindar B. (2020). Metal-Cam fiber/Epoksi/ÇDKNT Sandviç Panellerin Eğilme Davranışlarının Deneysel Olarak Araştırılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 249-253.

- Dogangün, A., (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey, *Engineering Structures* 26(6), 841-856.
- Dong J., Wang Q., Guan Z., (2013). Structural behaviour of RC beams with external flexural and flexural-shear strengthening by FRP sheets, *Composites Part B: Engineering*, 44(1), 604-612.
- Elghazy M., Refai A., Ebead U., Nanni A., (2017). Effect of corrosion damage on the flexural performance of RC beams strengthened with FRCM composites, *Composite Structures* 180(15), 994-1006.
- El-Hacha R., Soudki K., (2013). Pre-stressed near-surface mounted fibre reinforced polymer reinforcement for concrete structures. A review, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40, 1127-1139.
- Elsanadedy H.M., Al-Salloum Y.A., Alrubaidi M.A., Almusallam T.H., Siddiqui N.A., Abbas H., (2021). Upgrading of precast RC beam-column joints using innovative FRP/steel hybrid technique for progressive collapse prevention, *Construction and Building Materials*, 268, 121-130.
- Erberik M.A. (2008). Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey, *Engineering Structure* 30(5), 1360-1374.
- Eslami A, Ronagh H, (2014). Experimental Investigation of an Appropriate Anchorage System for Flange-Bonded Carbon Fiber-Reinforced Polymers in Retrofitted RC Beam-Column Joints, *Journal of Composites for Construction*, 18(4), 04013056.
- Garcia R., Jemaa Y., Helal Y., Guadagnini M., Pilakoutas K., (2014). Seismic Strengthening of Severely Damaged Beam-Column RC Joints Using CFRP. *Journal of Composites for Construction*, 18(2), 04013048.
- Ghobarah, A., Said A. (2002). Shear strengthening of beam-column joints, *Engineering Structures*, 24(7), 881-888. 1052.
- Gribniak V., Tamulenas V., Ng P.L., Arnautov A.K., Gudonis E., Misiunaite I, (2017) Mechanical Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams Bonded with External Carbon Fiber Sheets, *Materials (Basel)*, 10, 666. doi:10.3390/ma10060666.
- Gu D.S., Wu Y.F., Wu G., Wu Z.S., (2012). Plastic hinge analysis of FRP confined circular concrete columns. *Constructions and Building Materials*, 27(1), 223-233.
- Hadi M.N.S, Tran T.M, (2014). Retrofitting nonseismically detailed exterior beam-column joints using concrete covers together with CFRP jacket, *Construction and Building Materials*, 63, 161-173.
- Hawileh R.A., Nawaz W., Abdalla J.A., (2018). Flexural behavior of reinforced concrete beams externally strengthened with Hardwire Steel-Fiber sheets, *Construction and Building Materials*, 172, 562-73.
- Hollaway L.C., (2010). A review of the present and future utilisation of FRP composites in the civil infrastructure with reference to their important in-service properties. *Construction and Building Materials*, 24(12), 2419-45.
- İlki A, Kumbasar N, (2002). Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme ile Betonarme Elemanlarının Onarım ve Güçlendirilmesi, *İMO Teknik Dergi*, 2598- 2616.
- Ilki, A., Bedirhanoglu, I., Kumbasar N, (2011). Behavior of FRP-Retrofitted Joints Built with Plain Bars and Low-Strength Concrete. *Journal of Composites for Construction*, 15(3), 312-326.
- Junaid M.T., Elbana A., Altoubat S, (2020). Flexural response of geopolymer and fiber reinforced geopolymer concrete beams reinforced with GFRP bars and strengthened using CFRP sheets, *Structures*, 24, 666-677.
- Kaproń M., Van Gemert D, (2013). Sustainable construction: challenges, contribution of polymers, research arena. *Restoration Building Monuments*, 19(2-3), 81-96.
- Koutas L., Triantafillou T.C, (2013). Use of anchors in shear strengthening of reinforced concrete T-beams with FRP, *Journal of Composite Construction*, 17 (1), 101-107.
- Lampros N.K., Zoi T., Dionysios A., Bournas, Thanasis C., Triantafillou T, (2019). Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars: State-of-the-Art Review, *Journal of Composite Construction*, 23(1), 03118001.
- Laura I., Patrick P., Rami E., Jean P, (2014). Seismic behavior of synthetic fiber-reinforced circular columns, *ACI Materials Journal*, 111(1), 189-200.
- Lawler J., Zampini D, Shah S, Microfiber and macrofiber hybrid fiber-reinforced concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 17(5), 595-604.
- Lee C., Bonacci J., Thomas M., (2000). Accelerated Corrosion and Repair of Reinforced Concrete Columns Using Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheet, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27, 941-948.
- Le-Trung K., Lee K., Lee J., Lee D.H., Woo S, (2010). Experimental study of RC beam-column joints strengthened using CFRP composites, *Composites Part B: Engineering*, 41(1), 76-85.
- Liu H., Zhao X., Al-Mahaidi R, (2010). Effect of fatigue loading on bond strength between CFRP sheets and steel plates. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 10(01), 1-20.
- Lubin G, (1975). Handbook of fiberglass and advanced plastics composites. RE Krieger Publishing Company.
- Maalej M., Quek ST, Zhang J, (2005). Behaviour of hybrid-fiber engineered cementitious composites subjected to dynamic tensile loading and projectile impact. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, 17(2), 143-152.
- Maranan G, (2016). Behavior of concentrically loaded geopolymer-concrete circular columns reinforced longitudinally and transversely with GFRP bars. *Engineering Structures*, 117, 422-36.
- Meier U, (2012). Carbon fiber reinforced polymer cables: why? Why not? What if? *Arabian Journal Science and Engineering*, 37(2), 399-411. William F. Powers advanced materials and processes, 38-41.
- Mugahed Y., Amrana H., Rayed A., Raizal S.M., Rashidd, Alabduljabbara H, Hunge CC, (2018). Properties and

- applications of FRP in strengthening RC structures: A review, *Structures*, 16, 208-238.
- Nakayama Y.H.N, Kanakubo T, (2008). Bond behavior between deformed aramid fiber-reinforced plastic reinforcement and concrete. The 14th WorldConference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Nanni A, (2001). North American design guidelines for concrete reinforcement and strengthening using FRP: Principles, applications and unresolved issues, *Proceedings, International Conference of FRP Composites in Civil Engineering*, Volume 1, Teng, J-G. (Ed.), ISBN 0-08-043945-4, 61–72.
- Nasser M.Z., Hawileh R.A., Abdalla J.A, (2019). Fiber-reinforced polymer composites in strengthening reinforced concrete structures: A critical review *Engineering Structures* vol. 198: 109542.
- Nicolae T, Gabriel O, Dorina I, Ioana E, Vlad M, Cătălin B, (2008). Fibre Reinforced Polymer Composites as Internal And External Reinforcements For Building Elements, *Buletinul Institutului Politehnic Din Iași Publicat De Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi” Din Iași Tomul LIV (LVIII), Fasc. 1.*
- Önal M.M, (2014). Strengthening reinforced concrete beams with CFRP and GFRP, *Advance Material Science Engineering*, 8, 967964.
- Ozkul H., Yıldırım H, (2000). Strengthening of Steel Reinforced Concrete Beams with FRP, *Second Japan-Turkey Workshop on Repair and Strengthening*.
- Palmieri A., Matthys S., Taerwe L, (2012). Experimental investigation on fire endurance of insulated concrete beams strengthened with near surface mounted FRP bar reinforcement, *Composite Part B Engineering*, 43(3), 885–95.
- Pham B, (2015). Design of FRP retrofitted concrete structures using AS5100 Part 8, *Concrete Institute of Australia Conference, and Melbourne, Victoria, Australia.*
- Rasheed H, Abdalla JA, Hawileh R., Al-Tamimi A, (2017). Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Externally Bonded Aluminum Alloy Plates. *Engineering Structures*, 147(15), 473–85.
- Realfonzo R., Napoli A, Pinilla J.G.R, (2014). Cyclic behavior of RC beam-column joints strengthened with FRP systems, *Construction and Building Materials*, 54, 282–297.
- Riadh A. M., Kalfat R, (2018). Rehabilitation of Concrete Structures with Fiber-Reinforced Polymer, ISBN: 9780128115114
- Sahu N.P, (2014). Study on aramid fibre and comparison with other composite materials, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1:303–6.
- Sarasini F., Tirillò J., Ferrante L., Valente M., Valente T., Lampani L, (2014). Dropweight impact behaviour of woven hybrid basalt-carbon/epoxy composites, *Composite Part B Engineering*, 59, 204–20.
- Shokrieh M.M, Omidi M.J, (2009). Tension behavior of unidirectional glass/epoxy composites under different strain rates, *Composite Structures*, 88(4), 595–601.
- Siddika A., Mamun Abdullah A., Alyousef R., Amranc Y.H.M, (2019). Strengthening of reinforced concrete beams by using fiber-reinforced polymer composites, *Journal of Building Engineering*, 25, 100798.
- Smith S.T., Hu S., Kim S.J., Seracino R, (2011). FRP-strengthened RC slabs anchored with FRP anchors, *Engineering Structures*, 33, 1075–1087.
- Suleiman R, (1991). Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Columns, Ph. D. Thesis in Middle East Technical University, Ankara.
- Tarigan J., Pakpahan A., Surbakti M., Nursyamsi N, (2019). Analysis and experimental usage of CFRP wrap type on flexural strength of concrete beam, *MATEC Web of Conferences*, 258, 03001, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201922585803001>.
- Teng J.G., Chen J. F., Smith S. T., Lam L, (2002). FRP strengthened RC structures. *Front Physics*, 266.
- Triantafillou T.C, (1998). Shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy-bonded FRP composites *ACI Structural Journal*, 95 (2), 107-115.
- Yang Y., Liu J., Xiong G, (2013). Flexural behavior of wood beams strengthened with HFRP, *Construction and Building Materials*, 43, 118-124.
- Yıldız K., Gürkan İ., Turgut F., Cebeci H, (2019). KNT-Cam Fiber Takviyeli Kompozitlerin Kırılma Tokluğunun Birleşik Bir Güçlendirme Stratejisi ile İyileştirilmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 1325-1333.
- Yılmaz K., Akçil M., Çelik A., (2002). Fiber Takviyeli Polimer Uygulamalarında Yapışma Yüzeyi Kalitesinin Kompozit Performansına Etkisi, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 6, 2.
- Yoshimura K., Kikuchi K., Kuroki M, Ozawa K, Masuda Y, (2000). Experimental Study on Seismic Behavior of RC Short Columns Strengthened by Carbon Fiber Sheets. *Composite and Hybrid Structures: Proceedings of the 6th ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures*, Los Angeles, California, 927-934.
- Yu, J., X. Shang, Z. Lu, (2016). Efficiency of externally bonded L-shaped FRP laminates in strengthening reinforced-concrete interior beam-column joints, *Journal of Composite Construction*, 20 (3), 04015064.
- Zarringol M, (2016). A comparative study on the efficiency of CFRP and GFRP in the improvement of compressive strength, acoustic impedance and bracing of filled and hollow concrete columns in different layers and ages, *Journal of Sustainable Development*, 9(5), 110.
- Zhang M.H., Sharif MSH, Lu G, (2007). Impact resistance of high-strength fiber reinforced concrete. *Magazine of Concrete Research*, 59(3), 199–210.
- Zhou J., Bi F., Wang Z., Zhang J, (2016). Experimental investigation of size effect on mechanical properties of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) confined concrete circular specimens, *Construction and Building Materials*, 127, 643–52.



Determination of Medicinal and Aromatic Plants Sold by Herbalists in Afyonkarahisar Province and Their Usage Purposes

Ayşe Gül Sarıkaya^{1*}, Sinan Karabay²

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

² Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3018-3269), sinankarabay3@gmail.com

(First received 23 September 2020 and in final form 26 February 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.799168)

ATIF/REFERENCE: Sarıkaya, A. G., Karabay, S. (2021). Determination of Medicinal and Aromatic Plants Sold by Herbalists in Afyonkarahisar Province and Their Usage Purposes. *European Journal of Science and Technology*, (23), 120-125.

Abstract

This study was carried out to determine natural plants sold in herbalists of Afyonkarahisar province and to identify the intended use of these plants. Between 2019-2020, a face to face interview was conducted with 10 herbalists. According to the results of the survey, 50 different plants were sold and especially sage, black seed, poppy, lime, clove, black pepper, thyme, red pepper, cumin, rosehip, mint, chamomile, fennel, sumac, sesame, cinnamon, green tea, ginger and It has been determined that the sales of turmeric plants are intense. The most common sales are in the winter months. Especially, plant are sold like strengthen the immune system and cure the common cold. In summer, an increase is in the sales of plants that have a debilitating feature. According to opinion of herbalists, preference of people's purchasing to plants are affected by doctor advice, other people, media, and books. In order to increase the use of medicinal plants, it has been necessary to examine the plants extensively by different experts, increase scientific studies, contribute to the development of plant exports and sell controlled, registered plants.

Keywords: Afyonkarahisar, Herbalist, Medicinal and aromatic plants, Ethnobotany, interview.

Afyonkarahisar İli Aktarlarında Satılan Tıbbi ve Aromatik Bitkiler ve Kullanım Amaçlarının Belirlenmesi

Öz

Bu çalışma Afyonkarahisar ili merkez ilçesi aktarlarında satılan doğal bitkileri tespit etmek ve bu bitkilerin kullanım amaçlarını belirlenmesi için yapılmıştır. 2019-2020 yılları arasında 10 aktar ile yüz yüze sözlü görüşme yapılmıştır. Araştırma sonucuna göre 50 farklı bitkinin satıldığı ve özellikle adaçayı, çörek otu, haşhaş, ıhlamur, karanfil, kara biber, kekik, kırmızı biber, kimyon, kuşburnu, nane, papatya, rezene, sumak, susam, tarçın, yeşil çay, zencefil ve zerdeçal bitkilerinin satışının yoğun olduğu belirlenmiştir. Mevsim olarak en yoğun satışın kış aylarında yapıldığı ve özellikle soğuk algınlığını tedavi eden ve bağışıklık istemini güçlendiren bitkilerin satıldığı tespit edilmiştir. Yaz aylarında ise zayıflatıcı özelliği olan bitkilerin satışında artış görülmektedir. İnsanların bitkileri satın almadaki tercihlerini doktor tavsiyesi, aile ve çevredeki insanlar, görsel ve işitsel basın, reklamlar ve kitap/dergiler etkilemektedir. Tıbbi bitkilerin kullanımının artması için, bitkilerin farklı uzmanlar tarafından kapsamlı şekilde incelenip, bilimsel çalışmaların artırılması, bitki ihracatının gelişmesine katkı sağlanması ve kontrollü, kayıtlı bitkilerin satışının gerekliliğine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Afyonkarahisar, Aktar, Tıbbi ve aromatik bitkiler, etnobotanik, sözlü görüşme.

* Corresponding Author: aysegul.sarikaya@btu.edu.tr

1. Introduction

The relationship between nature and human has turned into an accumulation with the knowledge, experiences, intensive studies and religious beliefs that have been passed on from generation to generation, and today the ethnobotanical science branch has emerged, which the whole world accepts its importance (Arihan, 2003; Başgel, 2005, Faydaoğlu & Sürücüoğlu, 2011; Yiğit, 2014).

In recent years, due to the high side effects of drugs produced by synthetic means, the trend towards natural herbs has increased. People consume herbs and herbal teas due to their beneficial effects, and use herbal medicines in the treatment of minor and minor diseases (Sayar et al., 1995; Gelse, 2012; Özdemir, 2019). Folk remedies in Anatolia have reached today as a result of long-lasting experiences. Many drugs used in modern medicine are obtained from plants (Faydaoğlu & Sürücüoğlu, 2011; Yiğit, 2014). The social values of being a habit dating from the Ottoman and Anatolian people by transferring up to today and herbal treatments were carried out with traditional knowledge in Turkey. Today, Anatolian people have not lost their faith in herbal medicines. People both practice the diagnosis and treatment of medicine, as well as use the herbs they buy from herbalists for some diseases as preventive and

therapeutic (Koçtürk et al., 2009, Açıkgöz et al., 2012; Yiğit, 2014).

This research was carried out in Afyonkarahisar province, which has a very special cuisine culture that is dependent on its traditions and customs and where the use of spices is intense. It was aimed to determine the natural plants sold in the central district of Afyonkarahisar province and to determine the intended use of these plants and the way of supply, the plants that people consume heavily, the seasonal intensive sales times, the consumed parts of the plants and the factors that affect the people's preferences in purchasing the plants.

2. Material and Method

10 herbalists that interviewed in this study, medicinal-aromatic plants and the products on sale obtained from these plants constitute the material of the study. In 2019 and 2020, an interview study was conducted with 10 herbalists in Afyonkarahisar province in the form of face-to-face interviews through questionnaire forms. The questions in the table below were asked to 10 herbalists in the central district of Afyonkarahisar province and their answers were recorded. In addition, the photos of the products in the shops of the permitted herbalists were taken (Figure 1; Table 1).



Figure 1. Some herbalists interviewed during survey

Table 1. Inquiry questions

No	Questions
1.	What is your educational background?
2.	Have you educated on medicinal and aromatic plants?
3.	How do you get the natural herbs that you sell?
4.	Which plants do you sell?
5.	What are the plants people take densely?
6.	Which season is the busiest sale?
7.	Which plants are taken intensively in winter?
8.	Which plants are taken intensively in summer period?
9.	What parts of the plants are consumed?
10.	For what purposes people buy plants?
11.	What or who influences people's preferences for purchasing herbs?
12.	Do you have any recommendations for increasing the use of medicinal herbs? If so, what is it?

3. Results and Discussion

In interviews, the first question posed to herbalists is their education status. In Afyonkarahisar province, most of the herbalists are secondary school-high school graduates, while a few of them are undergraduate graduates. To the question of whether you have received training on medicinal and aromatic plants, it was determined that a small part of them attended training and seminars related to herbalism, but the majority grew

up as a family profession. When asked about how they obtained the natural plants they sell, they answered that they bought from herbal drug exporters and plant collectors in the villages. In addition, they stated that they obtained herbal products used for various purposes from factories processing non-wood products. Which plants they sell, which plants are sold intensively, which parts of the plants are used and for what purposes are given in Table 2. It differs in the plants people buy in summer and winter.

Table 2. Plants for sale, used parts and intended uses

	Plant name	Botanical name	Family	Used part	Usage	Purpose of usage
1.	Allspice	<i>Pimenta racemosa</i> Mill.	<i>Myrtaceae</i>	Seed	Spice	In the treatment of digestive system problems and muscle pain
2.	Anise	<i>Pimpinella anisum</i> L.	<i>Apiaceae</i>	Fruit, Seed	Tea, Medicine	Increasing breast milk, cough, bee roasting
3.	Balm	<i>Melissa officinalis</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Leaf	Tea	Calming for nerves and stress
4.	Basil	<i>Ocimum basilicum</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Leaf	Spice, Food	Stomach and digestive system ailments, calming against nervous and stress, insomnia
5.	Berberberry	<i>Berberis vulgaris</i> L.	<i>Berberidaceae</i>	Root, Leaf, Fruit	Food, Medicine	Cancer treatment, in the treatment of heart palpitations
6.	Black Cumin	<i>Nigella sativa</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	Seed	Spice, Medicine	Treatment of cancer, stomach ailments and blood purification
7.	Black pepper	<i>Piper nigrum</i> L.	<i>Piperaceae</i>	Seed	Spice, Food	Clapper crisis, anti-paralysis, anti-cancer, debilitating
8.	Calendula	<i>Calendula officinalis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Flower	Medicine, Cosmetic	Blood purifier, jaundice, intestinal ulcer, fungus, skin diseases and blemishes treatment
9.	Cardamom	<i>Elettaria cardamomum</i> Roxb.	<i>Zingiberaceae</i>	Fruit	Spice, Food	Detox, digestive system regulator
10.	Carob	<i>Ceratonia siliqua</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Fruit, Seed	Food, Medicine	Strengthening the immune system, energizing, in the treatment of anemia
11.	Centaury	<i>Hypericum perforatum</i> L.	<i>Hypericaceae</i>	Leaf, Flower	Medicine, Cosmetic	Treatment of wounds, treatment of headache and insomnia
12.	Cherry stalk	<i>Prunus avium</i> L.	<i>Rosaceae</i>	Stem	Tea, Medicine	Slimming, menstrual pain relief, diuretic, anti-edema and detox
13.	Cinnamon	<i>Cinnamomum zeylanicum</i> L.	<i>Lauraceae</i>	Bark	Spice, Food	Anti-diabetes, antioxidant, against infections and flavoring

	Plant name	Botanical name	Family	Used part	Usage	Purpose of usage
						desserts
14.	Clove	<i>Caryophyllus aromaticum</i> L.	<i>Myrtaceae</i>	Flower bud	Spice, Food, Tea	Strengthening the immune system, against toothache, nausea, antioxidant and blood circulation regulator
15.	Corn	<i>Zea mays</i> L.	<i>Poaceae</i>	Tuft, Fruit	Food, Tea, Medicine	As digestive system regulator, cholesterol balancing, anemia and energizer
16.	Coriander	<i>Coriandrum sativum</i> L.	<i>Apiaceae</i>	Fruit	Spice, Food	Diuretic, antioxidant, cholesterol and blood sugar regulator
17.	Coven	<i>Gypsophila arrostii</i> Guss.	<i>Caryophyllaceae</i>	Root	Medicine, Cosmetic	Treatment of constipation and diuretic
18.	Cumin	<i>Cuminum cyminum</i> L.	<i>Apiaceae</i>	Seed	Spice, Food	Strengthening the immune system, digestive system regulator, cholesterol stabilizer and carminative
19.	Daisy	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Flower	Tea, Cosmetic	Sedative, migraine, abdominal pain and hair in lightening the color
20.	Daphne	<i>Laurus nobilis</i> L.	<i>Lauraceae</i>	Leaf	Spice, Medicine, Cosmetic	In the treatment of common cold, flu, infection, pain relief and menstrual problems
21.	Echinacea	<i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench	<i>Asteraceae</i>	Leaf, Flower	Tea, Medicine, Cosmetic	Strengthening the immune system, Treatment of upper respiratory tract infection and flu and cold
22.	Eucalyptus	<i>Eucalyptus globulus</i> L.	<i>Myrtaceae</i>	Leaf	Medicine	In the treatment of upper respiratory tract diseases, expectorant, in the treatment of fungus
23.	Fennel	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	<i>Apiaceae</i>	Fruit, Seed	Tea, Medicine	Breast milk enhancer, carminative and detox
24.	Ginger	<i>Zingiber officinale</i> Rosc.	<i>Zingiberaceae</i>	Root, Rhizome	Spice, Food	Strengthening the immune system, Upper respiratory tract infection and Slimming
25.	Green tea	<i>Camellia sinensis</i> L.	<i>Theaceae</i>	Leaf	Tea	Detox and slimming
26.	Heather	<i>Erica vulgaris</i> L.	<i>Ericaceae</i>	Leaf	Tea, Medicine	Diarrhea, in the treatment of diarrhea and kidney stones, debilitating, against skin diseases other than oil
27.	Jasmine	<i>Jasminum officinale</i> L.	<i>Oleaceae</i>	Flower	Tea, Cosmetic	Antioxidant, cancer, cardiovascular health and sedative
28.	Lavender	<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.	<i>Lamiaceae</i>	Leaf, Flower	Cosmetic, Medicine	In the treatment of stomach and liver diseases, sedatives, migraine treatment, moth repellent and fragrance
29.	Lavender	<i>Lavandula stoechas</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Leaf, Flower	Tea, Medicine	In the treatment of sinusitis, cough, chronic cold and feverish cold, preventive of vascular occlusion
30.	Liden	<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	<i>Tilaceae</i>	Leaf, Flower	Tea, Medicine	In the treatment of cold, flu and cold
31.	Mahaleb	<i>Prunus mahaleb</i> L.	<i>Rosaceae</i>	Fruit	Food	Strengthening the immune system, In the treatment of cough and asthma
32.	Marshmallow	<i>Althaea officinalis</i> L.	<i>Malvaceae</i>	Seed, Flower	Tea, Spice	In the treatment of gastritis, reflux, common cold, flu and cold
33.	Mate	<i>Ilex paraguariensis</i> L.	<i>Aquifoliaceae</i>	Leaf, Stem	Tea, Medicine	Detox, appetite suppressant, debilitating, immune system

	Plant name	Botanical name	Family	Used part	Usage	Purpose of usage
						booster
34.	Mint	<i>Mentha piperita</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Leaf	Spice, Food, Tea	Treatment of common cold, nausea and oil in the treatment of headache
35.	Mistletoe	<i>Viscum album</i> L.	<i>Santalaceae</i>	Leaf, Fruit	Medicine	In balancing blood pressure, in the treatment of diabetes, upper respiratory diseases and against stress
36.	Olive	<i>Olea europaea</i> L.	<i>Oleaceae</i>	Leaf	Tea, Medicine	Blood coagulation, Antioxidant, Diabetes, Vitamin E and skin health
37.	Poppy	<i>Papaver somniferum</i> L.	<i>Papaveraceae</i>	Seed	Spice, Food	Digestive disorders, constipation, heart disease and pain relief
38.	Red pepper	<i>Capsicum annuum</i> L.	<i>Solanaceae</i>	Fruit	Spice, Food	Strengthening the immune system, vitamin C, antioxidant, pain reliever, metabolism accelerator and cholesterol regulator
39.	Rosehip	<i>Rosa canina</i> L.	<i>Rosaceae</i>	Fruit	Food, Tea	In cold, flu, diabetes, vitamin C and for making marmalade
40.	Rosemary	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Leaf, Flower	Tea, Spice, Medicine	In migraine treatment, edema relief, fat burner and cholesterol treatment
41.	Safflower	<i>Carthamus tinctorius</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Seed, Flower	Tea, Medicine	In the treatment of blood sugar, cholesterol and skin inflammation
42.	Saffron	<i>Crocus sativus</i> L.	<i>Iridaceae</i>	Leaf, Flower, Stem	Spice, Food, Tea	Antioxidant, cancer treatment, skin cleanser, good for liver and heart
43.	Sage	<i>Salvia officinalis</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Leaf, Flower	Tea, Medicine	In the treatment of common cold, flu and cold
44.	Sahlep	<i>Orchis</i> L. sp.	<i>Orchidaceae</i>	Root	Food	Constipation, hemeroid, digestive system problems, chest diseases and memory enhancement
45.	Senna	<i>Cassia angustifolia</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Leaf	Tea, Medicine	In the treatment of constipation
46.	Sesame	<i>Sesamum indicum</i> L.	<i>Pedeliaceae</i>	Seed	Spice, Food	Cancer, heart health, cholesterol, skin rejuvenation and bone health
47.	Sumac	<i>Rhus coriaria</i> L.	<i>Anacardiaceae</i>	Leaf, Seed	Spice, Food	Antioxidant, diuretic and gynecological diseases
48.	Thyme	<i>Thymus vulgaris</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Leaf, Flower	Spice, Food, Tea	Strengthening the immune system, In the treatment of cold, flu and cold, in eliminating digestive system problems
49.	Turmeric	<i>Curcuma longa</i> L.	<i>Zingiberaceae</i>	Root	Spice, Food	Strengthening the immune system, against cough, sore throat and liver ailments
50.	Walnut	<i>Juglans regia</i> L.	<i>Juglandaceae</i>	Leaf, Fruit	Tea, Food	Alzheimer, diabetes, cancer, cholesterol, blood pressure regulation and weight loss

* The intensely sold plants are written in bold font.

Customers prefer various teas such as rosemary, green tea, cherry stalk, mate, heather, senna for slimming in summer, while in winter, immune-enhancing and cold-curing herbs such as linden, thyme, sage, cinnamon, rosehip, echinacea, clove, mint are at the forefront. People's preference for purchasing plants is influenced by doctor's advice, family and people around, visual

and audio media, advertisements and information in books / magazines. In order to better understand the applications of medicinal plants and their use in a wide range of areas from pharmaceutical and food industry to cosmetic and taste industries, traditional and alternative therapists, and the drugs derived from these plants, their botanical properties, chemistry,

pharmacology, toxicology and clinical effects are well researched and their usefulness should be demonstrated. Turkey is one of most important countries in terms of medicinal and aromatic plants. However, these plants export are not yet at desired levels. Herbalists want the necessary studies to fulfilled for the development of medicinal and aromatic plant exports. They recommend that people shop from the herbalists they know and trust, and if they do not know, they should research well. They also emphasized the importance of choosing packaged products. Because they stated that with the development of technology, every packaged product has a business number and it is possible to query the products even on the internet.

4. Conclusions and Recommendations

There are some studies on medicinal and aromatic plants sold in herbalists. In the study conducted in Konya by Tulukçu and Sağdıç (2011) during the summer of 2008 and 2009, the medicinal plants found in herbalists, depending on the interest of the public (flax, black cumin, thyme, nettle and such as chamomile) are divided into two groups, those in high demand and those that are less in demand. It was determined that most of the drugs found in herbalists in Konya consist of plant organs such as leaves, seeds, fruits, flowers, roots, branches, rhizomes and onions and their dried parts.

Sarıkaya (2019) determined sage, anise, rosemary, black cumin, laurel, basil, heather, poppy, linden, femininity, centaury, cardamom, cloves, black pepper, black pepper, carob, thyme, red pepper as sold plants in herbalist of Kütahya. Plants such as chili pepper, cumin, coriander, rosehip, lavender, mahaleb, mate, corn tassel, mint, lemon balm, chamomile, fennel, saffron, salep, senna, sumac, sesame, cinnamon, jasmine, ginger, turmeric are the most preferred. Results that determined in these studies support our study.

According to the results of the study, most of the herbalists continue the family profession and have been trained for the herbalist profession from an early age. 50 different herbs are sold, sage, black cumin, poppy, lime, clove, black pepper, thyme, red pepper, cumin, rosehip, mint, chamomile, fennel, sumac, sesame, cinnamon, green tea, ginger and turmeric herbs are sold extensively has been determined. It has been determined that the most intensive sales are made during the winter months and plants that treat colds and strengthen the immune system are sold especially. In order to increase the use of medicinal plants, it is necessary to increase comprehensive scientific studies and to support the development of plant exports. Smilar results are emphasized in other studies (Korkmaz et al., 2011; Akyol et al., 2017).

It is known that some of the medicinal plant trade is known by official records, and a significant portion is uncontrolled and unconscious. The producer and place of production of many plants that are widely traded are unknown. This is an important problem in terms of the reliability of the product as well as commercial, and it is recommended to switch to a registered and certified system. Particularly, there is an increase in the interest in plants with hearsay information among the media, internet and the public. Sometimes, as a result of misdirection, situations that threaten human health arise. In order to prevent such situations, detailed scientific studies on medicinal and aromatic plants and their active ingredients should be increased and the people should use the plants consciously. It has been determined

that the storage conditions of the plants sold in the herbalists until they are collected, dried and transferred to the herbalists are unknown. It should be ensured that this process is converted into a recorded and traceable format. Plants collected from nature by irregular and wrong methods cause the destruction of our biological diversity and even the extinction of some plants. In order to prevent plant diversity from decreasing, it should be ensured that plant collectors become aware of conscious and quota collection methods and that the species that are in danger of extinction are included in culture.

References

- Açıkgöz, M.A., Batı, E., Demirkol, G. (2012). Bitkisel Tedavi, Halk Hekimliği ve Aktarlar, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu Bildiri Özet Kitabı,458-461.
- Akyol, A., Türkoğlu, T., Topcan H.İ., Tolunay, A. (2017). Determination of Consumer Preferences and Trends on Non-wood Forest Products in Balıkesir Province Scale. International Symposium on New Horizons in Forestry, Isparta, Türkiye.
- Arıhan, S.K. (2003). Antik Dönemde Tıp ve Bitkisel Tedavi. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Arkeoloji Bölümü Klasik Arkeoloji Anabilim Dalı, Yüksek lisans Tezi.
- Başgel, S. (2005). Çeşitli Şifalı Bitkilerde Eser Element ve Bazı Önemli Polifenollerin Tayini, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Faydaoğlu, E., Sürücüoğlu, M.S., (2011). Geçmişten Günümüze Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanılması ve Ekonomik Önemi. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 11(1): 52–67.
- Gelse, A. (2012). Adıyaman ve Çevresinin Etnobotanik Özellikleri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Koçtürk, M.O., Kalafatçılar, Ö.A., Özbilgin, N., Atabay, H. (2009). Türkiye’de Bitkisel İlaçlara Bakış, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 46 (3): 209-214.
- Korkmaz, M., Fakir, H., İçel, B. (2011). Consumer Preferences for Medicinal and Aromatic Plant Products: Surveys of Urban Consumer and Sellers in Western Mediterranean Region of Turkey. Journal of Medicinal Plants Research, 5(10): 2054–2063.
- Özdemir, S. (2019). Diyarbakır İli Aktarlarında Satılan Bitkiler ve Etnobotanik Özellikleri. A.Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Sarıkaya, A. G., (2018). Kütahya İli Bazı Aktarlarında Satılan Tıbbi ve Aromatik Bitkiler ve Kullanımı. 2. International Conference on Awareness.
- Sayar, A., Güvensen, A., Özdemir, F., & Öztürk, M. (1995). Muğla (Türkiye) İlindeki Türlerin Etnobotanik Özellikleri. OT Sistemik Botanik Dergisi, 2 (1): 151-160.
- Tulukcu, E., & Sağdıç, O. (2011). Konya’da Aktarlarda satılan tıbbi bitkiler ve kullanılan kısımları. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(4): 304-308.
- Yiğit Şahin, S. (2014). Gaziantep İli Aktarlarında Satılan Bitkiler ve Etnobotanik Özellikleri. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.



A Hybrid Benders Decomposition Algorithm and New Models for the Distributed Permutation Flowshop Scheduling Problem

Hanifi Okan Isguder^{1*}, Alper Hamzadayı²

^{1*} Dokuz Eylul University, Faculty of Science, Department of Statistics, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5188-856X), okan.isguder@deu.edu.tr

² Van Yuzuncu Yil University, Engineering Faculty, Department of Industrial Engineering, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4035-2775), alperhamzadayi@yyu.edu.tr

(First received 21 October 2020 and in final form 24 February 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.814129)

ATIF/REFERENCE: Isguder, H. O., & Hamzadayı, A. (2021). A Hybrid Benders Decomposition Algorithm and Models for the Distributed Permutation Flowshop Scheduling Problem. *European Journal of Science and Technology*, (23), 126-148.

Abstract

The distributed permutation flowshop scheduling problem (DPFSP) is a generalization of the regular flowshop scheduling problem where several factories are accessible for processing the jobs. In this paper, two new mathematical models are developed by deriving inspiration from the formulations developed for the multiple-traveling salesman problem (mTSP), and six different pure Benders decomposition algorithms are developed based on different mathematical model formulations. In addition, a hybrid Benders decomposition algorithm is developed through the best performed mathematical. Nine newly developed exact methods are compared in detail with each other, the best mathematical models given by Naderi and Ruiz (2010) and an automatic Benders decomposition algorithm by using the 84 problem instances available in the literature. The consequences of the experiment performed for the comparison of all existing and new exact algorithms have revealed that the proposed hybrid Benders decomposition algorithm has outperformed considerably when compared to the other methods. In this paper, 4 new best solutions are identified for the DPFSP.

Keywords: Distributed flowshop problem, Mixed integer linear programming, Benders decomposition algorithm, LS3 local search procedure.

Dağıtılmış Permütasyon Akış Tipi Atölye Çizelgeleme Problemi için Hibrit Benders Ayırıştırma Algoritması ve Yeni Modeller

Öz

Dağıtılmış permütasyon akış tipi çizelgeleme problemi (DPATÇP), işleri işlemek için birkaç fabrikanın mevcut olduğu akış tipi çizelgeleme probleminin bir genellemesidir. Bu çalışmada, çoklu gezgin satıcı problemi (ÇGSP) için geliştirilen modellerden esinlenilerek iki yeni matematiksel model ve farklı matematiksel modellere dayalı olarak altı farklı saf Benders ayırıştırma algoritmaları geliştirilmiştir. Ayrıca, en iyi performansı sağlayan matematiksel model aracılığıyla hibrit bir Benders ayırıştırma algoritması geliştirilmiştir. Yeni geliştirilen dokuz kesin çözüm yöntemi, Naderi ve Ruiz (2010) tarafından önerilen en iyi matematiksel modeller ve otomatik Benders ayırıştırma algoritması ile literatürde mevcut olan 84 problem seti kullanılarak karşılaştırılmıştır. Tüm mevcut ve yeni kesin çözüm algoritmaların karşılaştırılması için gerçekleştirilen deneyin sonuçları, önerilen hibrit Benders ayırıştırma algoritmasının diğer yöntemlere kıyasla önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu makalede, DPATÇP için 4 yeni en iyi çözüm saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dağıtılmış akış tipi problem, Karışık tamsayı doğrusal programlama, Benders ayırıştırma algoritması, LS3 yerel arama prosedürü.

* Corresponding Author: okan.isguder@deu.edu.tr

1. Introduction

Machine scheduling problems have been extensively studied in the literature for more than 60 years beginning from Johnson's first study being conducted (Johnson (1954)). Framinan, Leisten, and Ruiz (2014), McKay, Pinedo and Webster (2002) and Pinedo (2016) emphasized and discussed the importance of the optimized scheduling in detail and in depth. The flowshop scheduling problem is one of the most studied versions of the scheduling problem in the literature. In a flowshop problem, the machines on the production floor are arranged in series and the jobs go through all machines in the order determined similar to the mentioned way. Each job has a known amount of processing time at each machine, meaning a job cannot be processed on the next machine unless processed completely on the previous one. The machines cannot process more than one job at the same time and no preemption is allowed, for example, it is not possible to interrupt the jobs once started at any machine. The most commonly studied objective in the flowshop literature is the minimization of the maximum completion time called makespan. Detailed literature reviews on flowshop scheduling problem can be found in Fernandez-Viagas, Ruiz, and Framinan (2017), Framinan, Gupta, and Leisten (2004), Gupta and Stafford (2006), Hejazi and Saghafian (2005), Reisman, Kumar, and Motwani (1997), and Ruiz and Maroto (2005). The flowshop problem of a makespan criterion is NP-Complete in the strong sense (Garey, Johnson, and Sethi (1976)).

The multi factory environment has a critical significance in today's centralized globalized economy (Chan et al. (2006); Deng and Wang (2017); Jia et al. (2007)). Consequently, the multi factory production scheduling environment, the so-called distributed scheduling problem, has drawn increasingly more attention in recent years (Giovanni and Pezzella (2010); Gupta and Stafford (2006); Ying et al. (2017)). The distributed permutation flow shop scheduling problem (DPFSP), one of the distributed scheduling problem types, is a generalization of the conventional permutation flow shop scheduling problem (PFSP). In the DPFSP, a set of jobs must be processed at a number of identical factories, and each factory is equipped with a series of identical machines arranged as a flowshop. Which job will be produced and the order of the jobs to be produced at each factory must be decided simultaneously according to a given performance measure.

The primary study for the DPFSP was carried out by Naderi and Ruiz (2010) and no other study is available as a precise solution method in the current literature. In the mentioned study, Naderi and Ruiz (2010) presented six different linear programming models. The best 2 performances were shown by the minimal sequence-based distributed permutation flowshop scheduling model and position-based distributed permutation flowshop scheduling model, respectively, among these 6 different linear programming models. In this study, Naderi and Ruiz (2010) also proposed two factory assignment rules together with 14 heuristics based on dispatching rules, NEH method (Nawaz, Enscore, and Ham (1983)), and a variable neighborhood decent method (VND). As revealed by computational and statistical analysis, the NEH based heuristics with two factory assignment rules (denoted by NEH1 and NEH2, respectively) and the VND with two acceptance criteria (referred to as VNDa and VNDb, respectively) were the top four effective heuristics. Numerous

heuristics and metaheuristics have been also proposed for solving the DPFSP by minimizing the makespan criterion since the first study conducted by Naderi and Ruiz (2010). Liu and Gao (2010) presented an electromagnetism metaheuristic (EM) by combining numerous local search neighborhoods. They were able to improve 151 best-known solutions out of 720 large instances presented in Naderi and Ruiz (2010) but involving a significantly larger CPU time. An improved version of NEH2 of Naderi and Ruiz (2010) heuristic by using a novel insertion rule was presented by Gao and Chen (2011a). In the same year, a hybrid genetic algorithm (HGA) with an enhanced local search method was put forward by Gao and Chen (2011b). A revised VND by hybridizing the VND method and improved NEH heuristic was proposed by Gao et al. (2012). A tabu search (TS) algorithm based on exchanging sub-sequences between factories to generate neighboring solutions was presented by Gao, Chen, and Deng (2013). In the same year, a modified iterated greedy (MIG) method was put forward by Lin, Ying, and Huang (2013). They obtained much better results than the HGA and TS with greatly reduced CPU time by applying MIG. Once more, in the same year, an estimation of distribution algorithm (EDA) that uses explicit probability distributions in the search process was proposed by Wang et al. (2013). A scatter search algorithm (called SSNR) was presented by Naderi and Ruiz (2014). They deduced that the SSNR was a clear winner against the HGA, MIG, EM, TS, VNDa, VNDb, and VND (B&B). A hybrid immune algorithm (HIA) was proposed by Xu et al. (2014). The authors claimed that the HIA improved 585 out of 720 instances of Naderi and Ruiz (2010). A bound-search iterated greedy (BSIG) that incorporates several different local search procedures was proposed by Fernandez-Viagas and Framinan (2015). It was compared to the EDA, IG, and best methods presented in Naderi and Ruiz (2010). The results provided show a clear superiority of the BSIG over three other methods tested. The authors also improved 263 of the original 720 best-known solutions. More recently, a two-stage iterated greedy algorithm (IG2S) was presented by Ruiz, Pan, and Naderi (2019). The authors obtained 497 new upper bounds and average Relative Percentage Deviations were reduced by 60% when compared to BSIG and 81% when compared to SSNR.

As mentioned above, there is no study as an exact solution method for the DPFSP problem, except for the six linear programming model proposed by Naderi and Ruiz (2010). The best performance was given by the position-based distributed permutation flowshop scheduling model and minimal sequence-based distributed permutation flowshop scheduling model among these six models presented by Naderi and Ruiz (2010). In addition to these two best models of Naderi and Ruiz (2010), in this paper; two new models are developed based on the multiple-traveling salesman problem (mTSP) formulations available in Bektas (2006). After detecting the most effective existing and new mathematical formulations, these are the permutation flowshop scheduling model and the model developed through the multiple-traveling mTSP-assignment based integer programming formulation, different benders algorithms are developed using these models. Four different Benders decomposition algorithms are developed and tested based on the permutation flowshop scheduling model. The proposed pure benders algorithm through the permutation flowshop scheduling model follows the 4 different strategies that are given below.

1. Upon having solved the master model, the entire solution obtained from the master model solution (all decision

variables taking the value of 1) is fixed in the subproblem. One large optimality cut is obtained from the subproblem solution and this optimality cut is added to the master model to be solved in the next Benders iteration.

2. After having solved the master model, the master model solution is decomposed according to the factories to which at least 1 job is assigned. Then, separate cuts are obtained for each solution and afterward, each optimality cut obtained is added to the master problem separately for all factories for the subsequent master problem solution.
3. After having solved the master model, the makespans are calculated disjointedly for the factories to which at least 1 job is assigned in the master problem solution. The subproblem is solved only for the factory yielding the longest makespan and a single optimality cut is inserted into the master problem only for the factory yielding the longest makespan.
4. After having solved the master model, the makespan is calculated separately for the factories to which at least 1 factory is assigned in the master problem solution. The subproblem is solved only for the factory yielding the longest makespan and the optimality cut obtained from the subproblem solution is inserted separately for all factories.

Also, two different pure Benders decomposition algorithms are developed and tested based on the mTSP-assignment based integer programming formulation. The mTSP-assignment based integer programming formulation is structurally only suitable for the first and third the cut adding strategies mentioned above. In addition to these newly developed eight different exact methods, a hybrid Benders decomposition algorithm is developed by hybridizing the LS3 local search algorithm with the strategy one based pure Benders algorithm that is developed over the permutation flowshop scheduling model, in order to be able to accelerate the convergence of the Benders algorithm. Twelve different exact solution methods are compared with each other by using 84 problem instances and also the automatic Benders decomposition algorithm available ready-to-use in the CPLEX software. Experimental results demonstrated that the proposed hybrid algorithm is superior to all of the existing and new methods in terms of its efficiency and effectiveness. In this paper, 4 new best solutions are also determined for the DPFSP.

The remainder of this paper is structured as follows. Two new linear programming models developed by inspiring by the mTSP and the best two linear programming models put forward by Naderi and Ruiz (2010) are given in Section 2. Six different Benders decomposition algorithms developed are given in Section 3 and also the proposed hybrid Benders decomposition algorithm in Section 4. Computational results are presented in Section 5, followed by conclusions in Section 6.

2. Linear Programming Models

In this Section, the most performant two mathematical given in Naderi and Ruiz (2010) are presented and also two new models are developed by inspiring two different mTSP formulations. Before presenting each model, we initiate by informing about the parameters and indices employed. The common parameters and indices for all six proposed models are defined in Table 1.

The objective function for all models is makespan minimization:

$$\text{Objective: Minimize } C_{\max} \quad (1)$$

2.1. Position-based Linear Programming Model

Six models were proposed in Naderi and Ruiz (2010) and the following model is reported as the model giving the 2nd best performance in Naderi and Ruiz (2010) and called the model number 3 in their paper. In this paper, this model is demonstrated as Model_1. In this model, the decision variables given below have been used:

$C_{k,i,f}$ → Continuous variable representing the completion time of the job in position k on machine i at factory f .

$X_{j,k,f}$ → Binary variable that takes value 1 if job j occupies position k in factory f , and 0 otherwise.

The Model_1 is a position-based distributed permutation flowshop scheduling model and its mathematical model is given in detail below.

Objective function: Minimize C_{\max} (Equation 1)

Subject to:

$$\sum_{k=1}^N \sum_{f=1}^F X_{j,k,f} = 1 \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{f=1}^F X_{j,k,f} = 1 \quad k \in \{1, \dots, N\} \quad (3)$$

$$C_{k,i,f} \geq C_{k,i-1,f} + \sum_{j=1}^N X_{j,k,f} \cdot P_{j,i} \quad k \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (4)$$

$$C_{k,i,f} \geq C_{k-1,i,f} + \sum_{j=1}^N X_{j,k,f} \cdot P_{j,i} \quad k \in \{2, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (5)$$

$$C_{\max} \geq C_{k,M,f} \quad k \in \{1, \dots, N\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (6)$$

$$C_{k,0,f} = 0 \quad k \in \{1, \dots, N\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (7)$$

$$C_{k,i,f} \geq 0 \quad k \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (8)$$

$$X_{j,k,f} \in \{0, 1\} \quad k \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (9)$$

With Constraint set (2), it is enforced that every job must occupy exactly one position in the sequence. Constraint set (3) states that n positions among all nF possible must be occupied. Constraint set (4) controls that the processing of job in position k of factory f at each machine can only start when the processing of the same job on the previous machine is finished. Constraint set (5) ensures that each job can start only after the previous job assigned to the same machine at the same factory is completed. Notice that this previous job might not be exactly in the previous position but in any preceding positions. Constraint set (6) formulates the makespan. Constraint set (7) ensures that the completion time of the job in position k on machine 0 at factory f must be 0. Lastly, Constraint sets (8) and (9) define the decision variables.

Table 1. Parameters and indices used in the models.

Parameter	Description
N	Number of jobs
M	Number of machines
F	Number of factories
j, k	Index for jobs (or job positions in a sequence); $j, k \in \{1, 2, \dots, N\}$
i, l	Index for machines; $i, l \in \{1, 2, \dots, M\}$
f	Index for factories; $f \in \{1, 2, \dots, F\}$
$O_{j,i}$	Operation of job j at machine i
$P_{j,i}$	Processing time of $O_{j,i}$
$bigM$	A sufficiently large positive number

2.2. Minimal Sequence-based Linear Programming Model

The model given below is the best performing model among the models proposed by Naderi and Ruiz (2010) and called as the model 5 in their paper. In this paper, this model is denoted as Model_2. The said model is a minimal sequence-based distributed permutation flowshop scheduling model. Model_2 can solve the DPFSP without actually indexing the factories. Since the sequence-based variables are used, dummy jobs 0 need to be defined. Model_2 needs the following decision variables given below.

$X_{k,j} \rightarrow$ Binary variable that takes value 1 if the job j is processed immediately after the job k ; and 0 otherwise.

$C_{j,i} \rightarrow$ Continuous variable for the completion time of the job j on the machine i .

Model_2 exploits the dummy job 0 in such a way that it partitions a complete sequence into F parts each of which corresponds to a factory. This is performed through F repetitions of dummy job 0 in the sequence along with the other jobs. Therefore, this model searches the space with a sequence counting $n+F$ positions. One of these repetitions takes place in the first position of the sequence. All the subsequent jobs until the second repetition of dummy job 0 are scheduled in factory 1 with their current relative order. The jobs between the second and third repetitions of dummy job 0 are those allocated to factory 2. This repeating for all the subsequent repetitions of dummy job 0, the jobs after the F -th repetition of dummy job 0 until the last job in the sequence are those assigned to factory F . For example, consider a problem with $N = 6$ and $F = 2$, one of the possible solutions is $X_{0,1}=X_{1,3}=X_{3,6}=X_{6,0}=X_{0,4}=X_{4,2}=X_{2,1}=X_{1,5}=1$; that is, $\{0, 3, 6, 0, 4, 2, 1, 5\}$. In this example, the jobs 3 and 6 are allocated to factory 1 with this order $\{3, 6\}$ whereas the other jobs are assigned to factory 2 with the permutation or sequence $\{4, 2, 1, 5\}$. Model_2 is given in detail below.

Objective function: Minimize Cmax (Equation 1)

Subject to:

$$\sum_{k=0}^N X_{k,j} = 1 \quad j \in \{1, \dots, N\} \mid j \neq k \quad (10)$$

$$\sum_{j=0, k \neq j}^N X_{k,j} \leq 1 \quad k \in \{1, \dots, N\} \mid k \neq j \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{0,j} = F \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^N X_{k,0} = F - 1 \quad (13)$$

$$X_{k,j} + X_{j,k} \leq 1 \quad k \in \{1, \dots, N-1\}; j \in \{1, \dots, N\} \mid j \neq k, j > k \quad (14)$$

$$C_{j,i} \geq C_{j,i-1} + P_{j,i} \quad j \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\} \quad (15)$$

$$C_{j,i} \geq C_{k,i} + P_{j,i} + bigM(X_{k,j} - 1) \quad k, j \in \{1, \dots, N\} \mid k \neq j; i \in \{1, \dots, M\} \quad (16)$$

$$C_{max} \geq C_{j,M} \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (17)$$

$$C_{j,i} \geq 0 \quad j \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\} \quad (18)$$

$$X_{k,j} \in \{0, 1\} \quad k, j \in \{0, \dots, N\} \mid k \neq j \quad (19)$$

Note that $C_{k,0} = C_{0,l} = 0$. Constraint set (10) ensures that every job is required to be accurately at one position. Constraint set (11) indicates that every job has at most one subsequent job. Constraint set (12) enforces that dummy job 0 appears F times in the sequence as a predecessor where Constraint set (13) assures dummy job 0 must be a successor $F-1$ times. Constraint set (14) avoids the occurrence of cross-precedencies, meaning that a job cannot be at the same time both a predecessor and a successor of another job. Constraint set (15) forces that for every job j , $O_{j,i}$ cannot begin before $O_{j,i-1}$ completes. Similarly, Constraint set (16) specifies that if job j is scheduled immediately after the job k it's processing on each machine i cannot begin before the processing of the job k on the machine i finishes. Constraint set (17) defines the makespan. Lastly, Constraint sets (18) and (19) define the decision variables.

2.3. Linear Programming Model Based on the mTSP-assignment Based Integer Programming Formulation

This model (represented by Model_3) is developed based on the assignment-based integer programming formulation (Bektas (2006)) proposed for the mTSP solution. DPFSP is correlated to the scheduling of M jobs for F factories and mTSP is a generalization of the well-known traveling salesman problem, where more than one salesman is allowed to be used in the solution. In this sense, the scheduling of the jobs for F separate factories in the DPFSP and the usage of more than one salesman in the mTSP illustrates structural similarity. As a result, the developed new model (Model_3) enables the usage of the subtour elimination constraints proven to be effective. Model_3 uses the same decision variables ($X_{k,j}$ and $C_{j,i}$) with Model_2. In the original mTSP model, the decision variable $X_{k,j}$ is as follows and this decision variable is also pertinent to the DPFSP.

$X_{k,j}$ (in mTSP) → Binary variable that takes value 1 if arc (k, j) is used on the tour; and 0 otherwise.

$X_{k,j}$ (in Model_3) → Binary variable that take-s value 1 if the job j is processed immediately after the job k ; and 0 otherwise.

Model_3 also needs the continuous variable $(C_{j,i})$ for deciding the completion time of the job j on the machine i .

The integer linear programming formulation developed by drawing inspiration from the mTSP-assignment based integer programming formulation for the DPFSP solution is as follows:

Objective function: Minimize C_{max} (Equation 1)

Subject to:

$$\sum_{j=1}^N X_{0,j} = F \quad (20)$$

$$\sum_{k=1}^N X_{k,0} = F \quad (21)$$

$$\sum_{k=0}^N X_{k,j} = 1 \quad j \in \{1, \dots, N\} | j \neq k \quad (22)$$

$$\sum_{j=0}^N X_{k,j} = 1 \quad k \in \{1, \dots, N\} | k \neq j \quad (23)$$

$$U_k - U_j + NX_{k,j} \leq N - 1 \quad k, j \in \{1, \dots, N\} | k \neq j \quad (24)$$

And, Constraint sets (15), (16), (17), (18) and (19)

Note that $C_{k,0} = C_{0,l} = 0$. Constraint sets (20) and (21) ensure that exactly F salesmen depart from and return back to node 0 (the depot). Constraint sets (22) and (23) are the usual assignment constraints. Constraints (24) are used for preventing the sub tours, being degenerate tours that are formed between intermediate nodes and not associated to the origin. These constraints are named as subtour elimination constraints.

2.4. Linear Programming Model Based on the mTSP-flow-based Formulation

This model (shown by Model 4), is developed by inspiring the flow-based formulation available in Bektas (2006). In Model_4, the three-index decision variable given below is used.

$X_{k,j,f}$ → Binary variable that takes value 1 if vehicle f (factory) visits the node j (job j) immediately after the node k (job k); and 0 otherwise.

Similarly, Model_4 also requires the continuous variable $(C_{j,i})$ for deciding the completion time of the job j on the machine i .

Objective function: Eq. (1)

Subject to:

$$\sum_{k=0|k \neq j}^N \sum_{f=1}^F X_{k,j,f} = 1 \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (25)$$

$$\sum_{k=0|k \neq p}^N X_{k,p,f} - \sum_{j=0|j \neq p}^N X_{p,j,f} = 0 \quad p \in \{0, \dots, N\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{0,j,f} = 1 \quad f \in \{1, \dots, F\} \quad (27)$$

$$U_k - U_j + N \sum_{f=1}^F X_{k,j,f} \leq N - 1 \quad k, j \in \{1, \dots, N\} | k \neq j \quad (28)$$

$$C_{j,i} \geq C_{k,i} + P_{j,i} + bigM(X_{k,j,f} - 1) \quad k, j \in \{1, \dots, N\} | k \neq j; i \in \{1, \dots, M\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (29)$$

$$X_{k,j,f} \in \{0, 1\} \quad k, j \in \{0, \dots, N\} | k \neq j; f \in \{1, \dots, F\} \quad (30)$$

And, Constraint sets (15), (17) and (18)

Note that $C_{k,0} = C_{0,l} = 0$. Constraints (25) state that each customer (job) be visited exactly once and (26) are the flow conservation constraints ensuring that once a salesman (factory) visits a customer (job), then he must also depart from the same customer (job). Constraints (27) ensure that each vehicle (factory) is used exactly once and (28) is the extension of the sub tour elimination constraint to a three-index model. Constraint set (29), in a manner similar to the Constraint set (16), specifies that if the job j is scheduled immediately after the job k its processing on each machine i at the factory f cannot begin before processing the job k on the machine i at the factory f finishes.

3. Pure Benders Decomposition Algorithm-based Models

Benders decomposition has been proven a powerful technique for solving specially-structured large-scale linear and mixed-integer programs since its presentation in Benders (1962) (Sherali, and Fraticelli (2002)). The decomposition of a given model into master and subproblem is allowed. No more than a subset of the variables and constraints of the original model is incorporated in the master problem. The subproblem is the original model, the master problem variables of which are fixed, whose solution yields either optimality or feasibility cut for the master problem (Costa et al., (2012)). The Benders decomposition algorithm repeats between the master and sub-problem until an optimal solution is obtained. Readers can refer to the recent survey article presented by Rahmaniani et al. (2017) on the application of the Benders decomposition algorithm to combinatorial optimization problems.

In the following two sub-sections, four different pure Benders decomposition algorithm are developed based on Model_1 and two different pure Benders decomposition algorithm by using Model_3.

3.1. Model_1 Based Pure Benders Decomposition Algorithm

In this sub-section, four diverse pure Benders decomposition algorithms are developed based upon Model_1.

3.1.1. Version 1 of the Model_1 Based Pure Benders Decomposition Algorithm

This version of the pure Benders decomposition algorithm developed based on Model_1 is denominated as PB_Model1_V1. In PB_Model1_V1, after having solved the master model, the whole solution obtained from the master model solution (all decision variables taking the value of 1) is fixed in the subproblem. One large cut is obtained from the subproblem solution and this cut is added to the master model to be solved in the next Benders iteration. The subproblem is the dual of the primal subproblem and the primal subproblem is obtained by excluding the constraints from the original model that are common to the master model.

Let $M(C, X)$ denote the formulation (1)-(9) where $X = |j, k = 1, \dots, N; f = 1, \dots, F$ and $C = \{C_{k,i,f} | k = 1, \dots, N; i = 1, \dots, M; f = 1, \dots, F\}$ are the vectors of the decision variables. Let's suppose that the variables X have been fixed as $X = \hat{X} = \{X | X \text{ satisfies (2), (3), (9)}\}$. The resulting formulation, shown by $M(C, \hat{X})$, consists of only the variables C , and the constraints of which are assigned the dual variables $\alpha = \{\alpha_{k,i,f} \geq 0 | k = 1, \dots, N; i = 1, \dots, M; f = 1, \dots, F\}$ corresponding to constraints (4), $\beta = \{\beta_{k,i,f} \geq 0 | k = 2, \dots, N; i = 1, \dots, M; f = 1, \dots, F\}$ corresponding to constraints (5), $\gamma = \{\gamma_{k,f} \geq 0 | k = 1, \dots, N; f = 1, \dots, F\}$ corresponding to constraints (6), and $\delta = \{\delta_{k,f} = \text{unrestricted} | k = 1, \dots, N; f = 1, \dots, F\}$ corresponding to constraints (7), respectively. The dual $D = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \hat{X})$ of $M(C, \hat{X})$ is given by the following:

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^M \sum_{f=1}^F \alpha_{k,i,f} \sum_{j=1}^N \hat{X}_{j,k,f} P_{j,i} \\ & + \sum_{k=2}^N \sum_{i=1}^M \sum_{f=1}^F \beta_{k,i,f} \sum_{j=1}^N \hat{X}_{j,k,f} P_{j,i} \end{aligned} \quad (31)$$

Subject to:

$$\delta_{k,f} - \alpha_{k,1,f} \leq 0 \quad k \in \{1, \dots, N\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (32)$$

$$\sum_{k=1}^N \sum_{f=1}^F \gamma_{k,f} \leq 1 \quad (33)$$

$$\alpha_{1,i,f} - \alpha_{1,i+1,f} - \beta_{2,i,f} \leq 0 \quad i \in \{1, \dots, M-1\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (34)$$

$$\alpha_{1,M,f} - \beta_{2,M,f} - \gamma_{1,f} \leq 0 \quad f \in \{1, \dots, F\} \quad (35)$$

$$\alpha_{k,i,f} - \alpha_{k,i+1,f} + \beta_{k,i,f} - \beta_{k+1,i,f} \leq 0 \quad k \in \{2, \dots, N-1\}; i \in \{1, \dots, M-1\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (36)$$

$$\alpha_{k,M,f} + \beta_{k,M,f} - \beta_{k+1,M,f} - \gamma_{k,f} \leq 0 \quad k \in \{2, \dots, N-1\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (37)$$

$$\alpha_{N,i,f} - \alpha_{N,i+1,f} + \beta_{N,i,f} \leq 0 \quad i \in \{1, \dots, M-1\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (38)$$

$$\alpha_{N,M,f} + \beta_{N,M,f} - \gamma_{N,f} \leq 0 \quad f \in \{1, \dots, F\} \quad (39)$$

The model (master model) consisting of the Constraint sets (2), (3), and (9) always generates a viable solution, which, in turn, means that $D = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \hat{X})$ is always feasible for a given \hat{X} , and for an optimal solution $(\alpha, \beta, \gamma, \delta)$ of the dual problem, one obtains the following Benders optimality cuts:

$$z \geq \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{f=1}^F A_{j,k,f} X_{j,k,f} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=2}^N \sum_{f=1}^F B_{j,k,f} X_{j,k,f}$$

where z is a lower bound on the optimal solution value of $M(C, X)$, $A_{j,k,f} = \sum_{i=1}^M \hat{\alpha}_{k,i,f} P_{j,i}$ and $B_{j,k,f} = \sum_{i=2}^M \hat{\beta}_{k,i,f} P_{j,i}$. Using this result, we are now ready to present the following reformulation of $M(C, X)$, referred to as the master problem constructed using the set P_D of extreme points of $D = (C, X)$ and shown as $MP(P_D)$ below:

$$\text{Minimize } z \quad (40)$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^N \sum_{f=1}^F X_{j,k,f} = 1 \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (41)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{f=1}^F X_{j,k,f} = 1 \quad k \in \{1, \dots, N\} \quad (42)$$

$$z \geq \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{f=1}^F A_{j,k,f} X_{j,k,f} \quad (43)$$

$$+ \sum_{j=1}^N \sum_{k=2}^N \sum_{f=1}^F B_{j,k,f} X_{j,k,f} \quad (\alpha, \beta, \gamma, \delta) \in P_D$$

$$X_{j,k,f} \in \{0, 1\} \quad k \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\}; f \in \{1, \dots, F\} \quad (44)$$

Since the MP includes a large number of optimality cuts, it can be solved by using a cutting plane algorithm in practice, normally starting with $MP(\emptyset)$ with no optimality cuts (43) and generating the cuts on an as-needed basis. The algorithm usually stops after having solved a certain $MP(P)$, where $P \subset P_D$.

3.1.2. Version 2 of the Model_1 Based Pure Benders

Decomposition Algorithm

In this version (shown by `PB_Model1_V2`) as a more dissimilar approach, rather than producing only one cut over the solution received from the master model, the jobs found in the solution received from the master model are decomposed in accordance with the factories to which they are assigned. Subsequently, separate cuts are obtained for the factory solutions to which at least 1 job is assigned in the master model and afterward, each cut obtained is added to the master problem independently for all factories for the subsequent master problem solution. In other words, let's assume that the number of factories (F) is 2 and at least 1 job is assigned to each factory in the master problem solution. The subproblem is solved by using the cluster of jobs assigned to each factory and the produced cut is separately added to the master model for each factory. Since there is at least 1 job assigned to each factory in this example, 4 cuts in total are generated in each iteration and added to the master model. To explain with a more explanatory example, consider a problem with $N = 6$ and $F = 2$, one of the possible MP solutions is $X_{1,1,1} = X_{2,3,1} = X_{3,6,1} = X_{4,2,2} = X_{5,4,2} = X_{6,5,2} = 1$. In this example, the jobs 1, 2 and 3 are allocated to factory 1 with this order $\{1, 2, 3\}$ while the other jobs are assigned to factory 2 with the permutation or sequence $\{4, 5, 6\}$. According to this multiple cut generating and adding strategy, 2 different submodels consisting of the jobs $\{1, 2, 3\}$ and $\{4, 5, 6\}$ are generated. Each submodel is solved and each cut obtained from the submodel is added to the master model for every 2 factories. Since at least 1 job is assigned to each factory in the example, 2 different submodels are generated and solved. Each cut is added to the master model for every 2 factories. Thus, 4 cuts in total are added to the master model for this example.

In this version, the dual problem is independent from the factory indices. The main steps of this version of the problem are given below.

Input: Problem data, allowable optimality gap $\varepsilon \geq 0$

1: Set $LB = -\infty, UB = \infty$

2: while $(LB \leq UB)$ do

3: Solve MP in order to obtain $\hat{X} = \{X|X \text{ satisfies (2), (3), and (9)}\}$, and obtain solution value, *obj_master*
 4: **if** ($LB < obj_master$)
 5: $LB = obj_master$;
 6: **endif**
 7: **for** ($f = 1$ to F) //factory indices
 8: $counter = 1$;
 9: **for** ($j = 1$ to N) //job indices
 10: **for** ($k = 1$ to N) //position indices
 11: **if** ($X_{j,k,f} = 1$)
 12: $JL [counter] = j$; //job list
 13: $PL [counter] = k$; //position list
 14: $counter = counter + 1$;
 15: **endif**
 16: **endfor**
 17: **endfor**
 18: $NJ = counter - 1$; //number of job in the factory f
 19: **if** ($NJ > 0$)
 20: Solve SP depending on the jobs in JL and obtain the solution value of SP, *obj_sub*
 21: **if** ($UB > obj_sub$)
 22: $UB = obj_sub$;
 23: **endif**
 25: **for** ($g = 1$ to F) //g used for denoting the factories
 26: Insert optimality cut to MP for factory g by using the jobs in JL and their original positions in list PL
 27: **endfor**
 24: **endif**
 28: **endfor**
 29: **endwhile**
 30: **Report** the best solution found by the last MP solution

The subproblem is the dual of the model given below. Please note that the model has been transformed into the classic flow shop model. If there is at least 1 job assigned to at least one factory whatsoever in the solution obtained from the master problem, the subproblem is solved for that factory and the obtained cut is inserted again into the master problem separately by considering the original positions of the decision variables coming from the master problem solution. That is to say, the same cut is inserted into the master problem separately for each factory by considering the positions of the decision variables coming from the master problem solution.

$$\text{Minimize } C_{\max} = C_{NJ,M} \quad (45)$$

$$C_{k,i} \geq C_{k,i-1} + \sum_{j=1}^{NJ} \hat{X}_{JL[j],k} P_{JL[j],i} \quad k \in \{1, \dots, NJ\}; i \in \{1, \dots, M\} \quad (46)$$

$$C_{k,i} \geq C_{k-1,i} + \sum_{j=1}^{NJ} \hat{X}_{JL[j],k} P_{JL[j],i} \quad k \in \{2, \dots, NJ\}; i \in \{1, \dots, M\} \quad (47)$$

$$C_{k,0} = 0 \quad k \in \{1, \dots, NJ\} \quad (48)$$

$$C_{k,i} \geq 0 \quad k \in \{1, \dots, NJ\}; i \in \{1, \dots, M\} \quad (49)$$

In the formulation (45)-(49), $\hat{X} = \{\hat{X}_{j,k} | j \in JL[c], c = 1, \dots, NJ; k = 1, \dots, NJ\}$ comes from a factory solution of MP, and $C = \{C_{k,i} | k = 1, \dots, NJ; i = 1, \dots, M\}$ are the vectors of the decision variables. The resulting formulation, shown by $M(C, \hat{X})$, consists of the variables C only, and the constraints of which are assigned the dual variables $\alpha = \{\alpha_{k,i} \geq 0 | k =$

$1, \dots, NJ; i = 1, \dots, M\}$ corresponding to constraints (46), $\beta = \{\beta_{k,i} \geq 0 | k = 2, \dots, NJ; i = 1, \dots, M\}$ corresponding to constraints (47), and $\delta = \{\delta_k = \text{unrestricted} | k = 1, \dots, NJ\}$ corresponding to constraints (48), respectively. The dual $D = (\alpha, \beta, \delta, \hat{X})$ of $M(C, \hat{X})$ is given in the formulation (50)-(57).

$$\text{Maximize } \sum_{k=1}^{NJ} \sum_{i=1}^M \alpha_{k,i} \sum_{j=1}^{NJ} \hat{X}_{JL[j],k} P_{JL[j],i} + \sum_{k=2}^{NJ} \sum_{i=1}^M \beta_{k,i} \sum_{j=1}^{NJ} \hat{X}_{JL[j],k} P_{JL[j],i} \quad (50)$$

Subject to:

$$\delta_k - \alpha_{k,1} \leq 0 \quad k \in \{1, \dots, NJ\} \quad (51)$$

$$\alpha_{1,i} - \alpha_{1,i+1} - \beta_{2,i} \leq 0 \quad i \in \{1, \dots, M-1\} \quad (52)$$

$$\alpha_{1,M} - \beta_{2,M} \leq 0 \quad (53)$$

$$\alpha_{k,i} - \alpha_{k,i+1} + \beta_{k,i} - \beta_{k+1,i} \leq 0 \quad k \in \{2, \dots, NJ-1\}; i \in \{1, \dots, M-1\} \quad (54)$$

$$\alpha_{k,M} + \beta_{k,M} - \beta_{k+1,M} \leq 0 \quad k \in \{2, \dots, NJ-1\} \quad (55)$$

$$\alpha_{NJ,i} - \alpha_{NJ,i+1} + \beta_{NJ,i} \leq 0 \quad i \in \{1, \dots, M-1\} \quad (56)$$

$$\alpha_{NJ,M} + \beta_{NJ,M} \leq 1 \quad (57)$$

If any factory in the solution obtained from the master problem comprises at least 1 job, the cuts are added to the master model for all factories as given below.

for ($g = 1$ to F) //g used for denoting the factories

$$z \geq \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{k=1}^{NJ} A_{JL[j],PL[k]} X_{JL[j],PL[k],g} + \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{k=2}^{NJ} B_{JL[j],PL[k]} X_{JL[j],PL[k],g}$$

endfor

where z is a lower bound on the optimal solution value of $M(C, X)$, $A_{JL[j],PL[k]} = \sum_{i=1}^M \hat{\alpha}_{k,i} P_{JL[j],i}$ and $B_{JL[j],PL[k]} = \sum_{i=2}^M \hat{\beta}_{k,i} P_{JL[j],i}$.

In each Benders iteration, F*F cuts (maximum) are inserted in this version (if each factory includes at least 1 job in the master problem-solution).

3.1.3. Version 3 of the Model_1 Based Pure Benders Decomposition Algorithm

In this version (represented by PB_Model1_V3), differently from PB_Model1_V2, the makespans are calculated separately for the factories to which at least 1 job is assigned in the master problem solution. The subproblem is solved only for the factory yielding the longest makespan and the cut is inserted into the MP only for the factory yielding the longest makespan. In this version, only one cut is subsequently inserted in each Benders iteration.

After having obtained a job permutation from a factory solution of the master problem solution, the makespan is calculated by using a completion time matrix as proposed by Onwubolu and Davendra (2006). For illustrating the operating principle of the completion time matrix, let's apply it to a 5-machine and 10-job problem. Processing times are given in Table 2. Suppose that the

job permutation of i^{th} factory obtained from the master problem solution is $\pi = \{3, 5, 2, 1, 4\}$.

Table 2. Processing times for a 10×5 example problem.

Machine	Job									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	7	4	3	6	7	5	3	6	8
2	6	5	7	6	7	5	6	5	1	6
3	7	8	3	8	5	8	7	8	7	4
4	8	6	5	5	8	5	6	5	5	4
5	4	4	8	7	3	7	7	8	8	2

The completion time matrix is shown below with a makespan value of 58, which is the last entry in the matrix.

$$[C] = \begin{bmatrix} 4 & 10 & 17 & 22 & 25 \\ 11 & 18 & 23 & 29 & 35 \\ 14 & 23 & 31 & 38 & 46 \\ 19 & 31 & 37 & 46 & 51 \\ 27 & 34 & 41 & 50 & 58 \end{bmatrix}$$

3.1.4. Version 4 of the Model_1 Based Pure Benders Decomposition Algorithm

In this version (shown by PB_Model1_V4), similarly, with PB_Model1_V3, the makespan is calculated separately for the factories to which at least 1 factory is assigned in the master problem solution. The subproblem is solved only for the factory yielding the longest makespan and the cut obtained from the subproblem solution is inserted separately for all factories as is the case in PB_Model1_V2 (the same cut is applied to all factories). In this version, F cuts are subsequently inserted in each Benders iteration.

3.2. Model_3 Based Pure Benders Decomposition Algorithms

As will be seen in the Computation results section, the model called Model_3 has given the best performance among the models including the big M constraint. Therefore, 2 different Model_3 based pure Benders decomposition algorithms are developed in this Section. As also underlined often previously, Model_2 was presented by Naderi and Ruiz (2010) as the model yielding the best performance. A separate pure Benders decomposition algorithm is also developed for Model_2. The master problem for the developed Model_2 consists of the Constraint sets (10), (11), (12), (13), (14), and (19). But this generated master model may also yield unfeasible solutions and also needs the feasibility cuts accordingly. The Model_2 based pure Benders decomposition algorithm is not included in the paper since it produces very bad performance when compared to the Model_3 based Benders algorithm.

3.2.1. Version 1 of the Model_3 Based Pure Benders Decomposition Algorithm

In a manner similar to PB_Model1_V1, in this version (represented by PB_Model3_V1), the subproblem is solved by fixing all of the decision variables obtained from the master model

solutions in the subproblem. In this version, one large cut indicating the entire solution is inserted into master the problem in each Benders iteration. The master model consists of the Constraint sets (19) – (24) in the Benders algorithm of this model and the subproblem is the dual of the model given below.

$$\text{Minimize } C_{\max} \tag{58}$$

Subject to:

$$C_{j,i} \geq C_{j,i-1} + P_{j,i} \quad j \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\} \tag{59}$$

$$C_{j,i} \geq C_{k,i} + P_{j,i} + \text{big}M(\hat{X}_{k,j} - 1) \tag{60}$$

$$k \in \{0,1, \dots, N\}, j \in \{1, \dots, N\} \mid k \neq j; i \in \{1, \dots, M\}$$

$$C_{\max} \geq C_{j,M} \quad j \in \{1, \dots, N\} \tag{61}$$

$$C_{j,0} = 0 \quad j \in \{1, \dots, N\} \tag{62}$$

$$C_{0,i} = 0 \quad i \in \{1, \dots, M\} \tag{63}$$

$$C_{j,i} \geq 0 \quad j \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\} \tag{64}$$

In the formulation (58)-(64), $\hat{X} = \{\hat{X}_{k,j} \mid k \in \{0,1, \dots, N\}, j \in \{1, \dots, N\} \mid k \neq j\}$ comes from the MP solution, and $C = \{C_{k,i} \mid k = 1, \dots, N; i = 1, \dots, M\}$ are the vectors of the decision variables. Note that there is no need for the decision variables $\hat{X} = \{\hat{X}_{k,0} \mid k \in \{0,1, \dots, N\}\}$ in this formulation. The resulting formulation, shown by $M(C, \hat{X})$, consists of the variables C only and the constraints of which are assigned the dual variables; $\alpha = \{\alpha_{j,i} \geq 0 \mid j \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\}\}$ for constraints set (59), $\beta = \{\beta_{j,k,i} \geq 0 \mid j \in \{1, \dots, N\}; k \in \{0,1, \dots, N\} \mid k \neq j; i \in \{1, \dots, M\}\}$ for constraints set (60), $\gamma = \{\gamma_j \geq 0 \mid j \in \{1, \dots, N\}\}$ for constraint set (61), $\delta = \{\delta_j = \text{unrestricted} \mid j = 1, \dots, N\}$ for constraints (62), $\theta = \{\theta_i = \text{unrestricted} \mid i = 1, \dots, M\}$ for constraints (63), respectively. The dual $D = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta, \hat{X})$ of $M(C, \hat{X})$ is given in the formulation (65)-(70).

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \alpha_{j,i} P_{j,i} \\ & + \sum_{k=0}^N \sum_{j=1|j \neq k}^N \sum_{i=1}^M \beta_{j,k,i} [P_{j,i} \\ & + \text{big}M(\hat{X}_{k,j} - 1)] \end{aligned} \tag{65}$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^N \gamma_j \leq 1 \quad (66)$$

$$\alpha_{j,i} - \alpha_{j,i+1} - \sum_{k=1|k \neq j}^N \beta_{k,j,i} + \sum_{k=0|k \neq j}^N \beta_{j,k,i} \leq 0 \quad j \in \{1, \dots, N\}; i \in \{1, \dots, M\} \quad (67)$$

$$\alpha_{j,M} - \gamma_j - \sum_{k=1|k \neq j}^N \beta_{k,j,M} + \sum_{k=0|k \neq j}^N \beta_{j,k,M} \leq 0 \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (68)$$

$$\delta_j - \alpha_{j,1} \leq 0 \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (69)$$

$$\theta_i - \sum_{j=1}^N \beta_{j,0,i} \leq 0 \quad i \in \{1, \dots, M\} \quad (70)$$

The model (master model) constantly generates a viable solution, which, in turn, means that $D = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta, \hat{X})$ is always feasible for a given \hat{X} , and for an optimal solution $(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta)$ of the dual problem, one obtains the following Benders optimality cuts:

$$z \geq total + \sum_{k=0}^N \sum_{j=1|j \neq k}^N A_{k,j} X_{k,j}$$

where z is a lower bound on the optimal solution value of $M(C, X)$,

$$total = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \hat{\alpha}_{j,i} P_{j,i} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=0|k \neq j}^N \sum_{i=1}^M \hat{\beta}_{j,k,i} P_{j,i} - \sum_{j=1}^N \sum_{k=0|k \neq j}^N \sum_{i=1}^M \hat{\beta}_{j,k,i} bigM$$

$$A_{k,j} = \sum_{i=1}^M \hat{\beta}_{j,k,i} bigM$$

Using this result, we are now ready to present the following reformulation of $M(C, X)$, referred to as the master problem constructed by using the set P_D of extreme points of $D = (C, X)$ and shown as $MP(P_D)$ below:

$$\text{Minimize } z \quad (71)$$

Subject to:

$$z \geq total + \sum_{k=0}^N \sum_{j=1|j \neq k}^N A_{k,j} X_{k,j} \quad (72)$$

And, Constraint set (19) – (24)

As the MP includes a large number of optimality cuts, it can be solved by using a cutting plane algorithm in practice, normally starting with $MP(\emptyset)$ with no optimality cuts (72) and generating the cuts on an as-needed basis. The algorithm usually stops after having solved a certain $MP(P)$, where $P \subset P_D$.

3.2.2. Version 2 of the Model_3 Based Pure Benders Decomposition Algorithm

In this version (represented by PB_Model3_V2), similarly, with PB_Model1_V3, the makespan is calculated separately for the factories to which at least 1 factory is assigned in the MP solution. The subproblem is run only for the factory yielding the longest (maximum) makespan and the cut for the master model is generated only for the jobs causing the maximum makespan and inserted to the master model. For example, consider a problem with $N = 6$ and $F = 2$, one of the possible solutions of MP is $X_{0,1} = X_{1,3} = X_{3,6} = X_{6,0} = X_{0,4} = X_{4,2} = X_{2,1} = X_{1,5} = X_{5,0} = 1$; that is, $\{0, 3, 6, 0, 4, 2, 1, 5, 0\}$. In this example, jobs 3 and 6 are allocated to factory 1 with this order $\{3,6\}$ while the other jobs are assigned to factory 2 with the permutation or sequence $\{4, 2, 1, 5\}$. Once the makespans of the factories in the example by the makespan calculation method in PB_Model1_V3, let's assume that the 2nd factory is the factory yielding the longest makespan. In this version, only the cut consisting of the jobs $\{4, 2, 1, 5\}$ at the factory is generated and inserted into the master model.

Similarly, the master model consists of the Constraint sets (19)-(24) in the Benders algorithm developed for this version. While modeling the subproblem, let's assume that a list denominated JL holds the jobs assigned to the factory yielding the longest (maximum) makespan in the master model solution. Let's start it with the position index. Let 0 be in the position 0 and total number of jobs except for 0 available in the JL list be NJ . For example, for the example above, $JL = \{0, 4, 2, 1, 5\}$ and also NJ becomes equal to 4. The subproblem formed by the jobs in the JL list is the dual of the model, the primal of which is given below.

$$\text{Minimize } C_{max} \quad (73)$$

Subject to:

$$C_{JL[j],i} \geq C_{JL[j],i-1} + P_{JL[j],i} \quad j \in \{1, \dots, NJ\}; i \in \{1, \dots, M\} \quad (74)$$

$$C_{JL[j],i} \geq C_{JL[k],i} + P_{JL[j],i} + bigM(\hat{X}_{JL[k],JL[j]} - 1) \quad k \in \{0,1, \dots, NJ\}, j \in \{1, \dots, NJ\} | k \neq j; i \in \{1, \dots, M\} \quad (75)$$

$$C_{max} \geq C_{JL[j],M} \quad j \in \{1, \dots, NJ\} \quad (76)$$

$$C_{JL[j],0} = 0 \quad j \in \{1, \dots, NJ\} \quad (77)$$

$$C_{0,i} = 0 \quad i \in \{1, \dots, M\} \quad (78)$$

$$C_{JL[j],i} \geq 0 \quad j \in \{1, \dots, NJ\}; i \in \{1, \dots, M\} \quad (79)$$

In the formulation (73)-(79), $\hat{X} = \{\hat{X}_{JL[k],JL[j]} | k \in \{0,1, \dots, NJ\}, j \in \{1, \dots, NJ\} | k \neq j\}$ comes from the MP solution, and $C = \{C_{JL[k],i} | k = 1, \dots, NJ; i = 1, \dots, M\}$ are the vectors of the decision variables. Note that there is no need for the decision variables $\hat{X} = \{\hat{X}_{JL[k],0} | k \in \{0,1, \dots, NJ\}\}$ in this formulation. The resulting formulation, shown by $M(C, \hat{X})$, consists of the variables C only, and the constraints of which are assigned the dual variables; In the formulation (73)-(79), $\hat{X} = \{\hat{X}_{JL[k],JL[j]} | k \in \{0,1, \dots, NJ\}, j \in \{1, \dots, NJ\} | k \neq j\}$ comes from the MP solution, and $C = \{C_{JL[k],i} | k = 1, \dots, NJ; i = 1, \dots, M\}$ are the vectors of the decision variables. Note that there is no need for the decision variables $\hat{X} = \{\hat{X}_{JL[k],0} | k \in \{0,1, \dots, NJ\}\}$ in this formulation. The resulting formulation, shown by $M(C, \hat{X})$, consists of the variables C only, and the constraints of which are assigned the dual variables;

$\alpha = \{\alpha_{jL[j],i} \geq 0 \mid j \in \{1, \dots, NJ\}; i \in \{1, \dots, M\}\}$ for constraints set (74),

$\beta = \{\beta_{jL[j],JL[k],i} \geq 0 \mid j \in \{1, \dots, NJ\}; k \in \{0,1, \dots, NJ\} \mid k \neq j; i \in \{1, \dots, M\}\}$ for constraints set (75),

$\gamma = \{\gamma_{jL[j]} \geq 0 \mid j \in \{1, \dots, NJ\}\}$ for constraint set (76),

$\delta = \{\delta_{jL[j]} = \text{unrestricted} \mid j = 1, \dots, NJ\}$ for constraints (77),

$\theta = \{\theta_i = \text{unrestricted} \mid i = 1, \dots, M\}$ for constraints (78), respectively.

The dual $D = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta, \hat{X})$ of $M(C, \hat{X})$ is given by the following:

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{i=1}^M \alpha_{j,i} P_{jL[j],i} \\ & + \sum_{k=0}^{NJ} \sum_{j=1}^{NJ} \sum_{i=1}^M \beta_{j,k,i} [P_{jL[j],i} \\ & + \text{bigM}(\hat{X}_{jL[k],JL[j]} - 1)] \end{aligned} \quad (80)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^{NJ} \gamma_{jL[j]} \leq 1 \quad (81)$$

$$\begin{aligned} \alpha_{jL[j],i} - \alpha_{jL[j],i+1} - \sum_{k=1}^{NJ} \beta_{jL[k],JL[j],i} \\ + \sum_{k=0}^{NJ} \beta_{jL[j],JL[k],i} \leq 0 \end{aligned} \quad (82)$$

$j \in \{1, \dots, NJ\}; i \in \{1, \dots, M\}$

$$\begin{aligned} \alpha_{jL[j],M} - \gamma_{jL[j]} - \sum_{k=1}^{NJ} \beta_{jL[k],JL[j],M} \\ + \sum_{k=0}^{NJ} \beta_{jL[j],JL[k],M} \leq 0 \quad j \\ \in \{1, \dots, NJ\} \end{aligned} \quad (83)$$

$$\delta_{jL[j]} - \alpha_{jL[j],1} \leq 0 \quad j \in \{1, \dots, NJ\} \quad (84)$$

$$\theta_i - \sum_{j=1}^{NJ} \beta_{jL[j],0,i} \leq 0 \quad i \in \{1, \dots, M\} \quad (85)$$

The model (master model) always generates a feasible solution. This, in turn, means that $D = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta, \hat{X})$ is always feasible for a given \hat{X} , and for an optimal solution $(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta)$ of the dual problem, one obtains the following Benders optimality cuts:

$$z \geq \text{total} + \sum_{k=0}^{NJ} \sum_{j=1}^{NJ} A_{k,j} X_{jL[k],JL[j]}$$

where z is a lower bound on the optimal solution value of $M(C, X)$,

$$\begin{aligned} \text{total} = & \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \hat{\alpha}_{jL[j],i} P_{jL[j],i} \\ & + \sum_{j=1}^N \sum_{k=0}^N \sum_{i=1}^M \hat{\beta}_{jL[j],JL[k],i} P_{jL[j],i} \\ & - \sum_{j=1}^N \sum_{k=0}^N \sum_{i=1}^M \hat{\beta}_{jL[j],JL[k],i} \text{bigM} \\ A_{k,j} = & \sum_{i=1}^M \hat{\beta}_{jL[j],JL[k],i} \text{bigM} \end{aligned}$$

Using this result, we are now ready to present the following reformulation of $M(C, X)$, referred to as the master problem constructed by using the set P_D of extreme points of $D = (C, X)$ and shown as $MP(P_D)$ below:

$$\text{Minimize } z \quad (86)$$

Subject to:

$$z \geq \text{total} + \sum_{k=0}^N \sum_{j=1}^N A_{k,j} X_{jL[k],JL[j]} \quad (87)$$

And, Constraint set (19) – (24)

Since the MP includes a large number of optimality cuts, it can be solved by using a cutting plane algorithm in practice, normally starting with $MP(\emptyset)$ with no optimality cuts (87) and generating the cuts on an as-needed basis. The algorithm usually stops after having solved a certain $MP(P)$, where $P \subset P_D$.

4. Hybrid Benders Decomposition Algorithm

This section describes a hybrid algorithm that uses Benders Decomposition with a simple yet effectual enhancement mechanism entailing the generation of additional cuts by using LS3 algorithm (Ruiz, Pan, and Naderi (2019)) to help accelerate convergence. As also seen from the computational comparison section, the best performance is shown by PB_Model1_V1 (A single optimality cut inserting) among the pure Benders versions. Therefore, a hybrid Benders decomposition algorithm is developed based on PB_Model1_V1 in this section. In this hybrid Benders decomposition algorithm, one extra cut is generated and inserted into the MP (master problem) in each Benders iteration by using the local search algorithm denominated LS3 developed by Ruiz, Pan, and Naderi (2019). Different from the original LS3 algorithm, the LS3 algorithm used in this paper has taken its preliminary solution from the master problem solution. The LS3 algorithm does not oblige any algorithm parameters.

The LS3 algorithm, if summarized in a few words, starts with taking the MP solution. Then, the factory generating the C_{\max} is selected. A job is arbitrarily extracted from this factory and inserted into all possible positions in all factories (including the one generating the makespan). If the best C_{\max} in all these insertions is better than the starting C_{\max} , the job is relocated and the search starts again from the beginning; otherwise, the job is reinserted back into its original position and the search continues. The procedure iterates until all jobs from the factory generating

the C_{\max} will have been tested (randomly and without repetition). The pseudo code of LS3 is given in the following.

procedure LS3 ($\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_F\}$) //It starts with taking the MP solution

- 1: $C_{\max}^* = \max_{f=1}^F \{C_{\max}(\pi_1), \{C_{\max}(\pi_2), \dots, \{C_{\max}(\pi_F)\}\}$
- 2: $f_{\max} = \arg(C_{\max}^*)$ % (factory with the largest C_{\max})
- 3: $Cnt = 0$
- 4: **while** ($Cnt \leq |\pi_{f_{\max}}|$) **do** % (all jobs in factory f_{\max})
- 5: Randomly extract, without repetition, a job j from position k of $\pi_{f_{\max}}$
- 6: **for** ($f = 1$ to F)
- 7: Test job j in all possible positions of π_f % (Taillard-BSIG accelerations)
- 8: C_{\max}^f is the lowest C_{\max} obtained
- 9: p^f is the position where the lowest C_{\max} obtained
- 10: **endfor**
- 11: $f_{\min} = \arg(\min_{f=1}^F (C_{\max}^f))$
- 12: **if** ($C_{\max}^f < C_{\max}^*$)
- 13: Place job j at position p^f of factory f_{\min}
- 14: $C_{\max}^* = \max_{f=1}^F \{C_{\max}(\pi_1), \{C_{\max}(\pi_2), \dots, \{C_{\max}(\pi_F)\}\}$
- 15: $f_{\max} = \arg(C_{\max}^*)$ // (factory with the largest C_{\max})
- 16: $Cnt = 0$
- 17: **elseif**
- 18: Return job j to position k of f_{\max}
- 19: $Cnt = Cnt + 1$
- 20: **endif**
- 21: **endwhile**

The hybrid Benders decomposition is an iterative algorithm generating optimality cuts (43) in each iteration based on an optimal MP solution \hat{X} and uses \hat{X} as an input to the LS3 to generate a neighbor solution \hat{X}_{LS3} , inducing an supplementary optimality cut inserted into the master problem. In the hybrid Benders algorithm, 2 cuts, one of which is generated from a previous master model problem solution and the other from the LS3 algorithm, are inserted to the master model in each Benders iteration. The pseudo-code of the proposed algorithm is given in the following.

Input: Problem data, allowable optimality gap $\varepsilon \geq 0$

1. Set $LB = -\infty, UB = \infty$
- 2: **while** ($LB \leq UB$) **do**
- 3: Solve MP in order to obtain $\hat{X} = \{X|X \text{ satisfies (2), (3), and (9)}\}$, and obtain solution value, obj_master
4. **if** ($LB < obj_master$)
- 5: $LB = obj_master$;
- 6: **endif**
- 7: Solve SP depending on Constraint sets (31) – (39) with \hat{X} , obtain the solution value of SP, obj_sub
- 8: **if** ($UB > obj_sub$)
- 9: $UB = obj_sub$;
- 10: **endif**
- 11: Considering the MP solution (\hat{X}) as the initial solution of LP3, run the LS3 algorithm to get a new solution (\hat{X}_{LS3})
- 12: Solve the SP depending on Constraint sets (31) – (39) with \hat{X}_{LS3} , obtain the solution value of SP, obj_sub_LS3
- 13: **if** ($UB > obj_sub_LS3$)
- 14: $UB = obj_sub_LS3$;

15: **endif**

16. Insert the optimality cuts into the MP for the solutions \hat{X} and \hat{X}_{LS3} //Inserting Constraint set (43) to MP for both solutions

17: **endwhile**

18: **Report** the best solution found by the last MP solution

5. Computational Results

The experiments are conducted in three main stages. First, the mathematical models and automated Benders decomposition versions of these models (available within the software) are compared with each other. The pure Benders algorithms proposed in the subsequent sub-section are compared with each other. Then the developed hybrid Benders decomposition algorithm was compared to the other methods. The algorithm and its variants are coded in Visual C++, using CPLEX 12.7.1 as the solver. An Intel Core i5-2450M computer with a 2.5 GHz CPU and 4 GB memory was used. The tests are accomplished on 84 problem instances of the distributed permutation flowshop scheduling problem available at <http://soa.iti.es>. The data used in the experiments are taken from the data file named DPFSP_Small. The problem instances in the DPFSP_Small data file has been demonstrated with 4 main indices. For instance, such as I_2_4_2_1 and I_4_16_5_1. The numbers here indicate the dataset number {1, 2, 3, 4, 5} and how many factories {2, 3, 4}, how many jobs {4, 6, 8, 10, 12, 14, 16}, and how many machines {2, 3, 4, 5} are available in the dataset, respectively. In the experiments, the datasets whose last index is 1 in the data file named DPFSP_Small are solved. Furthermore, all models are solved under a limitation of 1800 seconds. In the execution of the variants of the Benders algorithm, the presolver of the CPLEX is deactivated, whereas, in the solution of the mathematical models, this decision is left to the CPLEX solver. Deterministic mode with four threads is used in the CPLEX solver in all exact algorithms runs.

5.1. Performance Comparisons of the Mathematical Models

In this stage, the four models given in Section 2.1 are evaluated with the automatic Benders decomposition algorithm obtainable as ready-to-use within the CPLEX. The automatic Benders decomposition algorithm of the CPLEX (shown by ABD) is applied to 4 mathematical models given in Section 2.1. Among these four models, only Model_1 is able to produce solutions with the automatic Benders decomposition algorithm. The other 3 models are unable to produce solution with the automatic Benders algorithm. The summarized results are shown in Table 3 and the results are shown in Figure 1 to facilitate the reading of the data given in Table 3, as well. As seen from Table 3 and Figure 1, maximum number of instances are solved optimally by Model_1 (56 instances), Model_3 (54 instances), Model_2 (53 instances), Model_1_ABD (48 instances), and Model_4 (46 instances), respectively. In terms of average time, the Model_3 yielded the lowest time average with 56.40 (average of the times of 54 optimal solutions). 46 instances are also solved optimally by all methods. The instances solved jointly are solved by Model_3 in the shortest average period (5.91 seconds on average). Model_3 is followed by Model_2, Model_1, Model_1_ABD, and Model 4 with 6.81, 24.91, 49.69, and 109.25 seconds in average, respectively. The worst performance is given by Model_4 with 109.25 seconds on average. In terms of suboptimal solutions gaps, Model_1 yielded the lowest gap value with 9.13 on average. The best performance is given by Model_1

with a gap average of 9.48 in 24 common instances that cannot be solved optimally. Model_1 is followed by Model_1_ABD, Model_3, Model_2, and Model_4 with the gap averages of 23.45, 25.83, 27.60, and 30.60, respectively. The maximum best integer solution is yielded by Model_1 with 82 solutions. Model_1 is followed by Model_3, Model_2, Model_1_ABD, and Model_4 with 71, 67, 61, and 58 solutions, respectively. If we consider all

5.2. Performance Evaluation of the Pure Benders Decomposition Algorithms

In this stage, 4 different pure Benders decomposition algorithms generated from Model_1 and 2 different Benders decomposition algorithms generated from Model_3 are compared. Summary results are shown in Table 4 and the results are also shown in Figure 2 to facilitate the reading of the data given in Table 4. As seen from Table 4 and Figure 2, maximum optimal solutions are found by PB_Model1_V1 with 54 solutions. PB_Model1_V1 was followed by PB_Model1_V3, PB_Model3_V1, PB_Model3_V2, PB_Model1_V2, and PB_Model1_V4 with 51, 35, 35, 30, and 30 optimal solutions, respectively. 29 common instances can be solved optimally by all 6 methods. The instances solved jointly are solved in the shortest time by PB_Model3_V1 with an average time of 9.94; moreover, 30 widespread instances cannot be solved optimally by all 6 methods. The lowest average gap value is yielded by PB_Model1_V1 with 39.06 in 30 instances that cannot be solved jointly. PB_Model1_V1 yields the highest average lower bound and lowest upper bound values among the 4 Model_1 based Benders decomposition algorithm version for the 30 instances that cannot be solved jointly. PB_Model3_V1 and PB_Model3_V2 models do not succeed in raising the lower bound that cannot be solved optimally and the gap values in the instances that cannot be solved by them optimally are 100%. On the other hand, the shortest average solution time is reached by these two models (PB_Model3_V1 and PB_Model3_V2) in the instances they are able to solve optimally. As a general interpretation, it can be said that PB_Model1_V1 is the most attractive Benders algorithm since it can solve maximum number of examples optimally and also yields the lowest average gap value in the instances that cannot be solved optimally.

5.3. Performance of the proposed hybrid Benders decomposition algorithm

performance values, Model_3 is given better performance compared to Model_2 and it can be evidently said that the worst performance is given by Model_4 among 4 models. It is not possible to make a definitive distinction as to whether Model_1 or Model_3 is the best. Moreover, different comparisons can be made within Model_3 by using different sub tour elimination constraints available in the literature.

In this stage, the results of the proposed hybrid Benders decomposition algorithm are given. As seen from Table 5 and 6, the proposed hybrid Benders decomposition algorithm solves 75 instances optimally and in 273.68 seconds on average, except for 9 instances (data numbers 25, 52, 53, 54, 55, 56, 80, 83, and 84). Average gap values of 9 instances that cannot be solved by it optimally are calculated to be 22.72. If we include the results of the other 11 models given in Tables 3 and 4 in the comparison, it can be easily said that the proposed hybrid Benders decomposition algorithm has given the most effective performance among 12 models. We also developed and tested various versions of the Pareto cuts for the proposed hybrid Benders decomposition algorithm. Since the results were much worse in terms of performance, we did not include them in the paper. Besides, since the hybrid Benders decomposition algorithm was deficient to optimally solve problem instances larger than 16 jobs, we also completed the experiments here and we also did not add the results for the big problem instances to the paper.

Although it is not very convenient to compare any exact solution method directly with any approximation algorithm, ultimately, the results obtained by the hybrid Benders decomposition algorithm are compared with the results of a recently published state-of-the-art heuristic for solving this problem, namely the iterated greedy algorithm of Ruiz et al. (2019), in terms of the value of the solutions determined. It is seen that the results obtained for 4 problem instances are better than the best-known solutions given in Ruiz et al. (2019) available at <http://soa.iti.es>. The mentioned problem instances are I_2_16_5_1, I_3_16_3_1, I_3_16_5_1 and I_4_16_4_1. The previous best-known solutions for problem instances mentioned are 526, 340, 453 and 323, respectively, while the new best-found solutions are 523, 339, 451, and 319, respectively. The corresponding Gantt chart for these instances is presented in Figure 3-6.

Table 3. Summarized comparisons of the mathematical models and ABD.

General Statistics		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 1 ABD
Optimal Solution	Proven	56	53	54	46	48
	Avg. Time	86.46	67.69	56.40	109.25	81.24
Common instances being optimally solved by five methods (46 instances)	Avg. Time	24.91	6.81	5.91	109.25	49.69
	Feasible	28	31	30	38	36
Suboptimal Solution	Avg. Gap%	9.13	27.99	27.36	29.91	10.57
	Avg. Gap%	9.48	27.60	25.83	30.60	23.45
Number of a best integer solution		82	67	71	58	61

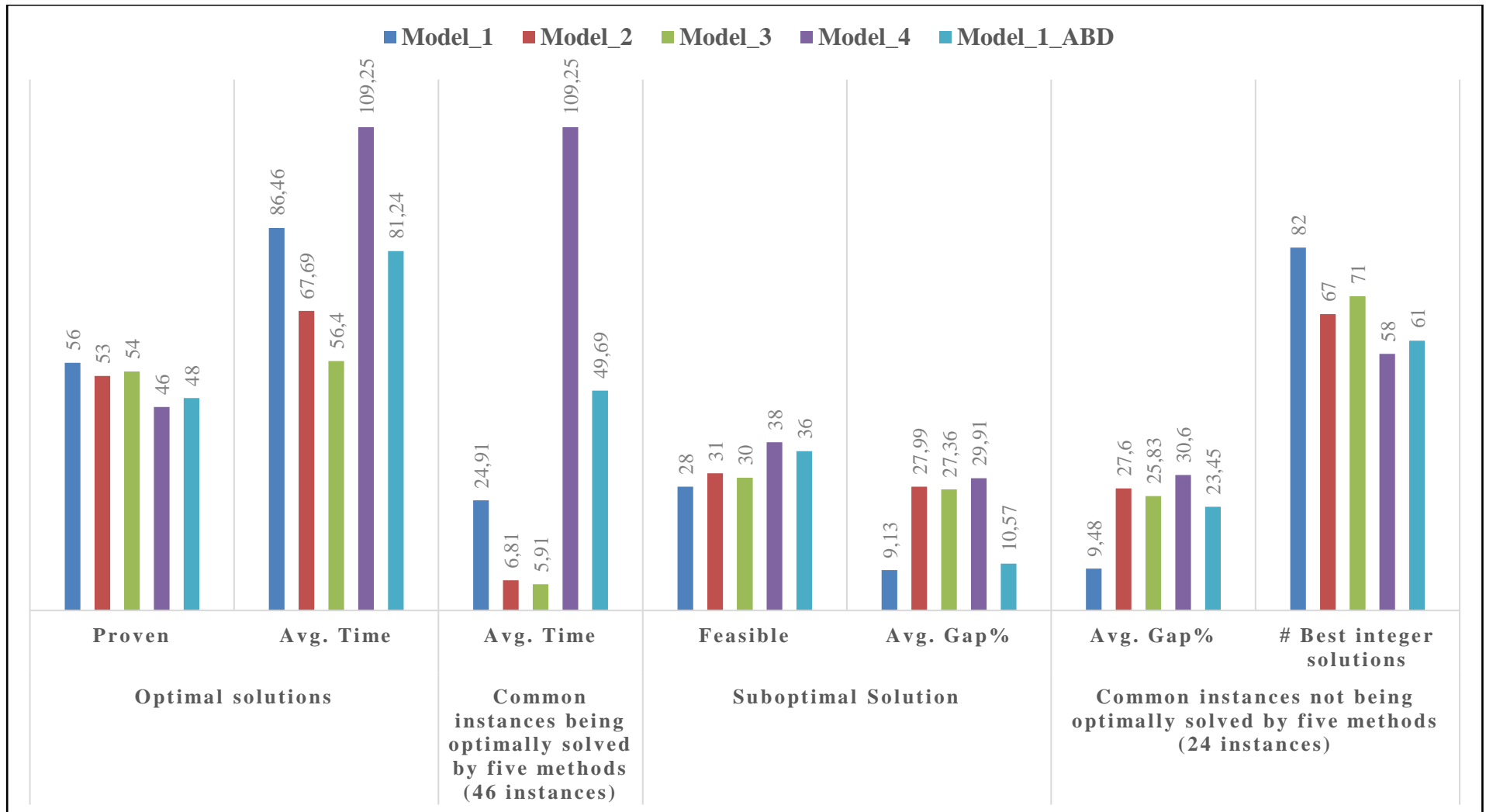


Figure 1. Summarized comparisons of the mathematical models and ABD.

Table 4. Summarized comparisons of the pure Benders decomposition models.

General Statistics		PB_Model1_V1	PB_Model1_V2	PB_Model1_V3	PB_Model1_V4	PB_Model3_V1	PB_Model3_V2
	Proven	54	30	51	30	35	35
Optimal Solution	Avg-Time	393.70	134.37	460.52	121.77	41.83	34.41
	Avg-Iteration	71.43	82.73	420.69	119.56	292.02	304.57
Common instances being optimally solved by six methods (29 instances)	Avg-Time	35.40	92.68	136.92	77.30	9.94	11.43
	Avg-Iteration	49.96	76.13	224.75	105.62	144.37	163.93
	Feasible	30	54	33	54	49	49
Suboptimal Solution	Avg-Gap%	43.25	25.54	40.39	28.66	100	100
	Avg-Iteration	22.18	179.68	383.75	260.62	4676.91	5229.12
	Avg-Lower Bound	258.63	292.96	247.67	278.24	0	0
	Avg-Upper Bound	449.18	407.57	419.39	406.81	404	400.97
	Avg-Gap%	39.06	43.25	41.32	45.35	100	100
Common instances not being optimally solved by six methods (30 instances)	Avg-Iteration	22.18	90.59	365.36	104.59	4766.05	5501.90
	Avg-Lower Bound	258.63	277.31	249.81	253.04	0	0
	Avg-Upper Bound	449.18	465.95	430.90	474.86	438.09	435.72
	Highest Lower Bound	63	42	55	38	35	35
Number of Best Bounds	Lowest Upper Bound	56	31	58	34	40	41

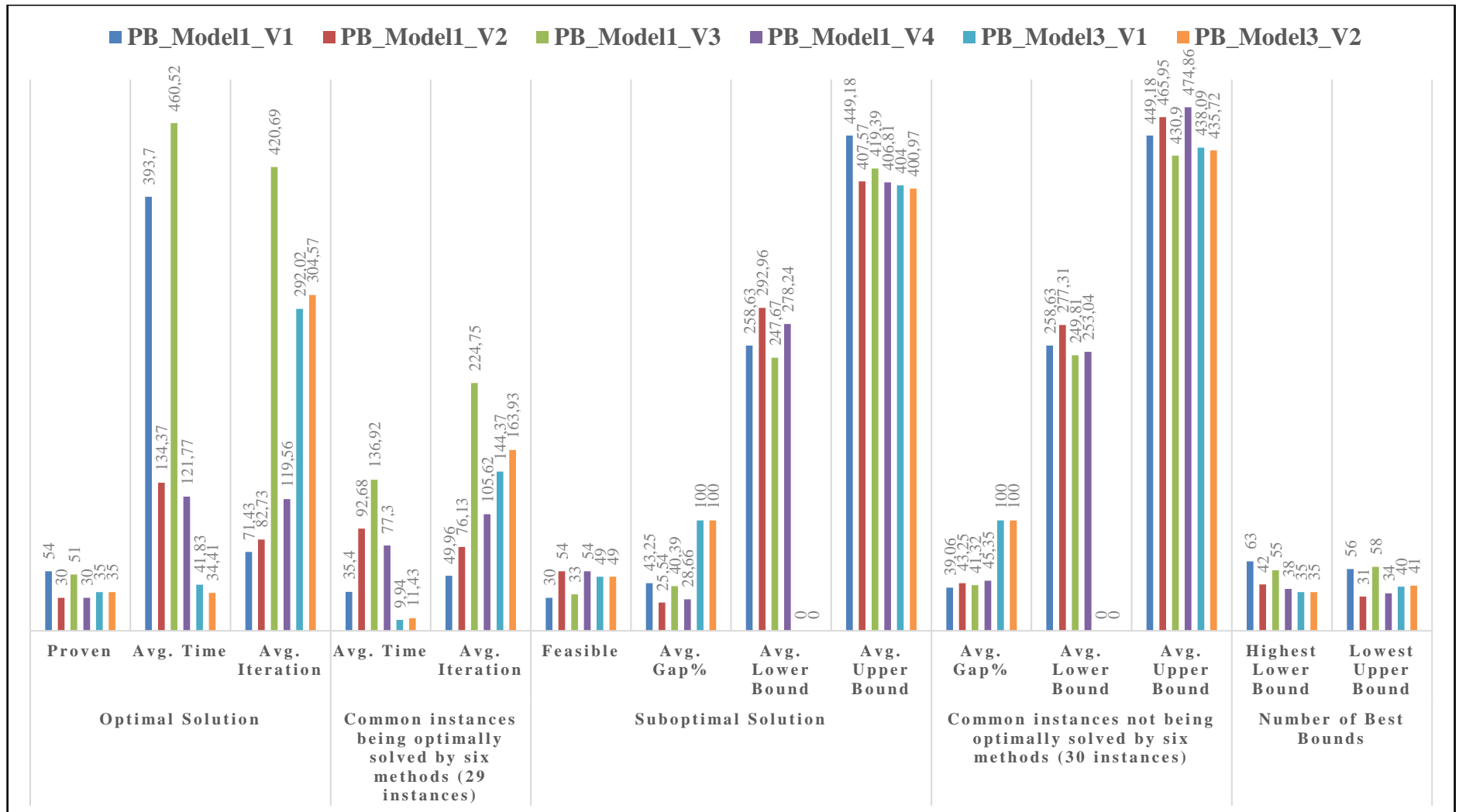


Figure 2. Summarized comparisons of the pure Benders decomposition models.

Table 5. Results of the proposed hybrid Benders decomposition algorithm.

Data No	Number of Machines	Number of Jobs	Number of Factories	Lower Bound	Upper Bound	Gap%	Number of Iterations	Cpu Time
1	2	4	2	112	112	0.00	8	1.60
2	3	4	2	219	219	0.00	9	8.38
3	4	4	2	267	267	0.00	9	1.24
4	5	4	2	337	337	0.00	12	1.62
5	2	6	2	184	184	0.00	10	2.64
6	3	6	2	274	274	0.00	18	5.44
7	4	6	2	323	323	0.00	12	2.58
8	5	6	2	386	386	0.00	26	8.90
9	2	8	2	188	188	0.00	11	6.65
10	3	8	2	341	341	0.00	21	14.29
11	4	8	2	364	364	0.00	27	11.77
12	5	8	2	468	468	0.00	42	28.69
13	2	10	2	345	345	0.00	18	117.55
14	3	10	2	360	360	0.00	35	17.56
15	4	10	2	421	421	0.00	31	5.52
16	5	10	2	452	452	0.00	64	37.75
17	2	12	2	354	354	0.00	20	34.79
18	3	12	2	431	431	0.00	26	30.73
19	4	12	2	423	423	0.00	63	104.72
20	5	12	2	538	538	0.00	87	601.19
21	2	14	2	474	474	0.00	12	38.35
22	3	14	2	514	514	0.00	25	304.37
23	4	14	2	458	458	0.00	66	500.89
24	5	14	2	536	536	0.00	71	752.70
25	2	16	2	507	569	10.89	11	1800
26	3	16	2	489	489	0.00	56	1159.95
27	4	16	2	585	585	0.00	21	812.12
28	5	16	2	523	523	0.00	45	1798.15
29	2	4	3	139	139	0.00	11	0.42
30	3	4	3	197	197	0.00	12	0.36
31	4	4	3	263	263	0.00	11	0.46
32	5	4	3	390	390	0.00	9	0.78
33	2	6	3	161	161	0.00	12	0.51
34	3	6	3	222	222	0.00	14	0.91
35	4	6	3	249	249	0.00	19	1.04
36	5	6	3	351	351	0.00	15	0.93
37	2	8	3	210	210	0.00	18	2.04
38	3	8	3	271	271	0.00	25	3.26
39	4	8	3	343	343	0.00	33	6.08
40	5	8	3	344	344	0.00	28	3.19
41	2	10	3	208	208	0.00	29	23.46
42	3	10	3	270	270	0.00	35	16.08

Table 6. Results of the proposed hybrid Benders decomposition algorithm (continued).

Data No	Number of Machines	Number of Jobs	Number of Factories	Lower Bound	Upper Bound	Gap%	Number of Iterations	Cpu Time
43	4	10	3	331	331	0.00	41	44.64
44	5	10	3	338	338	0.00	37	14.11
45	2	12	3	215	215	0.00	23	149.36
46	3	12	3	336	336	0.00	57	648.67
47	4	12	3	357	357	0.00	44	376.24
48	5	12	3	458	458	0.00	85	1568.31
49	2	14	3	225	225	0.00	16	753.86
50	3	14	3	324	324	0.00	25	1545.62
51	4	14	3	383	383	0.00	41	856.40
52	5	14	3	392	463	15.33	30	1800.02
53	2	16	3	260	392	33.67	11	1800.01
54	3	16	3	339	348	2.58	30	1800.02
55	4	16	3	338	481	29.73	23	1800.02
56	5	16	3	451	462	2.38	20	1800.03
57	2	4	4	164	164	0.00	14	0.87
58	3	4	4	229	229	0.00	12	0.73
59	4	4	4	251	251	0.00	6	0.21
60	5	4	4	248	248	0.00	15	0.56
61	2	6	4	164	164	0.00	15	1.48
62	3	6	4	227	227	0.00	14	0.67
63	4	6	4	262	262	0.00	29	3.23
64	5	6	4	309	309	0.00	18	1.44
65	2	8	4	187	187	0.00	22	4.10
66	3	8	4	213	213	0.00	39	7.50
67	4	8	4	326	326	0.00	31	5.05
68	5	8	4	359	359	0.00	22	4.43
69	2	10	4	155	155	0.00	29	10.34
70	3	10	4	219	219	0.00	33	9.70
71	4	10	4	346	346	0.00	47	15.71
72	5	10	4	327	327	0.00	85	96.19
73	2	12	4	183	183	0.00	23	51.47
74	3	12	4	237	237	0.00	69	801.38
75	4	12	4	290	290	0.00	77	364.45
76	5	12	4	411	411	0.00	110	103.43
77	2	14	4	235	235	0.00	24	962.26
78	3	14	4	303	303	0.00	28	1658.01
79	4	14	4	357	357	0.00	63	1355.33
80	5	14	4	390	399	2.26	57	1800.02
81	2	16	4	295	295	0.00	11	1558.69
82	3	16	4	294	294	0.00	23	1081.95
83	4	16	4	319	328	2.74	25	1800.02
84	5	16	4	304	457	33.48	24	1800.05

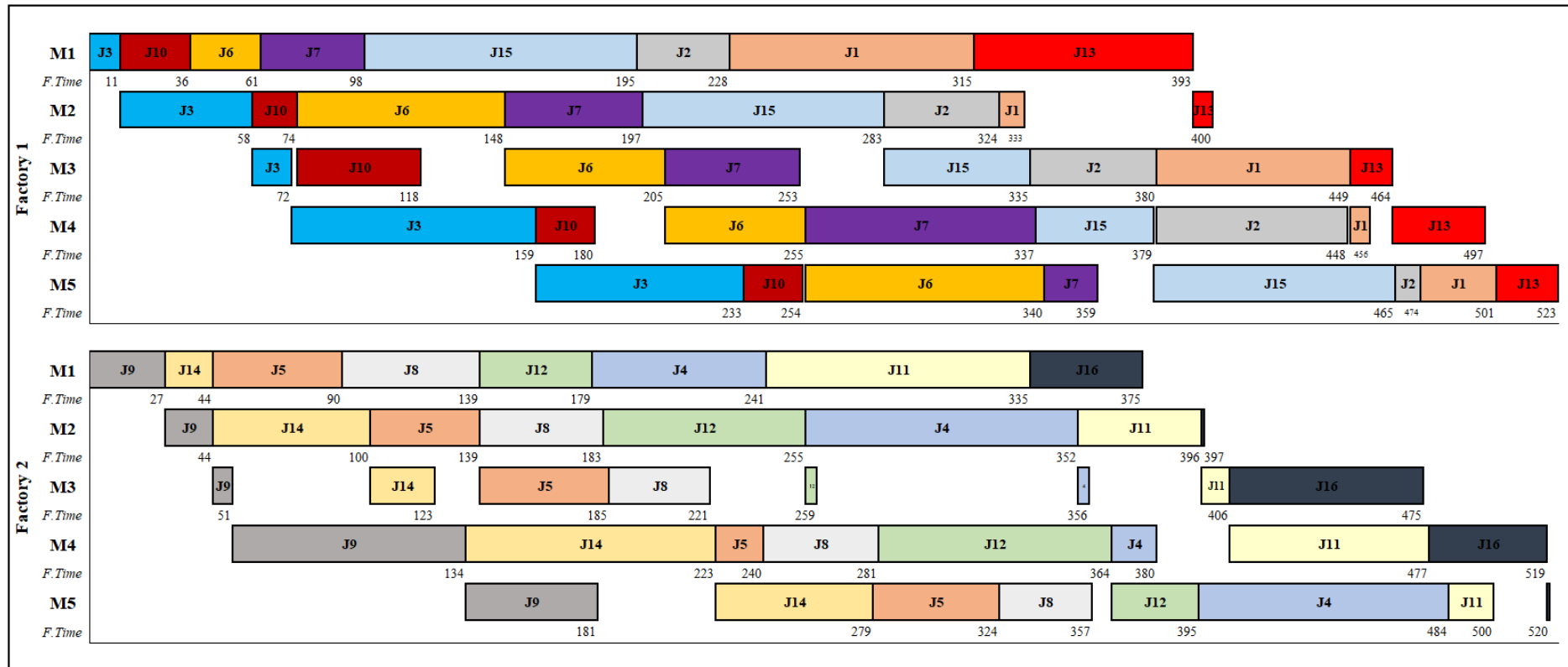


Figure 3. Gantt chart of the new best solution obtained by the Hybrid Benders Algorithm for instance I_2_16_5_1.

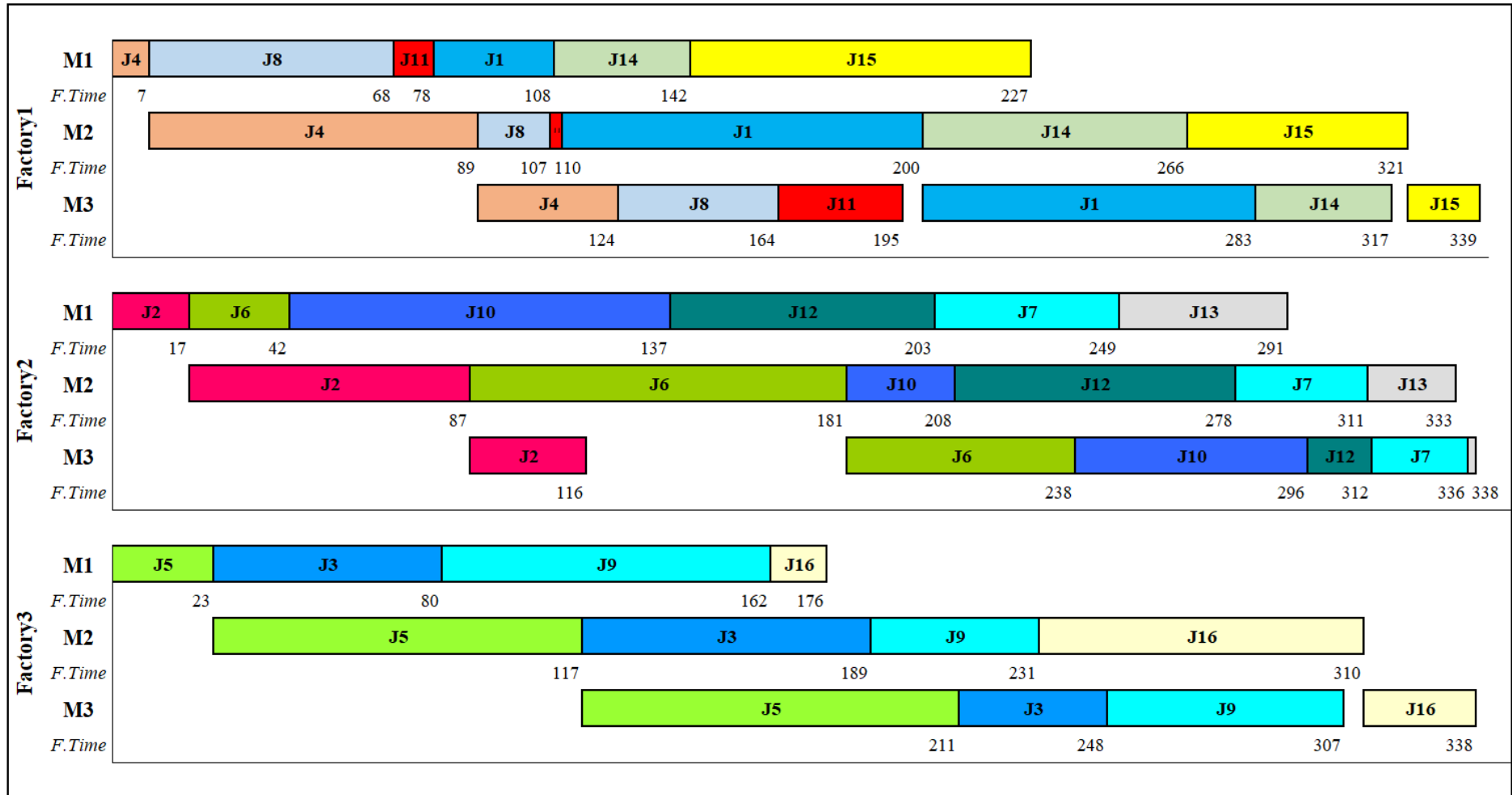


Figure 4. Gantt chart of the new best solution obtained by the Hybrid Benders Algorithm for instance I_3_16_3_1.

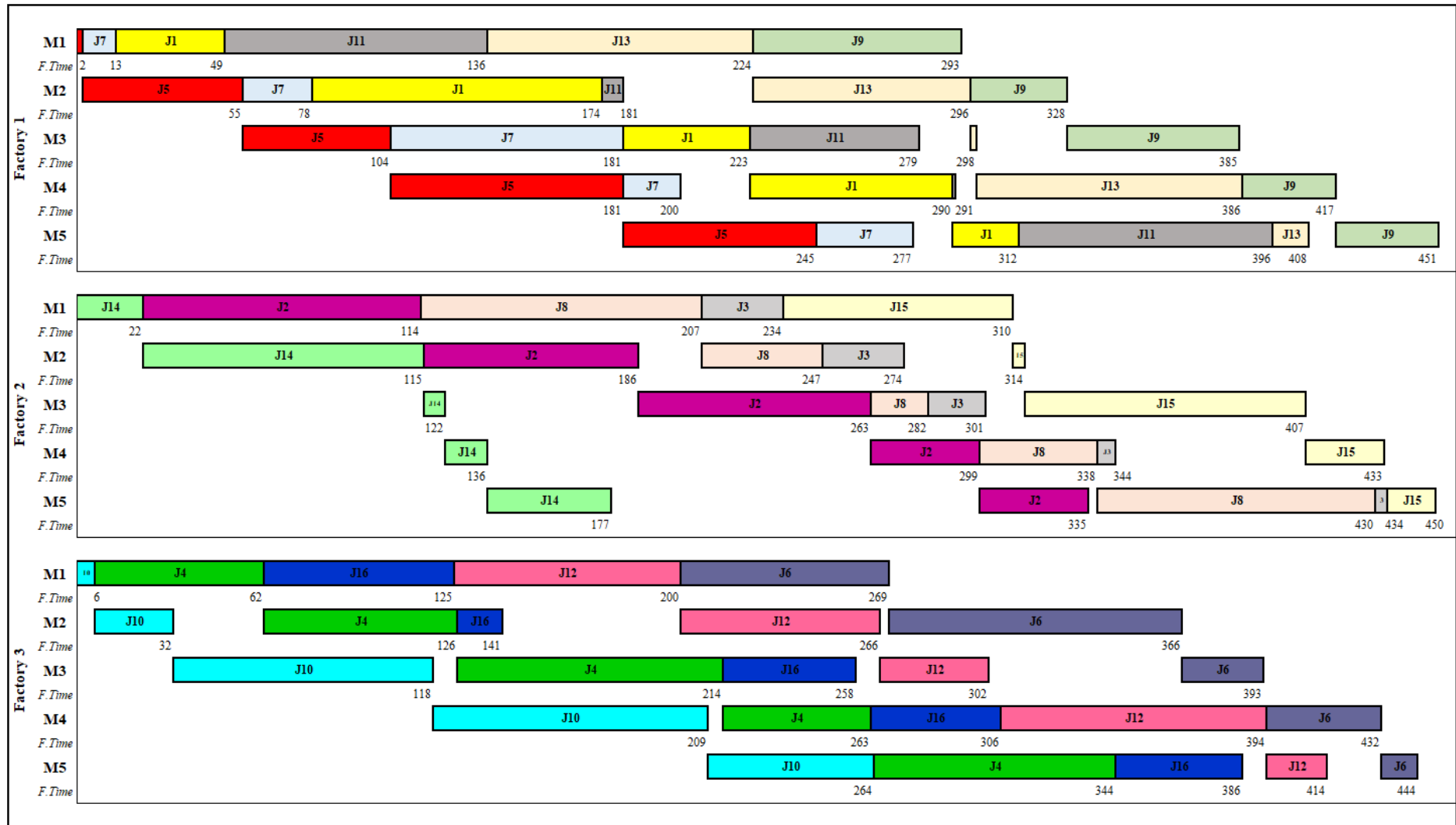


Figure 5. Gantt chart of the new best solution obtained by the Hybrid Benders Algorithm for instance I_3_16_5_1.

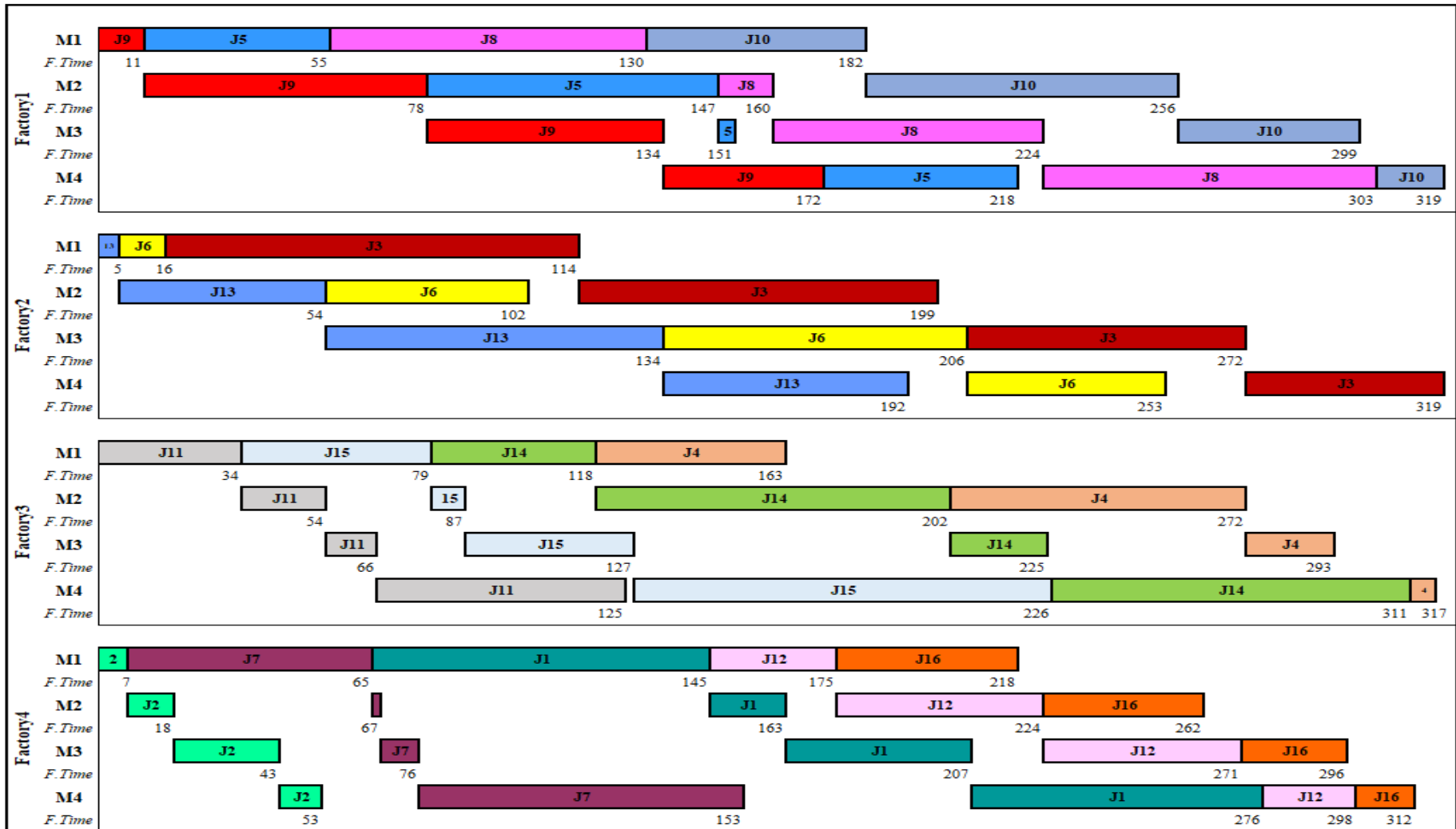


Figure 6. Gantt chart of the new best solution obtained by the Hybrid Benders Algorithm for instance I_4_16_4_1.

6. Conclusion

The distributed permutation flowshop scheduling problem (DPFSP) has in recent times occurred as a generalization of the regular flowshop scheduling problem where several factories are available and accessible for dispensation of the jobs. The DPFSP dealing with real-life applications has attracted the attention of researchers for more or less a decade. The only exact method on this problem that minimizes makespan is that of Naderi and Ruiz (2010), which presents 6 different mathematical models for the solution of the problem. The best performance was given by the position-based distributed permutation flowshop scheduling model and minimal sequence-based distributed permutation flowshop scheduling model among these models. In addition to these two best models, in this paper, 2 new models are developed by inspiring the multiple-traveling salesman problem (mTSP) formulations (Bektas (2006)). The new models mentioned are developed by inspiring mTSP-assignment based integer programming formulation and mTSP-flow-based formulation, respectively. 4 different Benders decomposition algorithms are developed based on the permutation flowshop scheduling model and 2 different Benders decomposition by using the model developed by inspiring mTSP-assignment based integer programming formulation. In addition to these newly developed 8 different exact methods, a hybrid Benders decomposition algorithm is developed by using the permutation flowshop scheduling model and LS3 local search algorithm (Ruiz, Pan, and Naderi (2019)). All of the existing and new exact methods are compared with each other and the automatic Benders decomposition algorithm characteristic available ready-to-use in the CPLEX software by using 84 problem instances. The proposed mTSP-assignment based integer programming formulation based mathematical model has given superior performance in terms of all performance criteria than the minimal sequence-based distributed permutation flowshop scheduling stated to be giving the best results by Naderi and Ruiz (2010). In addition, the hybrid Benders decomposition algorithm developed by hybridizing the permutation flowshop scheduling model and LS3 local search algorithm has outperformed compared to the other 11 models by solving 75 out of 84 problem instances optimally under a time limitation of 1800 seconds. In this paper, 4 new best solutions are also indentified for the DPFSP. The results obtained in this paper encourage the use of such a strategy in solving other variants of the DPFSP, such as non-idle and no-wait DPFSP with or without setup times.

References

Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures, *Omega* <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.10.004>.

Benders, J.F. (1962). Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems, *Numerische Math.* 4, 238–252.

Chan, F.T.S., Chung, S.H., Chan, L.Y., Finke, G., & Tiwari, M.K. (2006). Solving distributed FMS scheduling problems subject to maintenance: genetic algorithms approach, *Robotics and Comput. Integrated Manufac.* <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2005.11.005>.

Costa, A.M., Cordeau, J. F., Gendron, B., & Laporte, G. (2012). Accelerating Benders decomposition with heuristic master problem solutions, *Pesquisa Operacional* <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382012005000005>.

Deng, J., & Wang, L. (2017). A competitive memetic algorithm for multi-objective distributed permutation flow shop scheduling problem, *Swarm and Evolutionary Comput.* <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2016.06.002>.

Fernandez-Viagas, V., & Framinan, J.M. (2015). A bounded-search iterated greedy algorithm for the distributed permutation flowshop scheduling problem, *Int. J. of Prod. Res.* <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.948578>.

Framinan, J.M., Gupta, J.N.D., & Leisten, R. (2004). A review and classification of heuristics for permutation flow-shop scheduling with makespan objective, *J. Oper. Res. Soc.* <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601784>.

Framinan, J.M., Leisten, R., & Ruiz, R. (2014). *Manufacturing Scheduling Systems: An Integrated View on Models, Methods and Tools*. Springer, New York.

Fernandez-Viagas, V., Ruiz, E., & Framinan, J.M. (2017). A new vision of approximate methods for the permutation flowshop to minimise makespan: state-of-the-art and computational evaluation, *Eur. J. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.055>.

Gao, J., & Chen, R. (2011a). A hybrid genetic algorithm for the distributed permutation flowshop scheduling problem, *Int. J. Comput. Intel. Syst.* 4, 497–508.

Gao, J., & Chen, R. (2011b). An NEH-based Heuristic Algorithm for Distributed Permutation Flowshop Scheduling Problems, *Sci. Res. and Essays* 6, 3094–3100.

Gao, J., Chen, R., Deng, & W., Liu, Y. (2012). Solving multi-factory flowshop problems with a novel variable neighbourhood descent algorithm. *J. Comput. Inf. Syst.* 8, 2025–2032.

Gao, J., Chen, R., & Deng, W. (2013). An efficient tabu search algorithm for the distributed permutation flowshop scheduling problem, *Int. J. Prod. Res.* <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.644819>.

Garey, M.R., Johnson, D.S., & Sethi, R. (1976). The complexity of flowshop and jobshop scheduling, *Math. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1287/moor.1.2.117>.

Giovanni, L.D., & Pezzella, F. (2010). An improved genetic algorithm for the distributed and flexible job-shop scheduling problem, *Eur. J. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.008>.

Gupta, J.N.D., & Stafford Jr, E. F. (2006). Flowshop scheduling research after five decades, *Eur. J. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.02.001>.

Hejazi, S.R., & Saghafian, S. (2005). Flowshop-scheduling problems with makespan criterion: a review, *Int. J. Prod. Res.* <https://doi.org/10.1080/0020754050056417>.

Jia, H.Z., Fuh, J.Y.H., Nee, A.Y.C., & Zhang, Y.F. (2007). Integration of genetic algorithm and Gantt chart for job shop scheduling in distributed manufacturing systems, *Comput. Indust. Eng.* <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.06.024>.

Johnson, S.M. (1954). Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included, *Naval Res. Logistics Quarterly*, <https://doi.org/10.1002/nav.3800010110>.

Liu, H., & Gao, L. (2010). A Discrete Electromagnetism-like Mechanism Algorithm for Solving Distributed Permutation Flowshop Scheduling Problem. *International Conference on Manufacturing Automation* <https://ieeexplore.ieee.org/document/5695172>.

Lin, S.W., Ying, K.C., & Huang, C.Y. (2013). Minimising makespan in distributed permutation flowshops using a modified iterated greedy algorithm, *Int. J. Prod. Res.* <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.790571>.

- McKay, K.N., Pinedo, M., & Webster, S. (2002). Practice-focused research issues for scheduling systems, *Prod. Oper. Manage.* <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2002.tb00494.x>.
- Naderi, B., & Ruiz, R. (2010). The distributed permutation flowshop scheduling problem, *Comput. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.06.019>.
- Naderi, B., & Ruiz, R. (2014). A scatter search algorithm for the distributed permutation flowshop scheduling problem, *Eur. J. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.05.024>.
- Nawaz, M., Enscore, E.E., & Ham, J.I. (1983). A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem, *Omega* [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(83\)90088-9](https://doi.org/10.1016/0305-0483(83)90088-9).
- Onwubolu, G., & Davendra, D. (2006). Scheduling flow shops using differential evolution algorithm, *Eur. J. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.08.043>
- Pinedo, M. (2016). *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*. Springer, New York.
- Rahmaniani, R., Crainic, T.G., Gendreau, M., & Rei, W. (2017). The Benders decomposition algorithm: A literature review, *Eur. J. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.12.005>.
- Reisman, A., Kumar, A., & Motwani, J. (1997). Flowshop scheduling/sequencing research: a statistical review of the literature 1952-1994. *IEEE Trans. Eng. Manage.* 44, 316-329.
- Ruiz, R., & Maroto, C. (2005). A comprehensive review and evaluation of permutation flowshop heuristics, *Eur. J. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.017>.
- Ruiz, R., Pan, Q.K., & Naderi, B. (2019). Iterated Greedy methods for the distributed permutation flowshop scheduling problem, *Omega* <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.03.004>.
- Sherali, H.D., & Fraticelli, B.M.P. (1962). A modification of Benders' decomposition algorithm for discrete subproblems: An approach for stochastic programs with integer recourse, *J. Global Optimization.* 22, 319-342.
- Wang, S.Y., Wang, L., Liu, M., & Xu, Y. (2013). An effective estimation of distribution algorithm for solving the distributed permutation flow-shop scheduling problem, *Int. J. Prod. Eco.* <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.004>.
- Xu, Y., Wang, L., Wang, S., & Liu, M. (2014). An effective hybrid immune algorithm for solving the distributed permutation flow-shop scheduling problem, *Eng. Optimization* <https://doi.org/10.1080/0305215X.2013.827673>.
- Ying, K.C., Lin, S.W., Cheng, C.Y., & He, C.D. (2017). Iterated reference greedy algorithm for solving distributed no-idle permutation flowshop scheduling problems, *Comput. Indust. Eng.* <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.06.025>.



Evaluation of Augmented Reality Tools Performance in Digital Supply Chain Management: A Group Decision Making Method

Abdullah Yıldızbaşı^{1*}, Babak Daneshvar Rouyednegh (B. Erdebilli)², Barış Ozen³, Yavuz Selim Özdemir⁴

^{1*} Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University (AYBU), 06010, Ankara, TURKEY, (ORCID: 0000-0001-8104-3392),
ayildizbasi@ybu.edu.tr

² Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University (AYBU), 06010, Ankara, TURKEY, (ORCID: 0000-0001-8860-3903),
babek.erdebilli2015@gmail.com

³ Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University (AYBU), 06010, Ankara, TURKEY, (ORCID: 0000-0003-4319-4688),
ozennbaris@gmail.com

⁴ Department of Industrial Engineering, Ankara Bilim University (ABU), 06200, Ankara, TURKEY, (ORCID: 0000-0001-8992-2148),
ysozdemir@gmail.com

(First received 23 November 2020 and in final form 20 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.829921)

ATIF/REFERENCE: Yıldızbaşı, A., Erdebilli, B., Özen, B. & Özdemir, Y.S. (2021). Evaluation of Augmented Reality Tools Performance in Digital Supply Chain Management: Using a Group Decision Making Method, *European Journal of Science and Technology*, (23), 149-162.

Abstract

The supply chain plays a key role for companies that want to gain an advantage in the competitive market. Most of the companies are want to make their supply chain processes more reliable and sustainable with technological developments. With Industry 4.0, augmented reality is one of the most important technological developments in daily lives and companies' supply chain processes. In this study, the effects of augmented reality tools, which companies will increasingly recognize, are discussed on digital supply chain processes. The purpose of this study is to integrate the increasingly augmented reality tools in the supply chain in the most appropriate way and determine the most suitable one for the supply chain processes among the hardware augmented reality tools. Three augmented reality tools were evaluated with 4 main criteria and 12 sub-criteria. The Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Technique for Ordering Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods are among the most important multi-criteria decision-making methods, are used in the decision-making process. As a result, the obtained results were evaluated and managerial implications were presented.

Keywords: Augmented Reality, Performance Evaluation, Digital Supply Chain Management, Fuzzy Group Decision Making

Dijital Tedarik Zinciri Yönetiminde Artırılmış Gerçeklik Araçlarının Performans Değerlendirmesi: Bir Grup Karar Verme Yöntemi

Öz

Tedarik zinciri, rekabetçi pazarda avantaj elde etmek isteyen şirketler için kilit bir rol oynamaktadır. Şirketlerin çoğu, teknolojik gelişmelerle tedarik zinciri süreçlerini daha güvenilir ve sürdürülebilir hale getirmek istemektedir. Endüstri 4.0 ile artırılmış gerçeklik, günlük yaşamda ve şirketlerin tedarik zinciri süreçlerinde en önemli teknolojik gelişmelerden biri haline gelmiştir. Bu çalışmada, şirketlerin giderek daha fazla kullanacağı artırılmış gerçeklik araçlarının dijital tedarik zinciri süreçlerine etkileri tartışılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, tedarik zincirinde giderek artan artırılmış gerçeklik araçlarını en uygun şekilde entegre etmek için Artırılmış Gerçeklik (AR) araçları arasından tedarik zinciri süreçlerine en uygun olanı belirlemektir. Üç artırılmış gerçeklik aracı 4 ana kriter ve 12 alt kriter altında değerlendirilmiştir. Karar verme sürecinde en önemli çok kriterli karar verme yöntemleri arasında yer alan Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması İçin Bulanık Teknik (TOPSIS) yöntemleri kullanılmaktadır. Sonuç olarak, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yönetsel çıkarımlar sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış Gerçeklik, Performans Analizi, Dijital Tedarik Zinciri Yönetimi, Bulanık Grup Karar Verme

* Corresponding author: Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8104-3392, ayildizbasi@ybu.edu.tr

1. Introduction

Technological developments and the spread of industry 4.0, many industrial companies are trying to digitize existing supply chain models to survive in the competitive market. One of the tools used in the digital supply chain and is becoming increasingly widespread is an augmented reality (Jetter, Eimecke and Rese, 2018).

Augmented Reality (AR) is a technology that has been subject to research and discussed since multiple decades in industrial areas. Technology is expected to play a very important role in the future, particularly in the development of intuitive-machine interfaces (Klein, 1975).

Augmented reality can be defined as all activities whose main purpose is to strengthen the world environment, human senses and abilities with the virtual world. Augmented reality is becoming increasingly common in everyday life. This is due to the possibility of using augmented reality to directly or indirectly complete the real-world environment with visualized assets accrued by specific hardware, software and accessories (Azuma, 1997).

According to X.Wang et al., augmented reality aims to combine real and virtual based objects. It aims to run real-time and virtual-based objects in three dimensions and in real time. AR users have a larger working space by placing the digital content they use and the virtual space they interact with in their workspaces. Such augmented workspace is realized by integrating the power and flexibility of computing environments with the comfort and familiarity of the traditional workspace (Wang, 2009).

Nowadays, developing firms are working to digitalize existing supply chain operations, making them more manageable, faster and more efficient. Augmented reality has been used in many sectors to digitize the supply chain and successful results have been achieved.

With the development of technology, important financial and business processes are turning to digitalization. The digital supply chain is one of the subject of great importance in this area. Experts predicts that digitalization will significantly affect supply chain management.

The digital supply chain is becoming more and more popular and leads to rapid changes and innovations. Some of the digital models that we use today are data centers, online sales, bits. According to digital supply chain approach, supply chains shall be perceived as a business, instead of a department of a business. According to supply chain experts, investments in the digital supply chain will generate significant economic benefits. According to Schrauf and Berttram (2016), organizations with DSC and highly digitalized digitalized operations can expect 4.1% annual efficiency gains while boosting their revenues by 2.9% per year (Büyüközkan and Göçer, 2018).

Companies that want to successfully implement digital supply chain management should use these two basic strategies:

- Reinvent their supply chain strategy,
- Reimagine supply chain as a digital supply network (DSN) that unites not just physical flows but also talent, information and finance (Merlino and Sproge, 2017).

In conjunction with Industry 4.0, emerging companies benefit from some technological developments in order to implement digital supply chain management more quickly and effectively. Some of these are big data, artificial intelligent, internet of things, cloud computing, simulation, autonomus robots and augmented reality.

The most important topics mentioned in this study are augmented reality and digital supply chain. We see that the concept of digital supply chain has developed by using technology such as augmented reality and using it in many places where the supply chain is located. In other words, augmented reality and similar technological advances are increasing the applicability of the digital supply chain. At this point, it can be said that literature studies related to concepts such as augmented reality, artificial intelligence, blockcahin are open to development and accordingly there is a gap in the literature about digital supply chain.

In this study, the role and importance of augmented reality in digital supply chain is mentioned and aimed to integrate the augmented reality tools in the most appropriate way to the digital supply chain. On the other hand, selection among augmented reality tools alternatives is a multi-criteria decision making (MCDM) problem and it is necessary to make an assessment in terms of several conflicting criteria. However, the fuzzy sets enable to cope with vagueness of evaluations in decision making process (Çalık, 2020; Koçak and Çalık, 2020).

The aim of this study is to select the most appropriate hardware augmented reality tools for the digitalization of the supply chain with fuzzy and multi-criteria decision making methods. In this study, an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Technique for Ordering Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods based on the fuzzy sets is proposed for the ranking AR tools in Dijital Supply Chain Management (DSCM). Fuzzy AHP was used to get weight for main and sub-criteria and Fuzzy TOPSIS was used to get ranking of the solutions. Throughout the study, there is an introduction to digital supply chain and augmented reality, followed by a comprehensive literature review, application steps of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods, and finally a sample application. The sample application consists of 3 experts evaluating a model with 4 main criteria and 12 sub-criteria for 3 different augmented reality tools. This study is a guiding and supportive study on the assessment and selection of augmented reality tools for supply chain management staff.

Finally, this study consists of six different sections. In the next part of the study, there is a literature review section covering augmented reality, digital supply chain and multi-criteria decision making methods. After the literature review, multi-criteria decision making techniques used as the method of the study are

introduced. In the fourth part of the study, the detailed introduction of the criteria and alternatives to be used in these methods is given. In the conclusion and discussion section of the study, the results of the applied method and the effects of these results for the practitioners are examined in detail. In the conclusion part of the study, the general evaluation of the study and how the results can be improved are given.

2. Related Work

2.1. About Augmented Reality

The literature studies show that the concept of Augmented Reality has become more widespread and it is presented in Figure 1. In the literature review of this study, we focused on the applications of augmented reality and the methods used in the literature.

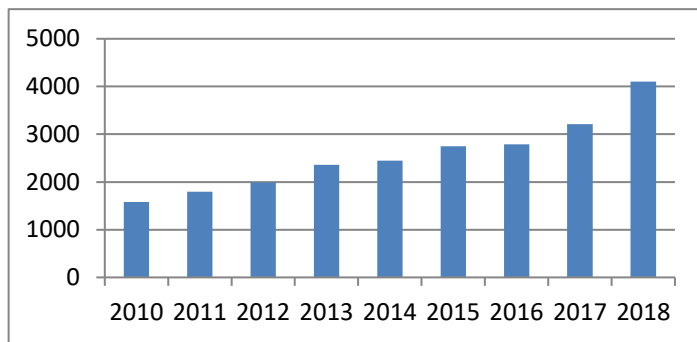


Figure 1. Augmented reality studies according to years.

In the literature, augmented reality studies have been found in many areas such as health, production, marketing, education and warehouse. Azuma tried to introduce AR applications in large industrial areas such as medical visualization, maintenance and repair, robotics and military. It also aimed to introduce AR applications in potential application areas such as the entertainment sector (Jetter et al., 2018).

AR has gained interest in several industrial fields and industries such as manufacturing in the aerospace industry and in shipbuilding, engineering analysis and simulation or architecture and construction (Jetter et al., 2018).

AR technology is envisioned to improve the current practices of architecture visualization, design process, building construction processes and engineering management systems (Wang, 2009).

The manufacturing context is increasingly dynamic due to the high level of integration with advanced information tools, especially with mobile devices. Part of the efficiency depends on an effective and real-time communication between individuals and production departments within a manufacturing system. AR systems are now becoming mature technologies for application in manufacturing production and service systems: the aim is to support an increase in company performance in terms of shorter lead-times and process quality (Caricato, Colizzi, Gnoni, Grieco, Guerrieri and Lanzilotto, 2014).

Augmented reality provides users to relate between virtual objects and real world. Users can view images from different

angles around the virtual image. The data transmitted by virtual objects provides users to learn more in a fun and educational way (Kesim and Özarlan, 2012).

With a video output device and a video camera, the user can see an augmented reality object on the object in a real environment. 3D models can be identified using RFID (Cirulis and Ginters, 2013).

Order picking activities cover more than half of the warehouse activities. The current studies focused on how to improve the orientation of people or operators using AR. Stated that one of the most effective ways of showing a storage place to an order collector was voice, via a head mounted display, lights and paper (Beroule, Grunder, Barakat, and Aujoulat, 2017).

One of the tools that can be used effectively for remote maintenance operations is AR. A remote maintenance system or maintenance specialist can complete the task by using the AR by following the instructions. Porcelli et al. proposed an application supporting technicians using an AR tool (a mobile collaborative systems) (Caricato et al., 2014).

AR technology is helpful to make a rapid prototype by seeing 3D models of real-world objects. AR technology also be used to control users' specific features on virtual objects. Caricato et al. has developed a system that can intuitively interact between 3D models and their modifications (Caricato et al., 2014).

In the literature, several studies have used fuzzy AHP and TOPSIS methods to reach a solution.

Junior et al. proposed a study for the problem of supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. In this study, seven factors were used. In order to better solve the problem, he proposed that both methods be applied to supplier selection (Lima Junior, Osiro, and Carpinetti, 2014).

Chen et al. studied the selection of suppliers in fuzzy environments. In this study, it was aimed to reach the best solution by using fuzzy TOPSIS from decision making methods (Chen, Lin, and Huang, 2006).

Tabucanon et al. propose a solution for the development of an intelligent decision support system for flexible manufacturing systems. The AHP approach is used for this intelligent decision support system. This article focuses on the selection process of alternative machines (Tabucanon, Batanov, and Verma, 1994).

Bottani and Rizzi applied fuzzy TOPSIS method and worked on the logistic operations of a dairy company operating under a certain criteria (Bottani and Rizzi, 2006). Çalık (2018), presented an integrated fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS method to prioritize and analyze the risks in supply chain management in a company in the automotive supplier industry.

Table 1. Literature review of AR applications areas and methods

Authors	Areas of Augmented Reality Applications						Methods		
	Procurement	Production	Education	Marketing	Warehouse	Logistic	Theoretical	MCDM	Application
Caricato et al. (2014)		✓						✓	
Persaud and Azhar (2012)				✓			✓		
Kesim and Özarslan (2012)			✓				✓		
Cirulis and Ginters (2013)						✓	✓		
Beroule et al. (2017)					✓				✓
Lima Junior et al. (2017)	✓							✓	
Tabucanon et al. (1994)		✓						✓	
Mahony (2015)				✓			✓		
Ginters (2013)					✓				✓
Bacca et al. (2014)			✓						✓
Proposed Model	✓	✓			✓	✓		✓	

The studies presented the applicability of the augmented reality in the processes in the supply chain or in other sectors are examined above. When we look at the processes and sectors applied, we see that augmented reality is an important smart technology that digitizes the supply chain. In the next part, the effect of smart technologies on the concept of digital supply chain is examined in more detail.

2.2. About Digital Supply Chain Management

In the first part of the related works section, literature studies about augmented reality are included. In this part, the studies related to the digital supply chain, which are formed by integrating technological developments such as augmented reality into the supply chain and which are becoming common, are mentioned.

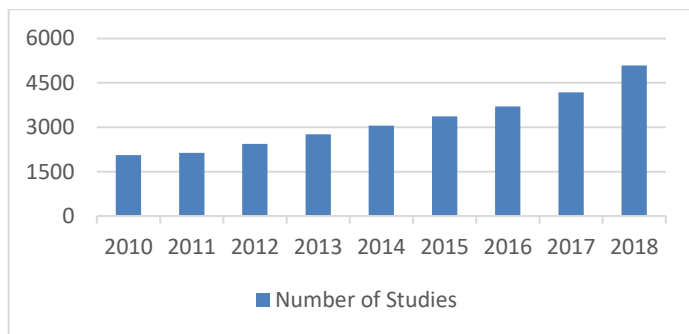


Figure 2. Number of studies related to Dijital Supply Chain according to years (science direct)

Figure 2 shows the increase in the work on digital supply chain management over the years. In this part of the related works section, we focused on the studies related to digital supply chain concept became widespread depending on which technological developments. It is not possible to say that there are many publications in the literature academically by looking at the speed of technological developments and the supply chain processes increasingly benefiting from these technological developments.

Büyüközkan and Göcer (2018), have defined the digital supply chain as a concept that aims to transform the difficulty and complexity of the items that constitute the supply chain (such as

suppliers, companies, partners, dealers) into a business opportunity with technological and analytical methods and add value to the work done. According to the authors, digital supply chain applications (such as augmented reality, artificial intelligence, internet of things, big data) make the digital and physical supply chain processes of companies within themselves or with the external environment smart, value-based and efficient (Büyüközkan, Göcer, 2020).

According to Nasiri et al. (2020), Companies should focus on digital transformation, smart technologies and performance relationship to gain competitive advantage in the digital supply chain. In this study, a questionnaire was applied to small and medium-sized enterprises (SMEs). According to the results of these surveys, if companies can manage to apply these three main issues together, they provide a significant competitive advantage in the digital supply chain. This article has revealed that smart technologies will be a network between digital transformation and relationship performance (Nasiri, Ukko, Saunila and Rantala, 2020).

At this point we see the importance of smart technologies in digitizing supply chains. In the literature, examples of digitizing supply chain integrated with smart technologies are found. Below are some studies that can be an example.

Korpela et al. (2017), In their work, they talked about cloud integration with supply chain processes, as the digital supply chain processes are becoming more and more dynamic. The authors stated that important concepts such as accessibility of customer data, storage of data, traceability of supply chain processes have strategic importance for companies in supply chain processes. Companies receive assistance from intermediary companies to provide and store this data, and this is high in cost. The authors have developed a business model that targets the digital supply chain with cloud integration (Korpela, Hallikas and Dahlberg, 2017).

In the article above, while there is a supply chain between the company and the external environment, this article focuses on the digitalization of material transportation, which is one of the supply chain processes within the company. According to

Bechtsis et al., The smart autonomous vehicles to be developed will be easier and more efficient vehicles for sustainability in supply chain operations. The purpose of the authors is to provide software suggestions to develop highly customized simulation tools that support effective integration of Smart Autonomous Vehicles (IAVs) as a rising field in operations in sustainable supply networks. Finally, the authors developed pilot simulations for using these tools for a warehouse (Korpela et al., 2017; Bechtsis, Tsolakis, Vlachos, and Srari, 2018).

2.3 General Evaluation of Related Works

The literature studies show that the concept of Augmented Reality has become more widespread and it is presented in Figure 1. In the literature review of this study, we focused on the applications of augmented reality and the methods used in the literature.

First, the similarity between graph 1 and graph 2 shows that with the development of intelligent technologies such as augmented reality, the work on digital supply is increasing. In summary, smart technologies enable digital supply chain applications.

When we look at the studies with augmented reality, it is seen that augmented reality is applied in many operational processes and in different sectors. These operational processes and sectors are an indispensable part of the supply chain. It aims to make these supply chain processes more efficient in terms of time, cost, location, labor, quality with augmented reality applications. In essence, the digital supply chain is a form of management that targets the efficiency and sustainability of the processes it covers. Based on these evaluations, selecting the best augmented reality tool to be used in supply chain processes will directly affect the degree of digitalization of supply chain processes.

3. The Proposed Approach

The biggest reason for using fuzzy methods in this study is to ensure that the complex structure formed in supply chain processes is compensated.

With the AHP model, which is another proposed multi-criteria decision making technique, we aim to correctly weigh the criteria to be used in the model. The criteria of our model have been prioritized and weighted among themselves with the AHP method. It is generally unexpected that all the criteria used in a model have the same weight. In this study, these criteria were evaluated with supply chain experts by considering supply chain applications. However, when these criteria are evaluated for other processes, weights are likely to be different. At this point, the importance of weighting the criteria becomes apparent and it is necessary to weight all the criteria by applying AHP model before proceeding to the selection process.

Fuzzy TOPSIS is used for the selection of alternatives. One of the most important reasons for choosing the Fuzzy TOPSIS technique is that the method can evaluate alternatives in terms of benefit and cost. If there is a ranking among the alternatives, the benefits and costs that each alternative will affect the model under each criterion are obtained with this technique.

In this study, fuzzy multi-criteria decision making method is used to solve this complex model. A multi-criteria approach can be a reliable method, as it allows the numerical and effective integration of different criteria. The suggested fuzzy MCDM model combines fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy TOPSIS methods. Since the fuzzy sets whose membership functions are able to handle situations that an element has several membership value are more able to model uncertainties in decision making process, in this paper a MCDM methodology based on these two methods are suggested to evaluate augmented reality tools alternatives for Digital Supply Chain Management. The fuzzy AHP method is applied to determine the weights of decision criteria, and the fuzzy TOPSIS method is applied to classified augmented reality tools alternatives. A real case application has been presented via expert evaluations to indicate applicability of the proposed model. The flow chart of the proposed model is presented in Figure 3.

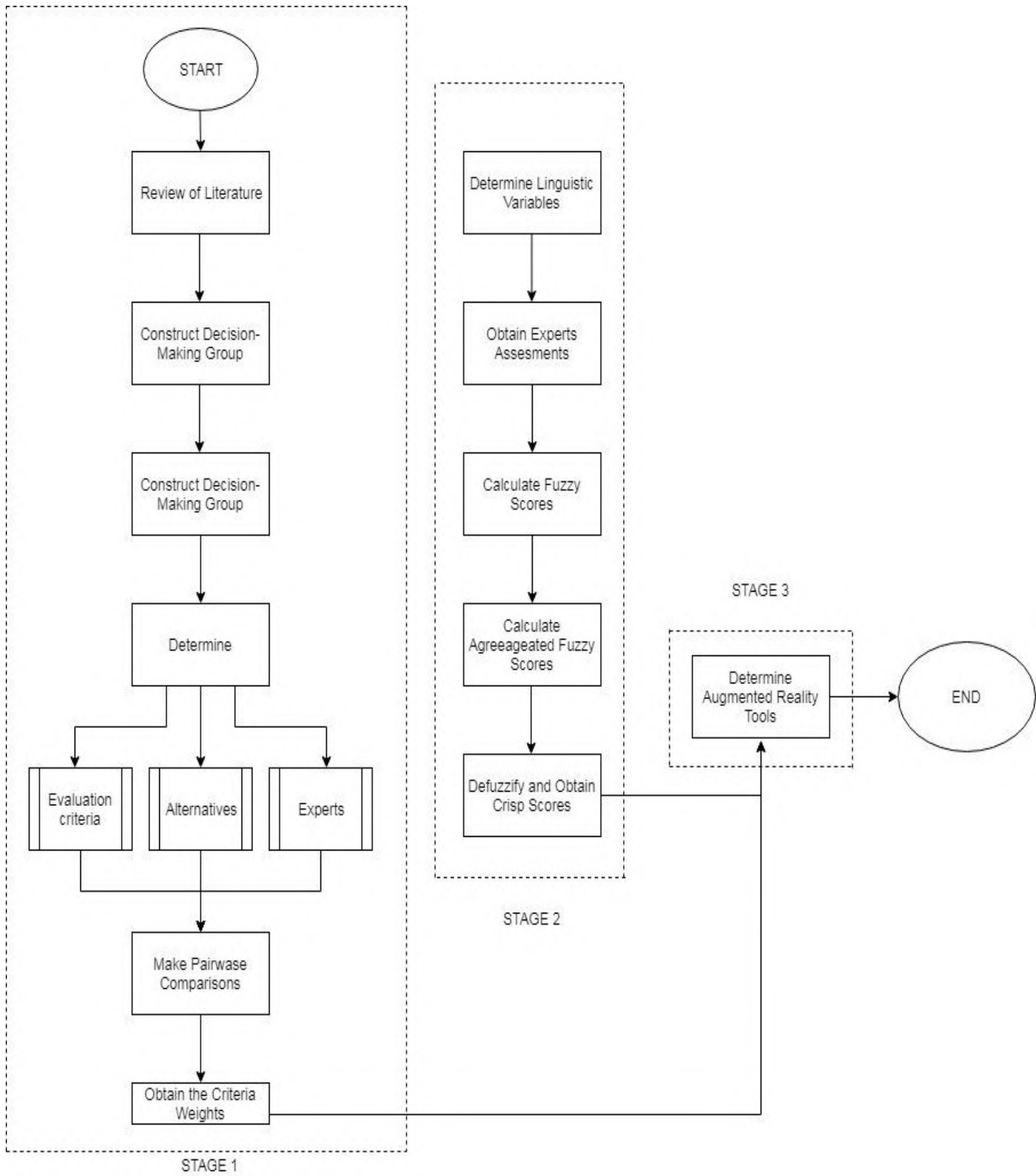


Figure 3. Flow-chart of the model

3.1. Fuzzy Set and Fuzzy Numbers

The mathematical theory developed by Zadeh (1965) to model uncertainty or certainty in processes is called fuzzy set theory. The fuzzy set is usually defined as the functions in which the elements receive membership degrees [0,1]. If the assigned value is 0, it has no membership. If the assigned value is 1, there is full membership. If the value assigned as a different status is between 0-1, there is a certain degree of membership (Yıldızbaşı, Öztürk, Efendioğlu, Bulkan, 2021).

3.2 Fuzzy AHP Methodology

AHP is a quantitative method which is structured as a

hierarchical and multi-criteria solution in 1980 by Saaty. The most important feature of this method is that it can make evaluations by considering more than one criterion. Qualitative and quantitative data can be evaluated together effectively (Kahraman, Cebeci and Ruan, 2004; Çalık, 2020; Yıldızbaşı et al., 2021).

Traditional AHP does not fully address the uncertainty in the way people think, even if they are focused on expert opinions on the basis of AHP. Therefore, fuzzy AHP has been developed to take into account these uncertainties (Yıldızbaşı et al., 2021).

First, the scale to be used by experts is determined. The following TFN scale contains 1-9 values.

Table 2. Linguistic scale for weighted matrix [19]

	<i>Triangular Fuzzy Scale</i>	<i>Triangular Fuzzy Reciprocal Scale</i>
Equally importance	(1,1,1)	(1/1, 1/1, 1/1)
Moderate importance	(1,3,5)	(1/5, 1/3, 1/1)
Essential importance	(3,5,7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Demonstrated importance	(5,7,9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Extreme importance	(7,9,9)	(1/9, 1/9, 1/7)
Intermediate values	(1,2,3)	(1/3, 1/2, 1)
	(3,4,5)	(1/5, 1/4, 1/3)
	(5,6,7)	(1/7, 1/6, 1/5)
	(7,8,9)	(1/9, 1/8, 1/7)

Step 1: As seen in Equation 1, pairwise comparison matrix is made for the main criteria and sub-criteria using the above scale.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Step 2: Fuzzy geometric mean is calculated by using equation 2.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n} \quad (2)$$

The result from the fuzzy geometric mean will be referred to later as local fuzzy number.

Step 3: In this step, the global fuzzy number is calculated for each evaluation dimension.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_1 \otimes (\tilde{r}_1 \otimes \tilde{r}_1 \otimes \dots \otimes \tilde{r}_1)^{-1} \quad (3)$$

Step 4: Finally, in this step, the global fuzzy number is converted to crisp weight value using the field center in equation 4. The purpose of this is to find the best BNP value of any dimension.

$$BNP_{wi} = \frac{[(u_{wi}-l_{wi})+(m_{wi}-l_{wi})]}{3} + l_{wi} \quad (4)$$

3.3. Fuzzy TOPSIS Methodology

The fuzzy TOPSIS method is a technique recommended by Hwang and Yoon to solve a problem with multiple criteria and a limited number of alternatives. The purpose of this method is to ensure that the chosen alternative is the furthest to the negative set of solutions, the closest to the positive set of solutions. The fuzzy TOPSIS technique proposed by Chen aims to deal effectively with the uncertainties in the evaluations. In this study, fuzzy TOPSIS is used to evaluate the performance of AR tools in the digital supply chain[20]

Step 1: In this study, fuzzy AHP is used for weighting the evaluation criteria.

Step 2: Construct of decision matrix and selection of linguistic variables for alternatives based on criteria

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\bar{W} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n) \quad (6)$$

Step 3: Standardize of decision matrix

$$\bar{R} = [\bar{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\bar{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \text{ and } c_j^* = \max_i c_{ij} \text{ (benefit criteria)} \quad (8)$$

$$\bar{r}_{ij} = \left(\frac{\bar{a}_i}{c_{ij}}, \frac{\bar{a}_i}{b_{ij}}, \frac{\bar{a}_i}{a_{ij}} \right) \text{ and } \bar{a}_i = \min_i a_{ij} \text{ (cost criteria)} \quad (9)$$

Step 4: Weighted Normalized Fuzzy Decision Matrix

$$\bar{p} = [\bar{p}_{ij}] \text{ where } \bar{p}_{ij} = \bar{r}_{ij} \times \bar{w}_j \quad (10)$$

Step 5: Finding Feasible Positive Ideal Solution (FPIS) and Feasible Negative Ideal Solution (FNIS)

$$A^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_n^*) \text{ where } p_i^* = \max_i \{p_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$A^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_n^*) \text{ where } p_i^* = \min_i \{p_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Step 6: Evaluate FPIS and FNIS for each criteria

$$FPIS(A1) = d(p_{ij}, p1+) \quad (13)$$

$$FNIS(A1) = d(p_{ij}, p1-) \quad (14)$$

Step 7: Calculate the distance of each weighted alternative

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\bar{p}_{ij}, p_j^+) \quad (15)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\bar{p}_{ij}, p_j^-) \quad (16)$$

Step 8: Calculate closeness coefficient of each alternative

$$CC_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)}, i = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

Step 9: Ranking of each alternative

4. Alternative / Criteria Defition Part

In this study, it is aimed to select the most effective and efficient one of the augmented reality tools that is presented in figure 4 by using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. The main criteria and sub-criteria which is described below were taken into account to achieve the goal.

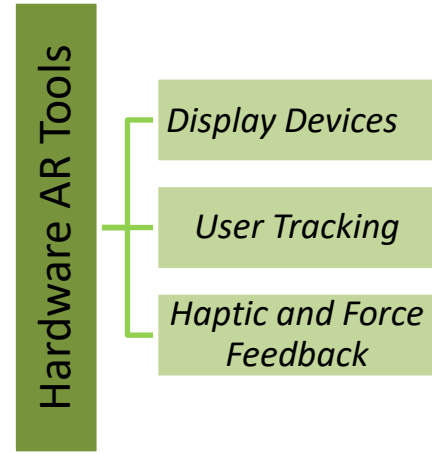


Figure 4. Alternative hardware tools of augmented reality.

Hardware Tools

Display Devices: One of the devices commonly used in AR applications is head-mounted display devices. Recently, researchers have been working on tools such as projectors and handheld devices, as long-term use of head-mounted display devices may be uncomfortable.

User Tracking: Most AR systems use sensor-based monitoring technologies using radio frequency technology. The researchers applied RFID labels and logistics facilities in radio frequency technology.

Haptic and Force Feedback: Haptic and force feedback systems are used to enhance interaction and sensation for the user. Researchers have implemented these devices in applications such as assembly where shares are needed (Nee, Ong, 2013).

Definition of Criteria

Identifying and defining the criteria is one of the most important stages of multi-criteria decision-making methods. Criteria should be determined by experts in the field of study. The selection of effective criteria is one of the key points in order for the decision making method to be successful. In this study, the main criteria for measuring the performance of augmented reality tools on digital supply chain are detailed below (Caricato et al., 2014).

- Reliability: The AR system provides information in a correct and effective manner.
- Responsiveness: The time required for the AR system to be ready for use (based on the operating speed of the AR system).
- Agility: The ability to adapt to changes in the system where the AR system is used
- Asset Management: The ability to interact with the environment outside the system using the AR system (Caricato et al., 2014).

There are many sub-criteria in the 4 main criteria that are generally determined. These sub-criteria help experts to analyze the performance of AR tools in detail. Reliability, responsiveness, agility and assets management are crucial criteria in supply chain processes. These criteria directly affect important issues such as

cost, time, accuracy and efficiency in supply chain processes. These main criteria and sub-criteria, which directly affect these issues that we see as the objectives of the digital supply chain, have been selected to be weighted in order for the model to give successful results. The hierarchical structure for the main and sub criteria is presented in figure 5.

The “reliability” criterion for AR application is examined under two main headings. These are described in detail below as data and software.

Data: The data formats provided for the AR application and are usually provided from 2D or 3D images or audio or text files.

Software: Software is the basic element that supports the interaction of data records for real and virtual objects.

The “responsiveness” criterion has been defined in three main technological sub-criteria as life cycle, manageability and weight.

Life Cycle: Life cycle duration shows the maximum capacity of AR vehicles. Tools suitable for the duration of supply chain processes should be selected.

Manageability: Manageability is focused on the movement of AR tools in the supply chain processes. The mobility of the user and the AR tool must be appropriate for the processes.

Weight: Weight is an important sub-criteria for efficient and easy use of AR tools in supply chain processes.

The “agility” criterion has been divided in three sub-criteria as access, network, feedback and shape.

Access: Access can be defined as the maximum time spent on data collection.

Network: Network can be defined as main networks required by AR tools. Examples of these networks are internet and bluetooth.

Feedback: This sub-criteria shows the types of feedback provided by the device during the application such as image acquisition, processing and analysis of information.

Shape: The design of the shapes of the augmented reality tools has been identified as a sub-criterion of agility. The shape designed according to the system to be applied achieves more efficient results.

The “asset management” criterion has been divided in three sub-criteria as places, range and teachability.

Places: This sub-criterion focuses on the places of use of AR tools in supply chain processes. It takes into account factors such as different room temperatures, moisture content, amount of dust, amount of sound and light.

Range: Range is a sub-criterion of the operating range of AR tools. It shows the distance between the work area and the AR tools.

Teachability: Teachability is a sub-criterion that shows the processing time of learning the tools of augmented reality by employee who will use it.

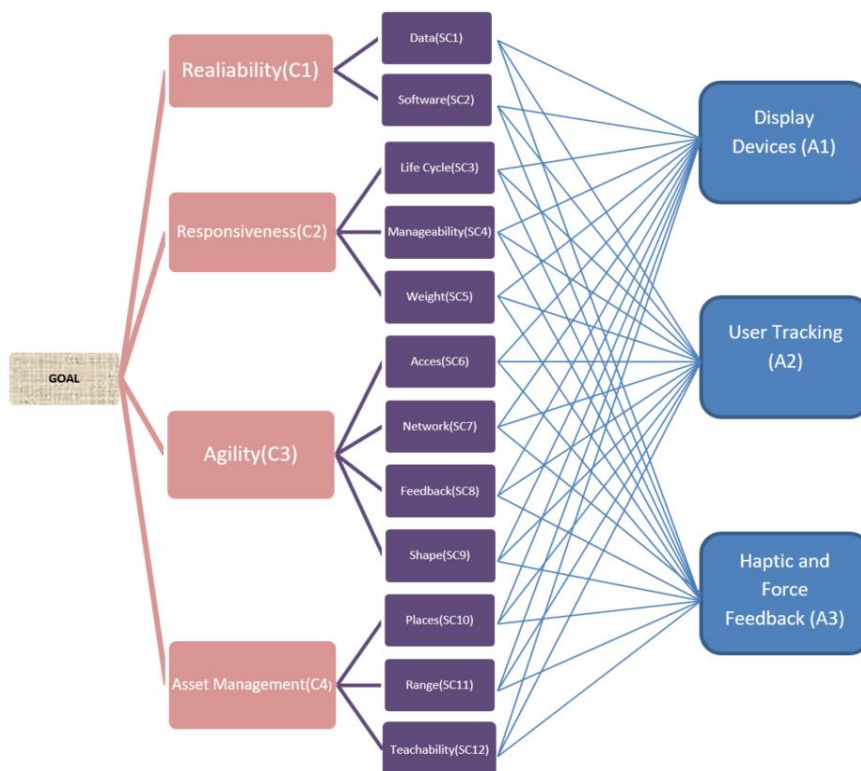


Figure 5. The hierarchical structure of the alternative

5. Result and Discussion

At this stage, interviews were made with 3 experts who were experts in their fields and their opinions were taken by using comparison matrices. The linguistic expressions obtained were converted to Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS data to obtain the rankings. The results and discussion section include assessments of these transformations and other processing steps. In this study, 4

criteria and 12 sub-criteria were used for ranking augmented reality tools.

5.1. Fuzzy AHP Application

The fuzzy decision matrix and fuzzy aggregated decision matrix of criteria and sub-criteria with calculated weight are given Tables 3-7.

Table 3. Calculated fuzzy aggregated decision matrix of criteria.

	C1	C2	C3	C4	Weight	Rank
C1	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	0,5123	1
C2	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	0,2936	2
C3	(0.14,0.20,0.33)	(0,20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,1,3)	0,1171	3
C4	(0.14,0.20,0.33)	(0.14,0.20,0.33)	(0.33,1,1)	(1,1,1)	0,0767	4

The highest weightage value used to consider the most important criteria for ranking augmented reality tools which were represented such that $C1 > C2 > C3 > C4$ which is given in Table 4. Reliability is the most important element in the digitalization process in the supply chain. The most important reason for this is that missing data and software applications in the supply chain cause significant damage. Responsiveness has emerged as the main criterion of secondary importance. One of the most important reasons for digitalization in the supply chain is to increase productivity. In order to use the augmented reality tools

efficiently in the supply chain processes, they need to meet the important sub criteria such as life cycle, manageability and weight. After these two main criteria, agility and asset management appear as the main criteria covering the sub-criteria such as shape, range, network and feedback required for the more functional use of augmented reality tools in digital supply chain processes.

In this study, sub criteria were ranking for each main criteria which are sub-criteria reliability (C1), responsiveness (C2), agility (C3), and asset management (C4) as shown Table 4-7.

Table 4. Calculated fuzzy aggregated decision matrix of sub-criteria (C1).

C1	SC1	SC2	Weight	Rank
SC1	(1,1,1)	(1,1,3)	0,5	1
SC2	(0.33,1,1)	(1,1,1)	0,5	1

As shown in Table 4, the data and software are two equally important criteria for the reliability criterion. Data collection plays a major role in the digitalization of supply chain processes. The

software to be implemented according to the collected data will enable the digitalization of the supply chain processes so that the processes can continue more effectively and reliably.

Table 5. Calculated fuzzy aggregated decision matrix of sub-criteria (C2).

C2	SC3	SC4	SC5	Weight	Rank
SC3	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	0,5966	1
SC4	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	0,2847	2
SC5	(0.14,0.20,0.33)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	0,1185	3

Table 5 shows that life cycle is the most important sub-criterion for responsiveness. Companies which want to use augmented reality tools effectively in the digitalization process give importance to the long life cycle of the tools. The high level

of manageability of augmented reality tools is the second important sub-criterion in terms of ease of use of these tools in different processes and by people with different competencies.

Table 6. Calculated fuzzy aggregated decision matrix of sub-criteria (C3).

C3	SC6	SC7	SC8	SC9	Weight	Rank
SC6	(1,1,1)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	0,6266	1
SC7	(0.14,0.20,0.33)	(1,1,1)	(3,5,7)	(1,3,5)	0,2173	2
SC8	(0.11,0.14,0.20)	(0.14,0.20,0.33)	(1,1,1)	(1,1,3)	0,0777	4
SC9	(0.11,0.14,0.20)	(0.20,0.33,0.14)	(0.33,1,1)	(1,1,1)	0,0782	3

Table 6 shows the importance of the computational sub-criteria for the main criterion of agility in the process of

digitalization. The fact that augmented reality tools meet the sub-criteria such as acces and network directly affects the agility rate.

Table 7. Calculated fuzzy aggregated decision matrix of sub-criteria (C4).

C4	SC10	SC11	SC12	Weight	Rank
SC10	(1,1,1)	(1,1,3)	(1,3,5)	0,4657	1
SC11	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	0,3563	2
SC12	(0.20,0.33,1)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	0,1778	3

As shown in Table 7, the assest management criterion consists of 3 different sub-criteria. The most important of these 3 criteria are places and ranges. These sub-criteria will affect the efficiency of the supply chain processes of augmented reality products, especially in the production area. Designing augmented reality tools according to these two criteria is important for the active

and more efficient use of the tools. Teachability sub-criterion is less important for assest management criterion since it can be provided by trainings.

Due to same process of weight calculation, the weights of remaining criteria and the final results of pairwise comparison of criteria and sub-criteria also illustrated in Table 8.

Table 8. Final weight and rank of all sub-criteria.

Criterion	Weight	Sub-criteria	Weight	Global Weight	Global Rank
Reliability(C1)	0,5123	Data (SC1)	0,5	0,2562	1
		Software (SC2)	0,5	0,2562	1
Responsiveness(C2)	0,2936	Lifecycle (SC3)	0,5966	0,1752	2
		Manageability (SC4)	0,2847	0,0836	3
		Weight (SC5)	0,1185	0,0348	6
Agility(C3)	0,1171	Access (SC8)	0,0777	0,0091	11
		Network (SC7)	0,2173	0,0254	8
		Feedback (SC6)	0,6266	0,0734	4
		Shape (SC9)	0,0782	0,0092	10
Assess Management(C4)	0,0767	Place (SC10)	0,4657	0,0357	5
		Range (SC11)	0,3563	0,0273	7
		Traceability (SC12)	0,1778	0,0136	9

5.2. Fuzzy TOPSIS Application

In this section, decision-makers evaluated 3 different augmented reality tools and presented in Table 9, taking into account the 12 sub-criteria weighted previously using Fuzzy AHP. Then, the normalization of the decision matrix determined by the decision makers was performed using eq. 7-9. Presented in Table 10. To calculate weighted fuzzy normalized matrix for the

alternatives, weights obtained from Fuzzy AHP method which is presented in Table 5-7. Finally, the distances of the alternatives to fuzzy ideal positive solutions (FPIS) and fuzzy ideal negative solutions (FNIS) were calculated using equations 15 and 16, and CC_i values of the alternatives were obtained by using these FPIS and FNIS values in equation 17 and all of these values shown in Table 11 (Rouyendegh, Yildizbasi, Yilmaz, 2020; Rouyendegh and Can, 2012; Öztürk and Yildizbasi, 2020).

Table 9. Evaluations matrix of solutions.

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12
A1	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)
A2	(7,9,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)
A3	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)

Table 10. Normalized fuzzy decision matrix of solutions.

	SC1	SC2	...	SC10	SC11	SC12
A1	(0.20,0.34,0.48)	(0.37,0.52,0.67)	...	(0.40,0.56,0.72)	(0.40,0.56,0.72)	(0.56,0.72,0.72)
A2	(0.48,0.62,0.62)	(0.22,0.37,0.52)	...	(0.24,0.40,0.56)	(0.40,0.56,0.72)	(0.24,0.24,0.56)
A3	(0.48,0.62,0.62)	(0.22,0.37,0.52)	...	(0.08,0.24,0.40)	(0.24,0.40,0.56)	(0.24,0.24,0.56)

Table 11. Closeness coefficient index (CCi) value of alternatives

Code	Tools	d+	d-	CCi	Rank
A1	Display Devices	0,2185	0,1127	0,6597	1
A2	User Tracking	0,1844	0,2078	0,4701	2
A3	Haptic and Force Feedback	0,0695	0,3486	0,1663	3

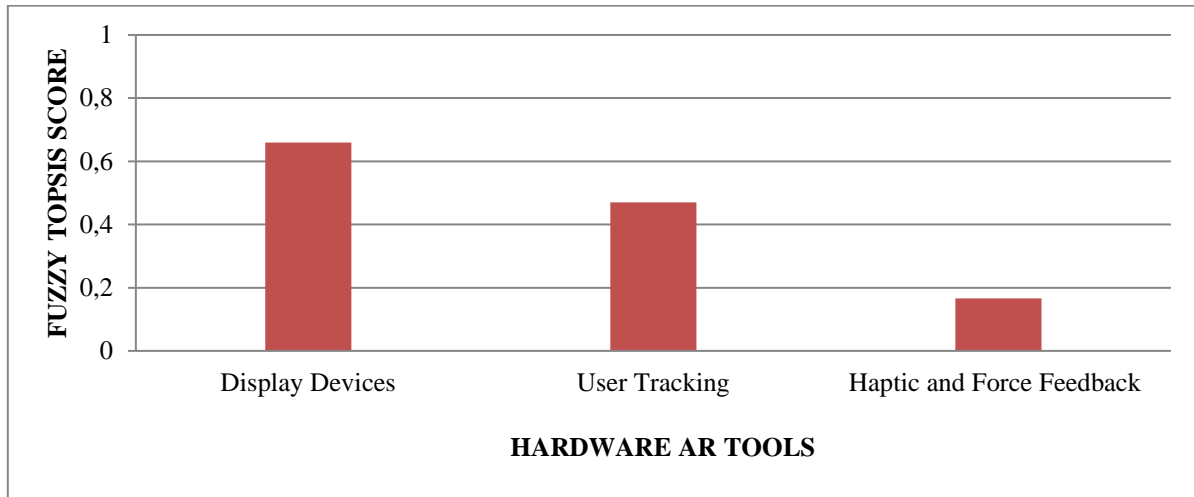


Figure 6. The results according to the Fuzzy TOPSIS methodology

According to the figure 6 display devices with the highest value of 0.65 have been identified as the most important alternative followed by user tracking and haptic and force feedback.

The prioritization of these hardware AR tools to be used in supply chain processes is critical for determining the investments that companies will make. As a result of this study, companies can calculate which criteria are more effective in the supply chain processes they have specifically determined. The ranking of augmented reality tools also shows the ranking of the investments to be made. The right investments of companies have a direct impact on issues such as income and competitive advantage.

In addition, even though the results of the article will vary according to the sectors and processes in which they will be used, the spread of display devices in many sectors supports the ranking of the study among the alternatives. In support of this, the experts whose opinions are taken in the study are selected from different sectors and this situation prevents the margin of error in the ranking. Despite all these positive aspects, there will be situations in which the ranking of the model changes, but the general purpose of this study is to create a structure that will enable this model to be applied effectively in different sectors and under different criteria and alternatives.

6. Conclusion

Nowadays, many companies aim to improve their supply chain processes by using the trends that came into our lives with Industry 4.0. One of the most important applications of Industry 4.0 is the augmented reality that enables us to use high technology effectively in key sectors such as health, education and manufacturing. According to the researches, augmented reality, which is a subject of increasing interest with developing technology, is thought to provide great benefits in terms of time, cost, reliability and quality in digital supply chain processes.

Based on the comparison display devices with the highest value of 0.65 have been identified as the most important alternative. When the criteria that lead to this result are discussed in detail, it is determined that especially life cycle, teachability and manageability features are prominent. So if any new manufacturer wants to develop a product, or if existing alternative manufacturers are to focus on product development, the areas they need to focus primarily on are life cycle, teachability and manageability, and then weight, software, and places comes respectively.

In future studies, augmented reality tools can be evaluated using other important multi-criteria decision-making methods such as Fuzzy VIKOR, Fuzzy ANP and Fuzzy ELECTRE. In addition, the number of alternatives can increase the using software augmented reality tools.

7. Acknowledge

We would like to show our gratitude to the “anonymous” companies for sharing their information and wisdom with us during the course of this research, and we thank our decision-makers for their so-called insights and valuable comments.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, 6(4), 355–385.
- Beroule, B., Grunder, O., Barakat, O. and Aujoulat, O. (2017). Order Picking Problem in a Warehouse Hospital Pharmacy. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 5017–5022.
- Bechtisis, D., Tsolakis, N., Vlachos, D., and Srari, J. S. (2018). Intelligent autonomous vehicles in digital supply chains: a framework for integrating innovations towards sustainable value networks. *J. of Clean. Prod.*, 181, 60-71.
- Bottani, E. and Rizzi, A. (2006). A fuzzy TOPSIS methodology to support outsourcing of logistics services. *Supply Chain Manag.*, 11(4), 294–308.
- Büyüközkan, G. and Göçer, F. (2018). Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157-177.
- Büyüközkan, G. and Göçer, F. (2018). An extension of ARAS methodology under Interval Valued Intuitionistic Fuzzy environment for Digital Supply Chain. *Appl. Soft Comput. J.*, 69, 634–654.
- Çalık, A. (2018). Otomotiv Tedarik Zincirinde Risk Değerlendirmesi için Bulanık AHP ve TOPSIS ile Bütünleşik Bir Yaklaşım. *İşletme Araştırmaları Dergisi* 10(4), 868-886.
- Çalık, A., Paksoy, T., Yıldızbaşı, A., Pehlivan, N.Y. (2017). A Decentralized Model for Allied Closed-Loop Supply Chains : Comparative Analysis of Interactive Fuzzy Programming Approaches. *Int. J. Fuzzy Syst.*, 19, 367–382.
- Çalık, A. (2020). A Comparative Perspective in Sustainable Supplier Selection by Integrated MCDM Techniques. *Sigma J Eng & Nat Sci.* 38(2), 835-852.
- Caricato, P., Colizzi, L., Gnoni, M. G., Grieco, A., Guerrieri, A. and Lanzilotto, A. (2014). Augmented reality applications in manufacturing: a multi-criteria decision model for performance analysis. *IFAC Proc. Vol.*, 47(3), 754–759.
- Chen, C. T., Lin, C. T. and Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *Int. J. Prod. Econ.*, 102(2), 289–301.
- Cirulis, A. and Ginters, E. (2013). Augmented reality in Logistics. *Proc. Comput. Sci.* 26, 14-20.
- Eissa, M., Rashed, E. (2020). Application of statistical process optimization tools in inventory management of goods quality: suppliers evaluation in healthcare facility. *Jour. Tur. Ops. Mane.*, 388 – 408.
- Formanek, S. (2018). A study of sustainable facilities management from a green supply chain perspective in the united arab emirates. *Jour. Tur. Ops. Mane.*, 314-323.
- Jetter, J., Eimecke, J. and Rese, A. (2018). Augmented reality tools for industrial applications: What are potential key performance indicators and who benefits? *Comput. Human Behav.*, 87, 18–33.
- Kahraman, C., Cebeci, U. and Ruan, D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. *Int. J. Prod. Econ.*, 87(2), 171–184.
- Kesim, M. and Özarlan, Y. (2012). Augmented Reality in Education: Current Technologies and the Potential for Education. *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, 47(222), 297–302.
- Klein, R. G. (1975). The relevance of Old World archeology to the first entry of man into the New World. *Quat. Res.*, 5(3), 391–394.
- Koçak, M. and Çalık, A. (2020). Banka Seçim Tercihlerinin Bulanık Kümelere Dayalı Yeni Bir Karar Verme Çerçevesi İle Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 73-94.
- Korpela, K., Hallikas, J., and Dahlberg, T. (2017). Digital supply chain transformation toward blockchain integration. *In proceedings of the 50th Hawaii international conference on system sciences.*
- Lima Junior, F. R., Osiro, L. and Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Appl. Soft Comput. J.*, 21, 194–209.
- Merlino, M. and Sproge, I. (2017). The Augmented Supply Chain. *Procedia Eng.*, 178, 308–318.
- Nasiri, M., Ukko, J., Saunila, M., and Rantala, T. (2020). Managing the digital supply chain: The role of smart Technologies. *Technovation*, 96-97, 102121.
- Nee, A. Y. C. and Ong, S. K. (2013). Virtual and augmented reality applications in manufacturing. *IFAC Proc. Vol.*, 46(9), 15–26.
- Öztürk, C., and Yildizbaşı, A. (2020). Barriers to implementation of blockchain into supply chain management using an integrated multi-criteria decision-making method: a numerical example. *Soft Comput.*, 1-19.
- Persaud, A. and Azhar, I. (2012). Innovative mobile marketing via smartphones: Are consumers ready?. *Mark. Intell. Plan.*, 30(4), 418–443.
- Rouyendegh, B.D., Yildizbaşı, A. and Yilmaz, I. (2020). Evaluation of retail industry performance ability through integrated intuitionistic fuzzy TOPSIS and data envelopment analysis approach. *Soft Comput.*, 24, 12255–12266.
- Rouyendegh, B.D. and Can, G.F. (2012). Selection of working area for industrial engineering students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 31, 15-19.
- Schrauf, S. and Bertram, P. (2016). Industry 4.0: How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused. *Strategy& Recuperado de https://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industry4.0.pdf.*
- Tabucanon, M. T., Batanov, D. N. and Verma, D. K. (1994). Decision support system for multicriteria machine selection for flexible manufacturing systems. *Comput. Ind.*, 25(2), 131–143.
- Yıldızbaşı, A., Öztürk, C., Efendioğlu, D., and Bulkan, S. (2021). Assessing the social sustainable supply chain indicators using an integrated fuzzy multi-criteria decision-making methods: a case study of Turkey. *Environ. Dev. Sustain.* 23, 4285–4320.
- Wang, X. (2009). Augmented Reality in Architecture and Design : Potentials and Challenges for Application. *Int. J. of Architectural Comput.*, 7(2), 309-326.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control.* 2, 338-353.
- Zyoud, S. H., Kaufmann, L. G., Shaheen, H. S., and Fuchs-Hanusch, D. (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. *Expert Syst. Appl.*, 61, 86–105.



Epilepsi EEG Verilerinin Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Sınıflandırılması

Beyda Çağlıyan¹, Utku Köse^{2*}

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Müh. ABD., Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4952-8351), beydacagliyan@gmail.com

^{2*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9652-6415), utkukose@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.857507)

ATIF/REFERENCE: Çağlıyan, B. & Köse, U. (2021). Epilepsi EEG Verilerinin Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 163-172.

Öz

Teknolojinin geçmişe nazaran büyük bir hızla geliştiği günümüzde, çoğu alanda yazılımların, yapay zekâ tekniklerinin uygulama alanları artmış insanların işlerini kolaylaştırıcı bir özellik haline gelmiştir. Bu açıdan birçok alanda faaliyet gösteren makine öğrenmesi tekniklerinin sıklıkla rastlandığı problem alanlarından biri sağlık alanı olmuştur. Beynin davranışlarında rastlanan bozuklukların incelenmesinde ve modellenmesinde kullanılan EEG sinyalleri, dünya çapında birçok insanı etkileyen epilepsi hastalığının tanılmasında temel bilgi kaynağı haline gelmiştir. Bu çalışma kapsamında da epilepsi hastalarından alınan EEG sinyalleri, 500 farklı kişi bilgisini içeren zaman serisi verisi olarak kullanılmıştır. Sınıflandırılan veri setinin bölümlendirme işlemi k-fold cross validation yöntemi ile ayrılmıştır. Epileptik nöbet tanılama sınıflandırma işlemi için kullanılan makine öğrenme tekniklerinden elde edilen sonuçların Yapay Sinir Ağı (YSA) %76,39, Lineer Diskriminant Analiz (LDA) %82,24, K-En Yakın Komşu Algoritması (K-NN) %93,41 başarı elde ettiği görülmüştür (Bu çalışma Beyda Çağlıyan'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir).

Anahtar Kelimeler: EEG Zaman Serileri, Epilepsi, Makine Öğrenmesi, Sinir Ağları, K-En Yakın Komşu Algoritması, Lineer Diskriminant Analiz Algoritması, Sınıflama.

Epilepsy EEG Data Classification via Machine Learning Techniques

Abstract

In today's world, where technology has developed rapidly compared to the past, the application area of software and artificial intelligence techniques in most areas has become a feature that facilitates the work of people. In this regard one of the problem areas where machine learning techniques operating in many fields are frequently encountered has been the field of health. EEG signals, which are used in the study and modeling of disorders in the brain's behavior, have become the main source of information in the diagnosis of epilepsy diseases that affect many people worldwide. In this study, EEG signals obtained from epilepsy patients were used as time series data containing 500 different person information. The segmentation operation of the classified data set is divided into with the k-fold cross validation method. The results obtained from the machine learning techniques used for the epileptic seizure diagnosis classification process were 76.39% from the Artificial Neural Network (ANN), 82.24% from the Linear Discriminant Analysis Algorithm (LDA), and 93.41% from the K-Nearest Neighbor Algorithm (K-NN) (This paper was produced by Beyda Çağlıyan's MSc. thesis).

Keywords: EEG Time Series, Epilepsy, Machine Learning, Neural Networks, K-Nearest Neighbor Algorithm, Linear Discriminant Analysis Algorithm, Classification.

* Sorumlu Yazar: Utku Köse utkukose@sdu.edu.tr

1. Giriş

Halk arasında “Sara Hastalığı” olarak da bilinen Epilepsi, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) Nisan 2018'de yayınladığı “Epilepsi” raporuna göre; migren, felç ve alzheimer hastalıklarından sonra en çok görülen, Dünya çapında 50 milyondan daha çok kişide rastlanan bir hastalıktır (Musumeci, Bonaccorso & Puglisi, 2019). Epilepsi, beyinde yer alan sinir hücrelerinin normalden farklı şekilde elektrokimyasal boşalma yapmasıyla gelişen nörolojik bir rahatsızlıktır (Sanei & Chambers, 2007). Bu rahatsızlığın ana nedeni henüz tam olarak bilinmemesi de epilepsiye başlıca; doğum öncesi veya doğum anında oluşan beyin hasarları, düşük doğum ağırlığı, genetik faktörler, kafa travmaları, menenjit gibi beyin enfeksiyonu, beyne giden oksijen miktarını engelleyen inme gibi durumlar etki etmektedir (“World Health Organization”, 2020). Epilepsi rahatsızlığı geçiren hastaların %30'luk kesiminde ilaçlar etki etmemekte bu sebepten her üç epilepsili hastadan birine ilaç tedavisi veya cerrahi herhangi bir operasyon uygulanamamaktadır. Böylece hastalar, ne zaman açığa çıkacağı kestirilemeyen ve önlenemeyen kriz tehlikesiyle karşılaşmak durumunda kalmaktadırlar (Özcan, 2020).

Epileptik sinyallerin tanılanması, çeşitli sinir sistemi hastalıklarının arkasında yatan sebeplerin aydınlatılması ve beyin işleyiş yapısının araştırılması adına Elektroensefalografi (EEG) sinyalleri kullanılmaktadır. EEG sinyallerindeki dik darbeler uzman sağlık çalışanları tarafından gözlemlenip yorumlanmaktadır (Kaya & Türk, 2017). EEG sinyalleri beyin hareketlerinin incelenmesi ve modelinin çıkarılması bakımından önemli bir role sahiptir. Beynin farklı uyarılara verdiği tepkilerin zaman veya frekans düzleminde içeriklerine göre araştırma yapılabilmesini sağlayan önemli bir konudur. Beyinde duyu ve motor alanların tespit edilebilmesi için EEG oldukça katkı sağlamaktadır. Herhangi bir sarsıntı türü yaralanma, tümör vb. gibi durumların ardından oluşan beyin hasarlarının konumunun tespitinde EEG kullanılırken; bu hasar gören alanlarda sinyal alınamayan sessiz veya beklenmedik şekilde sinyal veren dalgalanmaları kıyaslayabilmektedir (Pehlivan, 1997).

EEG, beyin davranışlarının elektriksel olarak kayıt altına alınması işlemi olup uluslararası alanda onaylanmış, standartlaştırılmış haritalandırma işlemine uyarak belirli şartlar altında, dijital ortamda ya da kâğıt üzerine yazdırma şeklinde yapılır. EEG kayıtlama işlemi için standardı belirlenmiş çalışmalarda, kafa derisi üzerine ve kulak memelerine yerleştirilen elektrotlardan alınan sinyaller; uyku hali ya da uyanıkken, çeşitli göz hareketlerinin kaydedilmesi sonucu elde edilir.

İleri teknoloji imkânları, mühendislik alanında, endüstriyel alanda, bilgi işlemede, askeri alanda, modellemede, tıbbi alanda, görüntü işleme, tanılama işlemlerinde, biyomedikal uygulama alanlarında olduğu gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Sağiroğlu, Güney & Erler, 2003). Çeşitli hastalıklara tanı konulma şekilleri gelişme göstermekle beraber artık belirli cihazlarla alınan verilerin kolay yoldan yorumlanması için de bazı teknikler kullanılmaktadır (Albayrak, 2008). Yapay zekâ teknikleri çoğunlukla bu amaçla kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Bu tekniklerden biri olan sinir ağları teknikleri gibi makine öğrenmesi teknikleri de beyin faaliyeti sırasında elektriksel potansiyelin kaydedilmesini sağlayan EEG sinyallerinin analizinde kullanılmaktadır ve bilgisayarın

öğrenmesi için zemin sağlamaktadır (Alkan, Subaşı & Kıymık, 2003).

Beynin çeşitli bozukluk durumlarında kaydedilmiş olan EEG sinyallerinin belirli zaman aralıklarında gösterdiği değişiklikler anlamlandırılabilir olmaktadır. Böylece EEG sinyallerinin zaman serisi olarak modellenip biçimlendirilmesi, bu sinyaller üzerinde daha rahat öngörüle bulunma, verilerin sınıflandırılması gibi işlemleri yapılabilmesi imkânını vermiştir (Şenol, 2006).

2. Materyal ve Metot

2.1. Epilepsi

Epilepsi, kortikal nöronlardaki üst düzey elektriksel deşarj olma sonrasında açığa çıkan ani, tekrarlayan, tanımlanabilir bir durumla tetiklenmemiş epilepsi nöbetleri ile karakterize olmuş bir bozukluk durumudur (Akdağ, Algın & Erdinç, 2016). Epilepsi, beyin normal aktivitesinin, sinir hücrelerinde kalıcı olmayan surette açığa çıkan normal olmayan elektriksel aktivitesi sonucunda hasar görmesi ile meydana gelen bir rahatsızlıktır. Halk arasında epilepsi hastalığı, “Sara Hastalığı” veya “Tutarık” olarak da anılmaktadır. Epileptik nöbeti (kriz) gerçekleştiği anda hasta bireyde geçici bilinç kaybı veya farklı belirtiler ortaya çıkmaktadır (“Yeditepe”, 2019). Vücudun belli bir kısmını (kısmi) veya tüm vücudu etkisi altına alan istemsiz hareketlerin ortaya çıktığı, bağırsak veya mesane gibi organların kontrolünün kaybına neden olan bir rahatsızlıktır (“World Health Organization”, 2020). Nöbet geçirme durumu, epilepsisi olan hastanın rahatsızlığının anlaşılmasının bir yoludur.

Epilepsi dünya çapında 50 milyona yakın kişiyi etkileyen, tekrarlayan (kronik), bulaşıcılığı olmayan sık karşılaşılan bir hastalıktır (“World Health Organization”, 2020). Ülkemizde ise bu hastalığın görülme oranı, tıpkı dünyada da olduğu gibi %0,5 - %1 arasında bir oranda olup bu sayı Türkiye’de yaklaşık olarak sekiz yüz bindir ve bunların dört yüz binden daha fazlasını yetişkinler dışında çocuklar oluşturmaktadır. Günümüzde kadınlarla erkekler arasında hastalık ile karşılaşılma oranı arasında büyük bir fark yoktur ve her yaştan, milletten, etnik gruptan ve sosyoekonomik statüden kişilerin epilepsili yaşamını sürdürdüğü görülmektedir (“S.B.Ü.”, 2020).

Epilepsi, yaklaşık olarak M.Ö. 4000 senelerinde yazılı kayıtlarda yer alan insanlık tarihinin bilinen en eski hastalıklarından biridir (“World Health Organization”, 2020). Çocukluk dönemlerinde ve yetişkinlikte maksimum seviyede iken genç yetişkinlikte daha hafif seviyededir (Zupec-Kania ve Spellman, 2009). Bu hastalığın özelliği belirgin bir yaşta açığa çıkmamasıdır. Epilepsiye, herhangi bir yaşta rastlanabilmekte fakat çocuklarda 16 yaşına kadar ve yetişkinlerde 65 yaşın üstünde rastlanma olasılığı artmaktadır (“Yeditepe”, 2019).

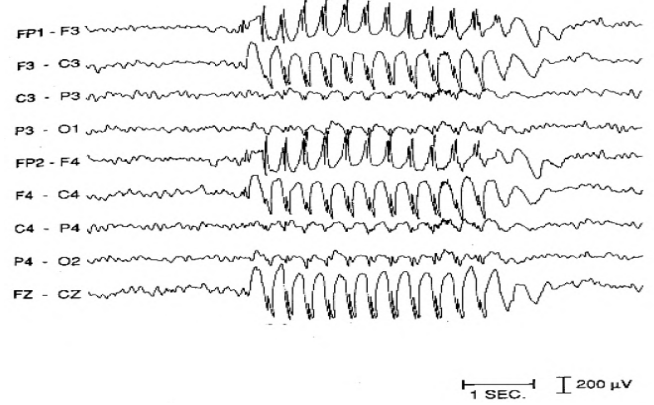
Epilepsi tamamıyla iyileşebilen bir rahatsızlık değil iken doğru ilaçların kullanımı sonucunda hasta bireylerin bir kısmı nöbet geçirmeden yaşamlarını sürdürülebilmektedir. Çok sık olmasa da beyindeki epileptik bölge ameliyat yardımıyla devre dışı bırakılabilir veya tamamen yok edilebilir. Zihinsel bir eksiklik durumu ile epilepsi rahatsızlığı paralellik gösterdiği görülmüştür. Fakat zihinsel noksanlıkları olan bireylerde epilepsi hastalığına yakalanma olasılıkları normal işlevlere sahip zihinlere nazaran daha da artmaktadır (Albayrak, 2008).

2.2. Elektroensefalografi

Elektroensefalografi (EEG), kafatasına konumlandırılan elektrotlar yardımıyla beynin davranışları sırasında kendisinin ürettiği, sürekli ve ritmik elektriksel hareketlerinin değişiminin incelenmesinde, uygun yazdırma sistemleri aracılığıyla kâğıt üzerine sayısal bir veri olarak işleyerek kayda alınan, genel olarak geçirilen nöbetlerin değerlendirilmesi için kullanılan ve tanı koymayı sağlayan tekniktir. Fiziksel olarak bütünüyle periyodik olmayan fakat ritmik olarak tanımlanan potansiyel sinyallerin frekansları, beynin hareket durumuna bağlı olarak, 0,5-70 Hz aralığında ve genlikleri 5-400 μ V aralığında farklılık gösterir (Şenol, 2006).

EEG çekme işlemi için, elektrotlar saçlı kafa derisine iletken bir madde olan pasta aracılığıyla konumlandırılması yapılır. Olası değişimler bilgisayara kaydedilerek ortaya çıkan sonuçlar yorumlanır. EEG için elektrot konumlandırma işlemi, 1958'de Uluslararası Federasyon vasıtasıyla kabul edilmiş olan "10-20" sistemi olarak tanımlanmış kafatası çevresindeki 21 elektrot bölgesini bünyesinde barındıran elektrot konumlandırma şekli olarak standart haline getirilmiştir. Bu standartlaştırma durumu, Şekil 1 ve 2'de görüldüğü gibidir. EEG araçları beynin arklı alanlarının faaliyetlerini aynı anda kaydedebilmek için çoğunlukla 8 ya da 16 kanallı olarak yapılmaktadır (Pehlivan, 1997).

- F: Ön kısım lobları,
- T: Şakağa ait loblar,
- C: Merkezi (orta) loblar,
- P: Parietal (kafatası yanı kemiği) loblar,
- O: Oksipital (kafatasının arka kısmına ait) lobları ifade etmektedir.



Şekil 3. Epileptik nöbet sırasında çekilmiş örnek EEG kaydı (Özer, 2015).

Şekil 3'te belli zaman aralığında EEG sinyalinin epilepsi nöbeti geçirmesi sırasında rastlanan değişiklikler görülmektedir. Genel olarak karşılaşıldığı gibi, 3 Hz frekansında diken şeklinde dalgalanan sinyal aniden ortaya çıkar ve birkaç saniye devam edip kaybolur (Özer, 2015).

EEG'de ölçülen potansiyel, beyinde meydana gelen sinir hücrelerinin (nöronların) aktivitelerinin toplamıdır. Gerçekleşen bu potansiyelin kafatası dışında bile ölçülebilir durumda olması için, nöronların aynı yüzey üzerinde paralel şekilde yerleşmiş durumda olmaları gerekmektedir (Varsavsky, Mareels & Cook, 2016; Özcan, 2020).

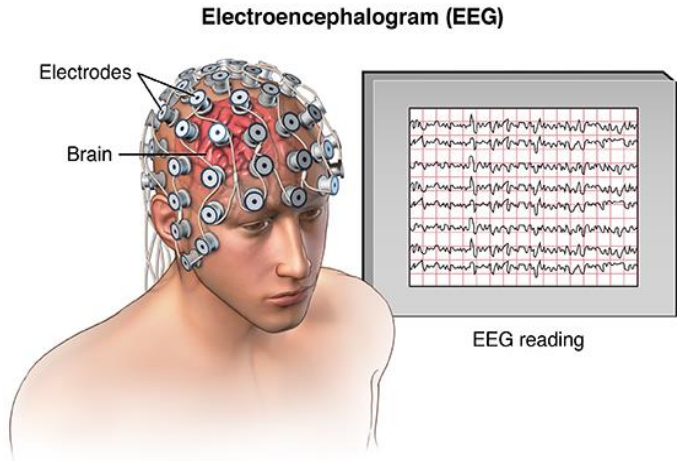
EEG, alınan sinyalin epileptik özellikte mi değil mi, epilepsinin hangi çeşidi olduğu, epileptik olmayan bir durumda tedavi uygulanmasının etkisinin ne olacağı, epileptik bir durumda tedavi uygulanmasının sonucu durdurulabilir mi gibi sorulara yanıt almak için kullanılır.

2.3. Yapay Sinir Ağları

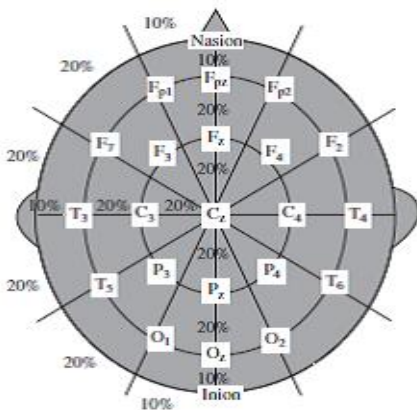
Yapay sinir ağları (YSA) ile ilgili ilk çalışma 1943 yılında Nörofizyolojist Warren Mc. Culloch ile matematik bilimcisi Walter Pitts tarafınca yayımladıkları makalelerinde elektrik devrelerinden basit bir yapıda sinir ağları tasarladıklarından bahsetmeleriyle başlamış ilerleyen zamanda perception kavramının bulunması sonucu YSA yapısının gelişmesi sağlanmıştır. 80'lerin sonunda çok katmanlı sinir ağları için geri yayımlı öğrenme algoritmasının geliştirilmesi ile günümüzdeki yapısını kazanmasına olanak sağlamıştır.

Beyinde yer alan sinir hücrelerinin çalışma şeklini taklit ederek oluşturulan YSA, birbirlerine sinaptik bağlarla benzer yapılarda bağlanmış yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Her nöron arasındaki bağlantı sayesinde nörona gelen bilgi bir diğer nörona aktarılır (Alan, 2020).

YSA, insan beynin yapısını ve nöronları arasındaki bağlantılardan yararlanılarak geliştirilmişse de nöronların bağlandığı gerçek bir beyinden farklı olarak katmanlara, bağlantılara ve veri iletme yeteneklerine sahiptir. Başka bir

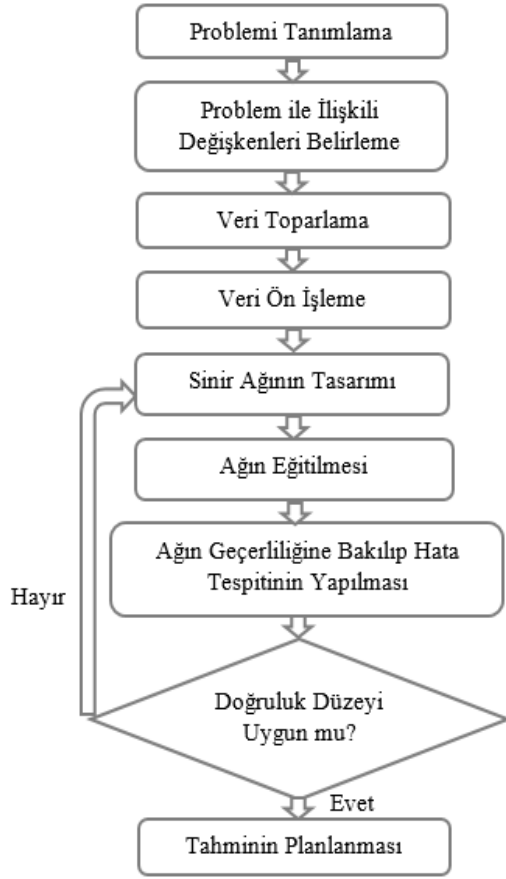


Şekil 1. Uluslararası standartlarda Elektroensefalografi (EEG) kayıtlama işlemi (Köse, 2018a).



Şekil 2. EEG kaydı yapıldığı sırada 10-20 sistemi ile standardize edilmiş elektrot yerleştirilmesi pozisyonu (Taywade & Raut, 2012).

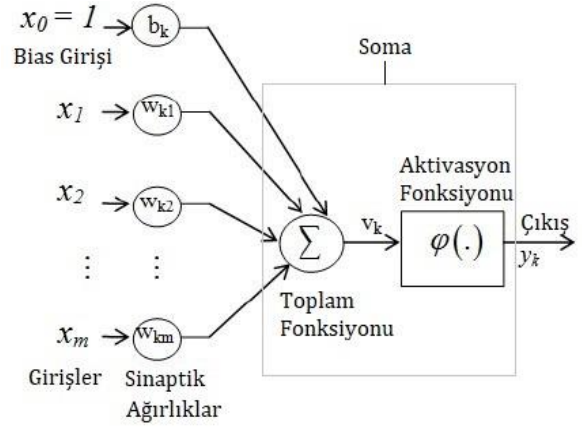
değişle biyolojik sinir sistemi modelinin matematiksel olarak gösterime dönüştürülmüş hali olarak da ifade edilebilir (Gershenson, 2021). Bu sistemler, kendi kendilerine öğrenme özelliğine sahiptirler. Çoğunlukla problemin çözümünün veya tespitinin karmaşık olduğu uygulamalarda en iyi çalışma performansını sağlayabilmektedir (“Copeland”, 2006).



Şekil 4. YSA tahmin yöntemi (Hu, 2002).

Bir sinir ağı tecrübelerden faydalanarak bilgi depolamak ve verileri kullanılacak düzeye getirmek için doğal bir eğilimi olan basit işlem öğelerinden oluşan paralel şekilde dağıtılmış bir işlemcidir (Haykin, 1999). Bu yönüyle sinir ağları belki de insan düşünce ve öğrenme süreçlerine dair en anlamlı makine öğrenmesi tekniklerinden biri olmakta, yine insan odaklı farklı problem çözümlerleriyle birlikte özellikle felsefi açıdan yapay zekâ çözümlerinin tartışılması noktasında bilimsel literatürde çok yönlü yansımalar oluşturmuştur (Boz & Köse, 2018; Cevizoğlu, 2019; Deperlioğlu, 2018; Hasson, Nastase & Goldstein, 2020; Köse, 2018b; Yegnanarayana, 2009).

YSA, insan beyninin öğrenme işlevi örnek alınarak tasarlanan hücrelerden meydana gelmektedir (Asilkan ve Irmak, 2009). YSA’da insanlarda bulunan biyolojik sinir hücresindeki nöronlara benzer yapılar yer almaktadır. Yapay sinir hücresini meydana getiren bu yapıların bir araya gelerek yarattığı bu sistem yapay sinir ağıdır (Graupe, 2013).



Şekil 5. Tek Katmanlı YSA (Haykin, 1999).

Bir yapay sinir hücresinde girdiler (X_1, X_2, \dots, X_m), kendilerine ait olan ($w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$) ağırlıkları ile çarpıldıktan sonra ve dışarıdan bir bias değerinin (b_k) uygulanarak toplam fonksiyonu ile birleştirilip bir aktivasyon fonksiyonuna gönderilirler. Aktivasyon (transfer) fonksiyonuna iletilen bu sinyal, bu noktada artık işlenerek çıktıya (Y) dönüştürülür (1) (2) (Öztemel, 2012).

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} \cdot x_j \quad (1)$$

$$y_k = \Psi(v_k + b_k) \quad (2)$$

Çıkış durumunda olan Y değerinin hesaplanmasında X değeri ile girdileri, W değeri ile ise her bir girdinin kendi pozitif, negatif ya da sıfır değerini alabilen ağırlıklarını yani sinir hücresine gelen bilginin önemi ifade edilmektedir. v_k değeri bir dış girdi olan bias değerinin (b_k), Ψ aktivasyon fonksiyonu ile işlemden geçirilip y_k çıktısının elde edilmesi ifade edilmiştir. Burada aktivasyon fonksiyonu y_k çıkış değerini kontrol ederek hücrenin aktif olup olmama durumuna karar vermeyi sağlar.

2.4. Linear Diskriminant Analiz

Linear Diskriminant Analiz (LDA) algoritması, 1936 yılında ikili sınıflandırma problemlerinin çözümü için R. A. Fisher tarafınca geliştirilmiş sonrasında C. R. Rao tarafından ikiden çok sınıflandırma durumu içeren problemlerin çözümü için formülüze edilmiş basit bir yapısı olmasına rağmen karmaşık problemlerde olumlu sonuçlar veren bir algoritmadır.

LDA, birden çok özelliği barındıran denetimli öğrenme makine öğrenme problem durumlarında sınıflandırma işleminde lineer kombinasyonların birbirinden ayrılması için kullanılan ve sınıfların her biri arasındaki varyans değerlerinin maksimum seviyeye getirilmesini hedefleyen tekniktir. Ayrıca bu teknik, veri setindeki sınıflar arasında bir karar alanı oluşturarak verilerin dağılım işlemini daha anlaşılır bir şekilde getirmeye çalışır (Başçıl, 2015).

İki sınıf bulunduran problemler durumları için LDA’nın formülü için $y(x)$ lineer diskriminant fonksiyonu, A ve B sınıfları, x giriş vektörünü, w özellik vektörünün sahip olduğu ağırlığı, w_0 bias değerini (eşik değeri) ifade ederken C ise sınıflandırma işlemini temsil etmektedir (3) (4).

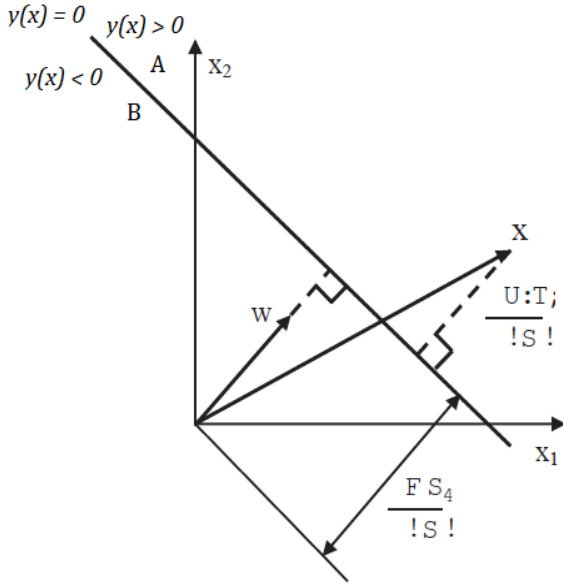
$$y(x) = w^t x + w_0 \quad (3)$$

$$C = \begin{cases} \text{Eğer } y(x) > 0, x \in A \\ \text{Eğer } y(x) < 0, x \in B \end{cases} \quad (4)$$

$$\frac{w^t x}{|w|} = -\frac{w_0}{|w|} \quad (5)$$

$y(x)$ lineer diskriminant fonksiyonunun 0 olması hali karar bölgesi anlamına gelmektedir ve bölge sınırı formülü Denklem 5'de olduğu gibidir.

İki sınıfa bulunan problemler için LDA karar bölgesinin gösterimi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. İki sınıfa sahip problem durumları için LDA karar bölgesi (Başçıl, 2015).

2.5. K-En Yakın Komşu Algoritması

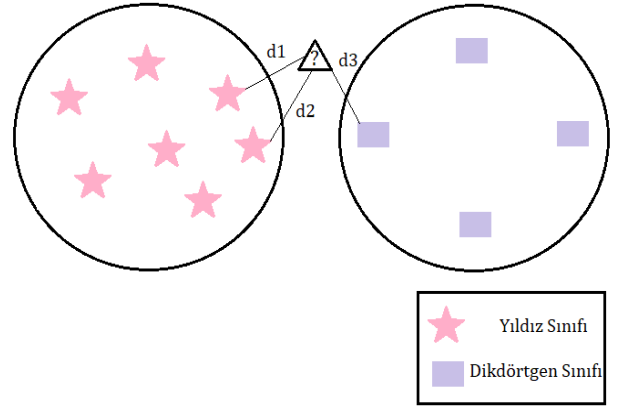
K-en yakın komşu algoritması (K-NN), sınıflandırma çalışmalarında sıklıkla kullanılan denetimli öğrenme teknikleri arasında bulunmaktadır. K-NN, sınıflandırılması istenen bir öğrenme veri kümesinin belli bir komşu sayısı yakınlığı aracılığıyla sınıflandırma yapması temeline dayalı olarak çalışan bir algoritmadır. Komşu sayısı k ile gösterilirken sınıflandırma yapılacak veriye olan yakınlığı önem arz ettiği için k-en yakın komşu algoritması adı verilmiştir.

Karmaşık bir yapısı olmayan K-NN, rekabetçi sonuçlar verir ve kimi durumlarda daha karmaşık öğrenme tekniklerine göre daha iyi performans sergileyebilmektedir (Kaya, 2019). Bu teknik, diğer yöntemlerle kıyasla az sayıda sınıfa sahip olan durumlar için daha basit fakat daha etkili bir öğrenme yöntemi sunar (Eşme & Karlık, 2014).

K-NN, uzaklığı temele alan örnek tabanlı bir öğrenme algoritması olması sebebiyle, algoritma karşılaştığı her yeni bir veri örneğine rastladığında yeni veride yer alan tüm örneklerde olan mesafeler hesaplanır. Bu hesaplama ardından sınıf etiketleri daha öncesinden bilinen veri örneklerinden k adet en yakın komşusunu bularak yeni karşılaşılan örnekte eğitim verisinde olan örneklerle kıyas edilip aralarındaki benzerliklere bakılarak sınıflandırma yapılır (Mitchell, 1997). Benzerlik ölçütü mesafeyi temele aldığı için iki örnek arasındaki mesafenin az olması,

örneklerin daha çok benzer olduğunu gösterir ve benzer grupta olmalıdır denir (Panjeh, 2018).

Yeni veri örneği k en yakın komşunun çoğunluğunda olduğu belli bir sınıfa atanır. Örneğin, k=1 seçilmişse sınıflandırılmaya çalışılan yeni veri örneği en yakında olan 1 komşusunun var olduğu sınıfa atanırken k=3 seçilmişse, sınıflandırılmaya çalışılan yeni veri için en yakında olan 3 komşusu baz alınarak sınıfa atanır. Şekil 7'de k=3 olarak düşünüldüğü durumda yeni gelen örneğin sınıflandırılması durumu görülmektedir. Burada d1, d2, d3 karşılaşılan yeni verinin sınıflardaki verilere olan en yakın 3 komşusuna olan mesafe değerleridir. Bu işlem sonrasında en yakın komşulukta ikisinin Yıldız Sınıfı'na daha yakın olmasından dolayı veri Yıldız Sınıfı'na atanır (Polat, 2016).



Şekil 7. k=3 için K-NN sınıflandırması

K-NN algoritmasının çalışma performansını büyük ölçüde etkileyen girdi parametrelerden biri olan örnekler arasındaki uzaklığın ölçülme şeklidir. Literatürde incelendiğinde sıklıkla denenen uzaklık hesaplama teknikleri Öklid Uzaklığı ve Minkowski Uzaklığı teknikleridir.

- *Minkowski Uzaklığı (Minkowski Distance)*, Öklid boyutunda tanımlı olan bir dizi şeklidir. Veri madenciliği uygulamalarında, sınıflama ve kümeleme gibi makine öğrenmesi uygulamalarında çoğunlukla denenen uzaklık hesaplama yöntemidir. Herhangi iki nokta olarak düşünülen A ile B arasındaki Minkowski Uzaklığı, $A=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve $B=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ olmak üzere Denklem 6'da ifade edildiği şekilde hesaplanır (Taşçı & Onan, 2016).

$$d = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} \quad (6)$$

Minkowski uzaklığı, Denklem 6'da gösterildiği gibi belli bir formülle hesaplanıyor olup p'nin değerlerinin değişen kombinasyonları ile çeşitli uzaklık ölçme yöntemleri türetmek amacıyla da kullanılmaktadır. Örneğin p'nin değerinin 1 olduğu özel bir durum olan Manhattan Uzaklığını, p'nin değerinin 2 olduğu başka bir özel durum olan Öklid Uzaklığını ve $n \rightarrow \infty$ iken ki özel hali, Chebyshev Uzaklığının formülünü oluşturmaktadır (Taşçı & Onan, 2016).

- *Öklid Uzaklığı (Euclidean Distance)*, tıpkı Minkowski Uzaklığı gibi sınıflama ve kümeleme algoritmaları gibi makine öğrenmesi uygulamalarda sıklıkla denenen uzaklık

ölçme yöntemidir. Öklid uzaklığı, belli iki nokta arasındaki doğrusal uzaklıktır ve herhangi iki nokta olan A ve B arasındaki Öklid Uzaklığı, $A=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve $B=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ olmak üzere Denklem 7'de ifade edildiği şekilde hesaplanır (Taşçı & Onan, 2016).

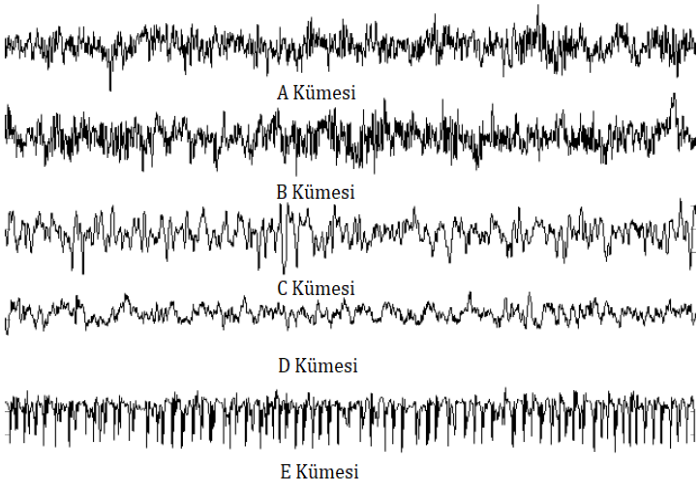
$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (7)$$

Öklid uzaklığı, K-NN sınıflama algoritması ve K-ortalama kümeleme algoritması örneklerinde olduğu gibi sınıflama ve kümeleme algoritmalarında mesafe belirlemesi için kullanılan temel uzaklık ölçme yöntemidir.

Literatür incelendiğinde Minkowski uzaklık hesaplama yöntemlerinden türetilmiş olan Manhattan Uzaklığı, Chebyshev Uzaklığı gibi yöntemlerin yanı sıra kategorik öznitelik değerleri arası mesafe hesabını belirlemek için kullanılan Dilca Uzaklığı yöntemine de rastlanmıştır.

2.6. Veri Seti

Veri setinin ana hali olan EEG sinyalinin kaydedilme işlemi, Bonn Üniversitesi Epileptoloji Bölümü'nde yapılmıştır. Verilerin tümü 5 küme (A-B-C-D-E kümeleri) şeklinde oluşturulmuştur. Şekil 8'de bu kümelerin EEG sinyalleri gösterilmiştir. Gözleri açık sağlıklı yerinde gönüllü kişilerden elde edilen veriler A kümesinde, gözleri kapalı olanlar kişilerden alınan veriler B kümesinde, C ve D kümelerinde ise sırasıyla, epilepsi hastası kişilerin kafataslarının farklı bölgelerinden alınan veriler, E kümesinde ise hasta bireylerin epilepsi nöbeti geçirdikleri anda alınan ölçümleri kaydedilmiştir. Her bir veri kümesi 23,6 saniyelik 100 tek kanallı EEG segmenti içermektedir. Segmentlerin tamamı artefaktları doğrudan gözle incelenerek, çok kanallı EEG kayıtlarından kesilerek seçilmiştir. EEG sinyalleri 12 bit analog sayısal dönüştürücü aracılığıyla dönüştürülüp makineye, verilerin örnekleme hızı 173,61 Hz frekansı (toplam 4097 tane) olarak aktarılmıştır. Epileptik özelliklerin kendini belli etme aralığı 30-40 Hz altında olması sebebiyle zaman serilerinin spektral bant genişliği 0,5 Hz ile 85 Hz aralığında olan sinyallere ve 0,53 Hz ile 40 Hz aralığında banda ait filtre uygulanmıştır (Andrzejak, Lehnertz, Rieke, Mormann, David & Elger, 2001).



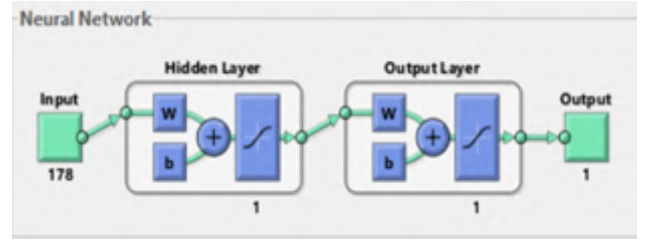
Şekil 8. A, B, C, D, E kümelerinin örnek EEG sinyalleri (Tekin, Kaya & Tağluk, 2011).

Çalışma kapsamında kullanılan veri seti düzenlenmiş zaman serisi verisi ise "Epileptik Nöbet Tanıma Veri Seti" adı altında kaydedilmiş olan UCI veri tabanından alınmıştır. Bu veri setinde 500 farklı kişi bilgisi, 4097 veri noktası 23 parçaya (chunk) bölünerek karıştırılmıştır. Her bir parça 1 saniye için 178 veri noktasından oluşmaktadır ve her veri noktası, zaman içerisindeki değişik bir noktadaki EEG kaydının değerini ifade etmektedir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. YSA Bulguları

Çalışma için kullanılan epilepsi EEG veri setinde 178 özellik veri noktası YSA modeline girdi olarak verilmiştir. YSA'nın ara katman sayısı ile çıkış katman sayıları tek olarak belirlenmiştir. Tasarlanan YSA modelinin programdan alınan hali, Şekil 9'da görüldüğü gibidir.

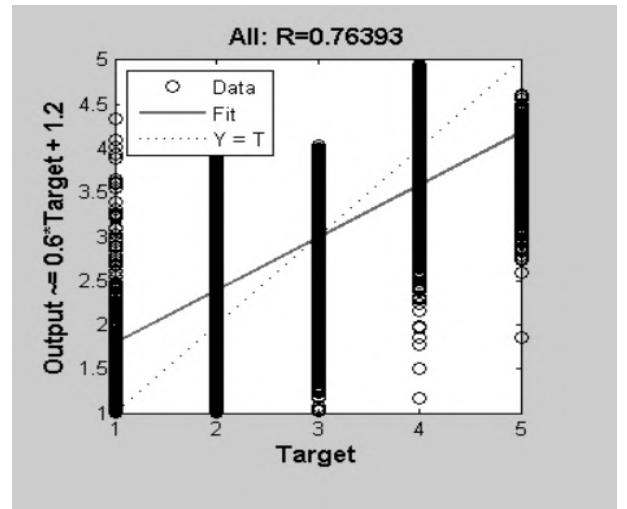


Şekil 9. Tasarlanan YSA modeli.

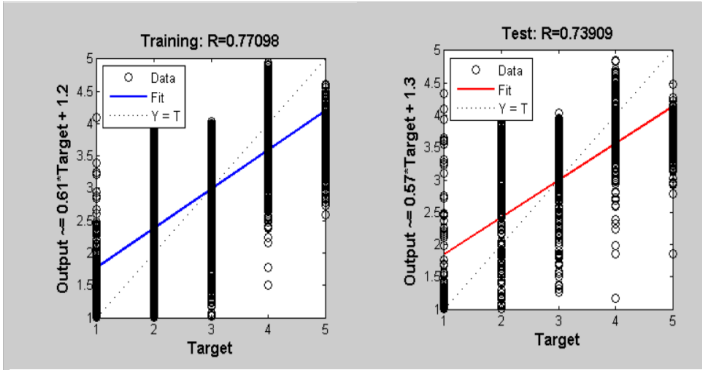
YSA'nın eğitimi için Trainlm yani Levenberg-Marquady optimizasyonuna bağlı olarak ağırlık ve bias değerleri oluşturan teknik, hızlı bir eğitim algoritması olması sebebiyle kullanılmıştır. Sinir ağında verileri bölümlendirirken rastgele indeksler kullanarak 3 ayrı sete bölen dividerand algoritması yöntemi uygulanmıştır.

YSA'nın eğitim, doğrulama ve test verileri üzerindeki tahmin işlemi sonucu eğitim de %77,09, testte %73,90 ve totalde başarımlı değerinin %76,39 olduğu görülmüştür. Bu sonuç Şekil 10 ve Şekil 11'de olduğu gibidir.

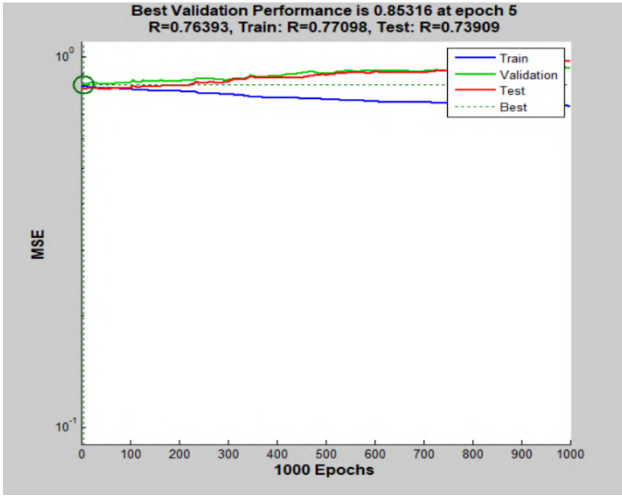
Şekil 12'de YSA'dan ulaşılan tahmin edilen değerler ile gerçek veriler arasındaki ortalama hata karesi hesaplanmış grafikte; eğitim, doğrulama ve test verilerinin tahmininde en iyi sonuca %85,31 ile 5. epoch adımında rastlandığı toplamda 1000 epochta elde edildiği gösterilmiştir.



Şekil 10. YSA'nın tahmin grafiği



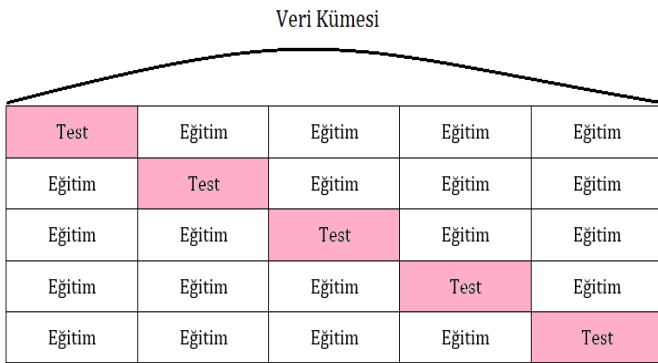
Şekil 11. YSA'nın eğitim ve test grafikleri



Şekil 12. Ortalama hata karesi grafiği

3.2. LDA Bulguları

Çalışmada hem LDA için hem de K-NN sınıflandırması için k-fold cross validation yöntemi vasıtasıyla veriler eşit büyüklükte k tane bölüme ayrılmıştır. Uygulamada k=5 olduğu durumda sınıflayıcılar üzerinde daha iyi başarımlar elde edildiği tespit edilmiştir. K-fold cross validation işlemi ile birlikte k değeri kadar yani uygulamada 5 kez veri kümesi sınıflandırılmış, veri 5 tane gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan her defasında veri kümesinin bir tanesi test seti olarak kullanılırken geriye kalan diğer dört tanesi eğitim seti olarak kullanılmıştır.



Şekil 13. K-fold cross validation

Tablo 1. LDA karmaşıklık matrisi

LDA Karmaşıklık Matrisi		Tahmin	
		Pozitif	Negatif
Gerçek	Pozitif	DP (Doğru Pozitif) 1836	YN (Yanlış Negatif) 4
	Negatif	YP (Yanlış Pozitif) 404	DN (Doğru Negatif) 56

LDA sınıflandırıcısından elde edilen karmaşıklık matrisi sonuçları yukarıda gösterilen Tablo 1'de görüldüğü gibidir. Burada k-fold cross validation yöntemine ile test için ayrılmış olan 2300 tane test verisinin karmaşıklık matrisi sonuçlarına göre; DP değeri yani gerçekte epilepsi nöbeti yok olarak kabul edilen verilerin 1836'si sistem tarafından da doğru olarak tahmin edilmiş epilepsi nöbetinin olmadığı şekilde sınıflandırılmıştır. DN değeri yani gerçekte epilepsi nöbeti var kabul edilen verilerin 56'sı sistem tarafından doğru olarak sınıflandırılmış nöbet var şeklinde tahmin edilmiştir. Bu iki sonuçtan yola çıkılarak doğruluk değerinin %82 olduğu da doğrulanmıştır. Aynı şekilde YN değeri yani gerçekte epilepsi nöbeti yok olarak kabul edilen verilerin 4'ünü sistem yanlış sınıflandırmış epilepsi nöbeti var olarak tahmin etmiştir. YP değeri için ise gerçekte epilepsi nöbeti var olarak kabul edilen 404 tane verinin sınıflandırmasını sistem yanlış tahmin etmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak duyarlılık değerleri; doğru pozitif oranı 1,00 ve yanlış pozitif oranı 0,87, kesinlik değeri 0,82 olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 2. LDA karmaşıklık matrisi ölçümleri

class	precision	recall	f1-score
0	0,82	1,00	0,90
1	0,89	0,11	0,20
accuracy	0,82	0,99	0,82
macro avg	0,86	0,55	0,55
weighted avg	0,83	0,82	0,76

Tablo 2'de de görüldüğü gibi hesaplanan değerlerle paralellikte kesinlik, duyarlılık ve F-ölçütü değerleri sistemden çıktı olarak doğru şekilde alınmıştır. 2300 tane test verisinin tamamında test yapılmış bu verinin 1836 tanesi 0 sınıfına ait olarak doğru sınıflandırılmıştır. Fakat LDA algoritmasında 1 sınıfı için yani nöbet geçiren hastalardan alınan verilerde sistemin daha fazla hata yaptığı sadece 56 tanesinin doğru sınıflandırıldığı görülmüştür. Bu durumun sistem çıktısında da doğrulandığı 1 sınıfına ait duyarlılık değerinin 0,11 çıkması ile tespit edilmiştir.

3.3. K-NN Bulguları

Tablo 3. K-NN parametreleri

Uzaklık	k komşu sayısı	Başarı Oranı
"minkowski"	k=3	%93,41
	k=5	%92,56
	k=7	%91,90
"euclidean"	k=3	%93,37
	k=5	%92,47
	k=7	%91,91

K-NN sınıflandırıcısı parametreleri seçiminde algoritmada en iyi sonucu veren k komşu sayısı 3 olarak belirlenirken uzaklık metriği olarak da minkowski seçilmiştir (Tablo 3).

Tablo 4. K-NN karmaşıklık matrisi

K-NN Karmaşıklık Matrisi		Tahmin	
		Pozitif	Negatif
Gerçek	Pozitif	DP (Doğru Pozitif) 1838	YN (Yanlış Negatif) 2
	Negatif	YP (Yanlış Pozitif) 149	DN (Doğru Negatif) 311

K-NN sınıflandırıcısından elde edilen karmaşıklık matrisi sonuçları yukarıda gösterilen Tablo 1'de görüldüğü gibidir. Burada da k-fold cross validation yöntemine göre test için ayrılmış olan 2300 tane test verisinin karmaşıklık matrisi sonuçlarına göre; DP değeri 1838, sistem tarafından doğru olarak tahmin edilmiş epilepsi nöbetinin olmadığı şeklinde sınıflandırılmıştır. DN değeri 311, sistem tarafından doğru olarak sınıflandırılmış nöbet var şeklinde tahmin edilmiştir. Bu iki sonuçtan yola çıkılarak doğruluk değerinin %93 olduğu da görülmüştür. Aynı şekilde YN değeri yani gerçekte epilepsi nöbeti yok olarak kabul edilen verilerin 2'sini sistem yanlış sınıflandırmış epilepsi nöbeti var olarak tahmin etmiştir. YP değeri için ise edilen 149 tane verinin sınıflandırmasını sistem yanlış tahmin edip nöbeti yok olarak kabul etmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak duyarlılık değerleri; doğru pozitif oranı 1,00 ve yanlış pozitif oranı 0,32 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kesinlik değeri 0,93 olduğu görülmüştür.

Tablo 5'de de görüldüğü gibi hesaplanan değerlerle aynı doğrultuda kesinlik, duyarlılık ve F-ölçütü değerleri sistemden çıktı olarak doğru şekilde alınmıştır. 2300 tane test verisinin tamamında test yapılmış 0 ve 1 sınıfına ait verilerin sınıflandırma başarılarının yüksek çıktığı görülmüştür.

Tablo 5. K-NN karmaşıklık matrisi ölçümleri

class	precision	recall	f1-score
0	0,92	1,00	0,96
1	0,99	0,66	0,79
accuracy	0,93	0,99	0,93
macro avg	0,96	0,83	0,88
weighted avg	0,94	0,93	0,93

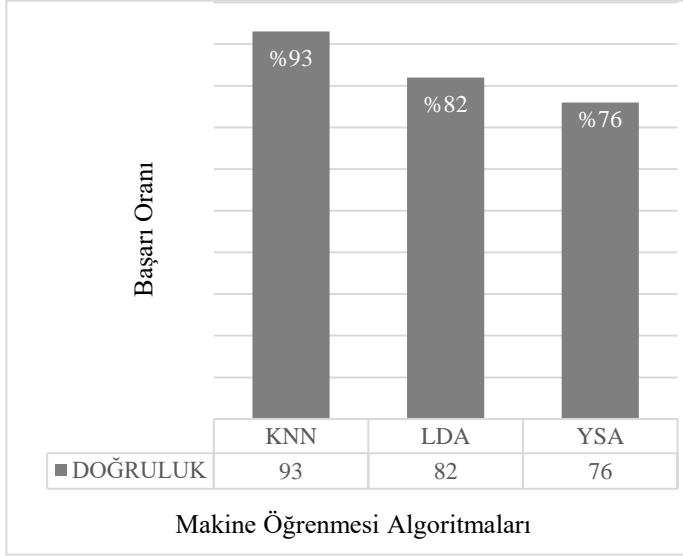
Söz konusu bütün bulgular ele alındığında %90 üzerinde sonuçlara ulaşmanın gerekli sayıda alternatif algoritma uygulamaları neticesinde mümkün olduğu görülmektedir. Bu noktada verileri daha detaylı bir biçimde ele alan ve veriler içerisindeki hassas değişimlere karşı daha duyarlı olan derin öğrenme çözümlerinin, bulgularda artış oluşturabileceğini yorumlamak mümkündür. Elbette burada artan başarımların karşı uygulama sürelerinde artışların da yaşanıp yaşanmayacağı, yine bu durumun epileptik EEG verisi üzerinden arzu edilen sürelerde sonuçlara ulaşma açısından dezavantaj oluşturup oluşturmayacağı da alternatif bir araştırma sorusu olarak dikkate alınabilecektir.

4. Sonuç

Günümüzde biyomedikal verilerden biri olan EEG veri setleri kullanılarak gerek tahminleme gerekse sınıflandırma çalışmaları yapılmakta modeller oluşturulmaktadır. Kullanılabilecek birçok makine öğrenmesi teknikleri bulunmakta veri setine, geliştiricinin tasarımına bağlı olarak bu yöntemler değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada makine öğrenmesinin danişmanlı öğrenme algoritmalarından olan YSA, LDA ve K-NN algoritmaları epileptik EEG verisi üzerinde nöbet tanılama sistemi için denenmiş, performansları kaydedilmiştir. Algoritmaların performanslarının değerlendirilmesi adımı karmaşıklık matrislerinden sonra hesap edilen her bir algoritmanın f ölçütlerine bakılarak yorumlandığında LDA'nın 0 sınıfı için performansı daha iyi iken 1 sınıfı için değer 1'den uzaklaştığı performansının düştüğü görülmüştür. LDA yönteminin literatürde genel olarak kullanımından farklı olarak literatüre katkı sağlaması adına sınıflandırıcı olarak kullanılması özellikle seçilmiştir. İkili sınıflandırma durumları içeren problemlerde ve veri boyutu büyük olmayan veri setlerinde çalıştırılmasının doğru olduğu kanaatine varılmıştır. K-NN için f ölçütü değerine göre ise her iki sınıfta da 1'e yakın değerler alındığı algoritmanın başarılı olduğu tespit edilmiştir. Temel YSA tasarımının ortalama hata karesi grafiğine bakıldığında da değer 1'den uzaklaştığı için performansın azaldığı görülmüştür.

Sonuç olarak EEG veri setinde kullanılan üç farklı yaklaşımdan YSA ve LDA algoritmalarına nazaran en iyi sınıflandırıcı olarak çalışan algoritmanın %93,41 doğruluk oranı ile K-NN olduğu tespit edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Sınıflandırıcıların başarı karşılaştırması



Gelecek çalışmalara öneri olarak MLP gibi daha gelişmiş YSA tasarımları ve özelleştirilmiş bir YSA olan CNN, LSTM gibi derin öğrenme yaklaşımları; çalışmada kullanılan veri seti üzerinde ve farklı EEG veri setleri üzerinde uygulanarak daha farklı sonuçlar elde edilebileceği tahmin edilmektedir. Derin öğrenme algoritmalarının yapılarının karmaşıklığı ve gelişmişliği göz önüne alınarak daha iyi sonuçlara varılabileceği öngörülmekte, gelecek çalışmalarda denenmesi ve böylelikle bir önceki bölüm sonunda ifade edilen başarı-zaman dengesinin ne yönde oluşturulacağına gözlemlenmesinin, bu çalışmada ele alınan araştırma sürecine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Yine alternatif EEG veri setlerinin incelenmesi, karşılaştırmalı süreçlerin çeşitlendirilmesi ve çözümün daha komplike sağlık takibi sistemlere entegrasyonu yönünde çalışmaların da gerçekleştirilebileceği, konuyla ilgilenen araştırmacılara önerilmektedir.

Kaynakça

- Akdağ, G., Algın, D. İ. & Erdiñç, O. O. (2016). Epilepsi. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 38 (Özel Sayı 1), 35-41, Eskişehir.
- Alan, M. (2020). *Derin Öğrenme İle Biyosinyal Sınıflandırma Ve Hastalık Tahmini* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Albayrak, M. (2008). *EEG Sinyallerindeki Epileptiform Aktivitenin Veri Madenciliği Süreci ile Tespiti* (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Alkan, A., Subaşı, A. & Kıymık, M. (2003). EEG İşaretlerinin Yapay Sinir Ağı ile Sınıflandırmasında En Yüksek Olabilirlik Kestiriminin Kullanılması. *II. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, (s. 741-744). İstanbul.
- Andrzejak, R. G., Lehnertz, K., Rieke, C., Mormann, F., David, P., Elger & C. E. (2001). Indications of Nonlinear Deterministic and Finite Dimensional Structures in Time Series of Brain Electrical Activity: Dependence on Recording Region and Brain State. *Physical Review E*, 64(6), 1-8.
- Asilkan, Ö. & İrmak, A. G. S. (2009). İkinci El Otomobillerin Gelecekteki Fiyatlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), 375-391.
- Başçıl, M. S. (2015). *Beyinde Üretilen Yöne Bağlı EEG Sinyallerinin Özellik Çıkarımı Yardımıyla Sınıflandırılması*

- (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Boz, H., & Köse, U. (2018). Emotion extraction from facial expressions by using artificial intelligence techniques. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 9(1), 5-16.
- Cevizoğlu, H. (2019). Yapay Zekâ, Teknoloji Felsefesi ve Toplumsal Yaşam. *Yapay Zekâ ve Gelecek*, İstanbul: Doğu Kitabevi.
- Copeland, M. (2016). *Nvidia, What's the Difference Between Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning?* Online Web site: 03.11.2020 tarihinde <https://blogs.nvidia.com/blog/2016/07/29/whats-difference-artificial-intelligence-machine-learning-deep-learning-ai/> adresinden erişildi.
- Deperlioğlu, Ö. (2018). The Effects of Different Training Algorithms on the Classification of Medical Databases Using Artificial Neural Networks. In *European Conference on Science, Art & Culture ECSAC*.
- Eşme, E. & Karlık B. (2014). Comparison Supervised Learning Algorithms for Gases/Odors Identification. *Intellectual Systems of Decision-Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI'14)*. Ukraine.
- Gershenson, C. *Artificial Neural Networks for Beginners* [PDF belgesi]. Lecture Notes Online Web site: 18.01.2021 tarihinde <https://www.uv.mx/mia/files/2012/10/Artificial-Neural-Networks-for-Beginners.pdf> adresinden erişildi.
- Graupe, D. (2013). *Principles of Artificial Neural Networks* (3rd edition). World Scientific, Advanced Series in Circuits and Systems: Volume 7, Chicago, University of Illinois, USA. <https://doi.org/10.1142/8868>
- Hasson, U., Nastase, S. A., & Goldstein, A. (2020). Direct fit to nature: An evolutionary perspective on biological and artificial neural networks. *Neuron*, 105(3), 416-434.
- Haykin, S. (1999). *M. Neural Networks – A Comprehensive Foundation* (2nd Edition). Prentice Hall, New Jersey.
- Hu, C. (2002). *Advanced Tourism Demand Forecasting : ANN and Box-Jenkins Modelling* (Doktora Tezi). Purdie University, MI, USA.
- Kaya, D. (2019). Alt Uzay k-NN ile Eritmato-Skuamöz Hastalık Türlerinin Sınıflandırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 583-587.
- Kaya, D. & Türk, M. (2017). Biyoelektriksel İşaretlerde Rahatsızlık Teşhisinin Yorumlanması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(1), 261-267.
- Köse, U. (2018a). An Ant-Lion Optimizer-Trained Artificial Neural Network System for Chaotic Electroencephalogram (EEG) Prediction. *Applied Sciences*, 8(9), 1613. doi:10.3390/app8091613.
- Köse, U. (2018b). Are we safe enough in the future of artificial intelligence? A discussion on machine ethics and artificial intelligence safety. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 9(2), 184-197.
- Mitchell, T. (1997). Does Machine Learning Really Work?. *AI Magazine*, 18(3), USA.
- Musumeci, T., Bonaccorso, A., & Puglisi, G. (2019). Epilepsy Disease and Nose-to-Brain Delivery of Polymeric Nanoparticles: An Overview. *Pharmaceutics*, 11(3), 118. doi:10.3390/pharmaceutics11030118.
- Özcan, A. R. (2020). *EEG İşaretlerinde Evrişimli Sinir Ağları ile Epileptik Nöbet Tahmini*. (Doktora Tezi). Koceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

- Özer, E. (2015). *Epilepsi Hastalığının Dalgacık Dönüşümleri ve Yapay Sinir Ağları ile Tanınması* (Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim.
- Panjeh, M. A. (2018). *Bilgisayar Ağlarında Makine Öğrenimi Algoritmalarını Kullanarak İzinsiz Giriş Tespiti* (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Erzurum.
- Pehlivan F. (1997). *Biyofizik*. Ankara: Pelikan Yayınevi.
- Polat, H. (2016). *Görsel – İşitsel Uyarılar Kaynaklı Oluşan Duyguların EEG İşaretleri ile Sınıflandırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- S.B.Ü. DR. Behçet Uz Çocuk Hatalıkları ve Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi. (2020). *Epilepsi: Çocuk ve Aile Rehberi*. Online Web site: 02.10.2020 tarihinde <https://behcetuzch.saglik.gov.tr/TR,107628/epilepsi-cocuk-ve-aile-rehberi.html> adresinden erişildi.
- Sanei, S. & Chambers, J. A. (2007). *EEG Signal Processing*. USA: John Wiley & Sons Ltd. 35-125. <https://doi.org/10.1002/9780470511923>
- Sağıroğlu, Ş., Güney, K. & Erler, M. (2003). Computation of Radiation Efficiency For A Resonant Rectangular Microstrip Patch Antenna Using Backpropagation Multilayered Perceptrons, *Istanbul University Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 3(1), 663-671.
- Şenol, C. (2006). *EEG Sinyallerinin Zaman Serileri ile Modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Taşçı, A. E. & Onan, A. (2016). K En Yakın Komşu Algoritması Parametrelerinin Sınıflandırma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Akademik Bilişim*, (s. 1-8). Aydın.
- Taywade, S. A. & Raut, R. D. (2012). A Review: EEG Signal Analysis with Different Methodologies. *IJCA Proceedings on National Conference on Innovative Paradigms in Engineering and Technology (NCIPET 2012)*, ncipet(6)29-31, March 2012. <https://www.ijcaonline.org/proceedings/ncipet/number6/5236-1048>
- Tekin, R., Kaya, Y. & Tağluk, M. E. (2011). K-means ve YSA temelli Hibrit Bir Model ile Epileptik EEG İşaretlerinin Sınıflandırılması. *Elektrik- Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, (s. 277-283). Elazığ: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası.
- Varsavsky, A., Mareels, I. & Cook, M. (2016). *Epileptic Seizures and the EEG: Measurement, Models, Detection and Prediction*, 1st ed., CRC Press, USA.
- World Health Organization. (2020). *World Health Organization: Epilepsy*. Online Web site: 2.09.2020 tarihinde <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/epilepsy> adresinden erişildi.
- Yegnanarayana, B. (2009). *Artificial Neural Networks*. PHI Learning Pvt. Ltd..
- Yeditepe. (2019). *Yeditepe Epilepsisiz*. Online Web site: 20.09.2019 tarihinde <http://www.yeditepeepilepsisiz.com/epilepsi/> adresinden erişildi.
- Zupc-Kania B.A. & Spellman E. (2009). An Overview of The Ketogenic Diet for Pediatric Epilepsy, *Nutrition in Clinical Practice*, 23(6), 589-596. doi: 10.1177/0884533608326138. PMID: 19033218.



Rezistif Süperiletken Arıza Akım Sınırlayıcılarının MATLAB/SIMULINK'te Modellenmesi

Yunus Emre Gürbüz¹, Aziz Deniz², Rıfki Terzioğlu^{3*}

¹ Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5650-4193), y.emregurbuz@gmail.com

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9919-6792), azizdeniz310@gmail.com

^{3*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6305-5349), rifkiterzioglu@ibu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.857945)

ATIF: Gürbüz, Y. E., Deniz, A., Terzioğlu, R. (2021). Rezistif Süperiletken Arıza Akım Sınırlayıcılarının MATLAB/SIMULINK'te Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 173-180.

Öz

Güç sistemlerinde meydana gelen arızaların sebep olduğu yüksek akımlar, sistem ve sistemdeki elemanlar için tehlike oluşturmaktadır. Arıza akımlarının sınırlandırılması; bu yüksek akımların zorlayıcı termal ve dinamik etkilerinden, sistem ve sistem elemanlarının korunması anlamına gelmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, arıza akımlarının sınırlandırılması için birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların ortak amacı, sistemin güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamaktır. Elektrik enerjisinin artan kullanımı, güç sistemlerinin sürekli genişlemesine ve karmaşıklığına yol açmaktadır. Bununla birlikte, arıza akımı sınırlayıcıları sürekli gelişen güç sistemlerinde giderek daha önemli hale gelmektedir. Mevcut sistemde herhangi bir değişiklik yapılmadan arıza akımı sınırlayıcıları sayesinde işletme sürekliliği sağlanabilir. Arıza akımı sınırlayıcıları birçok güç sistemi elemanı gibi, gerçek sistemde kullanılmadan önce sanal ortamlarda modellenerek çalışma performansları ve gerekli parametrelerin tespiti yapılmaktadır. Bu amaçla farklı SIMULINK süperiletken arıza akım sınırlayıcı (SFCL) modelleri kullanılarak sistem parametrelerinde sebep oldukları farklı etkiler 14 baralı IEEE sisteminde incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıza akımı, Akım sınırlayıcı, Süperiletken, SFCL.

MATLAB/SIMULINK Modeling of Resistive Superconductor Fault Current Limiters

Abstract

High current levels caused by failures in power systems, comprise danger to the system and its elements. Limiting these fault currents protects the system and the system components from challenging thermal and dynamic effects. Many studies have been carried out to limit the fault currents. The common purpose of these studies are to ensure the safety and reliability of the system. The increasing usage of electrical energy leads to the continuous expansion and complexity of power systems. Therefore, fault current limiters are becoming increasingly important in continuously developing power systems. Operation continuity can be ensured by means of fault current limiters without making any changes in the existing system. Like many power system components, fault current limiters are modeled in virtual environments before they are used in the real system, and their operating performance and necessary parameters are determined. For this purpose, different effects on system parameters have been investigated in a 14-bus IEEE system using different SIMULINK superconductor fault current limiter (SFCL) models.

Keywords: Fault current, Fault limiter, Superconductor, SFCL.

* Sorumlu Yazar: rifkiterzioglu@ibu.edu.tr

1. Giriş

Elektrik enerjisinin hayatımızdaki önemi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde artan enerji talebinin karşılanabilmesi için geliştirilen güç sistemleri daha karmaşık hale gelmiştir. Modern güç sistemlerinde, artan enerji talebinin karşılanabilmesi için üretim ve iletim sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Geliştirilen güç sistemlerinin giderek daha karmaşık hale gelmesi meydana gelebilecek arızaların en hızlı ve en etkili biçimde düzeltilmesini gerekli kılmıştır. Tüm bu karmaşıklığa rağmen elektrik enerjisinin sürekli ve güvenilir bir biçimde tüketiciye ulaştırılması gerekmektedir (Gökçek & Ateş, 2019). Güç sistemlerinde olması muhtemel kısa devre problemlerine karşı sistem elemanları ve tüketicinin etkilenmemesi istenmektedir. Genel olarak, sistemde yapılan yanlış manevralar, atmosferik olaylar, canlıların teması veya diğer dış etkenler güç sistemlerinde arızalara neden olmaktadır. Güç sistemlerinde meydana gelen arızalarda, arıza akımı nominal akımın 5 ile 20 katına kadar ulaşabilmektedir (Seyedi & Tabei, 2012). Bu seviyelere ulaşan arıza akımları sistem donanımlarının zarar göreceği büyüklükteki termal gerilimlere ve elektrodinamik kuvvetlere maruz kalmasına neden olmaktadır (Şen & Özcan, 2020). Ayrıca artan arıza akımı seviyelerinin bir sonucu olarak adım ve dokunma gerilimleri de artmaktadır. Bu durum personel için güvenlik sorunlarına neden olmaktadır. Arıza akımının bu seviyeleri, sisteme zarar vermeden en etkili ve en güvenilir şekilde kesiciler tarafından kesilmelidir. Ancak artan enerji talebiyle birlikte arıza akım seviyelerinin de gelecekte güç sistemi kesicilerinin kesme yeteneklerini aşabileceği göz önüne alındığında hem uzun vadede yararlı hem de sistemi olası arızalara karşı koruyabilecek alternatif uygulamalara gerek duyulmuştur.

Güç sistemlerinde meydana gelebilecek kısa devrelerde oluşan büyük arıza akımlarının sisteme verebileceği zararlı etkilerden koruyan ve arıza akımlarını kontrol edilebilir seviyelerde sınırlandıran elemanlara arıza akımı sınırlayıcıları denir. Literatürde birçok arıza akım sınırlayıcıları mevcuttur. Arıza akımı sınırlamada kullanılan bazı önemli yaklaşımlar şu şekildedir: akım sınırlayıcı reaktörler (Peelo ve diğ., 1996), katı hal arıza akım sınırlayıcıları (Ahmed ve diğ., 2004), süperiletken arıza akım sınırlayıcıları (Lee ve diğ., 2008), sigortalar (Fahnoe, 1970), güç sisteminin yeniden yapılandırılması, trafo merkezlerinde baraların ayrılması, bazı hatların kritik trafo merkezinden ayrılması, yüksek empedanslı transformatör uygulamaları, HVDC hatlarının kullanımı (Zhang ve diğ., 2006), yüksek gerilim seviyeli iletim hatlarının kullanımı (Nasiri & Barahmandpour, 2006) ve nötr reaktör uygulamalarıdır (Zadeh ve diğ., 2008). Süperiletken arıza akım sınırlayıcılar (SFCL) gibi yeni nesil arıza akımı sınırlayıcıları, güç sistemlerinde normal çalışma sırasında sisteme ihmal edilebilir seviyelerde direnç gösteren ancak oluşabilecek arıza durumlarında yüksek direnç göstererek sistemi arıza akımlarının zararlı etkilerinden koruyan elemanlardır.

Güç sistemlerindeki birçok eleman gibi SFCL'lerin de gerçek uygulamalardaki etkilerini görmek, optimum parametrelerini ve en uygun bağlantı yerlerini belirlemek için benzetim çalışmaları yapılmaktadır. Literatürde güç sistemlerinin modellenmesinde birçok hazır paket program kullanılmaktadır. Bu programlar arasında MATLAB/SIMULINK önemli bir yere sahiptir. 2015 yılında rezistif bir SFCL, süperiletkenlerin elektrik alan-akım yoğunluğu ($E-J$) denklemi kullanılarak MATLAB/SIMULINK'te modellenmiş ve rüzgâr

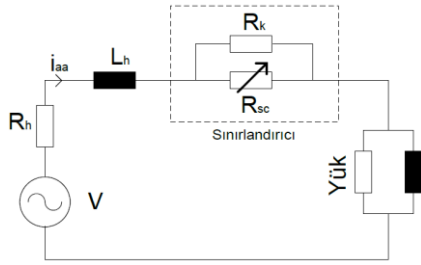
çiftliklerindeki etkileri incelenmiştir (Zhua ve diğ., 2015). SFCL'nin kullanımı ile kısa devre akımının %50 oranında azaltıldığı bildirilmiştir. Kullanılan modele ait parametreler çalışmada paylaşılmamıştır. 2016 yılında rezistif bir SFCL'nin modellenmesinde iyileşme süresinin (recovery time) senkron jeneratörün açılı kararlılığına etkisi incelenmiştir (Kheybargir ve diğ., 2016). (Zhang ve diğ., 2016) ve (Khan ve diğ., 2011)'de $E-J$ modeli ve adım direnç modeli ile SFCL'lerin yerleşim yerlerinin sisteme etkileri MATLAB/SIMULINK ile incelenmiştir. Bu çalışmalarda SFCL için $E-J$ ve adım direnç modeli kullanımının benzetim sonuçlarını önemli ölçüde etkilemediği belirtilmiştir. (Jiajun ve diğ., 2018) bir SFCL ile yüksek gerilim bir kesicinin birlikte kullanımını göstermiştir. 2020 yılında SFCL'lerin kullanımı ile güç sistemlerindeki geçici kararlılığa etkileri incelenmiştir (Peddakapu ve diğ., 2020). Bu çalışmada, arıza akımı sınırlandırma yöntemlerinden rezistif SFCL sanal ortamda farklı SIMULINK modelleri gösterilmiş ve bu farklı modellerin kısa devre analizlerinde sebep oldukları farklı sonuçların sebepleri tartışılmıştır. SFCL'nin elektrik enerjisi iletim sistemlerinde uygulanabilirliğini incelemek ve mevcut SFCL modellerinin eksikliğini göstermek amacıyla uygulamada IEEE 14 baralı sistem kullanılmıştır. Aynı sistem ve aynı arıza durumlarında, farklı SFCL modelleri ile yapılan simülasyonlar kullanılarak sistem üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

2. Rezitif Süperiletken Arıza Akımı Sınırlayıcılar ve Simulink Modelleri

Günlük hayatımızda kullanılan bütün iletkenlerin bir direnci bulunmaktadır. Fakat bazı iletkenlerde, malzeme kritik sıcaklık denilen bir sıcaklığın altına kadar soğutulduğunda, akımı taşıyan elektronlar enerjilerini ısıya çevirme yeteneklerini kaybederler ve dirençleri sıfıra düşer. Bir malzemenin, enerji iletkenliğinde direncinin 0 olması durumuna süperiletkenlik denebilmektedir. Bu malzemeler kritik sıcaklık, kritik akım yoğunluğu ve kritik manyetik alan sınırları içinde olduğu zaman süperiletken özelliği gösterecektir. Süperiletken malzemeler, yüksek akım seviyelerine maruz kaldıklarında süperiletken durumdan normal duruma geçmektedirler. Süperiletkenlerin bu özelliğinden faydalanılarak arıza akımı sınırlayıcı olarak kullanılmaktadırlar. SFCL'ler güç sistemlerinde oluşabilecek kısa devre akımlarını bir döngüden kısa bir sürede algılayıp bu hata akımını (arıza akımını) kabul edilebilir bir değerde tutabilen veya belirli süreler için tamamen sıfıra düşürebilen süperiletken cihazlardır. Normal kesicilere göre daha kısa sürede arıza akımını kestiklerinden açılı kararlılığına olumlu etkileri vardır. SFCL'lerde, süperiletkenlerin lineer olmayan akım-gerilim özelliklerinden yararlanılır. Kritik akım değeri aşıldığında süperiletkenler sıfır direnç özelliklerini kaybeder ve akıma karşı bir direnç gösterirler bu da sistemin empedansını arttırdığından akım alternatif olarak süperiletkene paralel bağlanmış koruma amaçlı dirençten geçer. Bu direncin değeri ilk durumdaki süperiletkenden daha yüksek olduğundan sistemin empedansı artar. Gerilimin sabit olduğu kabulü yapılırsa, empedansın artması akımı sınırlandırır. İnsan müdahalesi gerektirmeden otomatik olarak çalışan kompakt sistemlerdir. Fiyatları uygun, hafif ve yüksek güvenilirliklidirler. Sadece süperiletkenin bulunduğu kısmı soğutmak yeterli olduğundan süperiletkenlerin güç sistemlerindeki uygulamaları arasında uygulanabilirliği en uygun olan elemandır. Şimdiye kadar rezistif, endüktif ve hibrit gibi farklı SFCL türleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, MATLAB/SIMULINK

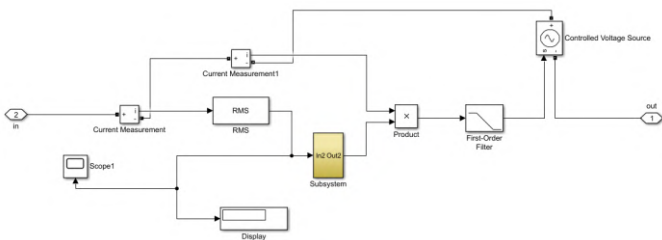
kullanılarak modellenen rezistif SFCL detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Rezistif SFCL'lerde, süperiletken eleman hatta seri olarak bağlanır. Kapladıkları küçük alan ve devrenin basitliği sebebiyle topolojisi en basit SFCL türüdür. Sistemin akımı normal çalışma koşullarında olduğunda süperiletken kısım direnç göstermeden süperiletken durumda olacaktır. Sistemde meydana gelecek arıza sonucu oluşan akım değeri süperiletken malzemenin kritik akım değerini aştığı zaman, süperiletken normal çalışma durumundan çıkarak, hatta seri olarak bağlanan yüksek bir direnç ile akımı sınırlayacaktır. Rezistif bir SFCL'nin şebekeye bağlanmış eşdeğer devresi Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de gösterilen kaynak şebekeyi, R_h ve L_h iletim hattının direnç ve endüktansını, R_{sc} değişken SFCL direncini ve R_k koruma direncini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi koruma direnci süperiletken kısma paralel bağlanmaktadır. Paralel direnç kullanmanın amacı, SFCL'yi korumak, söndürme sırasında sıcak noktalardan kaçınmak, sınırlama akımını ayarlamak ve hızlı akım sınırlamaları nedeniyle aşırı gerilimleri önlemektir. Rezistif SFCL, Endüktif olanlara kıyasla çok daha küçük ve hafiftir.



Şekil 1. Rezistif SFCL eşdeğer devresi (Terzioğlu, 2017)

Literatürde kullanılan rezistif SFCL'lerin SIMULINK modeli Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu modelde kullanılan SFCL'ye ait parametreler Tablo 1'de verilmektedir (Alaifi ve diğ., 2014; Sung ve diğ., 2009). Bu modelin alt sistemi tasarımında geçiş/tepki süresi, minimum ve maksimum empedans, iyileşme süresi ve tetikleme akımı olmak üzere 4 temel parametre kullanılır. Bu çalışmada SFCL alt sistemlerinde kullanılan yöntemin etkisini incelemek amacıyla tetikleme akımı, minimum ve maksimum empedans değerleri kullanılmıştır. Tüm benzetim modellerinde geçiş/tepki süresi ve iyileşme süreleri dikkate alınmamıştır. 550 A kritik akımda SFCL etkisinin daha net görünmesi için süperiletkenin direnci tüm modellerde 60Ω olarak seçilmiştir. Bu parametreler ile oluşturulan alt sistem SFCL'nin modellenmesinde önemli bir yer almakta olup SFCL'nin sisteme tepkisini çok önemli bir ölçüde etkilemektedir. Literatürde kullanılan alt sistem (Şekil 2'de sarı ile gösterilen blok), bu çalışmada klasik model (adım direnç) olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada en çok kullanılan klasik model ile Lookup Table ve eğri uydurma yöntemleri karşılaştırılarak incelenmiştir.



Şekil 2. Rezistif SFCL SIMULINK modeli

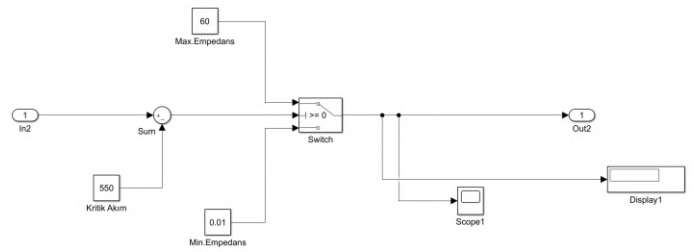
SFCL'nin sisteme etkilerini incelemek için kullanılan en genel model Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu model SFCL'lerin gerçek güç sistemlerine dahil edilmeden önce sistemdeki arıza akımlarına etkileri, sistemin açılı ve gerilim kararlılıklarının davranışlarını, SFCL'lerin optimum parametre ve yer yerleşimlerinin tespiti için kullanıldıklarından gerçek uygulamalarında bulunan bazı büyüklüklerin ihmalleri söz konusudur (termal etkiler, sıcaklık değişimi, soğutmanın getireceği ek yük ve alternatif akım kayıpları). Bu büyüklüklerin katılması sistemdeki etkinin davranışını etkilememekte (değerlerini etkilememektedir) olup benzetim zamanını büyük ölçüde arttırmaktadır. MATLAB/SIMULINK'te değişken direnç bulunmamaktadır. Bu sebeple, süperiletkenlerin $E-J$ güç yasalarını benzetim modeline entegre etmek için akım ölçme bloğu ve kontrollü gerilim kaynağı kullanılmaktadır. Akım ölçme bloğu sürekli olarak sistemden geçen akımın etkin değerini ölçerek bu bilgiyi alt sisteme aktarmaktadır. Alt sistem bu değere göre bir çıkış sinyali üretmekte ve harmonik etkilerinden kurtulmak için bir filtreye bağlanmaktadır. Son olarak kontrollü gerilim kaynağına giriş olan bu sinyal SFCL'nin terminal gerilim değerini belirlemektedir. Bu yöntemin kullanımı SFCL'nin değişken direncinin modellenmesini sağlamaktadır. Alt sistem bu modelde SFCL'nin davranışını çok önemli ölçüde etkilemektedir. Bu amaçla alt sistemde kullanılan klasik yöntem ve bu yöntemle alternatif olabilecek Lookup Table ve eğri uydurma yöntemleri açıklanacaktır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan temel SFCL parametreleri (Alaifi ve diğ., 2014; Sung ve diğ., 2009)

Parametreler	Değerler
Minimum Empedans	0.01Ω
Maksimum Empedans	20Ω
Tetikleme Akımı	550A

2.1. Klasik Model

Klasik modelde kullanılan alt sistem Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu modelde girişten alınan sistemin etkin akım değeri SFCL'nin kritik akım değeri ile karşılaştırılmaktadır. Bu amaçla bir çıkarma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu çıkarma işleminin sıfırdan büyük veya küçük olmasının tespiti bir switch bloğu yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Bu çıkarma işleminin sıfır veya eksi çıkması, sistemde müdahale edilecek bir arızanın olmadığını ve SFCL'nin süperiletken fazda olduğunu göstermektedir. Bu sebeple kontrollü gerilim kaynağına aktarılacak empedans değeri SFCL'nin minimum empedans değeridir. Bu çıkarma işleminin pozitif olması ise SFCL'nin süperiletken fazdan normal faza geçiş yaptığının göstergesidir. Bu durumda ise kontrollü gerilim kaynağına aktarılan değer SFCL'nin maksimum empedans değeridir.



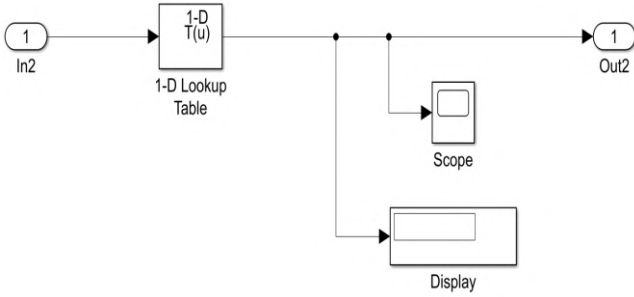
Şekil 3. Klasik modele ait SFCL SIMULINK alt sistemi

Maksimum değer kontrolü gerilim kaynağına giriş yapması, sistemde kısa devre akımını besleyen kaynağın etkisini

azaltarak kısa devre akımını sınırlamaktadır. Bu modelin eksik tarafı süperiletkenlerin lineer olmayan $V-I$ karakteristiklerinin hesaba katmamasıdır. Sistem ya minimum empedanstır ya da maksimum empedanstır. Bu sebeple bu yöntemin diğer bir adı adım direnç yöntemidir.

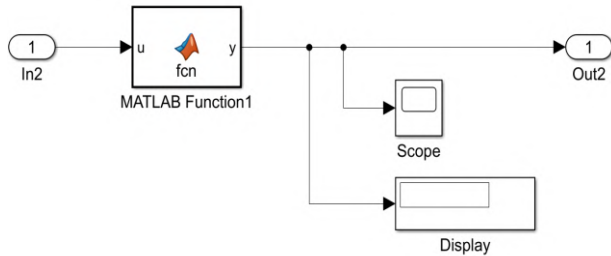
2.2. Lookup Table Modeli

Süperiletkenlerin lineer olmayan $V-I$ karakteristiklerini modele dahil etmek için alt sistemde önerilen bir yöntem Lookup Table bloğunun kullanıldığı modeldir. Bu modelin alt sistemi Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu blok istenilen sayıda giriş değerine karşılık istenilen çıkışın verilebileceği bir bloktur. Lookup Table bloğu ile rezistif SFCL'nin alt sistemi tasarlanırken gerçek süperiletken kablo davranışlarından yararlanılmıştır. Bu yöntem süperiletkenin farklı akım seviyelerinde sisteme karşı gösterdiği değişken direnç değerlerinin alınması esasına dayanmaktadır. Klasik model ile karşılaştırılabilmesi için bu modelde Lookup Table bloğuna kritik akım değerine yakın olan 460 A'e kadar çıkış empedansı 0.01 Ω , bundan sonra ise 550 A'de 60 Ω olacak şekilde eksponansiyel davranış gösterecek değerler girilmiştir.



Şekil 4. Lookup Table modeline ait SFCL SIMULINK alt sistemi

2.3. Eğri Uydurma Modeli



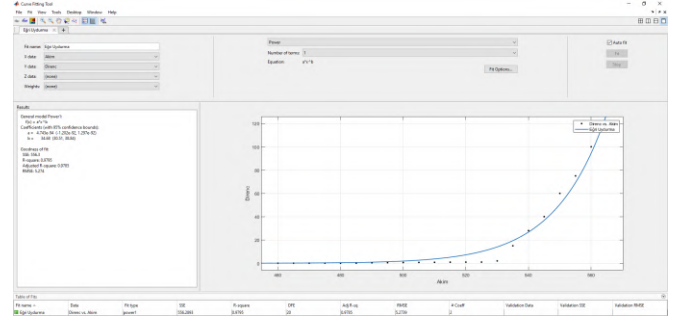
Şekil 5. Eğri uydurma modeline ait SFCL SIMULINK alt sistemi

Alt sistemde kullanılması önerilen diğer bir blok ise Matlab Function bloğudur. Matlab Function bloğu, içerisine yazılan komutlar doğrultusunda çıkış verebilen bir bloktur. Bu bloğun kullanıldığı alt sistem Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu amaçla Lookup Table modelinde kullanılan verilerin denklemleri MATLAB CFTOOL yardımı ile hesaplanmıştır. Şekil 6'da eğri uydurma işleminin yapıldığı CFTOOL'a ait bir ekran görüntüsü gösterilmektedir. Bu araç ile istenilen veriler tanımlandıktan sonra, verilere en uygun eğri uydurma işlemi kullanıcının istediği denklem biçiminde gerçekleştirilmektedir. Bu eğri uydurma işlemi sonrası, "R-square" parametresi uydurulan eğrinin doğruluk oranını göstermekte olup bu çalışma için 0.9795'tir. Bu yöntem ile her türlü süperiletken kablunun deneysel ortamda ölçülen gerçek verilerine ait denklemler elde

edilerek MATLAB/SIMULINK'e entegrasyonu mümkündür. Bu yöntem sonucunda elde edilen ve Matlab Function bloğuna girilen denklemler Tablo 2'de gösterilmiştir.

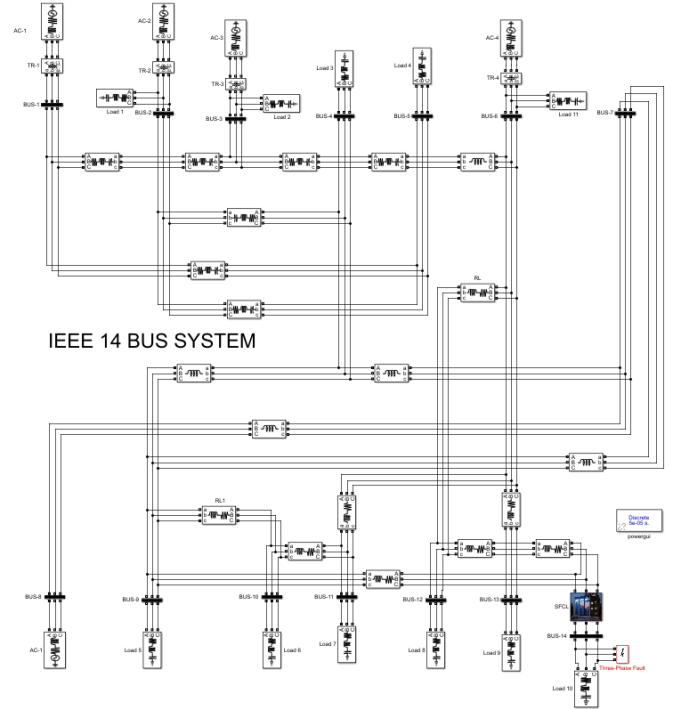
Tablo 2. Eğri uydurma sonucunda elde edilen denklemler

Akım (A)	Direnç Denklemi (Ω)
$Akım \leq 455$	$R=0.01$
$455 < Akım \leq 565$	$R=4.74 \cdot 10^{-94} \cdot Akım^{34.68}$
$565 < Akım < 5000$	$R=4.2 \cdot Akım + 7$



Şekil 6. MATLAB CFTOOL ekran görüntüsü

3. 14 Baralı IEEE Sistemi ve Benzetim Sonuçları



Şekil 7. IEEE 14 baralı sistem

Öncelikle IEEE 14 baralı sistemin MATLAB/SIMULINK modelinin normal işletme koşullarında 14. baraya ait akım ve gerilim seviyeleri incelenmiştir. Sisteme ait hat parametreleri <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>'dan alınmış olup MATLAB modeli Şekil 7'de gösterilmektedir. Arızalar tek-faz toprak, faz- faz, iki faz-toprak ve dengeli üç faz arızası olmak üzere dört kısımda sınıflandırılır. Bu çalışmada, hem sistemlerde en çok meydana gelen kısa devre çeşidi olması hem de elde edilen simülasyon grafiklerinde SFCL'nin etkisinin daha anlaşılır olması açısından tek faz toprak kısa devresi tercih edilmiştir. Bu sistemde kısa devrenin meydana geleceği yer olarak 10 (14. baraya bağlı yük) numaralı yük seçilmiş olup hata

bloğu eklenerek tek faz toprak kısa devresi oluşturulmuştur. Oluşturulan tüm SFCL modelleri 3 fazı koruyacak yapıdadır. SFCL'nin kısa devreye etkisini görmek amacıyla sonuçlarda sadece kısa devrenin olduğu faza ait sonuçlar verilmiştir. Sistemin kısa devre durumunu incelendikten sonra 14. baradan önce farklı tip rezistif SFCL modelleri eklenerek sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir.

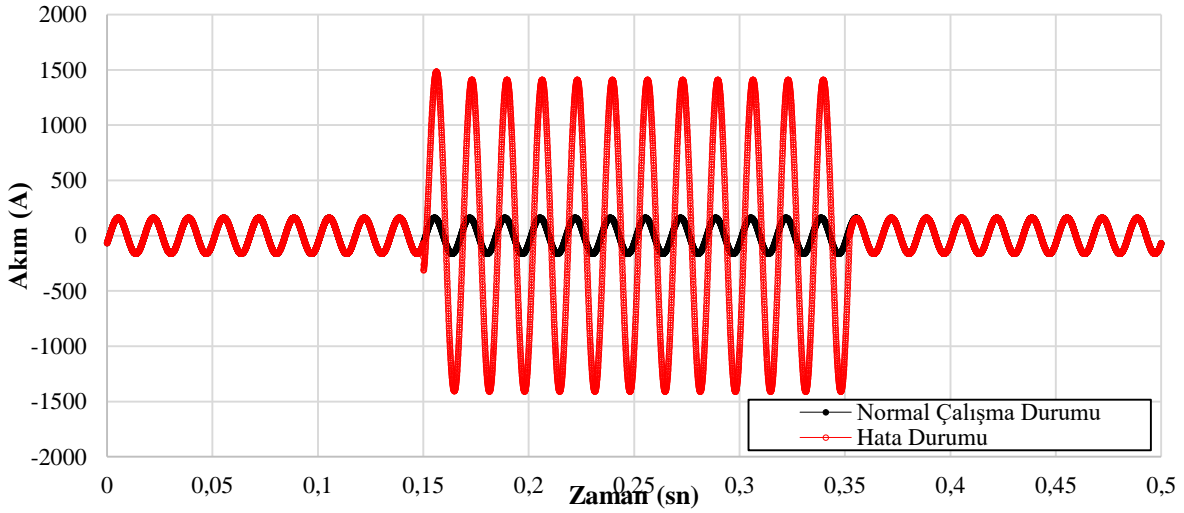
IEEE 14 baralı sistemde 14. baraya ait normal işletme koşullarında [0-1s] A fazına ait akım grafiği Şekil 8'de verilmiştir. 14. baranın nominal akım değerinin 162.7 A olduğu gözlemlenmektedir. Daha sonra sisteme [0.15s-0.35s] zaman aralığında aktifleşen hata bloğu bağlanarak tek faz-toprak kısa devresi oluşturulmaktadır. Kısa devrenin sebep olduğu büyük arıza akımının 14. bara üzerindeki olumsuz etkileri benzetim sonuçlarında net bir şekilde görülmektedir. IEEE 14 baralı Simulink modelinde sistemde oluşan hata sonucunda nominal çalışma akımı 162.7 A iken hata anında görülen maksimum akım değeri 1484 A olmaktadır. Ayrıca tek faz-toprak kısa devre öncesi, sırası ve sonrasında A fazında meydana gelen maksimum akım değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Sistemde oluşan bu seviyelerdeki hata akımları güç sistemlerinde kullanılan malzemelere ve tüketiciye ciddi zararlar

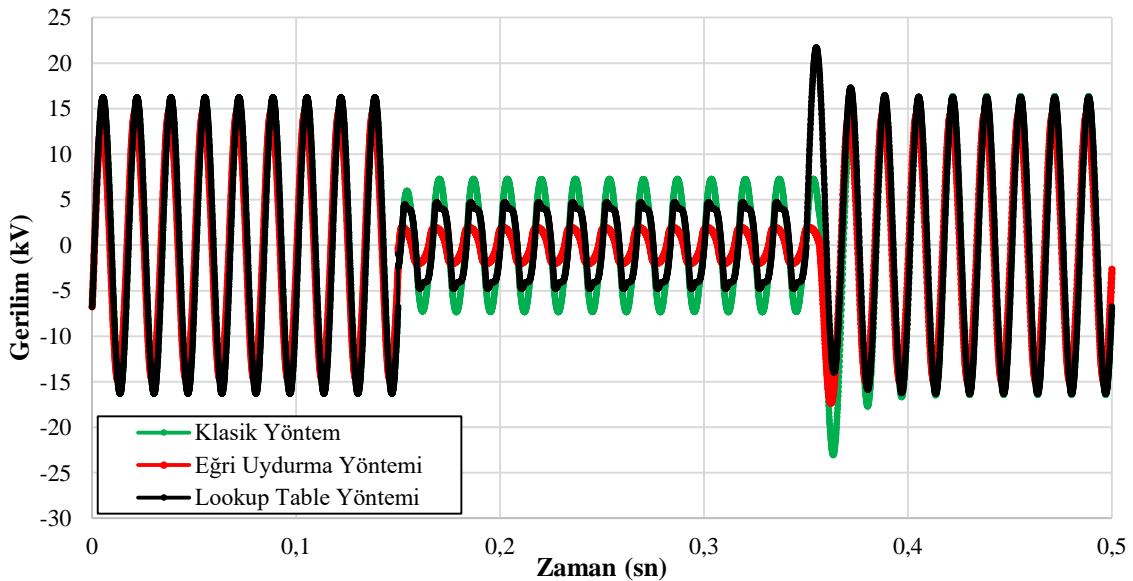
verebilir. Yüksek akımlar aşırı ısınmaya neden olarak yangın ve patlama ihtimallerini arttırmaktadır. Ayrıca sistem ekipmanlarında mekanik ve termal hasarlar oluşabilmektedir. Oluşmasını istemediğimiz bu seviyelerdeki arıza akımlarından korunmak amacıyla 3 farklı yöntem ile oluşturulmuş SFCL'ler yükten önce bağlanmıştır. Süperiletkenlerin doğal karakteristikleri gereği SFCL'nin [0-0.15s] ve [0.35-0.5s] zaman aralıklarında sisteme karşı ihmal edilebilir derecede direnç göstermesi ve [0.15s-0.35s] aralığında ise sisteme yüksek direnç göstererek akımı kabul edilebilir seviyelere (kritik akıma yakın) sınırlaması beklenmektedir.

Tablo 3. Tek faz-toprak kısa devre sırasında 14. baraya ait A fazında meydana gelen maksimum akım

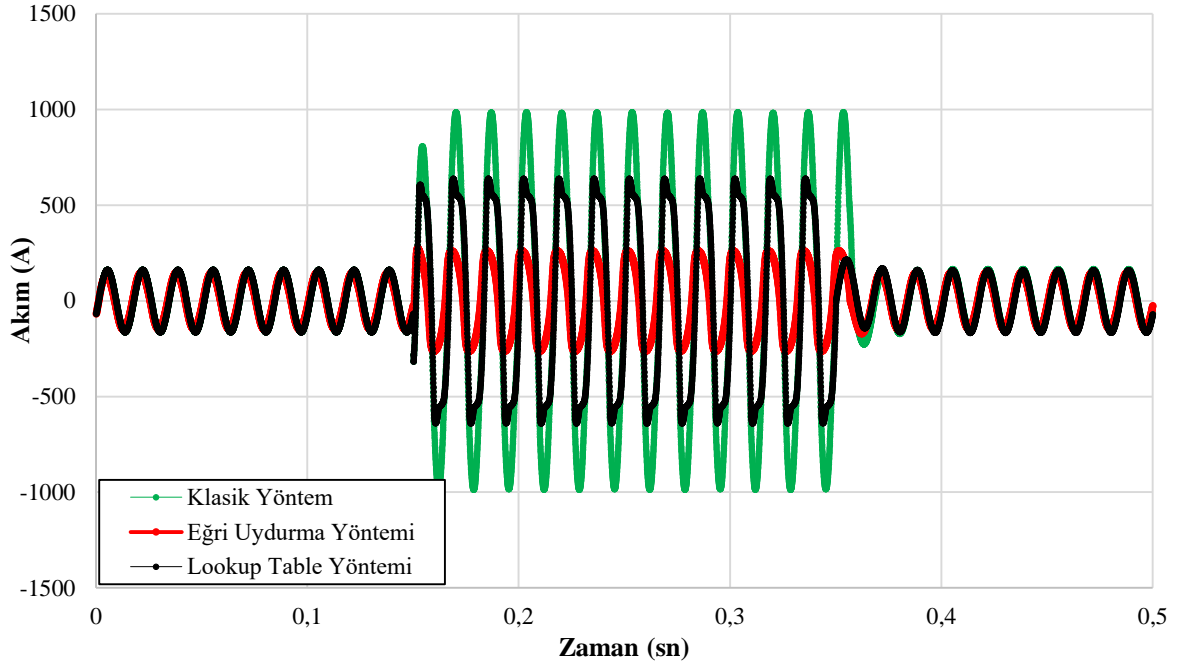
Durum	Süre (s)	Maksimum Akım Değeri (A)
Arıza öncesi durum	[0-0.15]	162.7
Arıza durumu	[0.15-0.35]	1484
Arıza sonrası durum	[0.35-0.5]	162.7



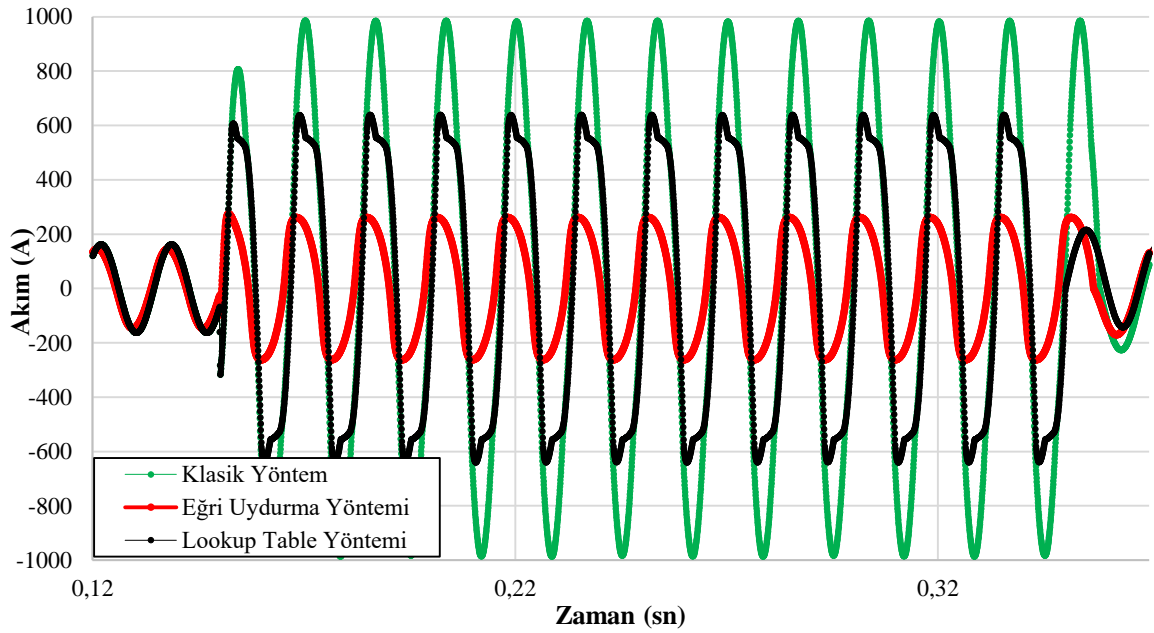
Şekil 8. Normal çalışma ve hata durumunda 14. baraya ait A fazının akım değişimi



Şekil 9. Üç SFCL modeli için 14. baraya ait A fazının gerilim değişimi



Şekil 10. Üç SFCL modeli için 14. baraya ait A fazında oluşan hata akımının değişimi



Şekil 11. Arıza akımlarının yakından görünümü

Tablo 4. Tüm durumlarda A fazında oluşan hata akımları, sınırlama oranları ve benzetim süreleri

Durum	Normal çalışma durumunda tepe değeri (A)	Arıza durumunda mevcut tepe değeri (A)	Sınırlama oranı (%)	Benzetim Süresi (s)
SFCL olmadan	162.7	1484	0	3.31
Klasik model ile SFCL	162.7	986.1	33.55	5.69
Lookup Table ile SFCL	162.7	639.3	56.92	4.84
Eğri Uydurma ile SFCL	162.7	276	81.40	5.45

Şekil 10'da kısa devre anında (0.15-0.35s) oluşan arıza akımlarının üç yöntemde de sönümlendirdiği fakat sönümlendirme oranlarının farklı olduğu açıkça görülmektedir. Hata anındaki akımların daha iyi görünebilmesi için Şekil 10'a yaklaşılarak Şekil 11'de gösterilmiştir. Tablo 4'te tüm durumlar için A fazında oluşan maksimum akım değerleri, hata akımı sınırlama oranları ve simülasyon süreleri verilmiştir.

Benzetim çalışmalarının yapıldığı bilgisayara ait özellikler ise Tablo 5'te verilmiştir.

Normal durumda aynı parametreler ile modellenmiş güç sistem elemanlarının sistemdeki büyüklüklere aynı etki etmesi beklenmektedir. Fakat Tablo 4'te 3 yöntem için hata sınırlama oranları karşılaştırılacak olursa kısa devre akımını en çok düşüren SFCL modelinin %81.4 ile Eğri uydurma modelinin

olduğu söylenebilir. Lookup Table ve klasik yöntem ile modellenmiş SFCL kullanımında ise hata akımı sırasıyla %56.92 ve %33,55'dir. Sonuçlardaki bu farklılıklara, modelleme esasında kullanılan blokların sebep olduğu söylenebilir.

Klasik model kullanıldığında 986.1 A olan kısa devre akımının tepe değeri, SFCL'nin kritik akımı olan 550 A'den daha yüksek çıkmaktadır. Bu sonuca göre SFCL, sistemde oluşan tüm hata süresi boyunca, üzerinden dirençsiz taşıyabileceği akım değerinden neredeyse iki kat büyük bir akım taşıyacaktır. Gerçek bir SFCL böyle bir akıma maruz kalacak olursa süperiletken durumdan çıkarak normal çalışma durumuna geçecektir. Bu da SFCL'lerin avantaj olarak sunduğu kayıpsız çalışma durumunu ortadan kaldıracaktır. Ayrıca normal çalışma akımından iki kata yakın akım iletecek bir SFCL bu yüksek akıma maruz kaldığında zorlanma sonucu kalıcı zararlar görecektir. Bu sebepler ile alt sisteminde klasik model kullanılan SFCL SIMULINK modellerinin gerçek sonuçları yansıtmayacağı söylenebilir.

Eğri uydurma modeli benzetim sonuçlarına bakıldığında arıza durumunda hata akımının tepe değeri 276 A olarak bulunmuştur. Bu değer, SFCL'nin kritik akım değeri olan 550 A'in yarısına yakın bir değerdir. SFCL, 550 A değerine kadar direnç göstermeyeceğinden, arıza akımını 276 A'de sabit tutması mümkün değildir. Lookup Table bloğunu kullanarak oluşturulmuş SFCL modelinde kısa devre anında hata akımının tepe değeri 639.3 A olarak bulunmuştur. Bu değer SFCL'nin kritik akım değerinden yüksek olmasına rağmen SFCL'nin arıza süresi boyunca taşıyabileceği büyüklükte bir akımdır (Kim ve diğ., 2008). Diğer iki modelin benzetim sonuçlarına kıyasla gerçek uygulamada beklenen sonuca en uygun model Lookup Table modelidir (Kim ve diğ., 2008). Bunun sebebinin her akım değerine karşılık gelen direnç değerinin diğer modellere kıyasla daha doğru modellenmesi olarak açıklanabilir. Literatürde Lookup Table bloğunun kullanımı ile yapılmış hiçbir SFCL modeline rastlanılmamıştır. Bu sonuçlara göre SFCL'lerin güç sistemlerine dahil edildiklerinde kısa devre akımlarına olan etkilerin incelenmesinde literatürde kullanılan klasik model yerine Lookup Table modelinin kullanılması önerilmektedir.

Tablo 5. Simülasyonların Yapıldığı Bilgisayarın Özellikleri

İşletim Sistemi	Windows 10 Home 64
Mikroişlemci	Intel® Core™ i7-7700HQ (2,8 GHz taban frekansı, Intel® Turbo Boost Teknolojisi ile 3,8 GHz'e kadar, 6 MB önbellek, 4 çekirdekli)
Bellek, standart	16 GB DDR4-2133 SDRAM (2 x 8 GB)
Video Grafik	NVIDIA® GeForce® GTX 1050 (4 GB GDDR5 ayrılmış)

4. Sonuç

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devreler, şebekedeki bazı hatlardan yüksek hata akımı geçmesine, şebekedeki gerilim seviyesinin düşmesine, elektrik motorlarının torkunda bir düşüşe, frenlemesine ve düşük performansa neden olmaktadır. Ayrıca kısa devre, hat üzerinde aşırı bir güç harcanmasına sebep olduğu için ısı kaybına neden olur. SFCL'ler, güç sistem kesicilerinin müdahale edilebilir arıza akımlarıyla karşılaşmasını ve sistemin bu zararlı akımlardan görebileceği etkileri azaltabilir. Yapılan benzetim çalışmaları ile SFCL'lerin bu istenmeyen arıza akımlarını sınırlandırdığı gösterilmiştir. 3 farklı SFCL SIMULINK modeli 14 baralı IEEE sistemine bağlanarak kısa

devre akımları incelenmiştir. Klasik yöntem ile kısa devre akımı %33.55 oranında sönümlenmekte olup benzetim süresi 5.69 sn'dir. Lookup table ve Eğri uydurma modellerinde ise sırasıyla kısa devre akımı %56.92 ve 81.40 oranında sönümlenmiştir. Önerilen iki yöntemin benzetim süreleri klasik modelden düşüktür. Literatürdeki sonuçlar ile kıyaslandığında, klasik modelin ayırık bir davranış göstermesi gerçek sonuçları yansıtmada başarısızlığa sebep olmaktadır. Gerçek SFCL davranışına en yakın davranışı Lookup Table modelinin gerçekleştirdiği benzetim sonuçları ile gösterilmiştir.

SFCL uygulamasının en büyük dezavantajı soğutma sistemi kullanımınıdır. Eğer soğutma sistemi düzgün çalışmazsa, SFCL sisteme karşı arıza olmamasına rağmen yüksek direnç gösterebilir ve bu durum hem tüketici hem de üretici açısından istenmeyen bir durumdur. SFCL uygulamasının gelişimi süperiletken teknolojisinin gelişimi ile doğrudan ilişkilidir. Oda sıcaklığında süperiletken malzeme araştırmaları SFCL uygulamaları için büyük önem arz etmektedir. Genel olarak SFCL'nin boyutunun standart güç transformatörleri kadar olması, hızlı şekilde sisteme müdahale etmesi, kararlı ve güvenilir olması sebebiyle gelecekte güç sistemlerinde sıklıkla kullanılması beklenmektedir.

Kaynakça

- Ahmed, M. M. R. Putrus, G. A., Li, R. Li & Xiao, L. J. (2004). Harmonic analysis and improvement of a new solid-state fault current limiter, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 40 (4), 1012-1019. [10.1109/TIA.2004.830774](https://doi.org/10.1109/TIA.2004.830774)
- Alaraifi, S., El Moursi, M. & Zeineldin, H. (2014) Optimal allocation of HTS-FCL for power system security and stability enhancement, *IEEE Trans Power Syst* 28(4):4701–4711. [10.1109/PESGM.2014.6939409](https://doi.org/10.1109/PESGM.2014.6939409)
- Fahnoe, H. H. (1970). Taking advantage of high-voltage fuse capabilities for system protection, *IEEE Transactions on Industry and General Applications*, 6 (5), 463-471. [10.1109/TIGA.1970.4181216](https://doi.org/10.1109/TIGA.1970.4181216)
- Gökçek, T, Ateş, Y. (2019). Dağıtık Güç Üretiminin Şebekeye Entegrasyonu ve Olası Etkilerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 216-228. DOI: 10.31590/ejosat.521350
- Jiajun ve diğ. (2018). Simulation of a DC Superconducting Fault Current Limiter for the Design of Online Monitoring System. *2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 10-13 Eylül, Greece. [10.1109/ICHVE.2018.8642248](https://doi.org/10.1109/ICHVE.2018.8642248)
- Khan, U. A., Seong, J. K., Lee, S. H., Lim, S. H. & Lee, B. W. (2011). Feasibility analysis of the positioning of superconducting fault current limiters for the smart grid application using simulink and simpowersystem, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 21 (3). [10.1109/TASC.2010.2089591](https://doi.org/10.1109/TASC.2010.2089591)
- Kheybargir, D., Heydari, H. & Babadi, A. N. (2016). Effects of resistive SFCL on frequency stability of synchronous generators, *International Power System Conference*, Iran.
- Kim, J. H., Park, M., Ali, M. H., Kim, A. R., Lee, S. R., Yoon, J. Y., Cho, J., Sim, K. D., Kim, S. H. & Yu, I. K. (2008). A SFCL modeling and application with real HTS material connecting to real time simulator, *Physica C*, 468, 2067–2071. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2008.05.128>

- Lee, B. W., Sim, J., Park, K. B. & Oh, I. S. (2008). Practical application issues of superconducting fault current limiters for electric power systems, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 18 (2), 620-623. [10.1109/TASC.2008.920784](https://doi.org/10.1109/TASC.2008.920784)
- Nasiri, A. & Barahmandpour, H. (2006). Fault current limitation of ramtin power plant, *21st International Power System Conference (PSC)*, Tehran.
- Peddakapu, K., Mohamed, M.R., Sulaiman, M.H., Srinivasarao, P. Rajasekhar Reddy, S. (2020). Design and simulation of resistive type SFCL in multi-area power system for enhancing the transient stability, *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 573 1353643. [10.1016/j.physc.2020.1353643](https://doi.org/10.1016/j.physc.2020.1353643)
- Peelo, D. F., Polovick, G. S., Sawada, J. H., Diamanti, P., Presta, R., Sarshar, A. & Beauchemin, R. (1996). Mitigation of circuit breaker transient recovery voltages associated with current limiting reactors, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11 (2), 865-871. [10.1109/61.489345](https://doi.org/10.1109/61.489345)
- Seyedi, H. & Tabei, B. (2012). Appropriate placement of fault current limiting reactors in different hv substation arrangements, *Circuits and Systems*, 3, 252-262. <http://dx.doi.org/10.4236/cs.2012.33035>
- Sung, B. C., Park, D. K., Park, J. W. & Ko, T. K. (2009). Study on a series resistive SFCL to improve power system transient stability: modeling, simulation, and experimental verification, *IEEE Trans Ind Electron* 56(7):2412–2419. [10.1109/TIE.2009.2018432](https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2018432)
- Şen, M, Özcan, M. (2020). Implementation of Simulation of Possible Short Circuit Fault Situations in Wind Energy Plants By Power Analysis Program. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2020 (ICCEES), 196-201. DOI: 10.31590/ejosat.803127
- Terzioğlu, R. (2017). Merkez iletkeni bakır olan süperiletken CORC kabloların alternatif akım kayıpları, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Website: Power system test case archive, Erişim Tarihi: 20.12.2020 <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>
- Zadeh, M. R. D., Pasand, M. S. & Kadivar, A. (2008). Investigation of neutral reactor performance in reducing secondary arc current, *IEEE Trans. on Power Delivery*, 23 (4), 923089. [10.1109/TPWRD.2008.923089](https://doi.org/10.1109/TPWRD.2008.923089)
- Zhang, J. J., Liu, Q., Rehtan, C. & Rudin S. (2006). Investigation of several new technologies for mega city power grid issues, *International Conference on Power System Technology*, Chongqing, 22-26 Ekim 2006.
- Zhang, X., Ruiz, H. S., Gen, J., Shen, B., Fu, L., Zhang, H. & Coombs, T. A. (2016). Power flow analysis and optimal locations of resistive type superconducting fault current limiters, *SpringerPlus*, 5:1972. Doi: 10.1186/s40064-016-3649-4
- Zhua, J., Zhen, X., Qiu, M., Zhang, Z., Li, J. & Yuan, W. (2015). Application simulation of a resistive type superconducting fault current limiter (SFCL) in a transmission and wind power system, *Energy Procedia* 75, 716-721. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.498>



Değerli Metal Katalizörlerde Katalizör Destek Malzemesi Olarak Biyotabanlı Malzemelerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu

Elif Yaman^{1*}, Fatma Özge Gökmen², Sinan Temel³, Nurgül Özbay⁴, Gamzenur Özsin⁵

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1052-8779) elif.yaman@bilecik.edu.tr

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5548-8790) fatmaozge.gokmen@bilecik.edu.tr

³ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0889-9490) Sinan.temel@bilecik.edu.tr

⁴ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0666-3417) nurgul.ozbay@bilecik.edu.tr

⁵ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5091-5485) gamzenur.ozsin@bilecik.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.858676)

ATIF/REFERENCE: Yaman, E., Gökmen, F. Ö., Temel, S., Özbay, N. & Özsin, G. (2021). Değerli Metal Katalizörlerde Katalizör Destek Malzemesi Olarak Biyotabanlı Malzemelerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 181-188.

Öz

Katalizörler kimya endüstrisinde geniş bir alanda kullanılan ve kullanıldığı sektörde maliyeti artıran en önemli kalemlerden biridir. Özellikle değerli metallerin katalizör olarak kullanıldığı reaksiyonlarda katalizör destek malzemesinin kullanılması, katalizör maliyetinin azaltılması için önem arz etmektedir. Karbonlu malzemeler katalizör desteği için istenen özellikleri sağlaması nedeniyle heterojen kataliz reaksiyonlarında uzun süredir kullanılmaktadır ve bu malzemelerin biyokütle gibi sürdürülebilir ve yenilenebilir bir kaynaktan elde edilebilmesi önemlidir. Yapılan bu çalışmada, göknar ağacı talaşından biyotabanlı malzeme elde edilmesi ve bu malzemelerin karbonlu katalizör destek malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada termokimyasal yöntemler olan karbonizasyon yöntemi ile biyochar; hidrotermal karbonizasyon yöntemi ile de hidrochar elde edilmiştir. Hem ham biyokütleyle, hem de biyochar ve hidrochar örneklerine değerli metallerden olan Pt ve Pd kütlece %1 oranında yüklenmiştir. Elde edilen katalizör örneklerinin fizikokimyasal ve yüzey özellikleri farklı teknikler kullanılarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlara göre, biyokütlenin katalizör desteği olarak doğrudan kullanılması için uygun özelliklere sahip olmadığı belirlenmiştir. Metal yüklenen biyochar ve hidrocharın katalizör özellikleri incelendiğinde ise örneklerin gözenekliliğinin daha yüksek olduğu, metal dağılımının homojen ve kristal yapısının daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, Karbon Malzeme, Katalizör, Destek.

Production and Characterization of Bio-based Materials as Support for Precious Metal Catalysts

Abstract

Catalysts are one of the most important component that are used in a wide area in the chemical industry and increase the cost in the sector. Especially, the use of catalyst support material with precious metal catalyst is important in reducing the catalyst cost. Carbonaceous materials have been used in heterogeneous catalysis reactions as they provide the desired properties for catalyst support, and it is important that these materials can be obtained from a sustainable and renewable source such as biomass. In this study, production of bio-based material from fir wood sawdust and using these materials as carbonaceous catalyst support materials were investigated. Biochar was produced via carbonization while hydrochar was produced via hydrothermal carbonization among the thermochemical processes. Precious metals Pt and Pd was loaded to biomass, biochar and hydrochar as wt.1%. The physicochemical and surface properties of the obtained catalyst samples were examined using different techniques. It was determined that the biomass did not have suitable properties for direct use as catalyst support. When the catalyst properties of the metal loaded biomass and hydrochar were examined, it was seen that the porosity of the samples was higher, the metal distribution was homogeneous and the crystal structure was better.

Keywords: Biomass, Carbon Material, Catalyst, Support.

* Sorumlu Yazar: elif.yaman@bilecik.edu.tr

1. Giriş

Kimya sektöründe geniş bir alanda kullanılan katalizörler, farklı teknolojilerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Sadece kömür, doğalgaz ve petrol gibi geleneksel karbonlu hammaddelerin değil, aynı zamanda biyokütle gibi yenilenebilir hammaddelerin de yakıtlar ve kimyasallar gibi katma değerli ürünlere dönüştürülmesinde katalizörler kullanılmaktadır (Hopa ve Yılmaz, 2019; Bartholomew ve Farrauto, 2011). Küresel katalizör pazarının yaklaşık 15 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir (O'Neill vd., 2015). Küresel gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH)'nın % 35'inden fazlası ise katalitik teknolojilerle ilişkilendirilmiştir (Armor vd., 2008) ve endüstriyel ürünlerin % 95'inin katalitik süreçlerle üretildiği bilinmektedir (O'Neill vd., 2015).

Katalizörler genel olarak homojen, heterojen ve enzimatik olarak sınıflandırılırlar, her birinin avantajları ve dezavantajları vardır (Balagurumurthy vd., 2015). Homojen katalizörlerin aktif bölgesi ile biyokütle molekülleri arasındaki istenmeyen kontrolsüz reaksiyonlar, istenen ürünlerin üretimini engeller. Bu nedenle, heterojen katalizörler, i) hidrotermal kararlılık, ii) yeniden kullanılabilirlik iii) zenginleştirilmiş gözeneklilik iii) ayarlanabilir yüzey alanı ve yapı iv) katı fazda oldukları için üründen kolayca ayrılabilmesi gibi özellikleri nedeniyle tercih edilirler (Sudarsanam vd., 2019; Taarning vd., 2011).

Biyokütleden dönüştürülen karbon tabanlı çeşitli katalizörler, yakıt üretimi için verimli heterojen katalizörler olarak araştırılmaktadır. Karbon tabanlı malzemeler, katalizör desteği için arzu edilen özellikleri nedeniyle heterojen kataliz reaksiyonlarında uzun süredir kullanılmaktadır ve bu malzemeler birçok endüstriyel uygulamada doğrudan katalizör olarak da kullanılabilir (Lee vd., 2017). Biyochar veya hidrochar, değişik biyokütle kaynaklarından termokimyasal tekniklerle üretilen ve çevre dostu karbon olarak adlandırılan kömür benzeri bir karbonlu malzemelerdir (Balajii ve Niju, 2019). Biyokütlenin oksijensiz ortamda ısıl bozunması ile elde edilen biyocharın katalizör ya da katalizör destek malzemesi olarak kullanılabilmesi için araştırmacılar farklı modifikasyon çalışmaları ile biyocharın aktivasyon kapasitelerini artırma çalışmalarını sürdürmektedirler (Chi vd., 2020; Ok vd., 2015; Qian vd., 2015). Biyochar, karbon bakımından zengin ve yüksek gözenekliliğe sahip bir malzemedir bu özellikleri nedeniyle de diğer katı karbon katalizörlerin pahalı olması ve çevre dostu olmaması gibi bazı bilinen olumsuzluklarına umut verici bir alternatiftir. Buna ek olarak, biyocharın fizikokimyasal özellikleri asit ya da baz muamelesi veya karbonizasyon yoluyla değiştirilebilir (Rajapaksha vd., 2016; Kambo ve Dutta, 2015). Fizikokimyasal özelliklerinin istenen şekilde modifiye edilebilmesi, biyocharın katalitik malzemeler olarak doğru bir şekilde değerlendirilmesi açısından önemlidir (Anto vd., 2021). Biyochar veya hidrochar çeşitli biyokütle dönüştürme işlemlerinde i) fermentasyon ile biyo- etanol üretimi, ii) transesterifikasyon ile biyodizel üretimi, iii) gazlaştırma ile temiz sentez gazı üretimi, iv) piroliz ile biyo-yağ üretimi, v) katran azaltma ve vi) daha iyi yakıt özellikleri için yakıt iyileştirme reaksiyonlarında heterojen katalizörler olarak kullanılmaktadır (Cheng and Li, 2018; Xiong vd., 2017).

Yapılan bu çalışmada, literatüre katkı sağlaması amacıyla biyokütle, hidrochar ve biyochar örneklerinin katalizör destek malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Öncelikle biyokütlenin karakterizasyon çalışmaları yapılmış, ardından üretilen hidrochar ve biyochar örneklerine Pd ve Pt metalleri yüklenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Biyotabanlı malzemelerin geliştirilmesi için biyokütle kaynağı olarak göknar ağacı talaşı (G) seçilmiştir. Fabrika atığı olarak temin edilen göknar ağacı talaşı, elek sarsma cihazı ve elek seti (RETSCH) kullanılarak yedi farklı parçacık boyutu ($D_p < 0,212$; $0,212 < D_p < 0,425$; $0,425 < D_p < 0,625$; $0,625 < D_p < 0,800$; $0,800 < D_p < 1,25$; $1,25 < D_p < 1,8$; $1,8 < D_p$) elde edilmek üzere elenmiştir. Göknar ağacı talaşının karakterizasyonu çalışmalarında (i) nem (Sartorius, MA 150), (ii) kül (ASTM D 1102-84), (iii) uçucu madde (ASTM E 897-82) miktar tayini gerçekleştirilmiştir. Ayrıca göknar ağacı talaşının sahip olduğu karbon, hidrojen, oksijen ve azot miktarının tayin edilmesi için elementel analiz (LECO CHN), içerdiği fonksiyonel grupların belirlenmesi için FT-IR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi, Perkin Elmer Spectrum 100) ve yüzey morfolojisinin belirlenmesi için SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu, Zeiss Supra 40VP) kullanılarak karakterizasyon çalışmaları tamamlanmıştır.

2.2. Hidrochar ve Biyochar Üretimi

Göknar ağacı talaşının "hidrotermal karbonizasyonu" için bilgisayar kontrollü, yüksek sıcaklığa ve yüksek basınca çıkabilen 1 L hacmindeki kesikli bir otoklav reaktör (PARR 4575B Reaktör) kullanılmıştır. Hidrotermal karbonizasyon sıcaklığı 190 °C, katı/su oranı kütlece 1:5, basınç 5 bar ve reaksiyon süresi 10 dk olarak sabit tutulmuştur. Reaksiyon sonunda katı-sıvı karışımı reaktörden alınarak süzme işlemi uygulanmıştır. Ayrılan katı faz, önce oda koşullarında sonra da 24 saat boyunca 105 °C etüvde kurutulmuştur. Elde edilen hidro-char HC olarak kodlanmıştır.

Göknar ağacı talaşının "karbonizasyon işlemi" ise kül fırında (Magmetherm) gerçekleştirilmiştir. Ağzı kapalı toprak kaplara yerleştirilen göknar ağacı talaşı örneği, 20 °C/dk ısıtma hızında 550 °C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 10 dk bekletilerek oda sıcaklığına soğutulmuştur. Elde edilen biyo-char BC olarak kodlanmıştır.

2.3. Biyokütle, Hidro-char ve Biyo-char Destek Malzemelerine Pd ve Pt Metallerinin Yüklenmesi

G, HC ve BC öncelikle %10'luk HNO₃ ile 80 °C sıcaklıkta 3 saat muamele edilmiştir. Asit ile muamele edilen bu örnekler sırası ile AG, AHC ve ABC olarak adlandırılmıştır. Daha sonra paladyum miktarı %1 olacak şekilde PdCl₂ tuzu tartılmış ve bu Pd kaynağı olan bu tuz 1 M'lık 12 mL HCl çözeltisi içerisinde çözülmüştür. AG, AHC ve ABC destek malzemelerinden 1'er gram tartılmış ve Pd çözeltisi katılar üzerine damla damla eklenmiştir. 30 °C sıcaklıkta 20 saat bekletilen karışım, bu süre sonunda bazik pH elde edilene kadar %30'luk NaOH çözeltisi eklenmiştir. Bazik haldeyken 3 saat boyunca 30 °C sıcaklıkta karıştırılmaya devam edilmiş, ardından 60 °C'ye ısıtılmış ve 800 µL %37'lik formaldehit eklenmiştir. 2 saat boyunca 60 °C'de bekletilen karışım süzülüş ve 5 kez saf su ile yıkanmıştır. Süzüntüden ayrılan katalizör oda sıcaklığında kurutulmuş ve karakterizasyona hazır hale getirilmiştir. Elde edilen katalizörler sırası ile %1Pd-G, %1Pd-HC ve %1Pd-BC olarak adlandırılmıştır (Casoni vd., 2018; Kubota vd., 2012; Arcanjo vd., 2017).

Pt metali yüklü biyotabanlı malzeme sentezinde ilk basamak olarak platin miktarı %1 olacak şekilde [Pt(NH₃)₄](NO₃)₂ tuzu tartılmış ve Pt kaynağı olan bu tuz 10 mL saf suda çözülmüştür.

AG, AHC ve ABC destek malzemelerinden 1'er gram tartılmış ve Pt çözeltisi katılar üzerine damla damla 50 °C'de eklenmiştir. Ardından 800 µL %37'lik formaldehit eklenip, bu sıcaklıkta bir saat bekletilmiştir. Çözeltiden süzülerek ayrılan katı 5 kez saf su ile yıkanmış ve 100°C'deki etüvde 2 saat boyunca kurutulmuştur (Arcanjo vd., 2017; He vd., 2008; Liang vd., 2009). Elde edilen katalizörler sırası ile %1Pt-G, %1Pt-HC ve %1Pt-BC olarak adlandırılmıştır

2.4. Katalizör Karakterizasyonu

Elde edilen katalizör örneklerinin sahip olduğu fonksiyonel grupların belirlenmesi amacıyla FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. Örneklerin spektrumları 4000-380 cm⁻¹ dalga boyu aralığında, 0,4 cm⁻¹ çözünürlük ile zayıf toplam frekans (ATR) modülü kullanılarak elde edilmiştir. SEM görüntüleri alınmadan önce numunelerin iletkenliğinin sağlanması için platin ile kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama cihazında (Quorum, Q300 model) Au/Pd kaynağı altında 1 dakika boyunca kaplanan örneklerin kaplama kalınlığı yaklaşık 100 nm'dir. Katalizör örneklerine uygulanan tüm SEM çekimlerinde, 15 kV hızlandırma voltajı (EHT), ~10 mm çalışma mesafesi (WD), farklı büyütme oranları ve ikincil elektron (SE) görüntüleme yöntemi kullanılmıştır. Yüzey alanı ölçüm analizleri Brunauer, Emmet ve Teller yüzey alanı tayin cihazı (BET, Micromeritics-ASAP2020) kullanılarak yapılmıştır. BET yüzey alanları (m²/g), gözenek boyutu (nm), mikro gözenek ve mezo-makro gözenek hacimleri (cm³/g) çok noktalı BET analizi ile belirlenmiştir.

Analizden önce uygulanan degaz işleminde sıcaklık 300 °C ve süre 360 dk'dır. Katalizörlerin kristal yapı karakterizasyonları X-ışını Kırınım Cihazı (XRD, Panalytical-Empyrean) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Katalizörlere uygulanan XRD analizinde CuKα (λ=0,15405 nm) radyasyonu kullanılarak, 2θ açısı aralığı 10-90° olacak şekilde 2°/dk tarama hızında X-ışını kırınım desenleri elde edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Hammaddeye ait karakterizasyon sonuçları

Talaş halinde temin edilen göknar ağacı talaşı oda koşullarında 48 saat kurutulduktan sonra yedi farklı parçacık boyutu elde edilmek üzere elenmiştir. Elekler üzerinde kalan miktarlar ile hesaplanan kütle kesirlerinden göknar ağacı talaşının ortalama parçacık boyutu 0,948 mm olarak hesaplanmıştır. Göknar ağacı talaşına uygulanan ön analiz, elementel analiz, H/C, O/C oranları ve ısı değer sonuçları sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Göknar ağacı talaşı ağırlıkça %7,01 nem ve %0,21 kül içermektedir. Uçucu madde miktarı %80,74 olan göknar ağacı talaşının sabit karbon miktarı %12,04 olarak hesaplanmıştır. Göknar ağacı talaşının karbon içeriği kütlece %41,34 iken, hidrojen içeriği kütlece %6,86 ve oksijen içeriği ise kütlece %51,56 olarak bulunmuştur. Göknar ağacı talaşının sahip olduğu ısı değer ise elementel analiz sonuçları ve Dulong formülü (Yaman vd., 2021) kullanılarak 14,58 MJ/kg olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Göknar ağacı talaşının ön analiz ve elementel analiz sonuçları

Analiz	Değer	Analiz	Değer
Nem (%)	7,01	Karbon (%)	41,34
Kül (%)	0,21	Hidrojen (%)	6,86
Uçucu Madde (%)	80,74	Azot (%)	0,24
Sabit Karbon ^a (%)	12,04	Oksijen ^b (%)	51,56
		H/C	1,99
		O/C	0,91
		Isıl Değer (MJ/kg)	14,58

^aSabit Karbon= 100-(Nem+Kül+Uçucu Madde)

^bFarktan

Göknar ağacı talaşının farklı fonksiyonel gruplara sahip olduğunu gösteren FTIR spektrumu Şekil 1'de verilmiştir. 3356 cm⁻¹ civarında gözlenen geniş pik hidroksil grubunu ifade etmektedir. 2924-2856 cm⁻¹ de yer alan bölge metil ve metilen gruplarında yer alan C-H gerilme titreşimlerine aittir. Karbonil grupları (C=O), 1742 cm⁻¹ bölgesinde yer almaktadır. Metil, metilen ve karbonil gruplarına ait pikler göknar ağacı talaşında belirgin olarak gözlenmektedir. 1241 cm⁻¹ bölgesinde ve 1036 cm⁻¹ bölgesinde görülen en şiddetli pik alkol, fenol, eter ve ester gruplarına ait C-O gerilme titreşimine aittir. Benzen türevlerindeki C-H bağının düzlem dışı eğilme titreşimi 894-841 cm⁻¹ de yer almaktadır (Khan vd., 2018). Bu bağların eğilme titreşimine ait piklerin göknar ağacı talaşında görülmesi, biyokütle yapısında benzen türevlerinin olduğunu *e-ISSN: 2148-2683*

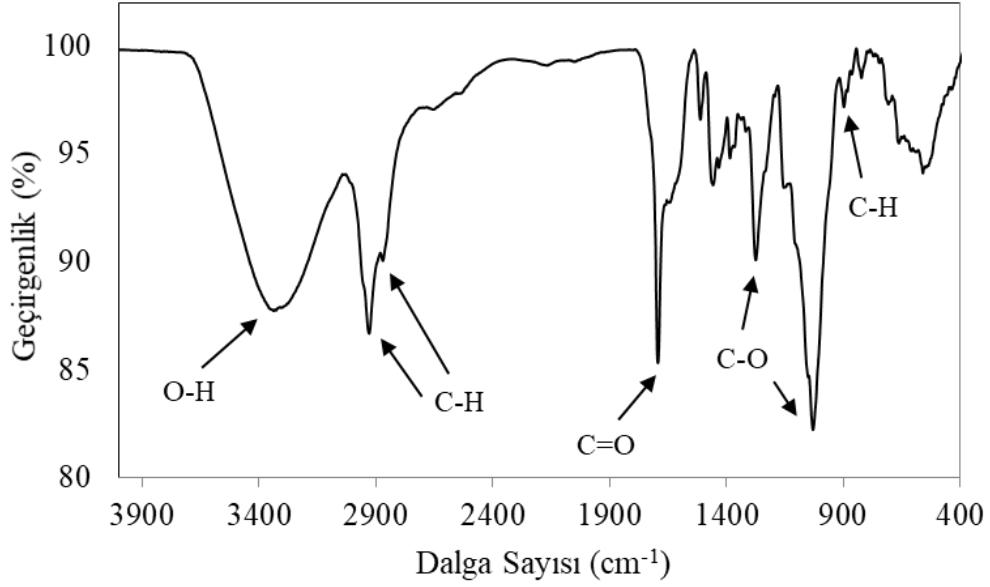
göstermektedir (Maliutina vd., 2017). Göknar ağacı talaşının yüzey morfolojisinin belirlenmesi için 100x büyütme ve 500x büyütme alanan SEM görüntüleri sırası ile Şekil 2 (a) ve Şekil 2 (b)'de verilmiştir. SEM görüntülerinden göknar ağacı talaşının kompleks ve çok tabakalı lifli lignoselülozik yapıda olduğu fakat gözenekliliğinin çok yüksek olmadığı görülmektedir.

3.2. Elde edilen katalizörlere ait karakterizasyon sonuçları

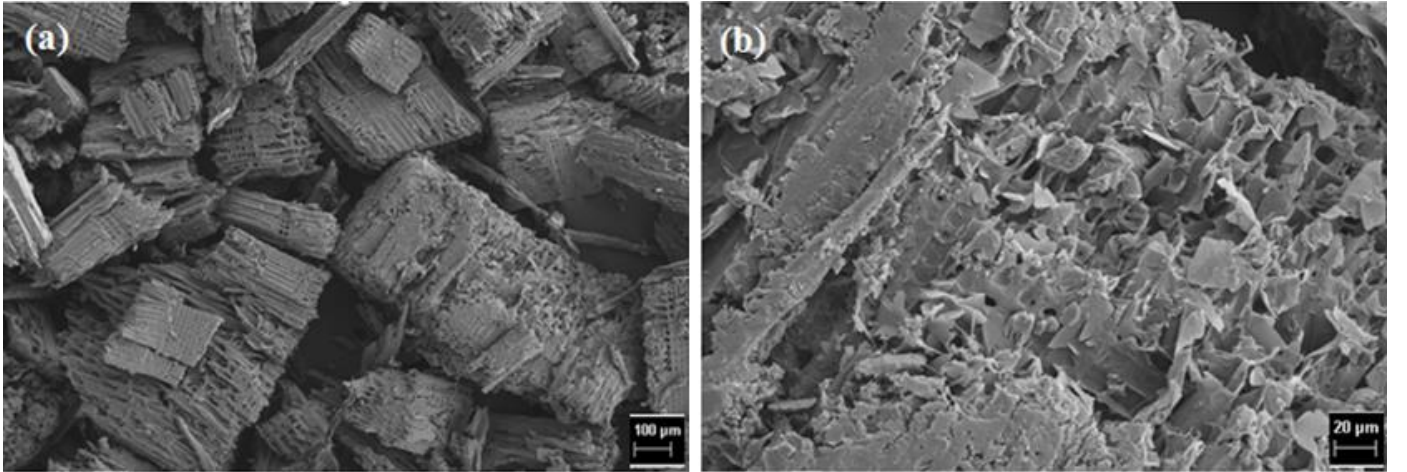
Kütlece %1 Pt ve %1 Pd yüklenen G, BC ve HC örneklerine ait FT-IR spektrumu sırası ile Şekil 3 (a) ve Şekil 3 (b)'de verilmiştir. 1000-900 cm⁻¹ bölgesinde gözlemlenen ve

yapıdaki C-O bağı varlığını gösteren piklerin %1Pt-BC ve %1Pd-BC örneklerinde görülmediği belirlenmiş ve bu bağların ısı işlem sırasında kırıldığı belirlenmiştir. Ayrıca alkol, fenol ve karboksilik asitlerin varlığını gösteren ve 3500-3200 cm^{-1} bölgesinde gözlemlenen geniş ve yaygın -OH bandının şiddeti

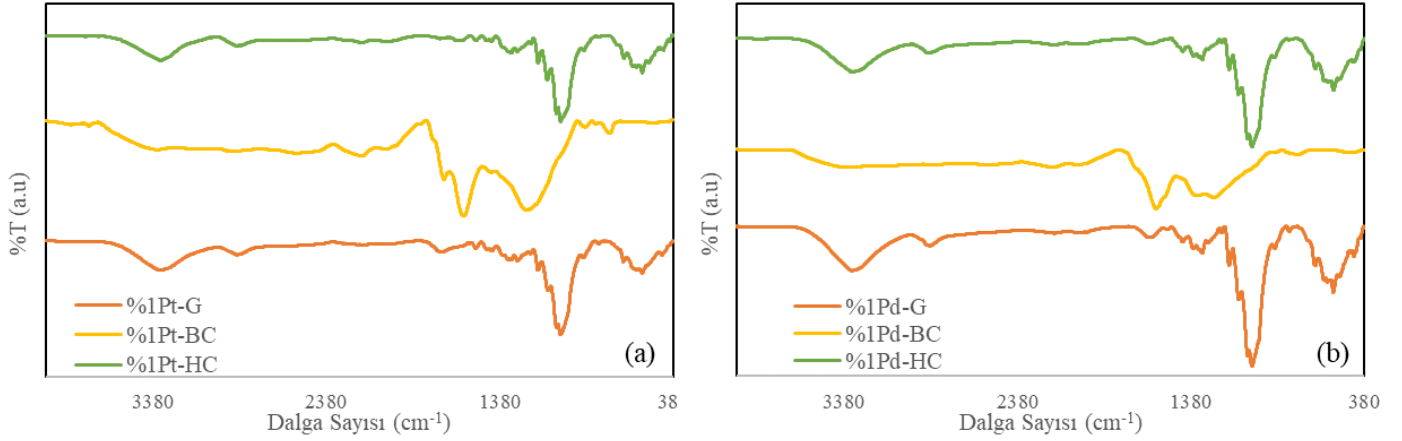
ise yine %1Pt-BC ve %1Pd-BC örneklerinde azalmaktadır. %1Pt-G, %1Pt-HC, %1Pd-G ve %1Pd-HC örneklerinden farklı olarak %1Pt-BC örneğinde 1584 cm^{-1} ve %1Pd-BC örneğinde ise 1573 cm^{-1} bölgesinde pikler görülmektedir. 1600-1500 cm^{-1} bölgesindeki bu pikler yapıdaki C=O bağlarını göstermektedir.



Şekil 1. Göknar ağacı talaşının FTIR spektrumu



Şekil 2. Göknar ağacı talaşına ait (a) 100x (b) 500x büyütmelerde alınmış SEM görüntüleri



Şekil 3. (a) Kütlece %1 Pt yüklenmiş katalizörlerin (b) Kütlece %1 Pd yüklenmiş katalizörlerin FTIR spektrumları

Kütlece %1 Pt ve % 1 Pd yüklenen G, BC ve HC örneklerine ait BET analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Pt yüklenen katalizörlerden en yüksek yüzey alanına sahip olan katalizör 17,6335 m²/g BET yüzey alanına sahip olan %1Pt-BC örneğidir. %1Pt-G örneği mikrogözenekliliğe sahip değilken, mikro gözenekliliği de en yüksek olan katalizör 0,0064 cm³/g

mikrogözenek hacmine sahip olan %1Pt-BC örneğidir. Pd yüklenen katalizörlerden en yüksek yüzey alanına sahip olan katalizör 0,8456 m²/g BET yüzey alanına sahip olan %1Pd-HC örneğidir. Pd yüklenmiş katalizörlerden en yüksek mikrogözenek hacmine sahip olan katalizör örneği ise 0,0021 cm³/g mikrogözenek hacmi ile %1Pd-BC örneğidir.

Tablo 2. %1 Pt ve % 1 Pd yüklenen katalizörlerin BET analiz sonuçları

	S _{BET} ^a (m ² /g)	Gözenek boyutu ^b (nm)	V _{micro} ^c (cm ³ /g)	V _{meso/macro} ^d (cm ³ /g)
%1Pt-G	0,052	40,60	-	0,0010
%1Pt-BC	17,634	47,50	0,0064	0,0037
%1Pt-HC	0,992	36,86	0,0003	0,0005
%1Pd-G	0,042	32,15	-	0,0010
%1Pd-BC	0,426	35,48	0,0003	0,0021
%1Pd-HC	0,846	33,48	0,0001	0,0002

^a Çok nokta BET yüzey alanı.

^b Azot adsorpsiyonu verilerinden BJH metodu ile hesaplanmıştır.

^c V-t grafik verilerinden hesaplanmıştır.

^d P/P₀ = 0,99 olduğu anda toplam gözenek hacminden mikro gözenek hacmi çıkarılarak hesaplanmıştır.

S_{BET}: BET yüzey alanı, (m²/g)

V_{micro}: Mikrogözenek hacmi, (cm³/g)

V_{meso/macro}: Mezo/makro gözenek hacmi, (cm³/g)

Kütlece %1 Pt yüklenmiş katalizörlerin SEM görüntüleri ve elementel haritalama ile elde edilen Pt dağılımları Şekil 3’de, kütlece %1 Pd yüklenmiş katalizörlerin SEM görüntüleri ve elementel haritalama ile elde edilen Pd dağılımları ise Şekil 4’te verilmiştir. %1 Pt yüklenen katalizör destek malzemelerinden göknar ağacı talaşı (%1Pt-G) ve göknar ağacı talaşının hidro-charına (%1Pt-HC) yükleme yapıldığında, özellikle hidro-charda Pt dağılımının homojen olmadığı görülmektedir. Göknar ağacı talaşının biyo-charına (%1Pt-BC) Pt yüklenmesi sonucu elde edilen katalizörde ise Pt dağılımı homojendir. %1Pd yüklenen katalizör destek malzemelerinin SEM görüntüleri kıyaslandığında, göknar ağacı talaşının biyocharına (%1Pd-BC) Pd yüklenmesi ile parçacık boyutu daha küçük ve

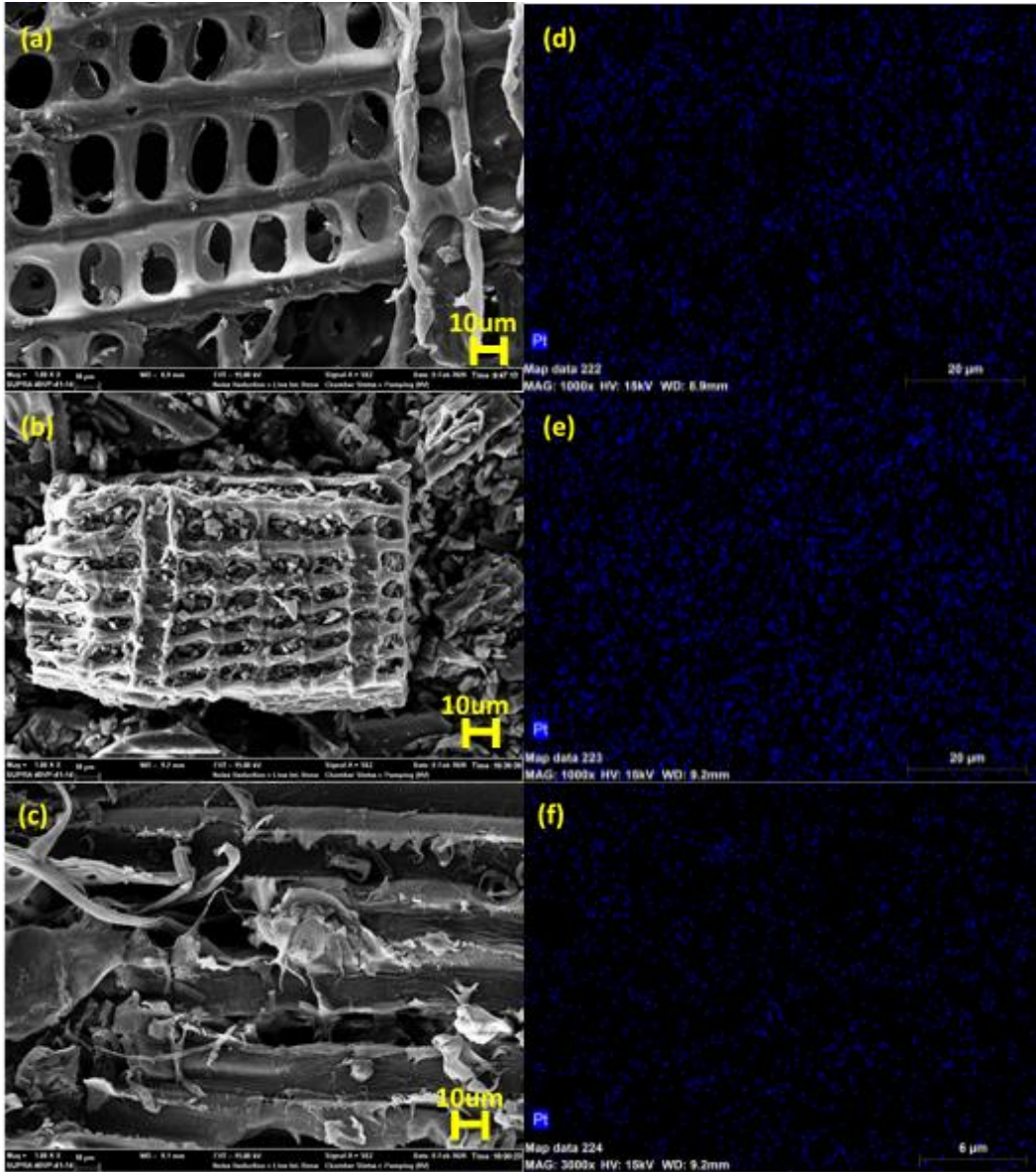
gözenekliliği daha yüksek olan bir katalizör elde edilmiştir. Ayrıca katalizör yüzeylerindeki Pd dağılımı incelendiğinde bu katalizör yüzeyinde Pd’nin homojen olarak dağıldığı görülmektedir.

4. Sonuç

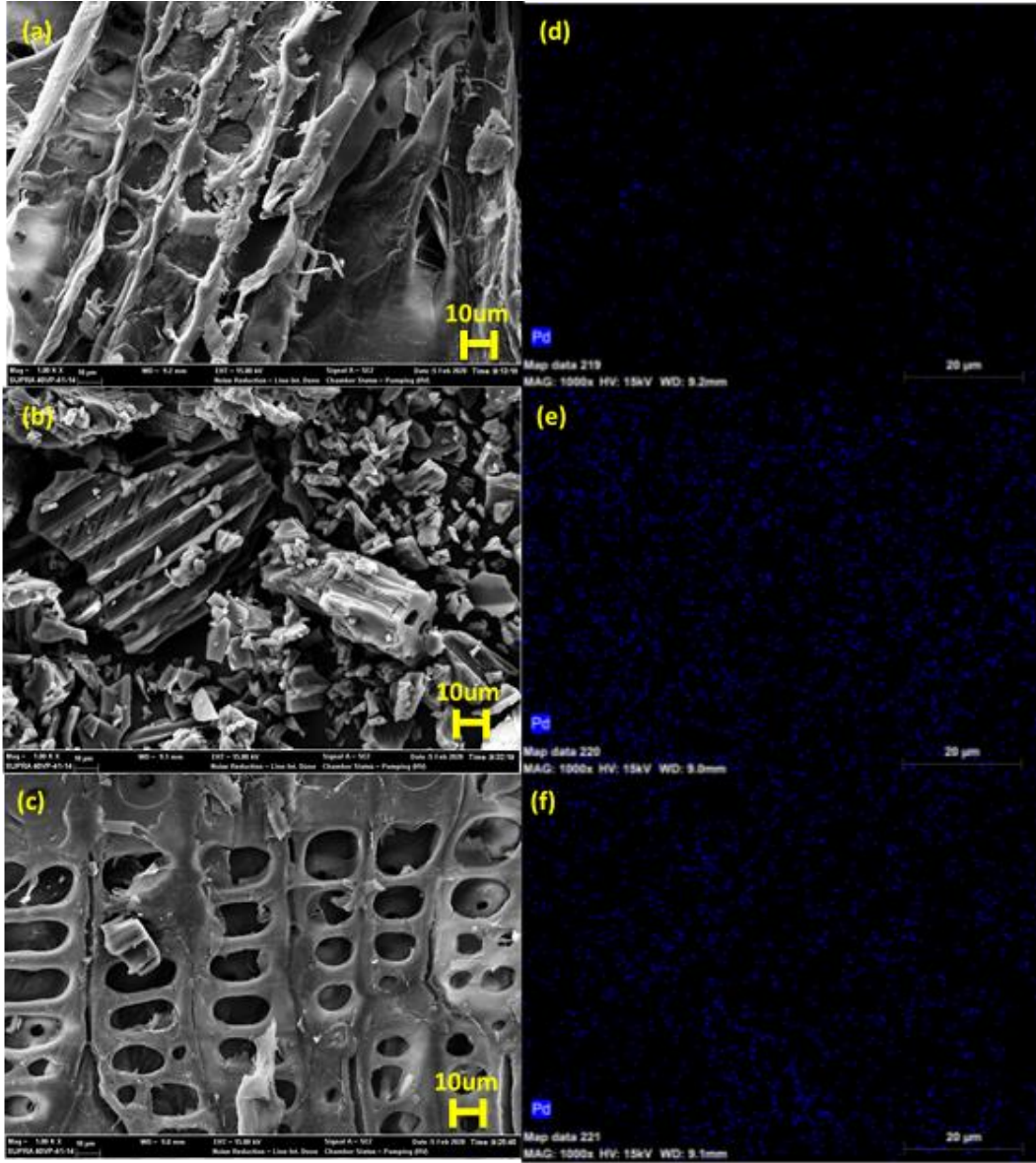
Yapılan çalışmada, karbonlu malzeme üretimi için hammadde olarak göknar ağacı talaşı seçilmiştir. Gerçekleştirilen elementel analiz sonuçlarına göre hammaddenin kütlece %41,34 karbon içerdiği ve karbonlu malzeme üretiminde kullanılmak için uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca göknar ağacı talaşı kütlece %80,37 uçucu

madde içeriği ile biyokütlenin termokimyasal işlemlerle dönüştürülmesi için de uygun bir hammaddedir. Sentezlenen katalizörlerin gözeneklilik analiz sonuçlarına göre en yüksek BET yüzey alanına sahip olan örneklerin her bir farklı metal yüklemesi için Pt-BC ve Pd-HC olduğu belirlenmiştir. Ayrıca SEM ve elementel haritalama görüntülerinden homojen Pt dağılımının Pt-BC; homojen Pd dağılımının ise Pd-BC ve Pd-HC örneklerinde elde edildiği görülmektedir. Sentezlenen karbonlu malzemelerin amorf yapıda oldukları fakat Pt-BC örneğinde metalik Pt pikinin gözleendiği, Pd-BC örneğinde ise metalik Pd pikinin gözleendiği belirlenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar kıyaslandığında biyokütlenin katalizör desteği olarak

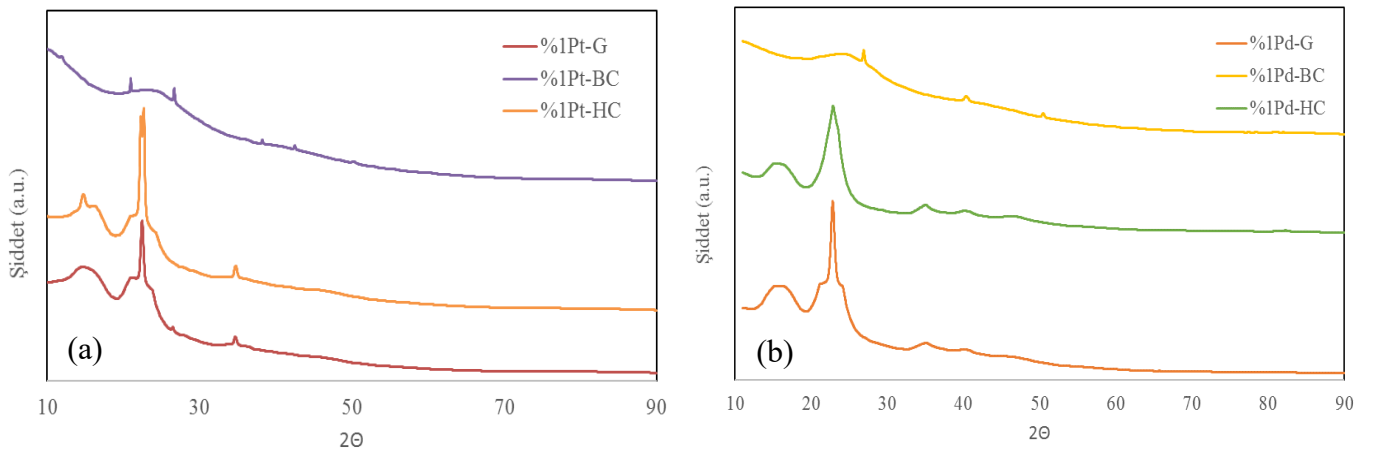
doğrudan kullanılması için uygun fizikokimyasal ve yüzeysel özelliklere sahip olmadığı belirlenmiştir. Buna ek olarak, biyo-charın destek malzemesi olarak kullanıldığı katalizörlerin gözeneklilik özelliklerinin daha iyi olduğu, metal dağılımının homojen olduğu ve kristal yapısının daha iyi olduğu görülmüştür. Gökmar ağacı talaşının termokimyasal yöntemlerle dönüştürülerek üstün yüzey özelliklerine sahip biyo-char/hidro-char elde edilmesi ve bu gözenekli malzemelerin katalizör destek malzemesi olarak kullanılması biyokütlenin farklı bir uygulama alanında değerlendirilebilmesi için umut verici bir sonuçtur.



Şekil 3. Kütlece %1 Pt yüklenmiş katalizörlerin SEM görüntüleri (a) %1Pt-G (b) %1Pt-BC (c) %1Pt-HC ve elementel haritalama ile elde edilen Pt dağılımları (d) %1Pt-G (e) %1Pt-BC (f) %1Pt-HC



Şekil 4. Kütlece %1 Pd yüklenmiş katalizörlerin SEM görüntüleri (a) %1Pd-G (b) %1Pd-BC (c) %1Pd-HC ve elementel haritalama ile elde edilen Pd dağılımları (d) %1Pd-G (e) %1Pd-BC (f) %1Pd-HC



Şekil 5. (a) Kütlece %1 Pt yüklenmiş katalizörlerin (b) Kütlece %1 Pd yüklenmiş katalizörlerin XRD kırınım desenleri

5. Teşekkür

Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2018-02.BŞEÜ.28-01 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Anto, S., Sudhakar, M. P., Ahamed, T. S., Samuel, M. S., Mathimani, T., Brindhadevi, K., & Pugazhendhi, A. (2021). Activation strategies for biochar to use as an efficient catalyst in various applications. *Fuel*, 285, 119205.
- Arcanjo, M. R. A., Silva Jr, I. J., Rodríguez-Castellón, E., Infantes-Molina, A., & Vieira, R. S. (2017). Conversion of glycerol into lactic acid using Pd or Pt supported on carbon as catalyst. *Catalysis Today*, 279, 317-326.
- Armor, J., Farrauto, R., & Iglesia, E. (2008). What is catalysis. The North American Catalysis Society (NACS) <http://www.nacatsoc.org/what.asp>.
- ASTM (1983), Standard test method for volatile matter in analysis sample refuse derived fuel-3, In ASTM Annual Book of Ame. Soc. for Testing and Materials Standards, Easton, M.D., USA, E-897-82.
- ASTM (1983), Standard test method for ash in wood, In ASTM Annual Book of Ame. Soc. for Testing and Materials Standards, Easton, M.D., USA, D-1102-84.
- Balagurumurthy, B., Singh, R., & Bhaskar, T. (2015). Catalysts for thermochemical conversion of biomass. In *Recent Advances in Thermo-Chemical Conversion of Biomass* (pp. 109-132). Elsevier.
- Balajii, M., & Niju, S. (2019). Biochar-derived heterogeneous catalysts for biodiesel production. *Environmental Chemistry Letters*, 1-23.
- Bartholomew, C. H., & Farrauto, R. J. (2011). *Fundamentals of industrial catalytic processes*. John Wiley & Sons.
- Casoni, A. I., Hoch, P. M., Volpe, M. A., & Gutierrez, V. S. (2018). Catalytic conversion of furfural from pyrolysis of sunflower seed hulls for producing bio-based furfuryl alcohol. *Journal of Cleaner Production*, 178, 237-246.
- Cheng, F., & Li, X. (2018). Preparation and application of biochar-based catalysts for biofuel production. *Catalysts*, 8(9), 346.
- Chi, N. T. L., Anto, S., Ahamed, T. S., Kumar, S. S., Shanmugam, S., Samuel, M. S., & Pugazhendhi, A. (2020). A review on biochar production techniques and biochar based catalyst for biofuel production from algae. *Fuel*, 119411.
- De Araujo, J. C., Sousa, C. B., Oliveira, A. C., Freire, F. N., Ayala, A. P., & Oliveira, A. C. (2010). Dehydrogenation of ethylbenzene with CO₂ to produce styrene over Fe-containing ceramic composites. *Applied Catalysis A: General*, 377(1-2), 55-63.
- He, S., Sun, C., Du, H., Dai, X., & Wang, B. (2008). Effect of carbon addition on the Pt-Sn/ γ -Al₂O₃ catalyst for long chain paraffin dehydrogenation to olefin. *Chemical Engineering Journal*, 141(1-3), 284-289.
- Hopa, D. Y., & Yılmaz, N. (2019). Haşhaş Kapsülü Küspesinin Sabit Yataklı Reaktörde Katalitik Pirolizisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 581-588.
- Kambo, H. S., & Dutta, A. (2015). A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359-378.
- Khan, A. S., Man, Z., Bustam, M. A., Nasrullah, A., Ullah, Z., Sarwono, A., Muhammad, N. (2018). Efficient conversion of lignocellulosic biomass to levulinic acid using acidic ionic liquids. *Carbohydrate polymers*, 181, 208-214.
- Kubota, T., Ogawa, H., Okamoto, Y., Misaki, T., & Sugimura, T. (2012). Preparation of Pd/C designed for chiral modified catalyst: Comparison with Pd/TiO₂ in enantioselective hydrogenation of α -phenylcinnamic acid. *Applied Catalysis A: General*, 437, 18-23.
- Lee, J., Kim, K. H., & Kwon, E. E. (2017). Biochar as a catalyst. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 70-79.
- Liang, D., Gao, J., Wang, J., Chen, P., Hou, Z., & Zheng, X. (2009). Selective oxidation of glycerol in a base-free aqueous solution over different sized Pt catalysts. *Catalysis Communications*, 10(12), 1586-1590.
- Maliutina, K., Tahmasebi, A., Yu, J., & Saltykov, S. N. (2017). Comparative study on flash pyrolysis characteristics of microalgal and lignocellulosic biomass in entrained-flow reactor. *Energy Conversion and Management*, 151, 426-438.
- Ok, Y. S., Chang, S. X., Gao, B., & Chung, H. J. (2015). SMART biochar technology—a shifting paradigm towards advanced materials and healthcare research. *Environmental Technology & Innovation*, 4, 206-209.
- O'Neill, B. J., Jackson, D. H., Lee, J., Canlas, C., Stair, P. C., Marshall, C. L., & Huber, G. W. (2015). Catalyst design with atomic layer deposition. *ACS Catalysis*, 5(3), 1804-1825.
- Qian, K., Kumar, A., Zhang, H., Bellmer, D., & Huhnke, R. (2015). Recent advances in utilization of biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1055-1064.
- Rajapaksha, A. U., Chen, S. S., Tsang, D. C., Zhang, M., Vithanage, M., Mandal, S., & Ok, Y. S. (2016). Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: potential and implication of biochar modification. *Chemosphere*, 148, 276-291.
- Sudarsanam, P., Peeters, E., Makshina, E. V., Parvulescu, V. I., & Sels, B. F. (2019). Advances in porous and nanoscale catalysts for viable biomass conversion. *Chemical Society Reviews*, 48(8), 2366-2421.
- Taarning, E., Osmundsen, C. M., Yang, X., Voss, B., Andersen, S. I., & Christensen, C. H. (2011). Zeolite-catalyzed biomass conversion to fuels and chemicals. *Energy & Environmental Science*, 4(3), 793-804.
- Xiong, X., Iris, K. M., Cao, L., Tsang, D. C., Zhang, S., & Ok, Y. S. (2017). A review of biochar-based catalysts for chemical synthesis, biofuel production, and pollution control. *Bioresource technology*, 246, 254-270.
- Yaman, E., Ulusal, A. & Uzun, B.B. (2021). Co-pyrolysis of lignite and rapeseed cake: a comparative study on the thermal decomposition behavior and pyrolysis kinetics. *SN Applied Science*, 3, 97.



Ters Basamaklı Eşikler Kullanılarak Tasarlanan Basamaklı Savakların Enerji Sönümleme Oranlarının Sayısal Olarak İncelenmesi

Erdoğan İkinciogulları^{1*}

^{1*} Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2518-980X),
erdincikinciogullari@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 12 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.859116)

ATIF/REFERENCE: İkinciogulları, E. (2021). Ters Basamaklı Eşikler Kullanılarak Tasarlanan Basamaklı Savakların Enerji Sönümleme Oranlarının Sayısal Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 189-196.

Öz

Basamaklı savaklar, şüt kanalı üzerindeki akım enerjisini sönümleyebilmek amacıyla tasarlanan ve yüzyıllardır kullanılan bir savak çeşididir. Bu savakların geliştirilebilmesi amacıyla basamak geometrisi üzerine birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışma kapsamında, basamak uçlarına eklenen ters basamak geometrisindeki eşiklerin enerji sönümleme oranına etkisi Flow3D® yazılımı ile incelenmiştir. Üç farklı model ve altı farklı debi kullanılarak sürdürülen çalışmada toplam 18 adet analiz yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, her bir basamak ucuna eklenen ters basamaklı eşiklerin, sıçramalı akım şartlarında, klasik basamaklı savaklardan %18'e kadar daha fazla enerji sönümleyebildiği, bu değer nap akımı rejimine geçildikçe azaldığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basamaklı savaklar, Flow3D®, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD).

Numerical Analysis of Energy Dissipation of Stepped Weirs Designed Using Reverse Stepped Thresholds

Abstract

Stepped weirs are a type of weir that has been designed for centuries to dissipate the flow energy on the chute channels. Many studies have been done on step geometry and are still being done to improve these weirs. In this study, the energy dissipation of the weir using reverse step thresholds has been examined with the Flow3D® software. A total of 18 analyzes were conducted using three models and six discharges. According to the results, the stepped weir designed using the reverse step thresholds could dissipate energy up to 18% more than the flat stepped weirs in the skimming flow regime. However, this value decreases as it passes towards the nappe flow regime.

Keywords: Stepped spillway, Flow3D®, Computational fluid dynamics (CFD).

* Sorumlu Yazar: erdincikinciogullari@gmail.com

1. Giriş

İnsan nüfusu arttıkça enerjiye olan ihtiyacımız da günden güne artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını dengeleyebilmek adına yüksek barajların tasarımı da bir zaruret haline gelmiştir. Yüksek düşü nedeniyle baraj membasındaki potansiyel enerjinin dolusavak mansabında kinetik enerjiye dönüşmesi sebebiyle baraj mansabında oluşacak tahribat, araştırmacıların ilgisini çekmiş ve dolusavak üzerindeki akım enerjisini sönmülemeye yönelik fikirler ortaya çıkmıştır. Basamaklı dolusavaklar, üzerindeki basamaklar sayesinde akım içerisinde hava katarak su jetinin bölünmesine ve daha yumuşak bir halde baraj mansabına bırakılmasına vesile olmaktadır. Çok uzun yıllardan beridir kullanılan bu doğal havalandırma yönteminin geliştirilmesi ile mansap havuzunda inşa edilen enerji kırıcı yapıların maliyeti azalmaktadır (Chanson, 1998).

Yaklaşık 3000 yıllık bir tarihe sahip olan basamaklı dolusavakların ilk örneğinin Yunanistan'daki Akarnania Barajı olduğu tahmin edilmektedir (Chanson, 1998). Basamaklı dolusavaklar, inşa kolaylığı açısından, günümüzde özellikle silindire sıkıştırılmış beton (SSB) barajlarda (RCC-Roller Compact Concrete) ve dolgu barajlarda taşkın dolusavağı olarak kullanılmaktadır. Genellikle, birim debisi $q=10-15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 'ye kadar olan dolusavaklarda kullanılmasının yanı sıra birim debinin $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 'ye kadar artırılabilceği de savunulmuştur (Boes, 2012). SSB barajlar, klasik beton ile inşa edildiğinden bu barajların mansabına basamaklı dolusavakların inşa edilmesi oldukça ekonomik ve pratiktir (Frizell & Mefford, 1991). Ayrıca, basamaklı savaklar, akım içerisinde çözünmüş hava miktarının artmasıyla hem akarsu ekolojisine hem de kavitasyon riskine karşı olumlu bir etki sağlamaktadır. Bu sebeple basamaklı dolusavaklar, arıtma tesislerinde su içerisindeki oksijen miktarını arttırmak için de kullanılabilir (Chanson, 1998).

Ülkemizde, Aydın İlindeki Çine Çayı üzerine kurulan Adnan Menderes Barajı; sulama, enerji ve taşkın koruma amaçlarıyla 2010 yılında hizmete başlamıştır. SSB barajlar kategorisinde yer alan bu baraj, membada biriken taşkın sularını basamaklı dolusavaklar yardımıyla baraj mansabına aktarmaktadır (URL-1). İzmir'de, İlyas Çayı üzerinde 2011 yılında inşası tamamlanan Çaltıkoru Barajı da SSB tipi bir baraj olup gövdesi üzerine yerleştirilen basamaklı dolusavak ile su tahliyesi yapmaktadır (URL-2).

Basamaklı dolusavaklarda akım; içerisinde hava girişinin olduğu ve kinetik enerjinin sönmüldüğü şiddetli bir türbülans akımı olarak özetlenebilir (Özbek, 2009). Akımın basamaklara çarpması sonucu hızı azalacağından kinetik enerjisi, dolayısı ile momentumu azalacaktır. Bu sebepten, klasik şütlerdeki akım ile kıyaslandığında, basamaklı dolusavakların enerji sönmüleme oranları çok daha yüksektir (Rice & Kadavy, 1996).

Nap rejiminde akım, her bir basamağa çarparak içerisinde hava girmesiyle enerjisi sönmülenmektedir. Ayrıca basamakların uzun olması durumunda, basamak üzerinde oluşan hidrolik sıçramanın topuğunda da akımın enerjisi sönmülenebilmektedir. Sıçramalı akım durumunda ise debi arttıkça akım, basamakları makro pürüzlülük olarak algılayıp basamak uçlarında dolusavak tabanına paralel bir izafi taban oluşturmaktadır. Dolayısı ile nap akımı için kıstas, basamak yüksekliği; sıçramalı akım durumunda ise esas kriter düşü yüksekliğidir (Berkün, 2007; Felder vd., 2012).

Basamaklı dolusavaklarda düşük debi değerlerinde nap akımı, yüksek debi değerlerinde ise sıçramalı akım rejimi oluşmaktadır. İlk kez Ohtsu & Yasuda (1991) tarafından bu iki akım rejimi arasında bir geçiş rejimi olduğundan bahsedilmiştir. Nap akımı rejiminde, debi arttıkça akım içerisinde çözünen hava miktarı arttığından, belli bir değer sonunda sıçramalı akım rejimine geçiş olmaktadır. Sıçramalı akım rejiminde debi artması durumunda ise akımın her bir basamak üzerinde bulunma süresi azaldığından akım içerisinde çözünen hava miktarında da azalma olmaktadır (Berkün, 2007). Geçiş akım rejimi, nap akımı özelliğini kaybetmiş ancak sıçramalı akım özelliğini tam olarak kazanmamış akım tipidir. Çok fazla titreşim oluşması sebebiyle geçiş rejimi, tasarımcılar tarafından istenmeyen bir durumdur (Chanson, 1996).

Basamaklı dolusavaklarda akım rejimleri arasındaki geçiş sınırı için bazı araştırmacılar (Boes & Hager, 2003; Chanson, 2001) birtakım kriterler belirlemişlerdir. Chanson (2001), nap akım rejimi ile geçiş akım rejimi arasındaki sınırı Eşitlik (1), geçiş akım rejimi ile sıçramalı akım rejimi arasındaki sınırı Eşitlik (2) ile tanımlamıştır. Boes & Hager (2003) ise geçiş akım rejimi ile sıçramalı akım rejimi arasındaki sınır için Eşitlik (3)'ü önermişlerdir.

$$\frac{y_c}{h} = 0,89 - 0,40\left(\frac{h}{l}\right) \quad (1)$$

$$\frac{y_c}{h} = 1,20 - 0,325\left(\frac{h}{l}\right) \quad (2)$$

$$\frac{y_c}{h} = 0,91 - 0,14\tan(\alpha) \quad (3)$$

burada, y_c =kritik akım derinliği (m), α = şüt açısı, h = basamak yüksekliği (m) ve l =basamak uzunluğudur (m).

Yukarıda bahsedildiği üzere, basamaklı dolusavakların pratik ve ekonomik olması geçmişten günümüze birçok tasarımcının ve araştırmacının ilgisini çekmiştir. Basamaklı dolusavaklar ile alakalı ilk çalışmalarda; genellikle tasarım kriterleri, temel eşitliklerin geliştirilmesi ve uygulama alanlarında kullanılabilmesi için kılavuzlar oluşturulmuştur (Boes & Hager, 2003; Chanson, 1993, 2001; Essery, I. T. S., & Horner, 1971; Sorensen, 1985). Araştırmacıların bir kısmı, kutu gabyonlar kullanarak basamaklı dolusavaklar üzerindeki akım karakteristiklerini incelemişlerdir (Peyras vd., 1992; Wuthrich & Chanson, 2015; Zuhaira vd., 2020). Bir kısım araştırmacılar da basamaklı dolusavakların mansabında oluşan oyulmayı incelemişlerdir (Aminpour & Farhoudi, 2017; Eghlidi vd., 2020; Tuna & Emiroglu, 2013). Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) (Computational Fluid Dynamics-CFD) yöntemi, araştırmacıların ilgisini çekmiş ve basamaklı dolusavaklar üzerinde yapılan sayısal çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmıştır. Bu araştırmalarda genellikle farklı basamak geometrileri, basamak uçlarına yerleştirilen farklı geometrideki eşikler ya da farklı kanal açısına sahip şütler kullanılarak enerji sönmüleme oranları incelenmiştir (Arjenaki vd., 2020; Ashoor & Riazi, 2019; Azman vd., 2020; Ghaderi vd., 2020; Hekmatzadeh vd., 2018; Shicheng Li vd., 2020; Shuai Li vd., 2018; Mohammad vd., 2016; Reeve vd., 2019; Shahheydari vd., 2015; Stojnic vd., 2021; Tabbara vd., 2005; Thappeta vd., 2020; Zabaleta vd., 2020).

Bu çalışmada, literatürde olmayan, ters basamak geometrisindeki eşikler kullanılarak tasarlanan basamaklı savakların enerji sönmleme oranı Flow3D® yazılımı ile sayısal olarak incelenmiştir. Yazılımın doğrulanmasında Mero & Mitchell (2017) tarafından yürütülen klasik basamaklı savakların deneysel sonuçları kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sayısal Model

Sayısal çalışmadaki ilk aşama katı cisim tasarımı olduğundan bahse konu modelin oluşturulması için Solidworks yazılımı kullanılmış ve oluşturulan katı cisimler .stl uzantılı olarak Flow3D® yazılımına aktarılmıştır. Flow3D®, modellemeler için sonlu hacimler yöntemini (Volume of Fluid-VOF) ve FAVOR (Fractional Area-Volume Obstacle Representation) yöntemini kullanmaktadır. VOF metodu, serbest yüzeydeki akışkan davranışını göstermek için kullanılır. Sıvı içeren elemanlarda basınç, sıcaklık ve hız gibi akış değişkenlerinin her biri için sayısal değerler tutulur. Bu değerler, her bir öğedeki ortalama değer hacmini temsil eder. FAVOR metodu ise katı yüzeyler ve geometrik sınırlar gibi hacimleri analiz etmek için kullanılır. Problem geometrisi, her bir elemanın alan fraksiyonu ve hacim fraksiyonu hesaplanarak tanımlanır (Flow Science Incorporated, 2016).

Flow3D®, Navier-Stokes ve genel kütle denklemlerini kullanarak iki ya da üç boyutta çözümler yapabilmektedir. Genel olarak kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir (Flow Science Incorporated, 2016).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + X + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

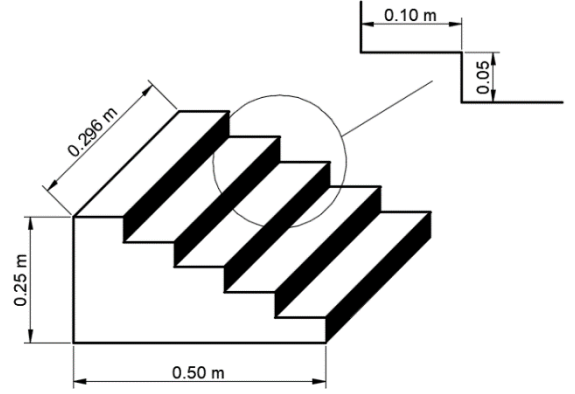
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + Y + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + Z + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

x , y ve z kartezyen koordinatlarına göre Navier-Stokes denklemlerinin açılımları verilmiştir. Burada ρ , akışkanın özgül kütlesi, p , basınç ve ν , kinematik viskozitedir. Denklemlerde belirtilen X , Y ve Z , ilgili eksenlerdeki kütleli ivmeyi göstermektedir. Düşey eksen (Z eksen) yerçekimi ivmesi etki ettiğinden $Z=9,81 \text{ m.s}^{-2}$ olarak alınırken diğer eksenlerde herhangi bir kütleli ivme tanımlanmamıştır.

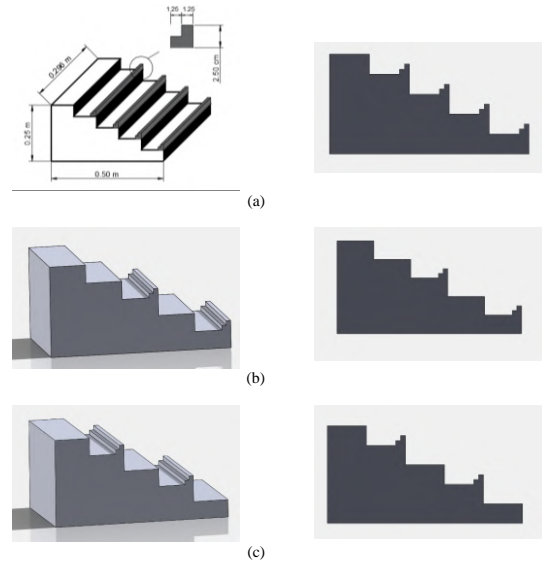
2.2. Geometrik Model

Sayısal çalışmanın doğrulanması için kullanılan deneysel çalışmadaki (Mero & Mitchell, 2017) modelin yüksekliği 0,25 m ve genişliği 0,296 m'dir. Toplamda beş basamaktan oluşan savagın her bir basamağının yüksekliği 0,05 m ve genişliği 0,10 m olmak üzere kanal açısı $26,6^\circ$ 'dir (Şekil 1).



Şekil 1. Mero & Mitchell (2017) tarafından tasarlanan model geometrisi

Yürütülen sayısal çalışmada, ters basamak geometrisindeki eşikler, farklı sıradaki basamaklara yerleştirilmiştir. Elde edilen üç farklı modelin, altı farklı debi altında enerji sönmleme oranları incelenmiştir. Tasarlanan ters basamaklı savaklarda kullanılan eşiklerin geometrisi Şekil 2(a)'da gösterilmiştir. Model 1'de, her bir basamak ucuna, toplamda 2,50 cm yüksekliğinde ve 1,25 cm basamak uzunluğunda eşikler yerleştirilmiştir. Model 2'de, Model 1'de kullanılan eşikler, birinci ve üçüncü basamaklara yerleştirilmiştir. Model 3'te ise eşikler, ikinci ve dördüncü basamağa yerleştirilerek analizler yürütülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Sayısal çalışma için tasarlanan modeller:

a) Model 1; b) Model 2 ve c) Model 3

Çalışma kapsamında, literatürde belirlenen (Boes & Hager, 2003; Chanson, 2001) kriterlere göre, üç farklı akım rejiminde de enerji sönmleme oranları incelenmiştir. Akım değerleri çok daha erken zamanda stabil hale gelmesine rağmen bütün modeller için analizler 10 saniye boyunca devam ettirilmiştir. Çalışmada (Mero & Mitchell, 2017) kullanılan hidrolik karakteristikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Hidrolik karakteristikler (Mero & Mitchell, 2017)

Q ($m^3.s^{-1}$)	$y_c=(q^2/g)^{1/3}$ (m)	Basamak yükseklği (h) (m)	Basamak uzunluğu (l) (m)	y_c/h	Akım rejimi
0,0121	0,055	0,05	0,10	1,109	Sıçramalı akım
0,00831	0,043	0,05	0,10	0,863	Sıçramalı akım
0,00684	0,038	0,05	0,10	0,758	Geçiş
0,00563	0,033	0,05	0,10	0,666	Nap akımı
0,00464	0,029	0,05	0,10	0,585	Nap akımı
0,00363	0,025	0,05	0,10	0,497	Nap akımı

2.3. Enerji Sönümlenme Oranı

Deneysel çalışmada (Mero & Mitchell, 2017), savak üzerindeki kritik akım derinliği kullanılarak toplam enerji yüksekliği hesaplanmıştır. Kanal, dikdörtgen olduğundan kritik akım derinliği için Eşitlik (7) kullanılmıştır.

$$q = \frac{Q}{B} \quad \text{ve} \quad y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (7)$$

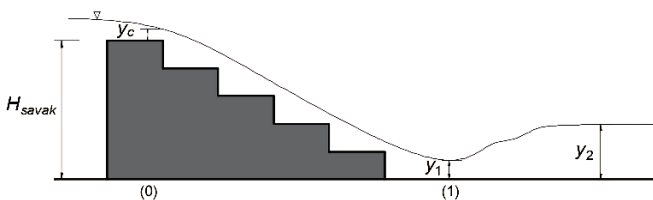
burada, y_c , savak üzerindeki kritik akım derinliği (m); Q , akım debisi ($m^3.s^{-1}$); q , birim debi ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$); B , kanal genişliği (m) ve g , yerçekimi ivmesidir ($m.s^{-2}$). Eşitlik (8-9) kullanılarak, Şekil 3'te gösterilen (0) ve (1) noktalarındaki enerjiler hesaplanmıştır. Daha sonra Eşitlik (10) kullanılarak iki nokta arasındaki enerji farkı hesaplanmıştır (Mero & Mitchell, 2017).

$$E_0 = H_{savak} + y_c + \frac{V_c^2}{2g} = H_{savak} + 1,50y_c \quad (8)$$

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (9)$$

$$E_L = E_0 - E_1 \quad (10)$$

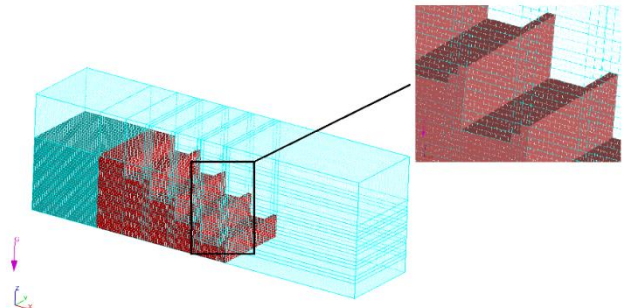
burada, E_0 , savak üzerindeki enerjiyi (m); H_{savak} , savak yüksekliğini (m); y_1 , mansap su derinliğini (m); V_c , kritik hızı ($m.s^{-1}$); V_1 , mansaptaki ortalama hızı ($m.s^{-1}$); E_1 , mansaptaki enerjiyi (m) ve E_L , memba ve mansap enerjilerinin farkını (m) ifade etmektedir.



Şekil 3. Savak boykesiti

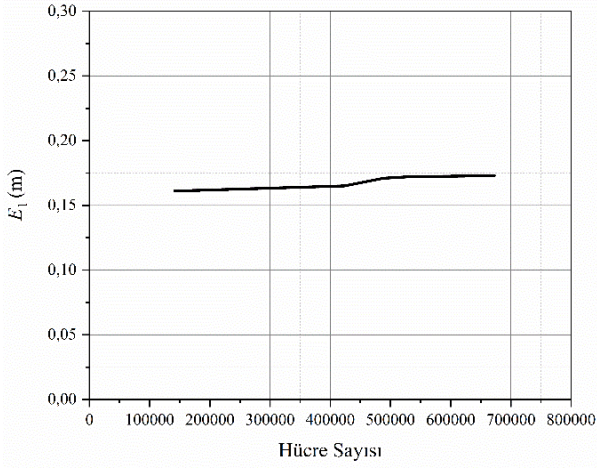
2.4. Çözüm Ağı ve Sınır Şartları

Sayısal çalışmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli unsur, çözüm ağı yapısıdır. Seçilen çözüm ağındaki hücre boyutları ne kadar küçülürse katı cisim o kadar geççeği yansıttığından elde edilecek sonuçlar da o kadar doğruya yakınsamaktadır. Ancak, çözüm ağındaki hücre boyutları küçüldükçe iterasyon sayısı arttığından çözüm süresi de artmaktadır. Dolayısı ile hücre sayısı arttıkça çok daha kapasiteli bilgisayarların kullanımı bir gereksinim haline gelmektedir. Bu sebeple, hücre boyutları optimize edilerek en uygun boyutlar seçilmelidir. Kullanılan modellerde bütün hücreleri aynı derece küçültmektense sadece detaylar üzerinde küçültme yapmak hem toplam hücre sayısını azaltmakta hem de simülasyon süresini kısaltmaktadır. Dolayısı ile, kullanılan katı cisimlerin net bir şekilde algılanabilmesi için hem basamak köşe noktalarında hem de eşik geometrisi üzerinde ekstra çözüm yüzeyleri oluşturularak çözüm ağı tasarlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Çözüm ağı yapısı

Model 1 için yürütülen deneme analizlerinde ilk etapta 141360 adet çözüm hücresi seçilerek analizler yürütülmüştür. Daha sonra boyutlar küçültülerek toplam hücre sayısı 672672'ye kadar artırılmıştır. Tablo 2'de de görüldüğü üzere, belli bir değerden sonra hücre sayısının artması sonucu çok fazla etkilemediğinden en büyük hücre boyutu 1,20 cm ve en küçük hücre boyutu 0,42 cm olarak belirlenerek toplamda 488670 adet çözüm hücresinin bu çalışma için yeterli olduğu kanaatine varılmıştır (Şekil 5).

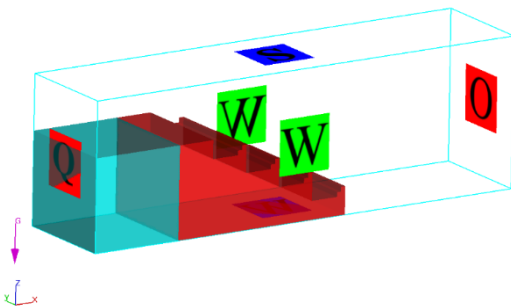


Şekil 5. Hücre sayısının mansaptaki enerji yüksekliğine etkisi (Model 1, $Q=0.0121 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Tablo 2. Toplam hücre sayısının enerji değişimine etkisi (Model 1, $Q=0.0121 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Çözüm ağı hücre boyutları (Maksimum-Minimum) (cm)	Toplam hücre sayısı	E_1 (Savak mansabındaki enerji) (m)
1,50-0,60	141360	0,161
1,40-0,42	423345	0,165
1,20-0,42	488670	0,171
1,10-0,41	526240	0,172
1,10-0,30	672672	0,173

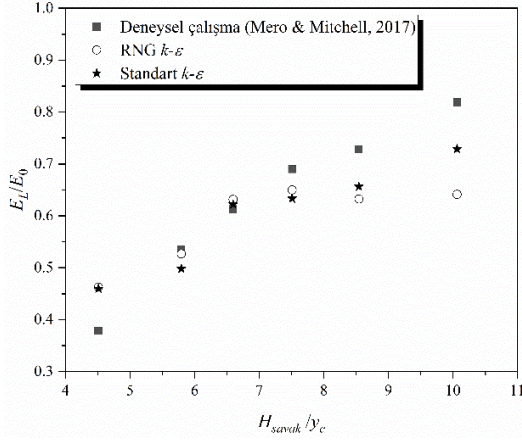
Deney düzeneğindeki fiziksel şartların simülasyona aktarılabilmesi için sınır şartlarının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Savak üzerinden birim zamanda sabit bir akımın geçebilmesi için x_{min} yüzeyine debi (Q) ve savak yüksekliği kadar su tanımlanmıştır. Tanımlanan debiye göre akım yüksekliği yazılım sayesinde otomatik olarak hesaplanmaktadır. Akımın, mansap kısmına birikmemesi için x_{max} yüzeyine çıkış (O), kanalın sağ ve sol yüzeyleri (y_{min} ve y_{max}) ile kanal tabanına duvar (W) sınır şartı tanımlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Sınır şartları

2.5. Sayısal Sonuçların Doğrulanması

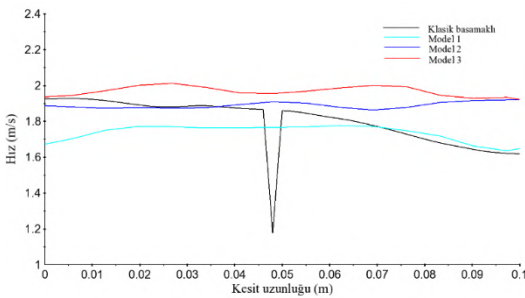
Sayısal sonuçları deneysel sonuçlarla (Mero & Mitchell, 2017) doğrulamak için RNG k-e ve Standart k-e türbülans modelleri kullanılmıştır. Sonuçlar kıyaslandığında, RNG k-e türbülans modelinde hata oranlarının %20'leri aştığı görülmektedir (Şekil 7). Bu değerlerdeki sapmaların, sayısal iterasyonlardaki hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Debi değerleri küçük olduğundan kesit boyunca sabit bir değer okumak oldukça zordur. Standart k-e modelinde ise kısmen sapmalar gözlenmekte olup kabul edilebilir düzeyde olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, standart k-e türbülans modelinin çalışma için daha uygun olduğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 7. Sayısal çalışmanın doğrulanması

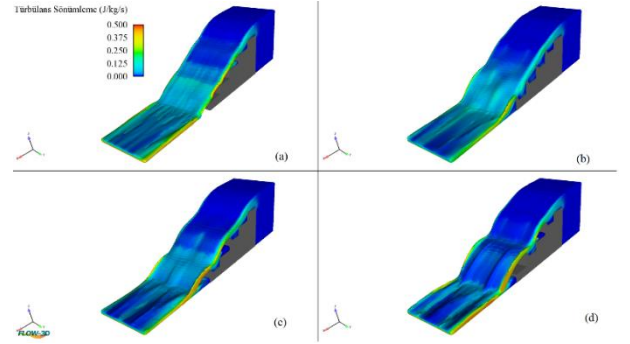
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Dolusavaklar, membadaki akımı mansaba güvenle aktarmak ile görevli elemanlardır. Bu yapıların membadaki akımın sahip olduğu potansiyel enerji, mansapta kinetik enerjiye dönüştüğünden mansaptaki akım hızının daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bu sebeple tasarımcılar, enerji kırııcı havuzun maliyetlerini düşürebilmek için basamaklı savakları kullanmışlardır. Bu çalışma kapsamında oluşturulan üç farklı model ile basamaklı savakların mansap hızlarının biraz daha düşürülmesi planlanmıştır. Şekil 8’de, $Q=0.0121 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ için, kanal en kesiti üçe bölünerek orta kısımdan okunan akım hız dağılımları gösterilmiştir. Model 1’in hız dağılımı, klasik basamaklı savakların hız dağılımının altında kalırken, Model 2 ve Model 3 için aynı durum söz konusu değildir. Model 1’de her bir basamak ucundaki eşiğe çarpan akım, hızını kaybederken Model 2 ve Model 3’te basamak ucundaki eşiğe çarpan akım sıçrayarak bir sonraki basamağa çarpmadan ilerlemektedir. Böylece, akım hızlanarak ilerlemektedir. Model 2 ve Model 3’ü kendi içlerinde kıyaslırsak, Model 2’nin son basamağında eşik olduğundan akım, enerjisinin bir kısmını bu basamakta bırakmaktadır. Model 3’te ise son basamak üzerinde eşik olmadığından bir önceki basamak ucundan sıçrayan akım direkt mansap havuzuna çarpmaktadır. Dolayısı ile en yüksek hız Model 3’ün mansabında, en düşük hız ise Model 1’in mansabında gözlenmiştir.

Şekil 8. $Q=0.0121 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ için kullanılan modellerin kanal enkesitindeki hız dağılımı

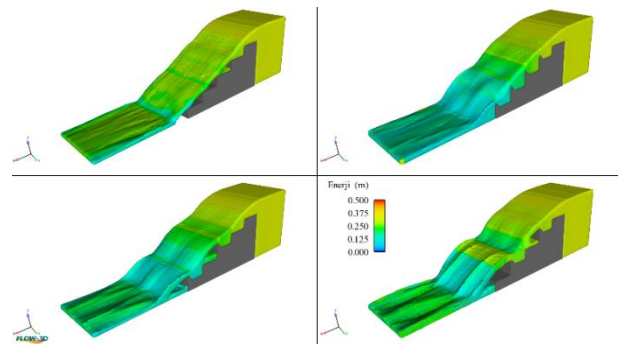
Türbülans sönümlenme değeri, akım içerisindeki çalkantıların ne denli sönümlendiğini gösteren bir kriterdir. Türbülans, hız ile doğru orantılı olduğundan savak üzerindeki

akımın türbülansı ne kadar sönümleniyorsa savak mansabındaki akım hızı da o kadar azalmaktadır. Dolayısı ile savak mansabında kalan enerji azalmaktadır. Sıçramalı akım durumunda, Model 1 üzerindeki akımda türbülans sönümlenme değerlerinin klasik basamaklı savağa kıyasla biraz daha erken başladığı görülmektedir (Şekil 9). Klasik basamaklı, Model 1 ve Model 2’nin türbülans sönümlenmeleri birbirine yakın görünmektedir. Ancak Model 3, üzerindeki renk dağılımından da görüldüğü üzere, türbülans sönümlenmede diğer modellerin gerisinde kalmaktadır. Ayrıca, eşikli savaklarda oluşan dalgılsu yüzü profili klasik basamaklı savaklarda gözlenmemektedir.



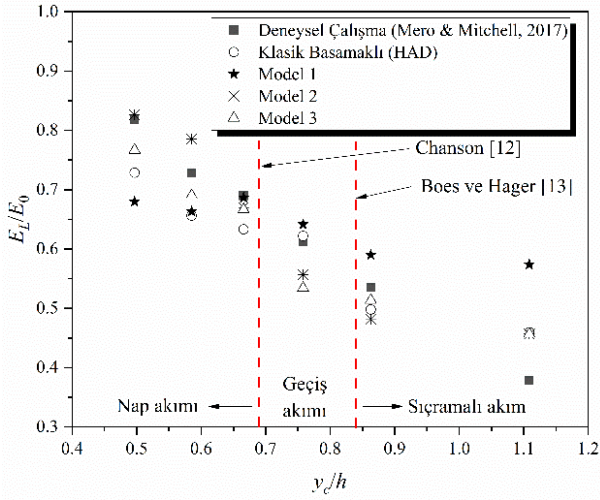
Şekil 9. $Q=0.0121 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ için üç boyutlu türbülans sönümlenme dağılımları:
a) klasik basamaklı savak; b) Model 1;
c) Model 2; d) Model 3

Şekil 10’da modellerin toplam enerjileri üç boyutlu olarak gösterilmiştir. Model 1’de, basamak ucundaki eşiklere çarpan akımın hızı azaldığından enerjisi diğer modellere kıyasla daha fazla sönümlenmiştir. Klasik basamaklı savak üzerindeki akım hızı yüksek olduğundan kanal üzerindeki akım yüksekliği daha düşüktür. Model 1’de ise akım hızı düştüğünden kanal üzerindeki akım yüksekliği daha fazla olmaktadır. Bu durum enerji sönümlenme açısından olumsuz bir durumdur. Model 2 ve 3’te basamak uçlarına eklenen eşikler, bir basamak boşluk bırakılarak tasarlandığından eşiklere çarpan akım sıçrayarak bir sonraki basamağa çarpmadan ilerlemektedir. Özellikle Model 3’te son eşiğe çarpan akım bir sonraki basamağa çarpmadan mansap havuzuna düştüğünden ve akım hızı gerektiği kadar azalmadığından mansaptaki enerji miktarında da beklenen azalma gözlenmemiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Farklı modeller üzerinden savaklanan akımın enerji dağılımı: a) klasik basamaklı savak; b) Model 1;
c) Model 2; d) Model 3

Bu çalışma kapsamında kullanılan debiler sayesinde nap, geçiş ve sıçramalı akım rejimlerini görmek mümkün olmaktadır. Şekil 11’de, çalışma kapsamındaki basamaklı savakların enerji sönümlenme oranlarının boyutsuz kritik akım derinliğine (y_c/h) göre değişimi incelenmiştir. Akım rejim sınırları, literatürde verilen eşitlikler yardımıyla elde edilmiştir (Boes & Hager, 2003; Chanson, 2001). Buna göre, boyutsuz kritik akım derinliğinin artmasıyla, yani debinin artmasıyla, sönümlenme oranlarında genellikle azalma olduğu görülmektedir. Sıçramalı akım durumunda, Model 1 ile klasik basamaklı savak arasındaki sönümlenme farkı maksimum %18 civarlarında iken nap akım rejimine doğru sönümlenme farkı da azalmaktadır. Sıçramalı akım rejiminde basamak ucundaki eşiklere çarpan akım, enerjisinin bir kısmını kaybetmektedir. Dolusavaklarda taşkın debileri ya da rezervuarda biriken ihtiyaç fazlası suların sıçramalı akım şartlarını taşıdığı düşünülürse, her bir basamak ucuna eklenen ters basamaklı eşiklerin akım enerjisini sönümlenmede olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Model 2 ve 3’ün sıçramalı akım şartlarında akım enerjisini sönümlenmede başarılı olmadığı görülmektedir.



Şekil 11. Kullanılan modellerin enerji sönümlenme oranlarının boyutsuz kritik akım derinliğine oranı

4. Sonuç

Çalışma kapsamında, ters basamaklı eşikler kullanılarak oluşturulan basamaklı savakların enerji sönümlenme oranları Flow3D® yazılımı ile sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal modelin doğrulanması için Mero & Mitchell (2017) tarafından tasarlanan klasik basamaklı dolusavak modeli kullanılmıştır. Altı farklı debi altında üç farklı model kullanılarak toplamda 18 adet analiz yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, birer basamak boşluk bırakılarak yerleştirilen eşikli modellerin, sıçramalı akım şartlarında, enerji sönümlenmede başarılı olmadığı, her bir basamak ucuna yerleştirilen ters basamaklı eşiklerin klasik basamaklı savaklara oranla %18’e kadar daha fazla enerji sönümleyebildiği, debinin azalmasına bağlı olarak sönümlenme oranları arasındaki farkın düştüğü, debi artışıyla birlikte enerji sönümlenme oranının genellikle azaldığı ve bu durumun literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu kanaatine varılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan Flow3D® (v11.2) ve Solidworks yazılımları için Fırat Üniversitesi’ne teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Aminpour, Y., & Farhoudi, J. (2017). Similarity of Local Scour Profiles Downstream of Stepped Spillways. *International Journal of Civil Engineering*, 15(5), 763–774. <https://doi.org/10.1007/s40999-017-0168-9>
- Arjenaki, M. O., Hamed, , & Sanayei, R. Z. (2020). Numerical investigation of energy dissipation rate in stepped spillways with lateral slopes using experimental model development approach. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 605–616. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00714-z>
- Ashoor, A., & Riazi, A. (2019). Stepped Spillways and Energy Dissipation: A Non-Uniform Step Length Approach. *Applied Sciences*, 9(23), 5071. <https://doi.org/10.3390/app9235071>
- Azman, A., Ng, F. C., Zawawi, M. H., Abas, A., Rozainy M. A. Z, M. R., Abustan, I., Adlan, M. N., & Tam, W. L. (2020). Effect of Barrier Height on the Design of Stepped Spillway Using Smoothed Particle Hydrodynamics and Particle Image Velocimetry. *KSCIE Journal of Civil Engineering*, 24(2), 451–470. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1605-x>
- Berkün, M. (2007). *Su Yapıları*. Birsan Yayınevi.
- Boes, R. M. (2012). Guidelines on the design and hydraulic characteristics of stepped spillways. *Proceedings of the 24th ICOLD Congress on Large Dams*, 203–220.
- Boes, R. M., & Hager, W. H. (2003). Hydraulic Design of Stepped Spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(9), 671–679. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2003\)129:9\(671\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2003)129:9(671))
- Chanson. (1993). Stepped spillway flows and air entrainment. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20(3), 422–435. <https://doi.org/10.1139/ajce-2003-019-057>
- Chanson. (1996). Prediction of the transition nappe/skimming flow on a stepped channel. *Journal of Hydraulic Research*, 34(3), 421–429. <https://doi.org/10.1080/00221689609498490>
- Chanson. (1998). Review of studies on stepped channel flows. *Workshop on Flow Characteristics around Hydraulic Structures and River Environment*, 25.
- Chanson. (2001). *Hydraulic Design of Stepped Spillways and Downstream Energy Dissipators*. Dam Engineering.
- Eghlidi, E., Barani, G. A., & Qaderi, K. (2020). Laboratory Investigation of Stilling Basin Slope Effect on Bed Scour at Downstream of Stepped Spillway: Physical Modeling of Javeh RCC Dam. *Water Resources Management*, 34(1), 87–100. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02395-5>
- Essery, I. T. S., & Horner, M. W. (1971). *The Hydraulic Design of Stepped Spillways*. Construction Industry Research and Information Association.
- Felder, S., Fromm, C., & Chanson, H. (2012). *THE UNIVERSITY OF QUEENSLAND REPORT CH86/12 AIR ENTRAINMENT AND ENERGY DISSIPATION ON A 8.9° SLOPE STEPPED SPILLWAY WITH FLAT AND POOLED STEPS SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING*.
- Flow Science Incorporated. (2016). *FLOW-3D Users Manual* (11.2). <https://www.flow3d.com/>
- Frizell, K. H., & Mefford, B. W. (1991). Designing Spillways to Prevent Cavitation Damage. *Concrete International*, 13(5), 58–64.
- Ghaderi, A., Abbasi, S., Abraham, J., & Azamathulla, H. M.

- (2020). Efficiency of Trapezoidal Labyrinth Shaped stepped spillways. *Flow Measurement and Instrumentation*, 72, 101711. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2020.101711>
- Hekmatzadeh, A. A., Papari, S., & Amiri, S. M. (2018). Investigation of Energy Dissipation on Various Configurations of Stepped Spillways Considering Several RANS Turbulence Models. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 42(2), 97–109. <https://doi.org/10.1007/s40996-017-0085-9>
- Li, Shicheng, Yang, J., & Li, Q. (2020). Numerical Modelling of Air-Water Flows over a Stepped Spillway with Chamfers and Cavity Blockages. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(1), 99–109. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1115-x>
- Li, Shuai, Zhang, J., & Xu, W. (2018). Numerical investigation of air-water flow properties over steep flat and pooled stepped spillways. *Journal of Hydraulic Research*, 56(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/00221686.2017.1286393>
- Mero, S., & Mitchell, S. (2017). Investigation of energy dissipation and flow regime over various forms of stepped spillways. *Water and Environment Journal*, 31(1), 127–137. <https://doi.org/10.1111/wej.12224>
- Mohammad, M., Tabari, R., & Tavakoli, S. (2016). Effects of Stepped Spillway Geometry on Flow Pattern and Energy Dissipation. *Arab J Sci Eng*, 41, 1215–1224. <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1874-8>
- Ohtsu, I., & Yasuda, Y. (1991). Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop. *Journal of Hydraulic Research*, 29(2), 309–328. <https://doi.org/10.1080/00221689109498436>
- Özbek, T. (2009). *Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar*. Teknik Yayınevi.
- Peyras, L., Royet, P., & Degoutte, G. (1992). Flow and Energy Dissipation over Stepped Gabion Weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(5), 707–717. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1992\)118:5\(707\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1992)118:5(707))
- Reeve, D. E., Zuhaira, A. A., & Karunarathna, H. (2019). Computational investigation of hydraulic performance variation with geometry in gabion stepped spillways. *Water Science and Engineering*, 12(1), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.04.002>
- Rice, C. E., & Kadavy, K. C. (1996). Model Study of a Roller Compacted Concrete Stepped Spillway. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(6), 292–297. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1996\)122:6\(292\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1996)122:6(292))
- Shahheydari, H., Nodoshan, J., Barati, R., & Moghadam, M. A. (2015). Discharge Coefficient and Energy Dissipation over Stepped Spillway under Skimming Flow Regime. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(4), 1174–1182. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0749-3>
- Sorensen, R. M. (1985). Stepped Spillway Hydraulic Model Investigation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(12), 1461–1472. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1985\)111:12\(1461\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1985)111:12(1461))
- Stojnic, I., Pfister, M., Matos, J., & Schleiss, A. J. (2021). Effect of 30-Degree Sloping Smooth and Stepped Chute Approach Flow on the Performance of a Classical Stilling Basin. *Journal of Hydraulic Engineering*, 147(2), 04020097. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0001840](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001840)
- Tabbara, M., Chatila, J., & Awwad, R. (2005). Computational simulation of flow over stepped spillways. *Computers and Structures*, 83(27), 2215–2224. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2005.04.005>
- Thappeta, S. K., Bhallamudi, S. M., Chandra, V., Fiener, P., & Baki, A. B. M. (2020). Energy Loss in Steep Open Channels with Step-Pools. *Water*, 13(1), 72. <https://doi.org/10.3390/w13010072>
- Tuna, M. C., & Emiroglu, M. E. (2013). Effect of Step Geometry on Local Scour Downstream of Stepped Chutes. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(3), 579–588. <https://doi.org/10.1007/s13369-012-0335-x>
- Wuthrich, D., & Chanson, H. (2015). Aeration performances of a gabion stepped weir with and without capping. *Environmental Fluid Mechanics*, 15(4), 711–730. <https://doi.org/10.1007/s10652-014-9377-9>
- Zabaleta, F., Bombardelli, F. A., & Toro, J. P. (2020). Towards an understanding of the mechanisms leading to air entrainment in the skimming flow over stepped spillways. *Environmental Fluid Mechanics*, 20(2), 375–392. <https://doi.org/10.1007/s10652-019-09729-2>
- Zuhaira, A. A., Horrillo-Caraballo, J. M., Karunarathna, H., & Reeve, D. E. (2020). Investigating skimming flow conditions over stepped spillways using particle image velocimetry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 888(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/888/1/012023>
- URL-1-Adnan Menderes Barajı - *Vikipedi*. Retrieved March 6, 2021, from https://tr.wikipedia.org/wiki/Adnan_Menderes_Barajı
- URL-2-Çaltıkoru Barajı - *Vikipedi*. Retrieved March 6, 2021, from https://tr.wikipedia.org/wiki/Çaltıkoru_Barajı



Örnek Bir Binanın Isıl ve Çevresel Performansının Autodesk Revit Simülasyon Programı ile Analizi

Dilara Aytürk Tulukcu^{1*}, Murat Oral²

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7279-2671), dilaraytrk@gmail.com

² Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4848-5417), moral@ktun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 24 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 9 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.799365)

ATIF/REFERENCE: Aytürk Tulukcu, D. & Oral, M. (2021). Örnek Bir Binanın Isıl ve Çevresel Performansının Autodesk Revit Simülasyon Programı ile Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 197-206.

Öz

Enerji, ekonomik ve toplumsal gelişmenin birincil kaynağıdır ve teknolojik, demografik gelişmelere paralel olarak enerjiye olan talep artmaktadır. Bu nedenle geleceğin sağlıklı bir şekilde planlanabilmesi için var olan enerjinin korunumu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi üzerine 'enerji etkin tasarım' kavramının projelere entegre edilmesi gerekmektedir. Çalışma, enerji etkin tasarıma ulaşma yollarını göstermesi açısından önemlidir. Çalışmada enerji etkin tasarım kavramı, Autodesk Revit programı yardımıyla Tip bir İlköğretim Okulu üzerinde detaylı olarak ele alınmıştır. **Amaç:** Amaç, gerek erken tasarım evresinde öngörülen kriterler çerçevesinde gerekse mevcut binalar üzerinde durum etüdü ile enerji tüketim verilerinin incelenerek, tespit edilen problemlerin iyileştirilmesine yönelik pasif sistemlerden en üst düzeyde fayda sağlamaktır. Böylelikle aktif sistemler üzerindeki yük azaltılarak enerji tüketimi en düşük seviyeye inecektir. **Method:** Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama; enerji tüketimi, enerji etkin yapı tasarımı, yapı bilgi modelleme, enerji simülasyonu kavramlarının literatür tarama yöntemi ile açıklanmasıdır. İkinci aşama ise; literatür taraması ile açıklanan kavramların bir ilköğretim yapısı üzerinden, Autodesk Revit Simülasyon Programı kullanılarak uygulamalı bir şekilde anlatılmasıdır. Üçüncü aşama Türkiye'de görülen farklı iklim bölgelerini temsilen seçilen beş ilde gerçekleştirilen simülasyonların sonuçlarının kıyaslanmasıdır. **Bulgular:** Bu bölümde örnek olarak Konya ili özelinde detaylı bir şekilde açıklanan enerji simülasyonu çıktılarına dair bulgulardan bahsedilmiştir. Analiz sonuçları kapsamında; sıcaklık ve rüzgar verilerine göre pencerelerin güneye yönlendirilmesi olumlu, bir koridordan karşılıklı iki sınıfa geçiş olması nedeniyle diğer sınıf pencerelerinin kuzeye yönlendirilmek durumunda kalması olumsuz bulunmuştur. Yapı yüksekliği; yapının fonksiyonu ve yapının daha fazla ısı kaybına maruz kalmaması açısından olumludur. Aylık enerji kullanımının önemli bir kısmını HVAC (ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme) sistemleri oluşturduğu için en çok bu konu üzerinde durulmalıdır. Bunun için binanın kısa aksı hakim rüzgar yönüne verilerek havalandırma doğal yoldan artırılmalı; ısıtma ve soğutma yükü duvarlardan kaynaklandığından termal özellikleri daha yüksek bir duvar malzemesi ya da ısı yalıtım malzemesi kullanılmalıdır. Güneş ışımasını kazanabilmek için yüksek ısı yalıtımına sahip camlar seçilmek üzere pencere oranları artırılmalı aynı zamanda binanın uzun aksı doğu-batı eksenine çevrilmelidir. Ortalama nem oranları iklimin kuru olduğunu göstermektedir. Oluşturulan detaylardaki nem bariyerleri, maliyeti azaltmak adına düşük yoğunlukta tercih edilmelidir. Karbon emisyonunu azaltmak için arazinin ağaçlandırılmasının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneliminin artırılması gerektiği saptanmıştır. **Sonuç:** Bu çalışma tip bir projenin, enerji verimi açısından; arazinin iklim tipine bağlı olarak bulunduğu konum, topografya, etrafındaki yapılaşma, bölgede kullanılan enerji araçları gibi etkenlerdeki değişimlerden dolayı kabul edilemez olduğunu göstermektedir. Ayrıca günümüz teknolojilerinden faydalanmak üzere yapılan tasarımların daha hızlı, ekonomik ve enerji korunumunda etkili olduğu yargısına ulaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkinlik, Revit, Yapı bilgi modellemesi.

* Sorumlu Yazar: Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7279-2671, dilaraytrk@gmail.com

Analysis of Thermal and Environmental Performance of a Sample Building with Autodesk Revit Simulation Program

Abstract

Energy is the primary source of economic and social development and the demand for energy increases in parallel with the development. Energy resources are running out day by day and the concept of de energy efficient design needs to be integrated into the projects in order to preserve the existing energy and to develop renewable energy resources in order to plan the future in a healthy way. The study is important in terms of showing the ways to reach energy efficient design.

Energy efficient design concept is discussed in detail with the help of Autodesk Revit program. **Aim:** This study is to provide maximum benefit from the passive systems for the improvement of the detected problems by examining the situation studies and the energy consumption data on the existing buildings in the framework of the criteria given in the early design phase. This will reduce the load on the active systems and reduce energy consumption to the lowest level. **Method:** The study consists of three phases. First stage; energy consumption, energy efficient structure design, and the definition of energy simulation are explained by literature review method. The second stage is; the concepts described in the literature survey are described over an elementary school structure using the Autodesk Revit Simulation Program. The third stage is the comparison of the results of the application study conducted in different climatic zones. **Results:** In this study, it was found favorable to direct the windows to the south according to temperature and wind data. Since the two classroom of a single corridor , the orientation of the other classes to the north is found to be negative. The elevation is in terms of the function of the structure and not to be exposed to further heat loss. Since a significant portion of the monthly energy use is made up of HVAC systems, the natural ventilation should be provided by directing the building's short axis to the prevailing wind. A higher wall material or thermal insulation material should be used as the heating and cooling load is welded from the walls. In order to gain solar radiation, the windows must be selected the windows with high thermal insulation and at the same time the long axis of the building must be turned to the east-west axis. Average humidity levels indicate that the climate is dry. The moisture barriers created should be preferred at low density to reduce cost. In order to reduce carbon emissions, it has been determined that the land should be reforested as well as increasing its orientation towards renewable energy sources. **Conclusion:** This study shows that a type of project is unacceptable in terms of energy efficiency, location due to climate type of the land, topography, formation around it, changes in factors such as energy tools used in the region. It has been reached to the conclusion that the designs made to benefit from today's technologies are faster, economical and energy conservation effective.

Keywords: Energy efficient, Revit, Building information modeling.

1. Giriş

Toplumların gelişip büyümesine paralel olarak doğal enerji kaynakları hızla tükenmekte, enerji tüketimi sonucu açığa çıkan atıklar ile doğal çevre tahrip edilmektedir. Küresel ısınma, çevre kirliliği, karbondioksit salınımı gibi sonuçlar; yüksek oranda yapım organizasyonları ile ilişkili olduğundan mimarlık biliminde de; ekoloji, sürdürülebilirlik, çevresel tasarım, akıllı yapı, enerji verimliliği, enerji korunumu, enerji etkin tasarım ve yeşil mimari gibi pek çok yeni kavramın ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Çalışma kapsamında ele alınan 'enerji etkin yapı tasarımı' kavramı, tasarım aşamalarında fiziksel çevre koşullarını dikkate alarak enerjiyi daha verimli kullanmaya yönelik tasarım yapılması ve yaşam döngüsü boyunca binanın enerji verimliliği sağlaması olarak tanımlanabilir. Tasarımın uygulamaya entegre edilmesi sistematığı YBM (yapı bilgi modelleme) olarak adlandırılmaktadır. YBM sistemi, yapının görünür ve işlevsel niteliklerinin özümlediği sayısal bir prototipin oluşturulma ve doğru kararlarla yönetilme sürecidir. YBM sistemlerine göre hazırlanmış yazılımlar, yapıların performansını ölçen simülasyon ortamları sunmaktadır. Bu yazılımlar aracılığıyla enerji etkin tasarımlar hayata geçirilebilmektedir.

Enerji etkin tasarım kavramının yapıya entegre edilmesiyle, binaların üst seviyede performans gösteren pasif sistemlerden faydalanacak şekilde tasarlanmaları, böylelikle aktif sistemlerin enerji yükü hafifletilerek enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı hedeflenmektedir. Bu hedeflere yönelik; enerji tüketiminde büyük önem arz eden aynı zamanda bireylerin pek çok alışkanlıkları edindikleri mekanlar olduğundan ilköğretim okulları çalışma alanı olarak seçilmiştir. Aynı zamanda bu mekanlar, topluma enerji verimliliği, enerji korunumu konusunda bilinç kazandırmak adına öğretilen teorik bilgilerin deneyimlenebildiği bir laboratuvar görevi üstlenecektir. Bu amaca yönelik, çalışma alanı olan ilköğretim okulunun analiz sonuçları önce yapının kendi içinde yorumlanmış daha sonra farklı iklim bölgelerinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlara göre, yapının iyileştirme stratejilerine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; enerji etkin yapı tasarımı, YBM, enerji simülasyonu tanımları literatür tarama yöntemi ile açıklanmıştır.

İkinci aşamada ise; literatür taraması ile açıklanan kavramların bir ilköğretim yapısı üzerinden, Autodesk Revit Simülasyon Programı kullanılarak uygulamalı bir şekilde anlatılmıştır. Autodesk Revit 3B (üç boyutlu) YBM yazılımı, üç boyutlu nesne tabanlı modeller kullanarak, analiz çıktıları ile birlikte, kullanıcılara tasarladıkları yapının çevreye etkisini tahmin etme imkanı sağlamaktadır.

Üçüncü aşamada, farklı iklim bölgelerinde uygulanan simülasyon sonuçları kıyaslanmıştır. Çıkan sonuçların incelenmesi ile aynı yapının farklı iklim bölgelerinde farklı sonuçlar açığa çıkardığı belirlenmiştir.

2.1. Literatür Taraması

2.1.1. Enerji Etkin Yapı Tasarımı

Binalardaki enerji tüketimi ve bunlara bağlı sera gazı emisyonları son yıllarda benzeri görülmemiş bir şekilde artmış, kentin karşılaştığı bu ortak sorun için inşaat uzmanları, çevre araştırmacıları ve şehir plancıları enerji verimliliğine ulaşmanın yollarını aramaya başlamıştır (Katal vd., 2019:20). Bununla birlikte, yeni teknolojiler oluşturma, enerji standartlarını güncelleme gibi farklı yöntemler ve mevcut binalar üzerindeki enerji yönetimi politikalarının değiştirilmesi gibi yollarla enerji verimliliği sağlanmaya çalışılmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yapılan araştırmaya göre, binalarda % 40'a varan potansiyel enerji tasarrufu, erken tasarım aşamasında elde edilebilir (Li vd., 2019:25).

Enerji etkin yapı tasarımı, mimari tasarım aşamalarında fiziksel çevre koşullarını dikkate alarak enerjiyi daha verimli kullanmaya yönelik tasarım yapılması olarak tanımlanabilir. Yapıya uygun aktif ve pasif sistemlerin oluşturularak ısıtma, soğutma, havalandırma, doğal aydınlatma gibi konularda yapı etkinliğini artırmaya ve enerjiyi verimli kullanmaya yönelik tasarım ölçütlerinin belirlenmesi ve bu kapsamda mimari tasarımların iyileştirilmesi ve geliştirilmesini gerektirir (Dikmen, 2011: 37).

Enerji etkin yapı tasarım süreci;

-Bütünleşik bir tasarım olması ve yapının her evresinde; tüm malzeme ve sistem seçimlerinde, kullanımı, bakımı, işletimi ve yönetiminde göz önünde bulundurulması;

-Yapının sahip olması gereken özellikler azaltılmadan enerji tüketiminin bireysel ve toplumsal fayda sağlayacak şekilde azaltılması;

-Yapının bulunduğu çevreye aidiyetinin sağlanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji korunum önlemlerinin alınması; bakımından diğer tasarım süreçlerinden farklılaşmaktadır.

Enerji verimli tasarım sağlamak için pasif enerji stratejileri ve aktif enerji stratejileri olmak üzere iki ana strateji vardır. Pasif sistem tasarımında, enerji ihtiyaç duyulan alanlarda saklanır ve dolaştırılır. Pasif sistem tasarımı stratejilerine dayalı olarak tasarlanan bir binada, doğal aydınlatma, doğal havalandırma gibi etmenlerin doğru kanalize edilmesi gerekmektedir. Bunun yanında aynı prensiplerle çalışan ancak karmaşık sistemlerle dolaylı enerji girdilerine ihtiyaç olan tasarımlar da, aktif sistem stratejileri olarak ayrılır (İvriz, 2009: 14). Deneysel çalışma kapsamında elde edeceğimiz sonuçlar arasında pasif ve aktif sistem stratejilerine yer verilmekle birlikte pasif sistem stratejileri öncelikli olmaktadır.

2.1.2. Yapı Bilgi Modellemesi ve Enerji Simülasyonları

Günümüzde, farklı sektörlerde pek çok disiplini besleyecek çeşitli teknolojiler bulunmaktadır. Bu sektörlerden birisi de bilgi teknolojileri kullanımının ivme kazandığı inşaat sektörüdür. Bu teknolojiler, üç boyutlu grafiklerden bilgisayar destekli uygulamalara, tasarım yönetiminden yapı işletmesine kadar farklı alanlarda kullanılmaktadır (Keleş, 2018: 5). Mimarlık alanında bu gelişmelerle birlikte performans tabanlı tasarım anlayışı gelişmiştir. Performansa dayalı bina tasarımı; hedef performans beyanlarına göre belirlenen tasarım problemiyle başlayan, tasarım üretme eylemini, kritik karar verme noktalarını ve değerlendirme yöntemlerini de içeren ve paydaşların geniş katılımıyla ilerleyen bir süreçtir (Sayın, 2014:180). Bu çalışmada

performansa dayalı bina tasarım anlayışını besleyen ve son yıllarda kullanılmaya başlanan yapı bilgi modelleme sistemi ile bir enerji analizi elde edilecek ve sonuçları detaylı olarak incelenecektir.

Yapı bilgi modelleme sistemi, yapının görünür ve işlevsel niteliklerinin özümlediği sayısal bir prototipin oluşturulması ve doğru kararlarla yönetilme sürecidir. Performans kriterlerinin form, malzeme ve teknik sistemler üzerindeki bağımlılıklarını değerlendirmek için, bina performans değerlendirmesinin tasarım sürecine sorunsuz bir şekilde entegre edilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımda, çok disiplinli bilgiyi depolamak için bilgi modelleri oluşturma yeteneği, performans hesaplamaları için gerekli parametrelere erişmek üzere kullanılmaktadır (Schlueter and Thesseling; 2008:10).

YBM tüm tanımlarından ayrı olarak, tüm yaşam döngüsü boyunca bilgi üretme, yönetme, aktarma ve görselleştirme yollarını geliştirerek AEC (Mimarlık, Mühendislik, Strüktür) endüstrilerindeki gelişmeleri ve değişimleri vaat eden yeni bir teknolojidir (Salah; 2014:13). YBM, ihtiyaç duyulan proje maliyetini ve süresini azaltabilir, verimliliği ve proje kalitesini artıran dokümantasyon, tasarım süreci ve proje ekibi işbirliğini geliştirir (Yanksari, 2020:12).

YBM bir yazılım değil, bilgi yönetim sistemidir ve bu sisteme göre hazırlanmış birçok yazılım-simülasyon bulunmaktadır. "Benzeşim" olarak da türkçeleştirilebilen simülasyon, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek ve analiz etmek üzere bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanabilir (Harputlugil, 2014:144). Son 30 yılda birçok farklı bina simülasyon aracı geliştirilmiştir. Simülasyon araçlarının kullanımı, model gerçekçiliği, girdi parametreleri, stokastik süreçler, simülasyon programı kabiliyetleri ve tasarım varyasyonları gibi çok fazla konuya değinmesi gereken oldukça zor bir süreçtir. Bu nedenle, ihtiyaç duyulan modelin farkında olmak ve proje için en uygun simülasyon aracını seçmek önemlidir (Sav,2018:37). Bu çalışmada enerji simülasyonu için Autodesk Revit programı kullanılacaktır.

Bina enerji simülasyon araçlarını birbirine göre doğrulamak için birçok doğrulama yöntemi mevcuttur (Bayram,2015:32). Çalışmanın güvenilirliği açısından bu doğrulamaları gerçekleştirmek önemlidir. Bu kapsamda çalışmada ortaya çıkan Revit enerji analiz sonuçları da IEA tarafından her yıl açıklanan sayısal verilerin aralığında değerlendirilmiştir.

2.1.3. Autodesk Revit Enerji Simülasyon Programı

Autodesk Revit yazılımı, üç boyutlu nesne tabanlı modeller kullanarak, daha kaliteli ve enerji verimliliği daha yüksek yapılar tasarlanmasına olanak sağlamaktadır. Binanın enerji tüketimi ve atık üretimini hesaplayarak, kullanıcıya her ikisini de azaltma imkanı sunar. Dijital prototip üzerinden tasarımların çevreye etkisi, yapı uygulanmadan önce belirlenebilmektedir.

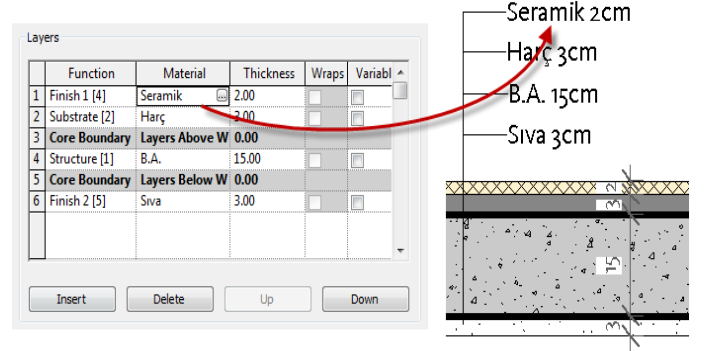
Programın üç temel özelliği vardır:

1-Yapıyı tarifleyen bilgilerin oluşturulduğu bir dijital veri tabanı ile çalışır.

2-Değişiklikler bu veri tabanında yapıldığı için, veri tabanından türetilen tüm belgelere aynı zamanda (kesitler, analizler, vs.) yansır.

3-Tasarım sürecinde elde edilen tüm bilgiler, daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Bu bilgi deposu tüm disiplinler tarafından kullanılabilir (Özcan, 2010: 17-18).

Revit'te analizlerin gerçeği yansıtması için, bina modelinin doğru oluşturulması gerekir. Akıllı nesnelerin parametreleri ve malzemeler programa ayrıntılı bir şekilde işlenmeli, programın yanlış, eksik sonuç vermesi engellenmelidir (Steneng, 2020:2) (Şekil 1).



Şekil 1. Yapı Elemanlarının Katmanlarının Oluşturulması

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Tip İlköğretim Okulu Enerji Analiz Çıktılarının İncelenmesi

Çalışma alanı olarak Konya ili Selçuklu ilçesinde bulunan tip 32 derslikli, kapalı alanı 4.500 m² olan bir ilköğretim okulu seçilmiştir (Şekil 2). Bu tip proje, ülkenin ihtiyaç olan her bölgesinde Milli Eğitim Bakanlığınca Valilikler tarafından uygulanmaktadır. Proje, bodrum kat dahil olmak üzere toplam dört kat ve çatı arasından oluşmaktadır. Bina araziye, geniş aksı kuzey-güney yönüne kısa aksı doğu-batı yönüne gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

Proje revit programına aktarılırken enerji analizinin doğru şekillenebilmesi için mimari, statik ve mekanik projeleri incelenmiştir. Projede verilen detaylardaki yapı elemanlarının katmanları, programda termal ve fiziksel özellikleriyle beraber gerçek değerleriyle oluşturulmuştur. Modelleme tamamlandıktan sonra enerji analiz sonuçlarını elde edebilmek için simülasyon ayarları düzenlenmiştir. Konum olarak Konya, yapı türü olarak okullar, termal özellikler dahil olacak şekilde tüm bina parametreleriyle, günün 8 saati kullanılmak üzere ayarlar yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen çıktılar aşağıda incelenmiştir.



Şekil 2. Seçilen İlköğretim Okulunun Üç Boyutlu Modellemesi

1. Yapı Performans Faktörleri / Building Performance Factors

Bu grafik (Şekil 3) analiz edilen modelin enerji tüketimini etkileyen başlıca faktörleri özetler. Bunlar; konum, analizde ihtiyaç duyulan verilerin alındığı meteoroloji istasyonunun bilgisi, bina taban alanı, dış ortam temaslı duvar alanı, ortalama aydınlatma gücü, bina genelinde kapalı alan başına elektrik enerjisi veren Watt ortalaması, kullanıcı, pencere oranı (pencere alanının brüt duvar alanına oranı), kullanılan elektriğin kw/h fiyatı, kullanılan yakıtın metre-küp fiyatıdır.

Building Performance Factors	
Location:	Konya, Turkey
Weather Station:	1250896
Outdoor Temperature:	Max: 38°C/Min: -13°C
Floor Area:	4,746 m ²
Exterior Wall Area:	1,856 m ²
Average Lighting Power:	10.66 W / m ²
People:	1,019 people
Exterior Window Ratio:	0.28
Electrical Cost:	\$0.14 / kWh
Fuel Cost:	\$1.44 / Therm

Şekil 3. Yapı Performans Faktörleri

2. Enerji Kullanım Şiddeti / Energy Use Intensity

Enerji kullanım şiddeti (Şekil 4), kat planında metre-kare başına düşen enerji ihtiyacıdır. Bina tipi, iklim ve bina boyutuna göre farklılık gösterir. ABD çevre koruma ajansının her yıl düzenlediği bina tipine göre enerji kullanımı tablosundan kıyaslamalar yapılarak enerji kullanımının optimum şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilebilir.

Energy Use Intensity	
Electricity EUI:	164 kWh / sm / yr
Fuel EUI:	1,138 MJ / sm / yr
Total EUI:	1,730 MJ / sm / yr

Şekil 4. Enerji Kullanım Şiddeti

3. Hayat Boyu Enerji Kullanım Maliyeti / Life Cycle Energy Use-Cost

Bu grafik (Şekil 5), binanın ömrü boyunca tahmini enerji kullanımı ve maliyetini özetler. Ortalama ömür 30 yıl olarak varsayılmaktadır.

Life Cycle Energy Use/Cost	
Life Cycle Electricity Use:	23,149,554 kWh
Life Cycle Fuel Use:	160,451,766 MJ
Life Cycle Energy Cost:	\$2,457,654
*30-year life and 6.1% discount rate for costs	

Şekil 5. Hayat Boyu Enerji Kullanım Maliyeti

4. Yenilenebilir Enerji Potansiyeli / Renewable Energy Potential

Bu grafikte, yapının çatısına entegre edilebilen fotovoltaik sistem çıktısı ve araziye yerleştirilebilen rüzgar gülünden elde edilebilecek enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. Grafik (Şekil 6), fotovoltaik sisteminin güneş ışığını elektriğe dönüştürme yeteneğini yansıtan 3 farklı verim seviyesi sunmaktadır. Rüzgar

enerjisi potansiyeli ise, yatay eksen tasarımının 15 metrelik bir rüzgar türbininden üretilebilen yıllık elektrik miktarına dayanarak hesaplanmaktadır. Tahmin, hava verilerinin koordinatlarında bulunan kesme rüzgarlarını saatte 6 mil ve 45 mil (mil / saat) olarak kullanmaktadır.

Analizin sonuçlarına göre yıllık enerji tüketiminin 1,301 kw/h kısmı araziye yerleştirilen rüzgar gülleri ile yıllık enerji tüketiminin 218,079 kw/h kısmı ise çatıya kurulacak fotovoltaik sistem ile elde edilebilir. 1 kw/h enerji üretebilen bir güneş paneli maliyeti yaklaşık 2450 Euro olup yılda 420,5 Euro enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Bu durumda 1 kw/h enerji üretebilen güneş panelinin geri ödeme süresi 5,8 yıldır.

Renewable Energy Potential	
Roof Mounted PV System (Low efficiency):	72,693 kWh / yr
Roof Mounted PV System (Medium efficiency):	145,386 kWh / yr
Roof Mounted PV System (High efficiency):	218,079 kWh / yr
Single 15' Wind Turbine Potential:	1,301 kWh / yr

Şekil 6. Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

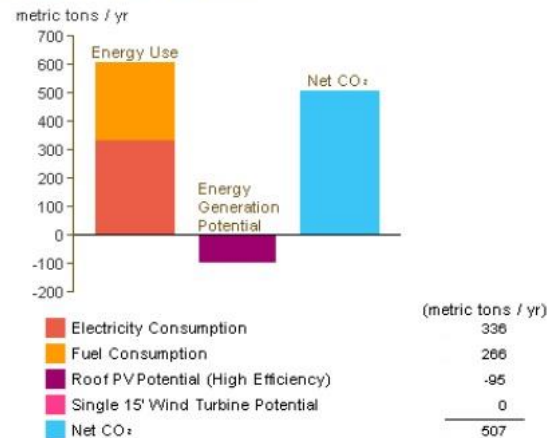
5. Yıllık Karbon Emisyonu / Annual Carbon Emissions

Bu grafik (Şekil 7), analiz edilen modelin enerji tüketimiyle ilişkili tahmini CO₂ (karbondioksit) salınımını özetler. Projelerin CO₂ emisyonlarını hesaplamak için Autodesk, CARMA (Carbon Monitoring for Action) verilerini kullanmaktadır.

CO₂ emisyonu karbon içerikli yakıtların (fosil yakıtlar: petrol, doğal gaz, kömür vb) yanması sonucu karbondioksitin oluşarak atmosfere karışmasıdır. CO₂ hava kalitesini olumsuz etkiler ve atmosferde yükselerek sera gazı etkisine yol açar. Sera gazı etkisi; yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarının uzaya çıkmadan dünyaya geri dönmesiyle yerkürenin sıcaklığını artırmasıdır. Bu nedenle enerji etkin yapı üretiminde sıfır karbon emisyonu hedeflenmektedir.

Analizin sonuçlarına göre bina 1 yılda; elektrik tüketiminden kaynaklı 336 ton, yakıt tüketiminden kaynaklı 266 ton CO₂ açığa çıkarmaktadır. Çatıya fotovoltaik panel ankrj edildiğinde de 95 ton CO₂ salınımı engellenmiş olmaktadır. Bu durumda bina 1 yılda toplamda 507 ton karbondioksit salınımı gerçekleştirmiş olur. Yetişkin normal bir ağaç bir saatte ortalama 2,3 kg karbondioksit emilimi yapar. Bu varsayımına göre projenin sıfır karbon stratejisini sağlayabilmesi için araziye en az 85 adet ağaç dikilmesi gerekmektedir.

Annual Carbon Emissions



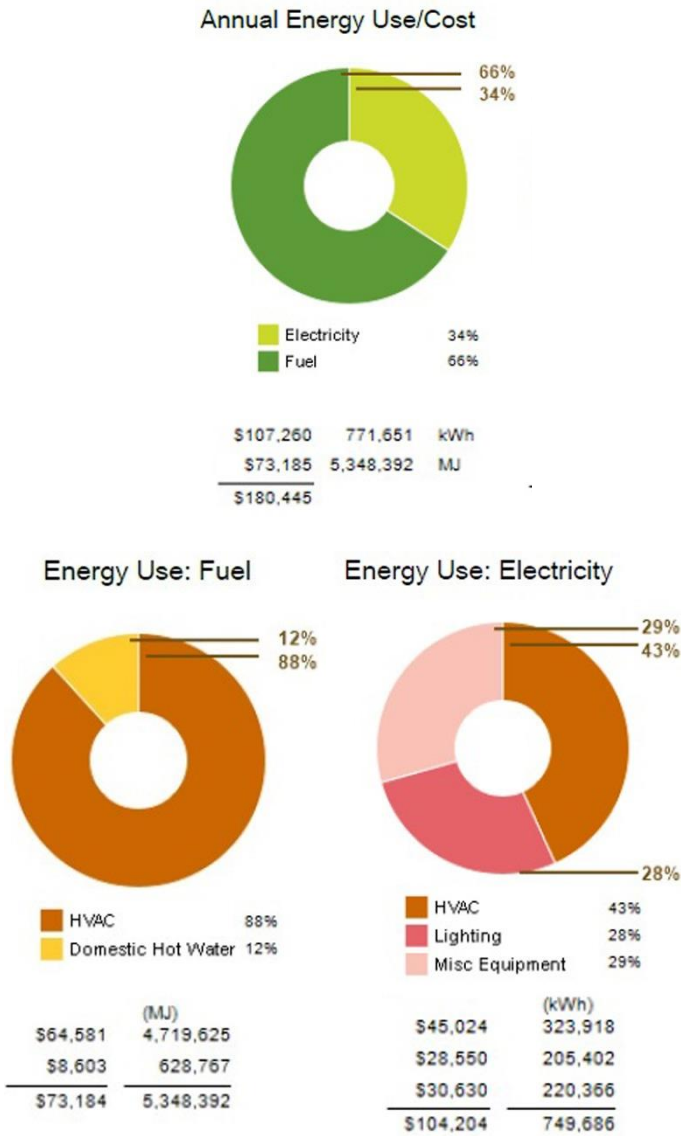
Şekil 7. Yıllık Karbon Emisyonu Diagramı

6. Yıllık Enerji Kullanımı /Annual Energy Use

Yıllık enerji maliyeti ve tüketim bilgileri, bina enerji maliyeti karşılaştırmalarını ve erken tasarım kararlarını etkileyebilmektedir. Maliyetler, ülke genelindeki ortalama hizmet oranları kullanılarak hesaplanmaktadır.

Analizin sonuçlarına göre (Şekil 8) yıllık enerji kullanımının %34'ü elektrik enerjisi tüketiminden, %66'sı doğalgaz enerjisi tüketiminden kaynaklanmaktadır. Doğalgaz tüketiminin ise %12'sini sıcak su kullanımı, %88'ini HVAC (ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme) sistem oluşturmaktadır. Bu verilere göre sıcak su kullanımı için harcanan enerji, güneş enerjisi ve alternatif sistemlerinin yapıya entegre edilmesiyle, HVAC sisteminden kaynaklı harcanan enerji de, yapının doğal havalandırması ile azaltılabilir.

Elektrik tüketiminin %43'ü HVAC sistemden, %28'i aydınlatma sistemlerinden, %29'u diğer kullanımlardan (donanım, bilgisayarlar, asansörler ve çeşitli cihazları içerir) kaynaklanmaktadır. Bu analiz sonrasında enerji tüketiminin büyük çoğunluğunun HVAC sistemlerden kaynaklandığı görülmektedir.

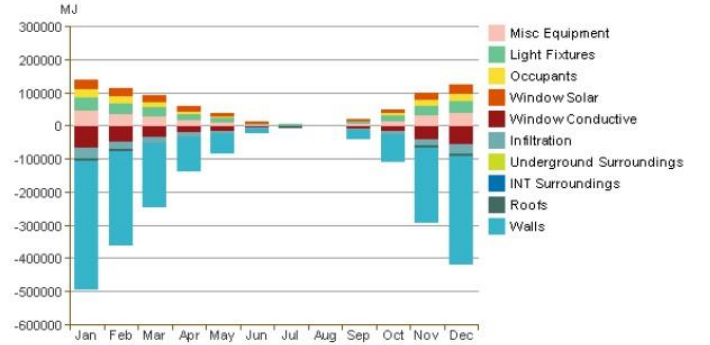


Şekil 8. Yıllık Enerji Kullanımı Diagramı

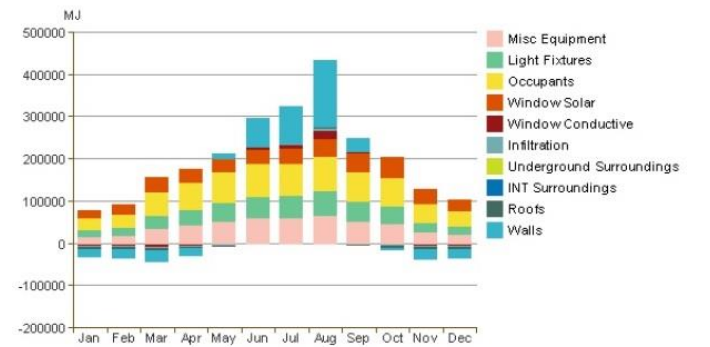
7. Aylık Isıtma-Soğutma Yükleri /Monthly Heating-Cooling Load

Grafikler (Şekil 9) analiz edilen modele ait kümülatif ısıtma yüklerini aylık olarak gösterir. Projedeki ısıtma- soğutma yükünü azaltmak için kritik bileşenlerin belirlenmesine yardımcı olur (Sow,2016:49).

Monthly Heating Load



Monthly Cooling Load



Şekil 9. Aylık Isıtma-Soğutma Yükleri Diagramı

Isısal yükler, kullanıcı konforu için ısısal dengeyi kurmak ve nemi ayarlamak üzere ısı enerjisi artıran veya azaltan yüklerdir. Dış ve iç ısısal yükler olarak ikiye ayrılırlar.

Dış ısısal yükler;

- Güneş, dış hava ortamı, nem gibi iklimsel girdilerin bina kabuğu yoluyla iç ortama ısı transferidir. Isı transferi çeşitli yollarla olabilir.
- Dış ısısal yükler için dış katman malzeme seçimi, cephe kombinasyonu ve kabuğun geçirimsizliği önemlidir.
- Enerji etkin pasif sistem tasarımı için ısının nereden kazanıldığı ve kaybedildiği önemlidir. Güneş kırıcı önlemlerle hava güneşli olduğunda ışınımları binadan uzaklaştırmak, hava soğuk olduğunda bu ışınımları binaya kazandırmak gereklidir.

İç ısısal yükler;

- Bina kullanıcıları,
- Aydınlatma,
- Ekipmanlardan(küçük ev aletleri, HVAC, ısıtma/soğutma sistemleri) kaynaklanan yüklerdir. Soğutma ihtiyacını artırır. Fiziki eylemlerin fazla olduğu, çok kullanıcı hacimlerde ortaya çıkan ısı yüksek olur. Bina tipi, kullanım amacı ve kullanım süreleri de iç ısısal yükleri etkiler.

Isıtma/soğutma yük çizelgeleri (Şekil 9) iç ve dış ısısal yüklerin nerelerden kaynaklandığını gösterirler. Ortaya çıkan rakamlar kıyaslama üzerine olup, gerçekte kullanılacak enerji

değildir. İç ısısal yükler, dış ısısal yüklerden fazlaysa soğutma yükü oluşturur. Dış ısısal yükler iç ısısal yüklerden fazlaysa ısıtma yükü oluşturur (Ofloğlu, 2015b: 6-8).

Örnek analizde kaybedilen ısı kazanılan ısıdan fazla olduğundan mekânsal konfor için binanın ısıtılması gerekir. Grafikte, Ocak ayındaki en büyük negatif değer, duvar iletimi sebebiyle oluşmaktadır. Duvarlardan geçen iletimden kaynaklanan ısı kaybı, Ocak ayındaki en büyük aylık tek ısı talebini temsil eder. Bu nedenle, ısıtma yükünü azaltmak için duvarlara odaklanmalı ve kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin geçirim değerleri artırılmalıdır. Bununla birlikte, muhtelif ekipmanlar da (fiş yükleri, bilgisayarlar, ofis ekipmanları vb. dahil) ısı talebini azaltır.

8. Yıllık Rüzgar Güllü /Annual Wind Roses

Rüzgar, basınç farklılıklarından oluşan, fiziksel etki bakımından kontrolü önemli bir iklim öğesidir. Yılmaz'a (2005;387-398) göre rüzgarın yapısal açıdan basınç, dinamik açıdan titreşim, çevresel açıdan sağlık, konfor açısından ise ısı geçişi, kirlilik ve gürültü, yağmur ve hava sızıntısı gibi etkileri bulunmaktadır. Bu nedenlerle rüzgar, tasarım aşamasında olumsuz etkilerinden korunmak, olumlu etkilerinden faydalanmak üzere dikkate alınmalıdır (Özüer, 2012:3).

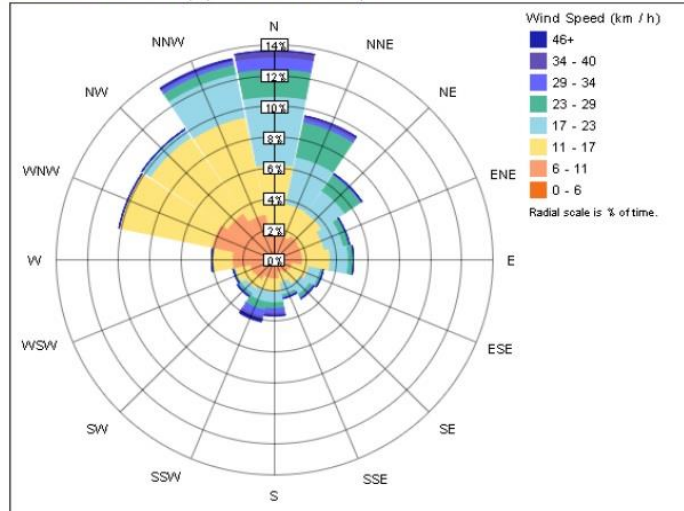
Revit programı aracılığıyla elde ettiğimiz rüzgar güllü ve rüzgar frekansı analizleriyle (Şekil 10,11) ;

- Arazi için hakim rüzgar yönünü öğrenebiliriz.
- Rüzgar şiddetinin ortalama ve en yüksek hız değerini Beaufort ölçeğinde anlayabiliriz.
- Arsa boşken bir simülasyon yaparak, varsa mevcut sorunları anlayabiliriz.
- Yeni tasarlanan binanın mevcut rüzgar etkisini iyileştirip iyileştirmediğini test edebiliriz.

Rüzgar güllü diyagramı rüzgarın belirli yönde ve hızda esme sıklığını gösterir. Turuncudan koyu maviye doğru giden renk değişimi rüzgar şiddetini göstermektedir. Sayısal veriler Beaufort skalası ile değerlendirilir.

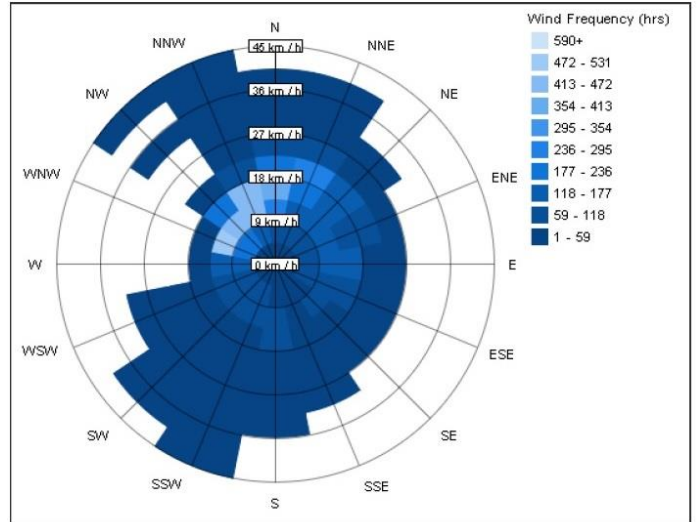
Çıkan analiz sonuçlarına göre; hakim rüzgar yönünde dar cephe oluşturularak soğutucu rüzgar etkisi azaltılabilir. Aylık rüzgar yön ve şiddetlerine göre seçilip kullanılan ağaçlar, soğuk havalarda olumsuz rüzgarların etkisini, sıcak havalarda gölgeleme yaparak soğutma yükünü azaltabilirler.

Annual Wind Rose (Speed Distribution)



Şekil 10. Yıllık Rüzgar Güllü Diagramı (Hız)

Annual Wind Rose (Frequency Distribution)



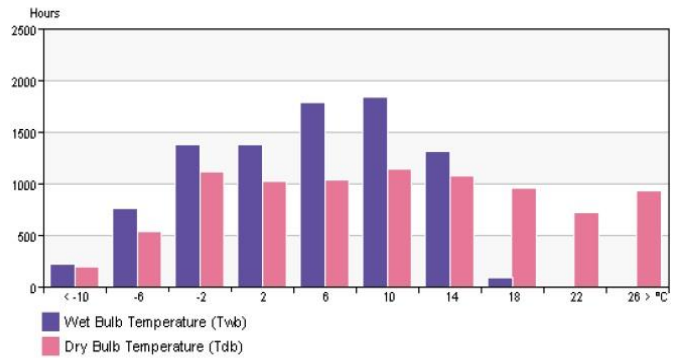
Şekil 11. Yıllık Rüzgar Güllü Diagramı(Frekans)

9. Yıllık Sıcaklık Kutuları /Annual Temperature Bins

Kuru termometre sıcaklığı, havanın içindeki su buharı, radyasyon vb. etkiler dahil edilmeksizin ölçülen sıcaklığa denir. Genellikle termometrelerin gösterdiği sıcaklıktır (dry bulb temperature). Islak termometre sıcaklığı (wet bulb temperature), buharlaşan suyun soğumasıyla birlikte termometrede oluşan düşük sıcaklıktır. Her zaman kuru sıcaklıktan düşüktür. Havadaki nemi tespit etmek için yaş ve kuru termometre (Şekil 12), birlikte kullanılır. Nemli havada iki termometre arası sıcaklık farkı azdır, kuru havada fazladır (Ofloğlu, 2015a;3).

Bu grafik ile aynı zamanda projenin, doğal havalandırma, ekonomizörler veya buharlaşmalı soğutma sistemleri gibi farklı düşük enerjili soğutma stratejileri için fonksiyonel olup olmayacağı analiz edilebilir.

Annual Temperature Bins



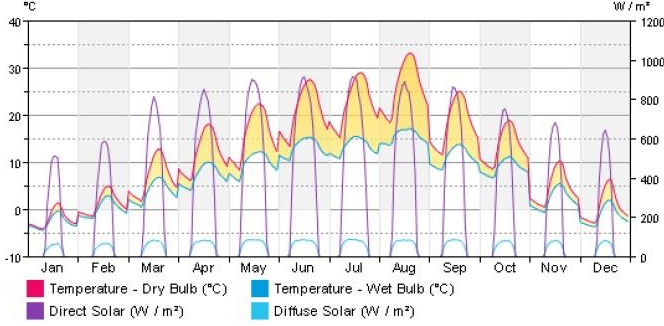
Şekil 12. Yıllık Sıcaklık Kutuları Diagramı

10. Günlük Hava Koşulları Ortalaması /Diurnal Weather Averages

Bu grafik (şekil 13), sıcaklık ve güneş radyasyonu için yıllık ortalamaları izler. Soldaki y eksenidir sıcaklıktır ve sağdaki y eksenini alan başına saatte BTU (birim cihazın bir saatte ortamdan taşıdığı ısı miktarını İngiliz Isı birimi) cinsinden güneş radyasyonunu gösterir. Veriler genelde kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı, doğrudan güneş radyasyonu ve yaygın güneş radyasyonunu her ayın günlük ortalaması olarak içerir. Bu verilerden, kuru ve yaş termometre sıcaklıkları (bağlı

nem göstergesi), gece sıcaklıkları ve gündüz sıcaklıkları arasındaki fark (günlük salınım olarak bilinir) ve güneş radyasyon kalıpları arasındaki farkı okunabilir. Böylelikle güneş ışınım düzenini kavrayarak detaylı cam ve cephe tasarımı yapılabilir.

Diurnal Weather Averages

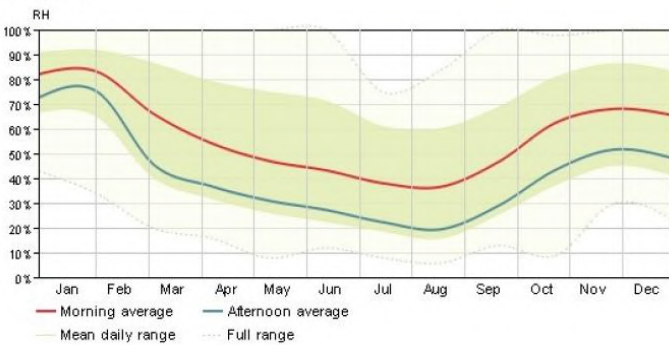


Şekil 13. Günlük Hava Koşulları Ortalaması Diagramı

11. Nem /Humidity

Grafik (Şekil 14), yıllık bağıl nem aralığını gösterir. Bağıl nem, hava ve su buharı gaz karışımı içinde bulunan su buharı miktarıdır. Grafik sabah ve akşamın ortalama nem oranını verir. Günlük rutubet aralığını gösteren koyu renkli bir bant ile geçmiş yıllara ait verileri göstermektedir. Noktalı çizgilerle sınırlandırılan daha geniş yarı şeffaf bant, tarihsel rekordaki maksimum ve minimum nemin tam aralığını göstermektedir. Kapalı ortamlarda % 35–55 arasındaki bağıl nem oranı normal kabul edilir. %45 civarındaki bağıl nem idealdir. %35'in altındaki ortamlar "kuru" dur ve istenmez. %55'in üzerindeki ortamlar ise "yaş" olarak kabul edilir (Akpinar, Akyazı ve Usta,2011:158). Bu bilgi ışığında grafikten elde edilen veriler değerlendirilip ortamın nem değeri okunabilir. Çıkan sonuçlara göre, dış duvarlar ve çatılardaki buhar ve su bariyerlerinin düzgün şekilde yerleştirilmesi ile kalıp ve izolasyon performansının düşmesi önlenir.

Humidity



Şekil 14. Nem Diagramı

3.2. Bulgular

Çalışma alanı olarak seçilen Sancak İlköğretim Okulu'na ait, Autodesk Revit simülasyon aracı ile elde edilen veriler 3.1. bölümde detaylı olarak açıklanmıştır. Çıkan sonuçlar yorumlandığında aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

ABD çevre koruma ajansının bina tipi için enerji kullanım ortalamalarına göre, binanın enerji kullanımı ortalama tüketim değerlerinin içinde fakat hedeflenen rakamların üzerinde bulunmaktadır.

Sıcaklık ve rüzgar verilerine göre pencerelerin güneşe yönlendirilmesi olumlu, bir koridordan karşılıklı iki sınıfa geçiş olduğu için diğer sınıf pencerelerininse kuzeye yönlendirilmek durumunda kalması olumsuzdur. Dolayısı ile mekan organizasyon şemasının yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Aylık enerji kullanımının önemli bir kısmını HVAC sistemler oluşturduğu için, binanın kısa aksı hakim rüzgar yönüne verilerek havalandırma doğal yoldan artırılmalı; ısıtma ve soğutma yükü duvarlardan kaynaklandığından termal özellikleri daha yüksek bir duvar malzemesi ya da ısı yalıtım malzemesi kullanılmalıdır.

Güneş ışınımını kazanabilmek için yüksek ısı yalıtımına sahip camlar seçilmek üzere pencere oranları artırılmalı aynı zamanda binanın uzun aksı doğu-batı eksenine çevrilmelidir. Isı kayıpları incelendiğinde pencerelerden kaynaklanan kaybın düşük olduğu dolayısı ile seçilen cam özellikleri yeterli olmaktadır.

Ortalama nem oranları iklimin kuru olduğunu göstermektedir. Oluşturulan detaylardaki nem bariyerleri, maliyeti azaltmak adına düşük yoğunlukta tercih edilebilir.

Karbon emisyonunu azaltmak için arazinin ağaçlandırılmasının yanı sıra (bu çalışma yapılırken hakim rüzgar yönü ve güneş alması gereken cepheler baz alınmalı) yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artırılmalıdır.

4. Farklı İklim Bölgelerine Göre Enerji Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması

Çalışmanın en önemli etabı yapının farklı iklim bölgelerinde sergilediği enerji etkinliğini açığa çıkarmaktır. Yere özgü yapım faaliyetleri değerlendirildiğinde ülkemizde bu farklılıkların göz ardı edilmiş mühim bir konu olduğu açıkça gözlemlenmektedir. Farklı iklim bölgelerinde uygulandığı bilinen ilköğretim okulu projesinin iklimsel konfor ve enerji korunumunun saptanmasında, önerinin beş farklı iklim tipindeki uygulaması için enerji simülasyon programı aracılığı ile analizleri oluşturulmuş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Türkiye iklim bölgeleri sıcak-nemli, sıcak-kuru, ılıman-nemli, ılıman-kuru ve soğuk olmak üzere beş iklim bölgesi bağlamında ele alınmıştır. İklimsel veri değişkenleri bu beş farklı iklim bölgesi üzerine kurulmuştur. Herhangi bir iklim ögesi deney grubu kontrol grubu yöntemine dahil edilmemiş, iklim bölgesinden seçilen bir il kendi başına değişkeni oluşturmuştur. Beş farklı iklim bölgesinden, ılıman kuru iklim bölgesini temsilen Konya ili, ılıman nemli iklim bölgesini temsilen Samsun ili, sıcak nemli iklim bölgesini temsilen Denizli ili, sıcak kuru iklim bölgesini temsilen Urfa ili, soğuk iklim bölgesini temsilen Erzurum ili seçilmiştir. Konya iline ait iklimsel veri değişkenleri enerji analiz tabloları ile yukarıda detaylı olarak incelenmiştir. Farklı iklim bölgelerine göre çıkan analiz sonuçları Şekil 4.1. de özet olarak verilmiştir.

Bu tabloya göre enerji kullanım şiddetinde, elektrik enerjisi kullanım şiddetinin en yüksek olduğu il Urfa, en düşük olduğu il Samsun'dur. Yakıt kullanım şiddetinin en fazla olduğu il Erzurum, en düşük olduğu il Urfa'dır.

Yenilenebilir enerji potansiyeli kıyaslamasına göre; fotovoltaik paneller ile enerji üretiminin en fazla olduğu il Konya, en düşük olduğu il Samsun'dur. Rüzgar enerjisi üretiminin en yüksek olduğu il Samsun, en düşük olduğu il Denizli'dir.

Yıllık karbon emisyonu kıyaslamasına göre; karbon salınımının en yüksek olduğu il Konya, en düşük olduğu il Samsun'dur.

Kıyas tablosuna göre iller dolayısıyla iklimsel veri değişkenleri arasında oluşan farklar yorumlanmıştır. Buna göre;

Her bir iklim bölgesindeki yapıda elektrik kullanım yoğunluğu; kullanıcı sayısı, binanın kullanıldığı saatler, binanın yaz aylarındaki kullanımının düşük olması gibi sebeplerden dolayı, aradaki fark göz ardı edilecek kadar küçük boyutlarda ve birbirine yakındır.

Yakıt kullanım yoğunluğunun en düşük Urfa ilinde, en yüksek Erzurum ilinde olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum ilinin ısıtma yük analizinde görüldüğü üzere ısıtma yüklerinin fazla olmasıdır. Her iki il için yapıda kullanılan yalıtım detaylarının aynı olması bu noktada en büyük problemi oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar türbünü, okul yapısının bulunduğu arazi koşulları itibari ile enerji üretmeye elverişli değildir. Dolayısı ile her bir bölgedeki rüzgar enerjisi üretimi dikkate alınmayacak kadar düşüktür. Bunun yanında çatıya montajlanan fotovoltaik paneller ile en düşük enerji üretimi Samsun ilinde, en yüksek enerji üretimi Konya ilinde gerçekleşmektedir. Fotovoltaik panellerin elektrik üretimini etkileyen iklimsel faktörler; güneşin geliş açısı, ışının yoğunluğu, en uygun verimlilik sıcaklığıdır. Uygun sıcaklık seviyesi aşıldığında her 1 derece sıcaklık artışı, elde edilen gücü %0,2-%0,5 arasında etkilemektedir (Anonim, 2010).

Güneşlenme süresi en düşük il olan Erzurum ilinin fotovoltaik paneller ile enerji üretiminin en az, güneşlenme süresi en yüksek il olan Urfa ilinin fotovoltaik paneller ile enerji üretiminin en fazla olmamasının sebepleri arasında bu faktörler yer almaktadır.

Yıllık karbon emisyon analizine göre en yüksek karbon salınımının Konya ilinde, en düşük karbon salınımının Samsun ilinde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Bu iki ilin enerji tüketim yoğunluklarına bakıldığında yakıt tüketimi daha fazla olan Konya ilinin karbon salınımının da daha fazla olduğu görülmektedir.

Kışın ısıtma yükünün fazla olduğu Erzurum ilinde HVAC sistemlerden kaynaklı yakıt enerjisi kullanımının da çok fazla olduğu, yazın soğutma yükünün fazla olduğu Urfa ilinde de elektrik enerjisi kullanımının fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Kıyaslama sonuçlarına göre; yapıya elverişli tasarım parametrelerini uygulamanın yapıları enerji etkin yapmada tasarımcının insiyatifindeki bir vasıta olduğu, bu vasıtanın etkili kullanımının getireceği fonksiyonelliğin kullanıcı için de bir kazanç olduğu düşünülmektedir. İklimsel veri değişkenlerinin yapının enerji performansı üzerindeki rolü, tasarım sürecinde ve sonrasında etkili kullanılmaları ile ekolojik ve duyarlı bir çevre oluşturmadaki önemlerini göstermektedir.

İklimsel girdilerin göz ardı edildiği ve çevreci hassasiyetlerden yoksun tasarımlarda, tasarım parametreleri için optimum aralıkların belirlenmemesi sonucunda, kıyaslama tablosunda görüldüğü gibi aynı yapı farklı iklim bölgelerinde farklı sonuçlar açığa çıkarmaktadır. Kısa vadede sağlayacağı kazanımların fazla olduğu düşünülen tip yapı uygulamalarında uzun vadede büyük kayıplara sebep olmaktadır. İklimde duyarlı ve sürdürülebilir yapılar üretmek ise uzun vadede sağlayacağı kazanımlar açısından önemlidir.

ENERJİ ANALİZ SONUÇLARI								
	enerji kullanım şiddeti (kWh/m ² /y)		yenilenebilir enerji potansiyeli(kWh/y)		yıllık karbon emisyonu(metrik ton/y)	enerji kullanımı/yakıt(kWh)		enerji kullanımı/elektrik(kWh)
	ELEKTRİK	YAKIT	FP	RÜZGAR GÜLÜ		HVAC	DHW	
1 Denizli	166	296,19	68,38	0,59	366	1221,97	169,83	330
2 Erzurum	169	518	69,565	1,015	472	2238,89	732,13	346
3 Konya	164	304,56	72,693	1,301	507	1274,29	169,76	323,918
4 Samsun	155	231,66	61,716	1,54	206	926,56	161,26	280,01
5 Urfa	186	197,37	71,093	0,84	329	783,11	144,67	425,267

Şekil 4.1. Enerji analiz sonuçlarının karşılaştırması

5. Sonuç

Enerji, ekonomik ve toplumsal gelişmenin birincil kaynağıdır ve gelişmeye paralel olarak enerjiye olan talep

artmaktadır. Enerji kaynakları ise gün geçtikçe tükenmekte, geleceğin sağlıklı bir şekilde planlanabilmesi için var olan enerjinin korunumu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının

geliştirilmesi için 'enerji etkin tasarım' kavramı önem kazanmaktadır.

İlköğretim okulları aktif kullanıldıkları için enerji tüketiminde büyük bir orana sahiptirler. Dolayısı ile okul yapılarına enerji etkin tasarım parametreleri uygulandığında bu binaların üst seviyede performans gösteren pasif sistemlerden yararlanacak şekilde tasarlanmaları sağlanacak, böylelikle aktif sistemlerin enerji yükü hafifletilerek enerji kaynakları daha verimli kullanılmış olacaktır. Bununla birlikte öğrenci ve öğretmenlerin fiziksel, iklimsel ve görsel konfor şartlarının sağlanması ile performansları artacak, buldukları ortamdan memnun olmaları sağlanacaktır. Bu nedenle çalışma alanı olarak tip bir ilköğretim okulu seçilmiştir ve okulun analiz sonuçlarının okunmasıyla yapılan değerlendirme önem kazanmıştır. Çalışma yapı bilgi modelleme sistemi üzerine kurulmuştur. Yapı bilgi modelleme sistemi, yapının görünür ve işlevsel niteliklerinin özümlediği sayısal bir prototipin oluşturulma ve doğru kararlarla yönetilme sürecidir. Sistem kapsamında Autodesk Revit enerji simülasyon programı ile seçilen okulun enerji analizlerine ulaşılmıştır.

Çıkan sonuçların kıyaslamalar üzerinden incelenmesi ile aynı yapının farklı iklim bölgelerinde farklı sonuçlar açığa çıkardığı belirlenmiştir. Çalışma en başta tip bir projenin, enerji verimi açısından; arazinin iklim tipine bağlı olarak bulunduğu konum, topografya, bitki örtüsü gibi iklimsel etkenlerdeki değişimlerden dolayı başarısız olduğunu göstermektedir. İlköğretim yapılarında tip proje uygulamaları ekonomik bakımdan ilk etapta uygun görülse de uygulamadaki öngörülme eksiklikler, yapıların mimari niteliklerden yoksun uygulanmasına ve projenin çevre koşullarına adaptasyonu esnasında ek maliyetler çıkmasına neden olmaktadır. Uzun yıllardır devam eden bu proje uygulamaları bulunduğu çevreye uyum sağlayamadığı için birçok sorunu ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda günümüz teknolojilerinden faydalanmak üzere yapılan tasarımların daha hızlı, ekonomik ve enerji korunumunda etkili olduğu kanılarına ulaşılmaktadır.

Kaynakça

- Akpınar, A.S., Akyazı, Ö., Usta, M.A., (2011). Kapalı ortam sıcaklık ve nem denetiminin farklı bulanık üyelik fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmesi, *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* içinde (15-159 ss). Elazığ.
- Bayram, G.; (2015). *A proposal for a retrofitting model for educational buildings in terms of energy efficient lighting criteria.* (Doktora tezi) İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi, İzmir.
- Dikmen, Ç. B., (2011). Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14 (2):37.
- Harputlugil, G. U., (2014). Bina enerji performansı değerlendirme araçları: enerji simülasyonları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, s.144
- İvriz, F., (2009). *Performance based business model of energy efficient intelligent buildings.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s.12.
- Katal, A., Mortezaadeh, M.,& Wang, L. (2019) Modeling Building Resilience Against Extreme Weather by Integrated CityFFD and CityBEM Simulations. *Applied Energy*, 250, 1402-1417. doi:10.1016/j.apenergy.2019.04.192

- Keleş, A. E., Kaya Keleş, M., (2018). İnşaat Sektöründe Kullanımı Artan Bilgisayar Yazılımları ve Bilgi Teknolojilerinin İrdelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi* 2018, 5(2); 610-617.
- Li, Z., Dai, J., Chen, H., & Lin, B. (2019). An ANN-based Fast Building Energy Consumption Prediction Method for Complex Architectural form at the Early Design Stage. *Build Simul*, 12, 665-681. doi: 10.1007/s12273-019-0538-0
- Ofluoğlu, S., (2015a). Performansa Dayalı Mimari Tasarım: İklim ve hava durumu [Powerpoint sunumu]. Erişim adresi <https://studylibr.com/doc/1774582/performansa-dayal%C4%B1-mimari-tasar%C4%B1m>
- Ofluoğlu, S., (2015b). Performansa Dayalı Mimari Tasarım: Isıtma, soğutma ihtiyaçları [Powerpoint sunumu]. Erişim adresi <https://studylibr.com/doc/1774582/performansa-dayal%C4%B1-mimari-tasar%C4%B1m>
- Özcan, H., (2010). *Yapı bilgi sistemleri ve mimarlıktaki yeri.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, ss.17-18
- Özüer, M. O., (2012). Binalarda enerji korunumunu sağlayan fiziksel çevre ölçütleri. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, s.3
- Salah, F., (2014). *Investigation of strengths and weaknesses of 4D BIM software applications in managing construction projects.* (Yüksek lisans tezi).Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, s.13.
- Sav,S., (2018). The comparative performance assessment of dynamic shading devices for different climatic regions in Turkey.(Yüksek lisans tezi).İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s.37
- Sayın, S., (2014). Performans Tabanlı Bina Tasarımı İçin Bir Model Önerisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Schlueter, A., Thesseling, F., (2008). Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in Construction, An International Research Journal*, s.10
- Sow,O.; (2016). *Adapting passive design strategies for sustainable urban development: A BIM model for Dakar.* (Yüksek lisans tezi).Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, s.49
- Steneng, C.,V., (2020). *Implementation of Revit add-in for analysis of heating plant P&ID,* Oslo Metropolitan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği ve Enerji Teknolojisi Bölümü, Yüksek lisans tezi, s.2
- Yanksari, F., (2020). *Exploring building information modeling (BIM) and the design process in interior design pedagogy,* Minnesota Üniversitesi, (Doktora tezi), Minnesota, s.12
- Yılmaz, Z., (2005). Akıllı binalar ve yenilenebilir enerji. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir, ss. 387- 398



Klinik Uygulamalarda İleri Biyomedikal Görüntüleme Teknolojileri

Raziye Kübra Kumrular^{1*}, Adem Polat²

^{1*} University of Southampton, The Faculty of Engineering and Physical Sciences, Southampton, United Kingdom (ORCID: 0000-0002-0976-3683),
kubra.kumrular@gmail.com

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5662-4141),
adempolat@comu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.840321)

ATIF/REFERENCE: Kumrular, R. K. & Polat, A. (2021). Klinik Uygulamalarda İleri Biyomedikal Görüntüleme Teknolojileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 207-221.

Öz

Hastalıkların tıbbi tanı ve tedavisinde görüntüleme çok önemli bir yer tutmaktadır. Biyomedikal görüntüleme teknolojileri sayesinde, vücudun içini invaziv olmayan yöntemlerle görüntüleyen tıbbi görüntüleme araçları geliştirilmiştir. Günümüz klinik uygulamalarındaki görüntüleme teknikleri ile iyonize ve iyonize olmayan radyasyonun, insan vücuduyla etkileşimi kullanılarak yüksek çözünürlükte tıbbi görüntüler üretilmektedir. Bu makalede hali hazırda kullanılan ileri biyomedikal görüntüleme teknolojileri kapsamında; Röntgen (X-ray) görüntüleme (X-ray radyografisi), bilgisayarlı tomografi (BT), sayısal meme tomosentezi (DBT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT), pozitron emisyon tomografi (PET), ultrason görüntüleme, Doppler ultrason, elektrik empedansı tomografisi (EIT) ve kızılötesi termal görüntüleme (IRT) sırasıyla incelenmiştir. Bu tekniklerin çalışma prensipleri, faydaları, riskleri, avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları ayrıntılarıyla sunulmuştur. İncelenen teknikler için, görüntü kalitesi (mekânsal çözünürlük ve kontrast), radyasyonun vücuda etkisi (iyonizasyon seviyesi) ve sistemin kullanılabilirliği (gerçek zamanlı bilgi ve maliyeti) ve uygulama alanları hakkında karşılaştırmalı bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi Görüntüleme, X-ray (Röntgen) Görüntüleme, Bilgisayarlı Tomografi, Sayısal Meme Tomosentezi, Manyetik Rezonans Görüntüleme, COVID-19.

Advanced Biomedical Imaging Technologies In Clinical Applications

Abstract

Imaging has an important role in the medical diagnosis and treatment of diseases. Thanks to biomedical imaging technologies, medical imaging tools have been developed that image the inside of the body using non-invasive methods. High-resolution medical images are produced by using the interaction of ionizing and non-ionizing radiation with the human body with imaging techniques in today's clinical applications. In this article, within the scope of advanced biomedical imaging technologies currently used; Röntgen (X-ray) imaging (X-ray radiography), computed tomography (CT), digital breast tomosynthesis (DBT), magnetic resonance imaging (MRI), functional magnetic resonance imaging (fMRI), single-photon emission computed tomography (SPECT) Positron emission tomography (PET), ultrasound imaging, Doppler ultrasound, electrical impedance tomography (EIT), and infrared thermal imaging (IRT), respectively. The details of working principles, benefits, risks, advantages, disadvantages, and application areas of these techniques have been presented. For the examined techniques, comparative information about image quality (spatial resolution and contrast), the effect of radiation on the body (ionization level) and the usability (real-time information and cost) of the system and application areas have been given.

Keywords: Medical Imaging, X-ray (Roentgen) Imaging, Computed Tomography, Digital Breast Tomosynthesis, Magnetic Resonance Imaging, COVID-19

* Sorumlu Yazar: kubra.kumrular@gmail.com

1. Giriş

Tıp bilimi, tüm sağlık, hastalık ve yaralanma durumlarında insan vücudunun yapısını ve işlevini anlamak, yorumlamak, yönetmek ve bunların sonucunda insan vücudu hakkında bilgi üretmektir. Biyolojik ve tıbbi süreçler hakkındaki bu bilgileri üretmek için insan vücudunun görüntülerinden yararlanmak, sadece klinik tıpta değil, onu destekleyen biyomedikal araştırma alanlarında da kullanılmaktadır. Bu sebeple biyomedikal görüntülemelerdeki ilerlemeler, günümüz elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde hız kazanmıştır (Ehman vd., 2007; Hendee & Ritenour, 2003).

Modern biyomedikal görüntüleme yöntemlerinin temelini oluşturan ve tıp biliminde yeni bir çağın başlamasını sağlayan X-ışınları 1895 yılı Kasım ayında Würzburg Üniversitesi'nde Alman fizik profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiştir. Fizik tarihinin en önemli makalelerinden biri olan "Yeni Bir Işın Üzerine" isimli makalesini yayınlayan Röntgen, X-ışınları buluşuyla 1901'de ilk Nobel fizik ödülünü almıştır. Röntgen'in bu keşfi bilim dünyasında büyük bir yankı uyandırırken görüntüleme alanında yeni gelişmelerin de temellerini oluşturmuştur (Assmus, 1995; Gunderman, 2012). Röntgen'in buluşundan kısa bir zaman sonra Fransız fizikçi Henri Antonie Becquerel X-ışınları üzerinde çalışırken uranyumun radyoaktifliğini, Marie Curie ve eşi Pierre Curie ise radyum elementini keşfederek 'radyoloji' biliminin doğuşunu gerçekleştirmişler ve 1903 yılında radyoloji çalışmaları ile Nobel fizik ödülünü Curie çifti ve Becquerel paylaşmışlardır (Gunderman, 2012; Samei & Peck, 2019).

Tıbbi görüntüler, X-ışını, gama ışını, ultraviyole, optik, kızılötesi, mikrodalga, radyo frekansı, manyetik alan ve ultrason dalgaları gibi çeşitli kaynakların insan vücuduna nüfuz etme kabiliyetleri ve dokularla etkileşimleri sayesinde farklı proseslerle üretilmektedir (Wolbarst & Hendee, 2006). Bu görüntüler Röntgen (X-ray) görüntüleme, bilgisayarlı tomografi (BT), sayısal meme tomosentezi (DBT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI), nükleer görüntüleme (PET-SPECT), ultrasonografi, elektriksel empedans tomografisi (EIT) ve termal kızılötesi görüntüleme (IRT) sistemleriyle elde edilmektedir. Bu biyomedikal görüntüleme sistemleriyle vücut içerisindeki çeşitli dokuların ve organların anatomik ya da fizyolojik görüntüsünü non-invaziv yöntemle elde etmek mümkün hale gelmiştir. Teknolojideki hızlı ilerlemeler, görüntülemenin tıpta tanı ve tedavi amaçlı aktif olarak kullanımını sağlamış ve biyomedikal görüntüleme sistemleri tıp dünyasının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir (Bercovich & Javitt, 2018; Wolbarst & Hendee, 2006). Bu makalede, klinikte kullanılan ileri biyomedikal görüntüleme teknolojilerinin gelişimi, mevcut yetenekleri ve uygulama alanları hakkında genel bir derleme sunulmuş ve bu derleme, görüntüleme sistemleri üzerinde çalışacak araştırmacılara temel bilgi niteliğinde kaynak olarak önerilmiştir.

2. İleri Biyomedikal Görüntüleme Tekniklerinin Karakteristikleri

Görüntüleme hastalığın tespitinde, teşhisinde, evrelendirilmesinde, tedavi planlamasında ve tedavi yanıtının izlenmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Görüntülemeye, yapı ve morfolojiye odaklanmış geleneksel "anatomik merkezli" yaklaşım kullanılmaktadır. Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak bu yaklaşım aynı zamanda, işlevsel ve moleküler

görüntüleme yoluyla vücuttaki biyolojik süreçlerin görselleştirilmesine de dönüşmüştür (Dunne vd., 2017). Ayrıca, tıbbi görüntüleme için geliştirilen tekniklerin çoğunun bilimsel ve endüstriyel uygulamaları da bulunmaktadır (Ganguly vd., 2010). Bu durum, tüm tıbbi görüntüleme yöntemlerinin kullanım alanlarının genişlemesine ve daha da geliştirilmesine yol açmıştır (Ertürk vd., 2009). Bu bölümde tıbbi görüntüleme yöntemleri ve klinik uygulamaları hakkında genel bir bilgilendirme sunulmuştur.

2.1. Röntgen (X-ray) Görüntüleme

X-ray görüntüleme, en yaygın ve bilinen tıbbi görüntüleme tekniğidir. Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 1895'te X-ışının bulunması ile X-ray görüntüleme başlamıştır. Röntgen yaptığı deneylerde katot ışın tüplerine elektrik akımı uygulamış ve bu esnada tesadüfen baryum tuzuyla kaplı bir ekranda ışıltı oluştuğunu fark etmiştir. Bu tür ışıltılara neden olan ışınların kaynağını çözemeyen Röntgen, o zamana kadar tanımlanmamış bir ışın türü olması nedeniyle bu ışınları "bilinmeyen" anlamına gelen 'X-ışınları' adını vermiştir. Röntgen bu keşfinden kısa bir süre sonra, bir insanın ilk radyografisini (Şekil-1) olan, eşinin yüzüklü elini görüntülemeyi başarmıştır (Gunderman, 2012).

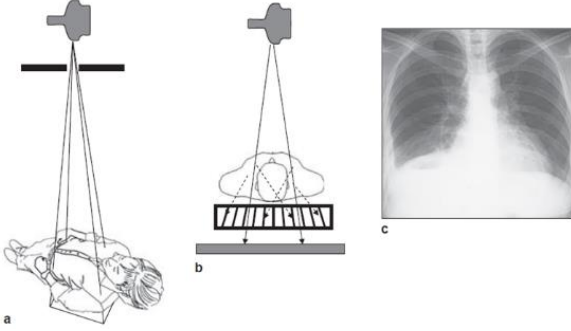


Şekil 1: İnsana ait ilk radyografi, Bayan Röntgen'in yüzüklü elinin bir görüntüsü (Gunderman, 2012).

X-ışınları, ultraviyole ve görünür ışık spektrumundan daha küçük dalga boylarına ve daha yüksek frekansa sahip elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır. X-ışınları 10 pm ile 10 nm arasında değişen dalga boyuna sahip olup boşlukta 300.000 km/s ışık hızı ile hareket etmektedir. Küçük dalga boyları nedeniyle, X-ışınları insan vücudunda ükemmell düz penetrasyon ve iletim kapasitesi sağlayan yüksek enerjiye sahiptir (Dhawan, 2011; Jensen & Wilhjelm, 2006). X-ışınları 1897 yılında Osmanlı İmparatorluğunda tıpta ilk defa Esad Feyzi Bey tarafından hastanın sağ bileğindeki şarapnel parçasının yerini tespit etmek için kullanılmıştır (Ülman & Olay, 2006).

X-ray görüntülemenin temeli, dokuların X-ışınına farklı derecede soğurmasına dayanmaktadır. Örneğin kemik dokunun, X-ışınlarını yumuşak dokudan daha fazla soğurması sayesinde, röntgen görüntülemeye dokular birbirinden ayırt edilebilmektedir. Kaynaktan üretilen X-ışınları şekil 2-a' da gösterildiği gibi hastaya yönlendirilir. Hastanın vücudundan geçen X-ışınları hastanın hemen altında bulunan dedektöre düşürülerek kaydedilir. Görüntü elde edilirken görüntü kontrastını artırmak için dağınmış X-ışınlarının etkisini azaltmak gerekir. Bu problemi çözmek için dedektörün önüne şekil 2-b' de gösterilen ızgara yerleştirilir. Dedektöre kaydedilen X-ışınları önce ışığa, daha sonra voltaja dönüştürülür ve en sonunda dijitalleştirilir. Şekil 2-c' deki akciğer röntgen görüntüsünde kaburga alanındaki açık gri renkli bölümler sert dokuları yani kemikleri temsil ederken koyu gri renkli bölümler ise akciğerin yumuşak dokularını temsil etmektedir. Bunun nedeni yumuşak

dokuların X-ışınına daha fazla, sert dokuların ise X-ışınına daha az absorbe etmesinden kaynaklanmaktadır (Dhawan, 2011; Smith & Webb, 2010).



Şekil 2: a) Düzlemsel radyografi kurulumu. Tüpten gelen X-ışını hüzmesi toplanır, hastadan geçer ve hastanın altına yerleştirilen dijital dedektör üzerinde bir görüntü oluşturulur. (b) Görüntü kontrastını artırmak için dağınık X-ışınlarından gelen katkıyı azaltmak için doğrudan dedektörün önüne bir saçılma önleyici izgara yerleştirilir. (c) Göğüste düzlemsel bir radyografi örneği. Kemikler, X-ışınlarını akciğerlerin yumuşak dokusundan çok daha büyük bir dereceye kadar zayıflatır ve görüntüde parlak görünür (Smith & Webb, 2010).

X-ray görüntüleme göğüs hastalığının tanı ve tedavisinde (Gleeson, 2008), kardiyak hastalarda önemli bir başlangıç tanı aracı olarak (Scott & Messer, 2018), plevral anormallik varlığının tespitinde (Qureshi & Gleeson, 2006), kemik yapısının araştırılmasında (Moghaddam vd., 2008), yapısal eklem hasarının değerlendirilmesinde (Ørnberg & Østergaard, 2020), kalça bozukluklarının değerlendirmesinde (Mourad vd., 2019), atletik el yaralanmalarının teşhisinde (Sundaram vd., 2013) kullanılmaktadır. Ayrıca yumuşak ve sert doku lezyonlarının sınıflandırmasında da kullanılmaktadır (Miwa & Otsuka, 2017). Şekil 3'te X-ray görüntüleme ile sınıflandırılan kemik lezyonları gösterilmiştir.



Şekil 3: X-ışını görüntüleri. (a) Enkondrom. (b) Osteokondrom. (c) Basit kemik kisti. (d) Lifli displazi. (e) Dev hücreli tümör. (f) Osteosarkom. (g) Osteosarkom (anjyogram) (Miwa & Otsuka, 2017).

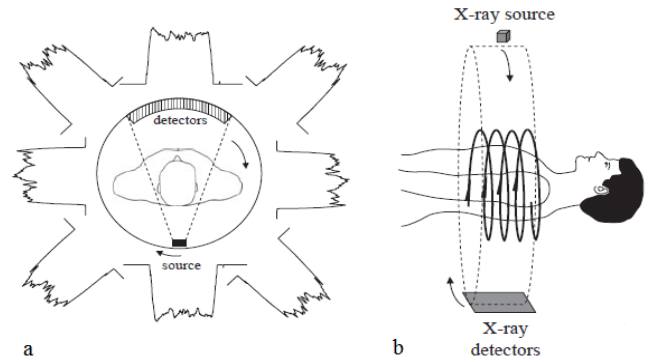
X-ray görüntülemenin farklı uygulama alanları arasında mamografi ve floroskopi yer almaktadır. Floroskopi, X-ışını görüntüsünün gerçek zamanlı olarak monitöre yansıtıldığı bir tıbbi görüntüleme türüdür. Floroskopi uygulaması esnasında hastaya X-ışını yayan kontrast bir madde verilir ve bu maddenin vücuttan geçişi izlenmektedir (Wang vd., 2006). Mamografi ise, düşük dozda X-ışını kullanarak memenin içyapısını görüntüleyen ve meme kanserindeki küçük kitleleri dahi erken aşamalarda tespit edilebilen bir görüntüleme yöntemidir (Hogg vd., 2015).

2.2. Bilgisayar Tomografi (BT)

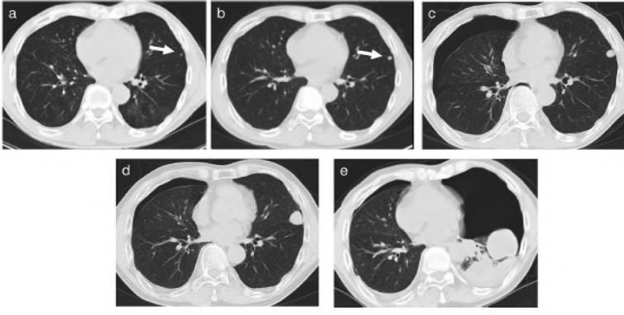
Düzlemsel röntgen görüntüleme (X-ray), görüntülenmesi istenen vücut bölgesinin görüntüsü tek bir projeksiyon olarak elde edilmektedir. Bu durum, üst üste binen dokuların tek bir projeksiyonda anlaşılabilir bir şekilde görüntülenmesini sınırlamaktadır. Bu sorunu çözmek için farklı açılardan alınmış birkaç projeksiyonun görüntü geri çatma algoritmalarıyla işlenmesi sonucu, yapıların dilimler (slice) halinde görüntülenmesini sağlayan teknolojiler geliştirilmiştir. Dilim görüntüleme teknikleri kullanılarak, morfolojik özelliklerin katman katman ayırt edilebilir şekilde görüntülenmesi ve hayati derecede önemli bilgilerin çıkarılması mümkün olmaktadır. Bu tekniklerden biri olan BT'nin radyolojide kullanımı yeni bir çıkış açmıştır. BT ilkeleri ilk olarak Sir Godfrey Hounsfield ve Allan Cormack tarafından 1972'de tanımlanmış ve İngiltere'de geliştirilmiştir. Hounsfield ve Cormack bu buluşları ile 1979 yılında tıp alanında Nobel ödülünü almışlardır (Mikla & Mikla, 2013). Avusturyalı bir matematikçi olan Johann Radon, BT'de görüntü geriçatma için kullanılan ve Radon dönüşümü olarak adlandırılan teorik temelleri 1917'de yayınlamıştır (Radon, 2005). 1973 yılında ilk kez ABD'de Mayo Klinikte BT ünitesi kurulmuştur. BT cihazı, ülkemizde ise ilk olarak Hacettepe Üniversitesi'nde Mart 1976'da kullanılmaya başlamıştır (Ertürk, 2005).

BT görüntülemenin arkasındaki temel ilke, hastanın çevresinde tam bir dairesel taramayla farklı açılardan alınan iki boyutlu X-ışını projeksiyonlarını kullanarak görüntü geri çatma algoritmalarıyla kesitsel görüntüleme yapabilmeye dayanmaktadır. Bir BT'nin temel üç bileşeni, düzlemsel röntgen görüntüleme olduğu gibi X-ışını tüpü, hasta ve bir dedektör sistemidir (Smith & Webb, 2010). BT'nin fiziksel yapısının ve çalışma prensibinin farklı perspektiflerden sunulan görselleri Şekil 4'te verilmiştir.

BT uygulaması esnasında hasta, dedektör ve X-ışını kaynağı arasına yerleştirilir. X-ışını kaynağı ve dedektör belirlenen açılarla sarmal bir tarama yolunu izleyerek hasta etrafında tam bir tur döndürülür. Hastadan alınan her projeksiyon görüntü geri çatma algoritmalarıyla işlenir ve kesitsel görüntü elde edilir. Düzlemsel röntgen görüntüleme'deki dokuların üstüste binmesi nedeniyle detayların ayırt edilememesi problemi, BT'nin kesitsel görüntüleme prensibi sayesinde aşılmaktadır (Romans, 2018; Smith & Webb, 2010).



Şekil 4: Bilgisayarlı tomografinin çalışma prensibi. (a) Görüntüleme ilkesi bir dizi tek boyutlu projeksiyonu kaydetmek için X-ışını tüpünün ve çoklu dedektörlerin eşzamanlı ve eşeksensel rotasyonuna dayanmaktadır. (b) Baş/ayak eksenini boyunca masa hareketi nedeniyle, X-ışını demeti hasta etrafında sarmal bir yol izlemektedir (Smith & Webb, 2010).



Şekil 5: Osteosarkomlu hastalarda akciğer metastazlarının zaman süreci. (a) metastatik akciğer nodülünün saptanması, (b) 4. ay, (c) 8. ay, (d) 12. ay, (e) 16. ay (Miwa & Otsuka, 2017).

BT görüntüleme düzlemsel röntgen görüntülemeyle kıyaslandığında dokuların X-ışını tutma kapasitelerinin direkt ölçülmesi sebebiyle röntgen görüntülemeye göre daha ayrıntılıdır (Romans, 2018; Smith & Webb, 2010). Ölçümler, BT'nin geliştirilmesinde öncülerden biri olan Godfrey Hounsfield'in adını taşıyan Hounsfield birimlerinde (HU) ifade edilmektedir (Hounsfield, 1973).

Pankreastaki kistik tümörleri görüntülemeye (Siddin & Morteale, 2007), dental görüntüler ile yetişkinlerde yaş tahmini yapmada (Penaloza vd., 2016), el ve distal önkol kırıklarının teşhisinde (Pallaver & Honigmann, 2019), akut kafa travmasının değerlendirilmesinde (Wei vd., 2010), kardiyak kitlelerin görüntülenmesinde (Young vd., 2019), lenf düğümleri, akciğer, pelvis, karaciğer, dalak, böbrekler (Samei, 2020), çene (Mah vd., 2010), kalp (Choi vd., 2020), omurga (W. Zhang vd., 2020) ve ekstremiteler (Miwa & Otsuka, 2017) gibi neredeyse vücudun her yapısının incelenmesinde BT görüntüleme tekniği kullanılmaktadır. Ayrıca günümüz pandemisi ilan edilen COVID-19 hastalığının erken teşhisinde, BT görüntüleme tekniği doktorlara yardımcı olan tanı yöntemlerinin başında gelmektedir (Zhao vd., 2020). COVID-19 tespiti için yapılan öncül RT-PCR (reverse-transcription polymerase chain reaction) testlerinden daha hassas sonuçlar vermesi nedeniyle göğüs BT'si COVID-19 tanısında tercih edilmektedir (Ai vd., 2020). BT, tümörün anatomik yerleşimi ve çevresindeki yapılara tutulumu hakkında yapısal bilgiler sağlamaktadır. Yüksek çözünürlüklü kesitsel BT görüntülerinde anormal lezyonlar 3 mm'den büyükse saptanabilmektedir. Şekil 5-a'da metastatik akciğer nodülünün saptanması gösterilmiştir. Şekil 5-b-c-d-e sırası ile nodülün 4., 8., 12. ve 16. aylardaki durumunu göstermektedir (Miwa & Otsuka, 2017).

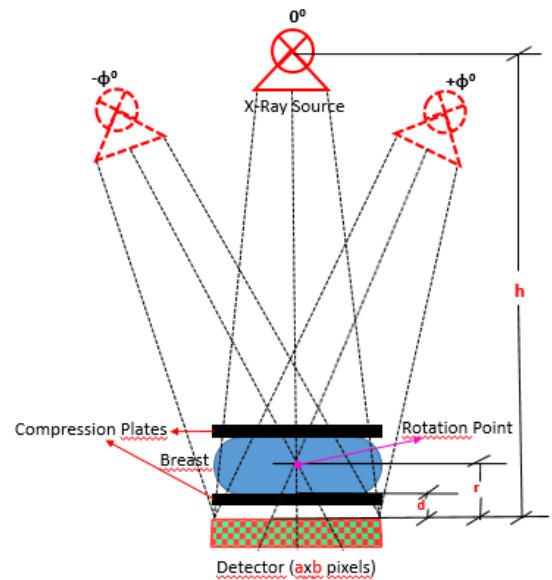
Bir BT taraması ile hastaya verilen radyasyon dozu, düzlemsel bir radyografi ile verilen radyasyon dozundan 100 ile 1000 kat daha fazla olduğu kabul edilmektedir. Bu durum, BT taramasında maruz kalınan radyasyon kaynaklı DNA yaralanmalarına ve böylece kanser riskinin artmasına neden olmaktadır. BT taraması, cerrahi planlamanın yapılması, iyi (benign) ve kötü (malign) huylu tümör arasındaki farklılaşmanın ve tekrarlayan metastatik hastalığın saptanması gibi kritik durumlarda, yüksek radyasyon riskine rağmen önerilmektedir (Miwa & Otsuka, 2017; Semelka & Elias, 2013).

BT ilk üretildiği günden bu yana tarama hızı, hasta konforu ve çözünürlük konularında büyük gelişmeler kaydetmiştir. Tarama sürelerinin hızlanması, daha fazla anatominin taranmasına, solunum veya peristalsis gibi hasta hareketinden kaynaklanan görüntülerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktadır. Günümüzde, BT görüntülemeye mümkün olan en düşük X-ışını dozu ile mükemmel görüntü kalitesi sağlamak ve

böylece daha güvenilir bir tanı koymak için çok yönlü araştırma ve geliştirme yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir (Mikla & Mikla, 2013).

2.3. Sayısal Meme Tomosentezi (DBT)

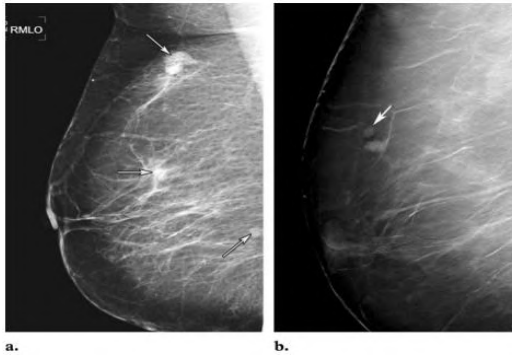
Mamografi, erken evre meme kanserinin tespiti için etkili bir görüntüleme aracıdır. Fakat mamografi yardımı ile elde edilen 2-boyutlu (2B) görüntülerde üst üste binen dokunun ortaya çıkması, meme dokusunda oluşan kanserli yapıyı yorumlamanın önünde önemli bir engel oluşturmaktadır. Meme tomosentezi, sınırlı açılardan alınan birkaç projeksiyonun geri çatılması prensibi sayesinde, doku örtüşmesi problemini azaltmak veya ortadan kaldırmak için kullanılan yenilikçi bir 3-boyutlu (3B) görüntüleme yöntemidir (Tagliafico vd., 2016). Sayısal meme tomosentezinin (Digital Breast Tomosynthesis: DBT) klinikte uygulanabilirliği, dijital mamografi sistemlerinin piyasaya sürüldüğü 1990'ların sonunda kanıtlanmıştır (Niklason vd., 1997). DBT sistemi; statik bir dedektör, meme dokusunu sıkıştırmak için kullanılan iki plaka ve bir yay kolda hareket eden X-ışını kaynağı olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Şekil 6'da örnek olarak bir DBT geometrisi gösterilmiştir. DBT geometrisinde tanımlanan uzaklıklar üretici firmaya göre farklılık göstermektedir (Polat & Yildirim, 2018). DBT görüntüleme tekniğinde, X-ışını tüpü sınırlı bir açı aralığında döndürülürken sabit bir dijital detektör ile elde edilen düşük dozlu sınırlı sayıda projeksiyon görüntüsü kullanılarak, geri çatma algoritmaları ile memenin görüntüleri dilimler halinde 3B olarak elde edilmektedir. Mamografiden elde edilen geleneksel mamogramlara kıyasla, DBT görüntüleri, meme dokusunun hedef kesitindeki yapıların daha iyi görünmesini sağlarken, diğer kesitlerdeki yapıların kontrastını azaltmaktadır (Tagliafico vd., 2016).



Şekil 6: DBT sisteminin geometrisi. X-ışın kaynağı $-\phi^\circ$ ve ϕ° açıları arasında döndürülmektedir. Dedektör boyutu $a*b$ piksel şeklinde tanımlanmıştır. Detektörden sıkıştırma plakasına, kaynağın dönüş noktasına ve X-ışın kaynağına olan uzaklıklar sırasıyla d , r ve h 'dir. dedektör boyutu $a*b$ piksel şeklinde tanımlanmıştır (Polat & Yildirim, 2018).

DBT'nin açısal tarama özelliği ile lezyonların 3B görüntülenmesi sayesinde, cerrahi planlama için tümörün meme içinde yerleştiği lokalizasyonun tespiti mümkün olmaktadır. DBT'de 3B görüntü oluşturmak amacıyla alınan birkaç projeksiyon için uygulanan toplam radyasyon dozu,

mamografide tek çekim projeksiyon için uygulanan radyasyon dozundan daha azdır. Birçok hasta tarama esnasında memenin sıkıştırılmasından kaynaklanan acı nedeniyle mamografiden kaçınmaktadır. DBT görüntüleme, mamografide yapıldığı gibi meme dokusunun dedektöre daha fazla yayılması için plakaların çok fazla sıkıştırılmasına gerek olmadığından hastalar daha az acıya maruz bırakılmaktadır (J. M. Park vd., 2007). Daha az radyasyon, daha az acı ve 3B lokalizasyon gibi birçok yararı sayesinde DBT görüntüleme sistemlerinin, 2011 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Food and Drug Administration (FDA) onayı alındıktan sonra klinikte uygulanması hızla yaygınlaşmıştır (Friedewald, 2017). Şekil 7'de sağ memede ele gelecek kadar büyük nodülü olan 59 yaşında bir kadın hastanın mamogram ve tomosentez görüntüsü gösterilmiştir. Mamogramda görünmeyen dördüncü kitle tomosentezin bir kesit görüntüsünde orataya çıkmıştır.



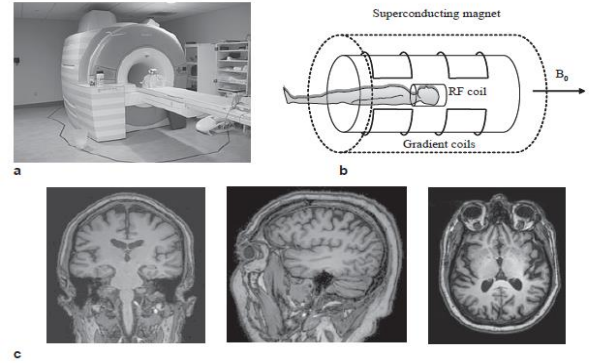
Şekil 7: (a) Dijital mamogram üç ana kütleli (oklar) gösterir; (b) Meme tomosentezi görüntüsü, üç kütleli sınırları ve dördüncü kütleli gösterir (ok) [45].

2.5. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI)

Manyetik rezonans görüntüleme (magnetic resonance imaging: MRI), hem klinik tıpta hem de biyomedikal araştırmalarda kanıtlanmış sonuçlarla 1980'lerin başında tanıtılmasından bu yana gelişen karmaşık bir görüntüleme tekniğidir. Raymond Damadian önce 1971'de fareler üzerinde, sonra 1974'te ise insanlar üzerinde yaptığı deneyler sonucunda fare ve insana ait dokuların ve tümörlerin nükleer manyetik gevşeme sürelerinin farklı olduğunu göstermiştir. Bu da bilim insanlarını hastalıkların araştırılmasında manyetik rezonans (MR) görüntüleme tekniğini kullanmaya teşvik etmiştir (Damadian, 1971; Damadian vd., 1974). Bir yıl sonra, oluşturulan bir fantomun ilk MR görüntüsü, Paul Lauterbur tarafından manyetik gradyan kullanılarak üretilmiştir (Lauterbur, 1973). İnsan vücuduna ait ilk MR görüntüsü (parmak) 1976 yılında Peter Mansfield ve meslektaşları tarafından yayınlanmıştır (Mansfield & Maudsley, 1977). Beynin ilk MR görüntüsü, 1980 yılında Nottingham'da elde edilmiştir (Hawkes vd., 1980). Peter Mansfield ile Paul Lauterbur MR görüntüleme tekniğindeki önemli katkılarından dolayı 2003 yılında Nobel tıp ödülünü almışlardır. Fakat bu iki bilim insanı MR görüntülemenin ilerlemesini sağlayan çalışmalarını birbirlerinden bağımsız olarak yapmışlardır (Smith & Webb, 2010).

Manyetik alanı genellikle 0,5 ile 7 Tesla arasında olan MR sistemlerinde manyetik alan süper iletken mıknatıslar tarafından üretilirken, helyum ile soğutulmaktadır. MR görüntüleme, farklı dokulardaki hidrojen (H) çekirdeklerinin mekânsal haritasının çıkartılması prensibine dayanmaktadır. Yani görüntüleme kullanılan veri kaynağı hücrelerde bulunan H atomudur. Görüntü yoğunluğu herhangi bir uzamsal konumdaki H çekirdeklerinin

proton sayısına bağlı olduğu gibi, dokuların viskozite, sertlik ve protein yapısına da bağlıdır. MRI sistemi üç ana donanım bileşeninden oluşmaktadır; bunlar sırası ile bir süper iletken mıknatıs, üç manyetik alan gradyan bobini (x-y-z yönlü) seti ve bir radyo frekans vericisi ve alıcısıdır (Şekil-8 a, b). Bu süper iletken mıknatısın manyetik alanı genel olarak 3 Tesla'dır, bu da dünyanın manyetik alanından yaklaşık olarak 60.000 kat daha fazladır. MR cihazının görüntüleme kullandığı enerji radyo dalgalarıdır. Radyo-frekans (RF) olarak isimlendirilen bu enerji elektromanyetik spektrum içerisinde yer alır (M. A. Brown & Semelka, 2011; Smith & Webb, 2010).

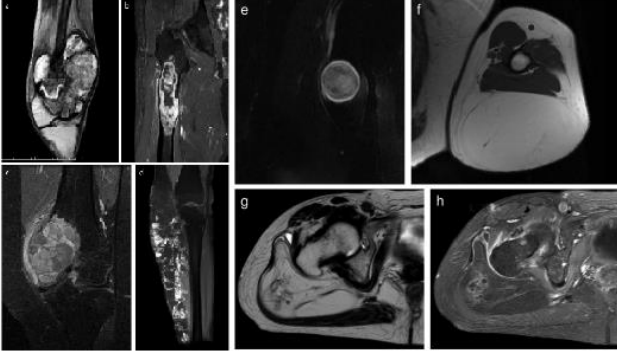


Şekil 8: Klinik MRI cihazı (a). Yatay yönde güçlü bir manyetik alan (B_0) üreten süper iletken mıknatıs dâhil olmak üzere bir MRI sisteminin üç ana bileşeni (b). Beynin MR görüntüleri sırasıyla koronal, sagittal ve aksiyal düzlemler (c) (Smith & Webb, 2010).

MR görüntülemenin ilk aşamasında, normalde RF enerjisine duyarlı olan insan vücudu güçlü bir manyetik alana maruz bırakılarak RF dalgasına duyarlı hale getirilir. Bu güçlü manyetik alan vücutta bulunan H atomlarının hizalanmasına neden olur. Kesit görüntüsü alınacak bölgeye RF dalgası gönderilir ve bu enerjiyi alan H atomları, aldıkları enerji miktarına göre hizalandıkları konumlarından saparlar. RF enerjisi kesildiğinde H atomlarının eski konumlarına geri dönme sürecinde yaydıkları RF dalgaları, alıcı tarafından toplanarak bilgisayarda görüntü oluşturulur. Farklı protonlar, protonun bulunduğu dokuya bağlı olarak farklı sinyaller gönderdiğinden MR görüntülerinde gri tonların oluşmasına neden olmaktadır. Bu gri tonların anlamı incelemenin türüne göre değişmekle beraber, genel olarak beyaz-açık tonlar alınan sinyalin fazla olduğunu, koyu-siyah alanlar ise alınan sinyalin az olduğunu göstermektedir. MR görüntüleme yumuşak doku kontrast çözümüleme gücü en yüksek radyolojik görüntüleme yöntemi olarak kabul edilmektedir (M. A. Brown & Semelka, 2011; Kasban vd., 2015; Mikla & Mikla, 2013; Smith & Webb, 2010).

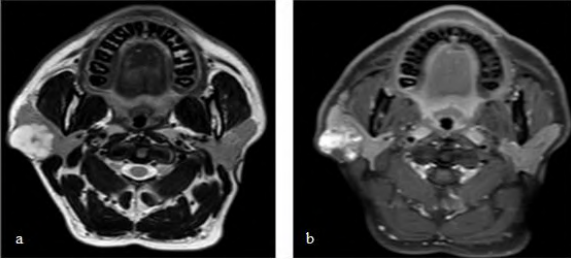
MR görüntüleme, prostat kanseri için şüpheli alanları tespit etmek ve lokalize etmek için (Stabile vd., 2020), diş hekimliğinde temporomandibular eklem bozukluklarını teşhis etmek ve tümörlerin derecesini değerlendirmek için (Di Nardo vd., 2018), özofagus hastalıklarının tanı ve tedavisi için (Leandri vd., 2019), insan plasental fonksiyonunu in-vivo değerlendirmek için (Sørensen & Sinding, 2020), hasta yenidoğanlarda beyin yaralanmalarının kesin doğasını ve derecesini değerlendirmek için (Wintermark, 2012), çeşitli jinekolojik kanserlerin görüntülenmesi için (Laifer-Narin vd., 2018), interstisyel akciğer hastalıklarını değerlendirmek için (Lonzetti vd., 2019), kalıtsal kalp hastalıklarının görüntülenmesi için (Dennis vd., 2019), radyoterapi tedavi planlaması için (Dirix vd., 2014) kullanılan, geniş uygulama yelpazesine sahip olan bir sistemdir. Şekil 9.a-h'de sırasıyla osteosarkom adı verilen kötü huylu kemik tümörü,

kondrosarkom adı verilen kötü huylu kemik tümörü, dev hücreli kemik tümörü, Schwannoma adı verilen tümör, lipom ve diferansiye liposarkom adı verilen tümörün MR görüntüsü gösterilmiştir (Miwa & Otsuka, 2017).



Şekil 9: Farklı MR tümörleri görüntüsü, (a)osteosarkom, (b) kondrosarkom, (c)dev hücreli kemik tümörü, (d) hemanjiyom, (e)Schwannoma, (f) lipom, (g) liposarkom, (h) iyi diferansiye liposarkom (Miwa & Otsuka, 2017).

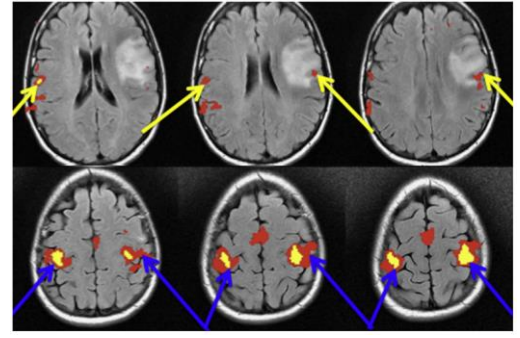
Bazı klinik taramalarda, çok küçük lezyonların saptanması gibi durumlarda kesin bir tanı için kontrastın çok düşük olduğu durumlarda, MR kontrast ajanlar sağlıklı ve hastalıklı doku arasındaki kontrastı artırmak için kullanılabilir (Smith & Webb, 2010). Şekil 10'da bu uygulamaya bir örnek gösterilmiştir (El Atta vd., 2016).



Şekil 10: a)Lezyonun iyi tanımlandığını gösteren aksel T2 ağırlıklı MR görüntüsü,(b) Kontrast Sonrası lezyon heterojen artışı gösteren MR görüntüsü (El Atta vd., 2016).

2.4.1. Fonksiyonel MR Görüntüleme (fMRI)

Fonksiyonel MR görüntüleme (fMRI), beyin hangi alanlarının spesifik bilişsel görevlerde olduğunun yanı sıra konuşma, dil ve duyu hareketi gibi genel beyin işlevlerinin beyin neresinde yer aldığını belirlemek için kullanılan bir tekniktir. Beyin fonksiyonu çalışmalarında devrim yaratan fMRI metodunun temeli, beyindeki kanın oksijen seviyesine bağlı olarak MR sinyal yoğunluğunun değişmesine dayanmaktadır. Avantajlarının yanında fMRI'nın, doğrudan nöronal aktiviteyi ölçmek yerine nöronal aktiviteye bağlı perfüzyon ile ilişkili sinyalleri ölçtüğünden klinik ortamda bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu sebeple fMRI araştırma için yaygın olarak kullanılmamasına rağmen, fMRI'nın klinik uygulamalardaki kullanımı sınırlıdır (Faro & Mohamed, 2006; Jezzard vd., 2001). fMRI inme veya diğer nörovasküler olayları takiben hasta değerlendirmesinde (Mandeville vd., 2017), bilişsel bilimlerde yapı ve işlev arasındaki bağlantıyı anlamada (Bigler, 2014), özellikle öğrenme ve gelişim çalışmalarında (Rubia, 2013) ve cerrahi öncesi planlamalarda [69] kullanılmaktadır. Şekil 11'de sağlıklı bir denekten aynı anda alınan hem el hem de dil motor hareketlerinin bir fMRI haritasını gösterilmektedir (Gabriel vd., 2014).



Şekil 11: Elin (mavi oklar) ve dilin (sarı oklar) sinir sistemi cerrahisinde cerrahi planlama için kullanılan fMRI sinyallerindeki konumları gösterir (Gabriel vd., 2014).

2.5. Nükleer Tıp

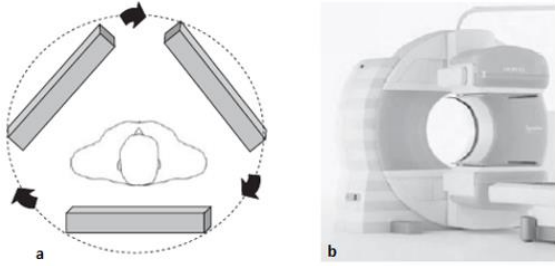
Uranyumdan gelen radyasyonun emisyonu Antoine Henri Becquerel tarafından 1896'da keşfedilmiş ve 1936'dan beri çeşitli radyoaktif izotoplar nükleer tıpta kullanılmaktadır (Samei & Peck, 2019). 1938'de insanlarda tiroid hastalıklarında Iodine (^{131}I)nin tanisal kullanımlarına ilişkin ilk makale yayınlanmıştır (Hertz vd., 1938). Bu disiplinin gelişimi bu uygulamadan sonra muazzam olmuştur ve hala ilerlemeye devam etmektedir. X-ışını görüntüleme, BT ve MR anatomik görüntüleme yöntemiyken, nükleer sintigrafi kemik döngüsü, sodyum-potasyum pompa aktivitesi ve mitokondriyal metabolizma gibi çeşitli metabolik aktiviteleri yansıtan fonksiyonel bir görüntüleme yöntemidir. Nükleer tıp görüntüleme, fizyolojik ve/veya patofizyolojik süreçleri haritalamak üzere tasarlanan enjekte edilmiş veya absorbe edilmiş radyofarmasötiklerin izlenmesini içermektedir. Bu durumda radyofarmasötikler radyasyon yayıcı olarak tanımlanmaktadır. Radyofarmasötik izotoplar vücuda ağız yoluyla verildiğinde veya enjekte edildiğinde, radyoaktif madde kendini absorbe eden belirli organlara, kemiklere veya dokulara çekilir. Bir organ veya doku radyoaktif maddeyi emdiğinde insan vücudu, özel radyasyon dedektörleri tarafından tespit edilebilen bir radyasyon üretir. Tarayıcı, hastadan gelen radyasyonları görüntüye dönüştürmek için bir bilgisayar ile çalışır. En yaygın kullanılan radyasyon izleyici Teknesyum ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)'dur ve yarılanma ömrü 6 saattir (Giussani, 2013; Mettler Jr & Guiberteau, 2012; Samei & Peck, 2019; Smith & Webb, 2010). Nükleer tıp görüntüleme iki tekniği içerir; bunlar sırası ile SPECT ve PET görüntülemesidir. PET ve SPECT görüntüleme nispeten düşük bir uzaysal çözünürlüğe sahip olmasına rağmen bu görüntüleme tekniklerinin en büyük avantajı fizyolojideki çok küçük değişiklikleri dahi inceleme imkânı veren çok yüksek molar duyarlılıklarına sahip olmasıdır (Lecomte, 2009; Poeppel vd., 2009).

2.5.1. SPECT (Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi) Görüntüleme

En temel nükleer tıp görüntüleme tekniği olan SPECT görüntülemesinde, vücuda verilen radyoformasötik maddelerden tek doğrultuda yayılan gama fotonları, SPECT dedektörleri tarafından tespit edilerek bilgisayar ünitesinde işlenerek kesitsel görüntünün oluşturulması prensibine dayanmaktadır (Cherry, 2004). Yayılan gama ışınlarını tanımlayan ve dedektöre yönlendiren kolimatör, fotonlarla yüksek etkileşimi olan uygun bir malzemeden (kurşun veya tungsten) üretilmektedir. Hastadan gelen fotonlar kolimatör üzerindeki çok sayıda delik sayesinde dedektöre iletilmektedir. Bu ışın iletimi, deliklere sadece paralel yönde gelen fotonların geçirilmesiyle gerçekleştirilmektedir ve

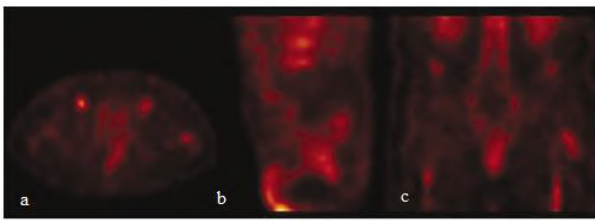
bu yolla kolimatör gelen radyasyonun uzamsal haritasını tanımlamaktadır (Smith & Webb, 2010).

İki ya da üç dedektör hastanın etrafında çeşitli açılar ile hareket ettirilerek bir dizi izdüşüm alınır. Bu izdüşümler çeşitli geri çatma algoritmalarıyla işlenerek vücut aktivite dağılımının dilim görüntüleri elde edilir (Giussani, 2013; Livieratos, 2012). Hassasiyeti arttırmak için bir gantriye (hastanın cihaz içine yerleştiği kısım) birden fazla gama kamerası monte edilebilir ve bu kameralar nesnenin etrafında döndürülerek, kesitsel fonksiyonel görüntüler elde edilir (McVeigh, 2006). Astım hastalarının ventilasyonunu incelemede (Farrow & King, 2019), araştırma amaçlı yeni ilaç çalışmalarında (Gomes vd., 2011), çeşitli kanser türlerinin görüntülenmesinde (Chua vd., 2009) ve Parkinson gibi nörodejeneratif hastalıkların tanısında ve hastalık gelişiminde (Gharibkandi & Hosseinimehr, 2019) SPECT görüntüleme tekniği kullanılır. Şekil 12 (a)'da 3 dedektörlü bir gama kamera gösterilirken şekil 12 (b) 'de klinik uygulamalarda 2 dedektörlü kullanılan SPECT cihazı gösterilmiştir (Smith & Webb, 2010).



Şekil 12: (a) Gövde görüntüleme için üç kafalı dönen bir gama kamera SPECT sistemi, (b) 2 kafalı SPECT kamera: kafalar beyni görüntülemek için içeri veya vücut için dışarı doğru hareket ettirilebilir (Smith & Webb, 2010).

Anatomik detaylardan yoksun olmasına rağmen radyofarmasötiklerin metabolik yan ürünleri kan tarafından emildiği için kemik iliği ve femoral damarlar SPECT görüntülerinde görülebilir (Lee vd., 2003). Bu duruma örnek olarak şekil 13'te pelvisin SPECT görüntüsü gösterilmektedir.

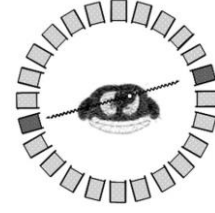


Şekil 13: Pelvisin (a) aksiyal, (b) sagittal, (c) koronal SPECT görüntüsü (Lee vd., 2003).

2.5.2. PET (Pozitron Emisyon Tomografi) Görüntüleme

Pozitron emisyon tomografisi (PET), bir hastalığın metabolizması hakkında bilgi sağlayan SPECT'e benzer bir yöntemdir. SPECT tekniğinde yayılan gama fotonları kolimatör ile tek doğrultuya yönlendirilip tespit edilirken, PET görüntüleme tekniğinde aynı anda, aynı yerde oluşan ve zıt doğrultuda yayılan fotonlar tespit edilmektedir (Livieratos, 2012). Şekil 14'te iki karşıt dedektör tarafından anihilasyon fotonlarının tespitini gösteren PET tarayıcının şematik diyagramı gösterilmiştir. Hastaya, pozitron yayını yapan radyoizotoplar enjekte edilerek alınan PET tekniğindeki görüntüler SPECT cihazına göre çözünürlüğü daha iyi olan görüntülerdir (Giussani, 2013). PET biyolojik aktivitenin görüntülenmesini sağladığı için

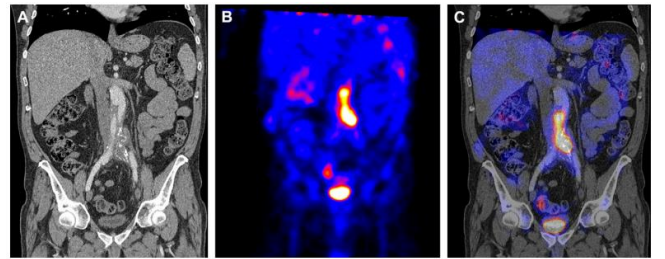
birçok hastalıkta anormal biyolojik aktiviteyi tanımlamada kullanılabilir. Demans hastalığında beyin glikoz metabolizmasındaki bölgesel farklılıkların araştırılması, PET görüntüleme uygulamasına bir örnek olarak verilebilir (Noble & Scarmeas, 2009).



Şekil 14: İki karşıt dedektör tarafından anihilasyon fotonlarının tespiti gösteren PET tarayıcının şematik diyagramı (Livieratos, 2012).

2000 yılında, PET ve BT kombinasyonu (PET-BT) klinik uygulamalarda kullanılmaya başlandıktan sonra bu teknikte muazzam gelişmeler meydana gelmiştir (Akhurst & Chisin, 2000). PET-BT, kanser hücrelerindeki farklı biyokimyasal yolları görselleştirmemizi sağlayan moleküler bir görüntüleme yöntemidir. İki farklı cihazdan alınan bilgileri bir görüntü üzerinde birbiriyle ilişkilendirmek ve yorumlamak için üretilen özel görüntüler yüksek doğrulukta bilgiler vermektedir (Giussani, 2013). PET-BT görüntüleme tekniği, belirli patolojik lenfoma tiplerinde kemik iliği infiltrasyonunun saptanmasında (Xiao-Xue vd., 2019), Hodgkin lenfoma hastalığının evrenlenmesinde (Zauch vd., 2019), farklı metabolik kemik ve eklem hastalıklarının görüntülenmesinde (Beheshti, 2018), kas-iskelet sistemi malignitelerinin tedavisinde (Kothekar vd., 2019), kardiyak cihaz enfeksiyonunun erken teşhisinde (W. Chen vd., 2018), özofagus kanserinin evrenlenmesinde (Lu vd., 2016), torasik belirsiz bulguların doğasını karakterize etmede (Wachsmann & Gerbaudo, 2014), meme kanserinin yeniden evrenlenmesinde, tedaviye yanıtının değerlendirmesinde (Shamim vd., 2008) kullanılmaktadır.

Enflamatuar abdominal aort anevrizması hariç tutulduktan yedi ay önce eklenen enfekte aorto-iliak Dacron protezine neden olan Q-ateşi (*Coxiella burnetii*) sahip 58 yaşında erkek bir hastanın (a) BT görüntüsü, (b) PET görüntüsü, (c) PET-BT görüntüsü şekil 15'te verilmiştir (Van der Vaart vd., 2008).



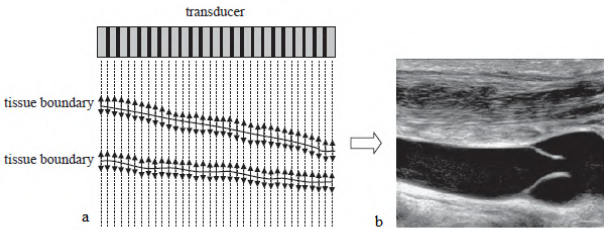
Şekil 15: Enfekte aorto-iliak Dacron protezine neden olan Q-ateşi (*Coxiella burnetii*) olan elli sekiz yaşında erkek hastaya ait (a) BT görüntüsü, (b) PET görüntüsü, (c) PET-BT görüntüsü (Van der Vaart vd., 2008).

2.6. Ultrason Görüntüleme

Görüntüleme yöntemi olarak ultrasonun potansiyeli, II. Dünya Savaşı sırasında geliştirilen sonar ve radar teknolojilerini kullanarak, dünyadaki birçok araştırmacı grubunun ultrasonun teşhis yeteneklerini keşfetmeye başladığı 1940'ların sonlarında ortaya çıkmıştır. 1950'lerin başında, Minnesota'daki John Wild ve John Reid, prototip B mod ultrason görüntüleme cihazı geliştirmişlerdir (Shung, 2015). Bu teknik yarasalar, balinalar veya yunuslar tarafından kullanılan ekolokasyona yani ses ile

yer belirlemeye benzer. Tüm standart klinik görüntüleme teknikleri içerisinde ultrasonografi hem en ucuz sistem hem de en rahat taşınabilir sistem olarak bilinmektedir. Aynı zamanda yan etkisi olmadan anlık görüntüleme alınmasını sağlamaktadır (Smith & Webb, 2010). Ultrason, ilk kullanımından bu yana çarpıcı değişiklikler geçirmiş ve orijinal hantal B modu portal sisteminden, yüksek çözünürlüklü gerçek zamanlı görüntüleme sistemine dönüşmüştür (Harvey vd., 2002).

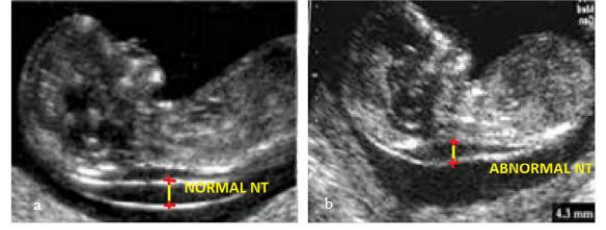
Ultrasonografi, megahertz (MHz) seviyesinde yüksek frekanslı geniş bant ses dalgaları kullanan bir tanı teknolojisidir. Tıbbi ultrason 30 kHz ile 500 MHz frekans aralığındadır. Genel olarak düşük frekanslar (30 kHz-3 MHz) terapötik amaçlar için, yüksek frekanslar (2-40 MHz) görüntüleme ve Doppler ile tanı ve çok yüksek frekanslar (50-500 MHz) mikroskobik görüntülemede kullanılmaktadır (Lemoigne vd., 2007). Görüntü üretmek için kullanılan ultrasonik dalgalar, genellikle 512'ye kadar bağımsız aktif kaynaktan oluşan tansdüser ile üretilmektedir (Smith & Webb, 2010). Hasta bölgenin yakınında cildin karşısına yerleştirilen ultrason transdüseri hastaya ultrasonik dalga gönderir. Gönderilen bu dalga dokuların özelliklerine göre ya dokular tarafından emilir ya direkt yansıtılır ya da dalganın bir kısmı transdüserine zayıflamış bir şekilde döner. Kısacası farklı dokular, bu ultrasonik dalgaların ultrason cihazına farklı şekilde yansıtılmasına neden olur ve farklı görüntüler elde edilir (Lemoigne vd., 2007; Shung, 2015). Şekil 16 (a)'da ultrason görüntülemenin temel prensibi ve şekil 16 (b)'de ultrason görüntüsü verilmiştir. Transdüser dokuya bir dizi basınç dalgası gönderir. Doku arasındaki sınırlarda, enerjinin küçük bir kısmı tespit edildiği transdüserine geri saçılır. Doku boyunca ses hızı kullanılarak doku sınırının derinliği belirlenir. Işınım örnek boyunca elektronik olarak yönlendirilmesi, görüntüyü oluşturan birbirini izleyen çizgiler oluşturur. (b) Görüntüdeki her pikselin yoğunluğu, o noktadan yansıyan ve algılanan sinyalin gücü ile orantılıdır (Smith & Webb, 2010).



Şekil 16: (a) Ultrason görüntülemenin temel prensibi. Bir transdüser doku boyunca bir dizi basınç dalgası gönderir. Dokular arasındaki sınırlarda, enerjinin küçük bir kısmı tespit edildiği transdüserine geri saçılır. Doku boyunca ses hızı kullanılarak doku sınırının derinliği belirlenir. Işınım örnek boyunca elektronik olarak yönlendirilmesi, görüntüyü oluşturan birbirini izleyen çizgiler oluşturur. (b) Görüntüdeki her pikselin yoğunluğu, o noktadan yansıyan ve algılanan sinyalin gücü ile orantılıdır (Smith & Webb, 2010).

Ultrasonografi, tümörlerin büyüklüklerini ve karakterini değerlendirmek için uygun ve non-invaziv bir yöntem sunarken, aynı zamanda damarlar gibi çevredeki yapılar hakkında da bilgi vermektedir. Ultrasondan elde edilen gerçek zamanlı hareketli görüntüler, biyopsi prosedürlerini yönlendirmek için kullanılabilir (Miwa & Otsuka, 2017). İyonlaştırıcı radyasyon ya da güçlü manyetik alanların bulunmaması nedeniyle, ultrason özellikle jinekolojide çok geniş kullanım alanı bulmaktadır. Down sendromunun anne karnında tespiti (Arjunan & Thomas, 2019) ve fetüsün ilk üç ayında merkezi sinir sistemi anormalliklerinin saptanması (N. Zhang vd., 2020) gibi uygulamalar ultrason görüntülemenin kullanım alanları arasında yer almaktadır. Şekil 17 (a)'da normal ense kalınlığına

şekil 17 (b)' de ise anormal ense kalınlığına sahip fetüs görüntüleri gösterilmiştir (Arjunan & Thomas, 2019).

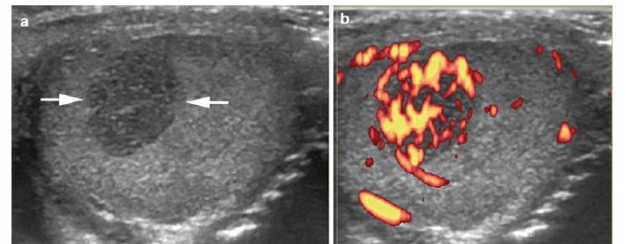


Şekil 17: a) normal ense kalınlığı, b) anormal ense kalınlığına sahip fetüs (Arjunan & Thomas, 2019).

Aynı zamanda ultrason görüntüleme teknikleri günümüzde, böbrek hastalığının tanı ve bakım sürecinde (Meola vd., 2016), tiroid nodüllerinin teşhis edilmesinde (Koundal vd., 2012), karaciğer lezyonlarının görüntülenmesinde (Virmani vd., 2014), memedeki anormal dokuların görüntülenmesinde (Jalalian vd., 2013), yumurtalık kistlerinin görüntülenmesinde (Acharya vd., 2013) ve birçok ortopedik yaralanmanın tespit edilmesinde (Simard, 2020) kullanılmaktadır.

2.6.1. DOPPLER Ultrason

Morfolojik ve yapısal bilgilere ek olarak ultrason, kan akışını gerçek zamanlı olarak ölçülebilir ve belirli bir damardaki ayrıntılı kan haritalarını üretebilir (Szabo, 2004). Doppler ultrason, hareket ile frekans değişikliklerinin analizi yoluyla herhangi bir hareketin hızını belirlemektedir (Samei & Peck, 2019). Biyomedikal alanda, bu fenomen, birçok teşhis uygulaması için ilgi çekici olan ultrason tabanlı kan akış hızı ölçümleri yapmak için kullanılmaktadır (Lemoigne vd., 2007). Doppler etkisi, bir kaynaktan yayılan ses frekansındaki bir değişikliğin bir gözlemci tarafından, kaynak veya gözlemciden birinin hareketine veya her ikisinin de hareket ettiği duruma göre algılanması olgusu olarak tanımlanmaktadır (Shung, 2015). Kanın transdüserine doğru yaklaştığı durumda, alınan frekans gönderilen frekandan daha yüksek, kanın transdüserden uzaklaştığı durumda ise daha düşük olmaktadır. İnvaziv olmayan kan akımı ölçümleri, bir takım patolojik koşullarda tanıda kritik bir bileşen olarak görülmektedir (Smith & Webb, 2010). Renkli Doppler testisteki kan akışının azalmasının tespitinde (Sung vd., 2012), damar vaskülaritesinin ve damarlarda bulunan tümörlerin özelliklerinin değerlendirilmesinde (Miwa & Otsuka, 2017), tekrarlayan tümörlerin erken saptanmasında (J.-J. Chen vd., 2013), dişi çevreleyen dokuların kan akışını ölçmede (Yoon vd., 2010), ses tellerinin morfolojisinin tanımlanmasında ve ses tellerinin titreşimli dokusundaki yer değiştirme hızının ölçülmesinde (Hsiao vd., 2001) kullanılmaktadır. Şekil 18'de tümürlü bir yapıya sahip olan testisin ultrason görüntüsü ve Doppler ultrason görüntüsü gösterilmiştir (McCarville, 2015).



Şekil 18: (a) İyi tanımlanmış, küçük, katı, hipoeoik bir kütle ortaya çıkaran (oklar) testisin enine ultrason görüntüsü, (b) Testopüler Sertoli-Leydig hücre tümörü olan hastaya ait hipervasküler (turuncu yapılar) Doppler görüntüsü (McCarville, 2015).

2.7. Elektrik Empedansı Tomografisi (EIT)

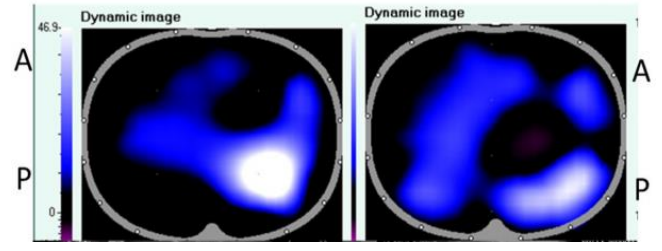
Elektriksel empedans tomografisinin (EIT) bildirilen ilk kullanımı, 1930'lerde jeolojik bir çalışma olduğu belirtilmiştir (Stefanescu vd., 1930). Tıpta yeni kullanılmaya başlanan EIT, BT ve PET gibi tekniklerle karşılaştırıldığında yaklaşık bin kat daha ucuz, oldukça küçük ebatlara sahip ve iyonlaştırıcı radyasyon gerektirmeyen bir görüntüleme tekniğidir. EIT prensipte saniyede binlerce görüntü üretebilirken, kısıtlarının başında düşük uzamsal çözünürlüğe sahip olması gelmektedir (Bayford, 2006; Chitturi & Farrukh, 2019).

İnsan vücudunun anatomisi ve dokuların sağlığı hakkında bilgi, dokunun elektriksel iletkenliğinin görüntülenmesiyle elde edilmektedir. Biyolojik doku empedans ölçümleri düşük (20 Hz) ile yüksek (1 MHz) frekanslar aralığında yapılmaktadır (Bayford, 2006). Tablo 1'de farklı dokuların 10 kHz'deki elektriksel iletkenlikleri gösterilmiştir (Gray, 2002). EIT kullanılarak elde edilen ilk klinik görüntüler, direnç dağılımının tomografik görüntü haritalarını üretmek için insan vücudundaki çeşitli dokuların elektrik empedansını kullanan bir sistem geliştiren Sheffield grubu tarafından üretilmiştir (B. H. Brown & Seagar, 1987).

Tablo 1. 10kHz'deki sağlıklı dokuların elektriksel iletkenliği (B. H. Brown & Seagar, 1987).

Doku	Elektriksel İletkenlik (mS/cm)
Beyin Omurilik Sıvısı	15.4
Kan	6.7
Karaciğer	2.8
Sinir Doku	1.7
Gri madde	3.5
Beyaz madde	1.5
Akciğer	1.0 (soluk verme), 4.0 (soluk alma)
Kan	6.7
Yağ	0.36
Kemik	0.06

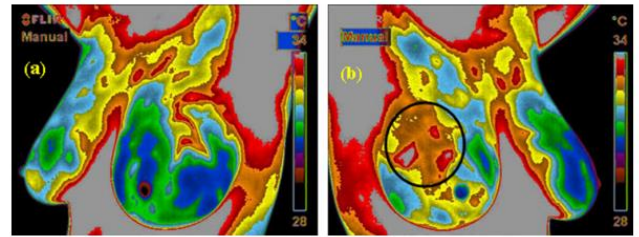
EIT'de vücut yüzeyine yerleştirilen elektrotlardan çok sayıda empedans ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçümler bir bilgisayar tarafından işlenerek görüntülenecek olan dokunun iki boyutlu görüntüleri üretilmektedir. Dokuların iletkenliklerindeki farklılıklar görüntüdeki gri tonları meydana getirmektedir (Bayford, 2006; Holder, 2004). EIT görüntülemenin, akciğerlerin ve pulmoner emboli ventilasyonunun görüntülenmesi, kan pıhtılarının saptanması (Nguyen vd., 2012), in vivo meme dokusunun 3 boyutlu tomografik görüntülerinin üretilmesi (Cherepenin vd., 2002), meme kanseri teşhisi (Zou & Guo, 2003) ve epileptik aktivite sırasında empedans değişikliklerinin görüntülenmesi (Eadie vd., 2001) gibi çeşitli klinik uygulamaları bulunmaktadır. Şekil 19'da oksijen gereksinimi yüksek olan hastanın akciğerlerindeki bağıl bölgesel ventilasyon dağılımını gösteren EIT görüntüleri verilmiştir (Davies vd., 2019).



Şekil 19: Eşzamanlı radyografilerle göğüs drenaj öncesi (solda) ve sonrası (sağda) canlı empedans görüntüleri. Her alandaki empedans değişikliğini gösteren canlı tidal EIT görüntüleri, daha parlak (beyaz) pikseller, o bölgede artan ventilasyona eşdeğer daha büyük bir empedans değişikliğini göstermektedir (Davies vd., 2019).

2.8. Kızılötesi Termal Görüntüleme (IRT)

1800 yılında Sir William Herschel tarafından kızılötesi (IR) radyasyonun keşfinin ardından, sıcaklık ölçümü alanında çığır açan oğlu John Herschel tarafından ilk termal görüntünün kaydı yapılmıştır (E. F. J. Ring, 2007). Hardy, 1934'te insan vücudundan gelen kızılötesi emisyonun fizyolojik rolünü tanımlamış (Hardy, 1934) ve tıp bilimlerinde kızılötesi termografi kullanımının önünü açan kızılötesi teknikle sıcaklık ölçümünün tanınmasını belirlemiştir. Bu alanda kaliteli ekipman ve teknik bilgi birikiminin olmaması nedeniyle ilk kızılötesi termal görüntüleme (IRT) kullanımı ancak 1960 yılında yapılmıştır (F. Ring, 2010). Teknolojisi, çözünürlüğü, görüntü boyutu, kullanım kolaylığı ve taşınabilirliği konularındaki gelişmeleri sayesinde, artık klinik uygulamada tanınan ve noninvaziv görüntüleme yapan IRT'nin kullanımı yaygınlaşmıştır (Sousa vd., 2017). Kızılötesi termografi, sıcaklığını belirlemek için bir yüzey tarafından yayılan radyasyonun ölçülmesi kuralına göre çalışmaktadır. Kızılötesi görüntüleme, sıcaklık dağılımını görüntülemek için insan vücudundaki radyasyon, kızılötesi bir kamera ile vücuda temas etmeden algılanarak, yapısal bilgiler yerine fizyolojik aktivite hakkında bilgi vermektedir (Vollmer & Möllmann, 2017). Tümör, oldukça vaskülarize bir yapı içerdiğinden arka plan dokusundan daha sıcak görünmektedir (Lahiri vd., 2012). Şekil 20'de meme kanserli bir hastanın sağ ve sol meme termogramı görüntüleri gösterilmiştir. Sağ meme termogramındaki çevrili bölge, çevredeki normal bölgelere göre daha yüksek sıcaklık gösterir. Daha sonra yapılan biyopsi sağ memede kanserin varlığını doğrulamıştır (Lahiri vd., 2012).



Şekil 20: Meme kanserli hastanın tipik termal görüntüleri, (a) sol meme termogramı ve (b) sağ meme termogramı. Sağ meme termogramındaki çevrili bölge, çevredeki normal bölgelere göre daha yüksek sıcaklık gösterir. Daha sonra yapılan biyopsi sağ memede kanserin varlığını doğrulamıştır (Lahiri vd., 2012).

Kızılötesi görüntülemenin tıp bilimindeki çeşitli uygulamaları meme kanseri tespiti (Kandlikar vd., 2017; Lozano III & Hassanipour, 2019) diyabetik nöropati (Subramniaam Bagavathiappan vd., 2010), vasküler bozukluk (S Bagavathiappan vd., 2009), beyin görüntüleme (termoensefaloskopi) (Shevelev, 1998), diş hekimliği (Fikackova & Ekberg, 2004), kas ağrısı ve omuz sıkışma sendromunu

görüntüleme (J.-Y. Park vd., 2007), romatolojik hastalıkların tanısı (Cherkas vd., 2003), kalp tedavisi (Manginas vd., 2010), kuru göz sendromu tanısı (Sniegowski vd., 2015) şeklinde sıralanabilir. Bu kullanım alanlarına ek olarak profesyonel futbolcuada meydana gelen kas problemlerinin tespitinde ve iyileşme sürecinin gözlemlenmesinde deneysel olarak çalışmalar yapılmıştır (Ergene vd., 2020). Kızılötesi termal görüntüleme yüksek duyarlılık ve özgüllük avantajı sağlarken, küçük tümör dokularının cilt yüzeyinde yeterli miktarda sıcaklık farkı oluşturamaması nedeniyle, daha küçük boyutlu kanserli dokuları daha derin yerlerden tespit edememektedir (Carlak vd., 2016).

3. İleri Biyomedikal Görüntüleme Tekniklerinin Karşılaştırılması

Makalede ileri biyomedikal görüntüleme teknikleri, görüntü kalitesi (mekansal çözünürlük ve kontrast), güvenlik (iyonize radyasyon etkisi ve ısıtma etkisi), radyasyonun vücuda etkisi ve sistem kullanılabilirliği (gerçek zamanlı bilgi ve maliyet) hakkında çeşitli parametreler üzerinden karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir. İleri biyomedikal görüntüleme teknikleri mekanizma, hassasiyet, avantajlar, dezavantajlar ve kullanım alanları bakımından Tablo-2'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 2: Farklı Biyomedikal Görüntüleme teknikleri arasındaki karşılaştırma

Görüntüleme Teknikleri	Mekanizma	Hassasiyet	Avantajlar	Dezavantajlar	Kullanım Alanları
X-Ray	X-ray emisyonu	1 mm	Kolay kullanım, yüksek detay, derine ulaşabilme	Radyoaktif etki, düşük kimyasal algılama	Yumuşak dokular ve sıvı
BT	X-ray emisyonu	0.5 mm	Non-invaziv, hızlı ve ağrısız, fiziksel yoğunluktaki küçük farklar ile ayırt edilir.	Radyoaktif etki, gerçek zamanlı bilgi yok, yüksek maliyet	Sert ve yumuşak doku
DBT	X-ray emisyonu	1 mm	Non-invaziv, kolay kullanım, yoğun meme dokusundaki tümörlerin kolay tespiti	Yüksek maliyet, radyoaktif etki, yetersiz nitelikli personel eksikliği	Yumuşak doku
MRI	Proton kutuplanması ve salınması	0.5 mm	Kolay kullanım, derine ulaşabilme	Yüksek maliyet, uzun görüntüleme süresi	Sert ve yumuşak doku
PET/SPECT	Gamma ışını emisyonu	3 mm	Kolay kullanım, derine ulaşabilme, yüksek moleküler hassasiyet	Yüksek maliyet, düşük detay, ışımsal etiketleme	Hücre metabolizma, hücre takibi
US	Akustik dönüş	1 mm	Kolay kullanım, derine ulaşabilme, yüksek hız, gerçek zamanlı görüntüleme, düşük maliyet	Düşük detay, düşük kimyasal hassasiyet,	Yumuşak doku
EIT	Elektriksel iletkenlik	5-7 mm	Non-invaziv, radyasyon içermeyen, gerçek zamanlı	Düşük uzamsal çözünürlük, elektrotların yerleştirilme problemi	Yumuşak doku
IRT	Vücudun yaydığı radyasyon.	15 µm	Non-invaziv iyonlaştırmayan radyasyon, düşük maliyetli	Yetersiz uzamsal çözünürlük, kötü kalibrasyon sistemleri, ısıtma etkisi fazla	Yumuşak doku

4. Tartışma ve Sonuç

İleri biyomedikal görüntüleme teknikleri, biyolojik sistemlerin karmaşıklığının çözülmesi ve anlaşılması, temel, cerrahi ve klinik tıp bilimlerine teknolojik katkılar sunarak sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi ve hastalık tanısı ve tedavisi için güçlü, yeni ve dikkate değer yetenekler sunmaktadır. İleri biyomedikal görüntüleme son gelişmeler sadece yapı ve morfolojinin görüntülenmesine değil, hastalığın altında yatan bireysel biyolojik süreçlerin görselleştirilmesine de odaklanmıştır.

Bu çalışma birçok ileri biyomedikal görüntüleme teknikleri arasında karşılaştırmalı bir rapor sunarken, bu tekniklerin kavramları, çalışma prensipleri, teknolojik gelişim süreçleri, faydaları, riskleri ve uygulamaları ayrıntılarıyla sunulmuştur. Bu tekniklerden Röntgen (X-ray) görüntüleme (X-ray radyografisi), bilgisayarlı tomografi (BT), sayısal meme tomosentezi (DBT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT), pozitron emisyon tomografi (PET), ultrason görüntüleme, Doppler ultrason, elektrik empedansı tomografisi (EIT) ve kızılötesi termal görüntüleme (IRT) yöntemleri incelenmiştir.

Çeşitli parametrelerin ele alınarak karşılaştırmalı bir raporun sunulduğu bu derleme çalışmasında, farklı açılardan yapılan tartışmalar ve incelemeler, bu tekniklerin hiçbirinin, tıp alanlarının tümünde tek başına yeterli ve kesin sonuçlar veremeyeceğini göstermektedir. Ancak büyük oranda avantajlı, güçlü ve üstün oldukları kendi uygulama alanlarında, hastalık tanı ve tedavi noktasında göstermiş oldukları performanslar sayesinde, ileri biyomedikal görüntüleme teknikleri tıp ve sağlık dünyasının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Fizik ve matematik temel bilimlerinin kullanıldığı bilgisayar, elektronik ve yapay zekâ teknolojilerindeki başdöndürücü gelişmeler sayesinde, ileri biyomedikal görüntüleme tekniklerinde üstün yetenekler bakımından yeni bir döneme girileceği ve Ar-Ge faaliyetlerinin hız kesmeden devam edeceği açık olarak görülmektedir.

Kaynakça

Acharya, U. R., Saba, L., Molinari, F., Guerriero, S., & Suri, J. S. (2013). Ovarian tumor characterization and classification using ultrasound: A new online paradigm. İçinde *Ovarian neoplasm imaging* (ss. 413–423). Springer.

Ai, T., Yang, Z., Hou, H., Zhan, C., Chen, C., Lv, W., Tao, Q., Sun, Z., & Xia, L. (2020). Correlation of chest CT and RT-PCR testing in coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: a report of 1014 cases. *Radiology*, 200642.

Akhurst, T., & Chisin, R. (2000). Hybrid PET/CT machines: optimized PET machines for the new millennium? *Journal of Nuclear Medicine*, 41(5), 961–962.

Arjunan, S. P., & Thomas, M. C. (2019). A Review of Ultrasound Imaging Techniques for the Detection of Down Syndrome. *IRBM*.

Assmus, A. (1995). Early history of X rays. *Beam Line*, 25(2), 10–24.

Bagavathiappan, S., Saravanan, T., Philip, J., Jayakumar, T., Raj, B., Karunanithi, R., Panicker, T. M. R., Korath, M. P., & Jagadeesan, K. (2009). Infrared thermal imaging for detection of peripheral vascular disorders. *Journal of medical physics/Association of Medical Physicists of India*, 34(1), 43.

Bagavathiappan, Subramnaian, Philip, J., Jayakumar, T., Raj, B., Rao, P. N. S., Varalakshmi, M., & Mohan, V. (2010). Correlation between plantar foot temperature and diabetic neuropathy: a case study by using an infrared thermal imaging technique. *Journal of diabetes science and technology*, 4(6), 1386–1392.

Bayford, R. H. (2006). Bioimpedance tomography (electrical impedance tomography). *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 8, 63–91.

Beheshti, M. (2018). 18F-Sodium Fluoride PET/CT and PET/MR Imaging of Bone and Joint Disorders. *PET clinics*, 13(4), 477–490.

Bercovich, E., & Javitt, M. C. (2018). Medical Imaging: From Roentgen to the Digital Revolution, and Beyond. *Rambam Maimonides medical journal*, 9(4).

Bigler, E. D. (2014). Magnetic resonance imaging in the evaluation of cognitive function. *Pediatric blood & cancer*, 61(10), 1724–1728.

Brown, B. H., & Seagar, A. D. (1987). The Sheffield data collection system. *Clinical Physics and Physiological Measurement*, 8(4A), 91.

Brown, M. A., & Semelka, R. C. (2011). *MRI: basic principles and applications*. John Wiley & Sons.

Carlak, H. F., Gencer, N. G., & Besikci, C. (2016). Theoretical assessment of electro-thermal imaging: A new technique for medical diagnosis. *Infrared Physics & Technology*, 76, 227–234.

Chen, J.-J., Fu, S.-Y., Chiang, C.-S., Hong, J.-H., & Yeh, C.-K. (2013). A preclinical study to explore vasculature differences between primary and recurrent tumors using ultrasound Doppler imaging. *Ultrasound in medicine & biology*, 39(5), 860–869.

Chen, W., Sajadi, M. M., & Dilsizian, V. (2018). Merits of FDG PET/CT and functional molecular imaging over anatomic imaging with echocardiography and CT angiography for the diagnosis of cardiac device infections. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 11(11), 1679–1691.

Cherepenin, V. A., Karpov, A. Y., Korjensky, A. V., Kornienko, V. N., Kultiasov, Y. S., Ochapkin, M. B., Trochanova, O. V., & Meister, J. D. (2002). Three-dimensional EIT imaging of breast tissues: system design and clinical testing. *IEEE transactions on medical imaging*, 21(6), 662–667.

Cherkas, L. F., Carter, L., Spector, T. D., Howell, K. J., Black, C. M., & MacGregor, A. J. (2003). Use of thermographic criteria to identify Raynaud's phenomenon in a population setting. *The Journal of rheumatology*, 30(4), 720–722.

Cherry, S. R. (2004). In vivo molecular and genomic imaging: new challenges for imaging physics. *Physics in Medicine & Biology*, 49(3), R13.

Chitturi, V., & Farrukh, N. (2019). Spatial resolution in electrical impedance tomography: A topical review. *Journal of Electrical Bioimpedance*, 8(1), 66–78.

Choi, J. W., van Rosendael, A. R., Bax, A. M., van den Hoogen, I. J., Gianni, U., Baskaran, L., Andreini, D., De Cecco, C. N., Earls, J., & Ferencik, M. (2020). The Journal of Cardiovascular Computed Tomography year in review–2019. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*.

Chua, S., Gnanasegaran, G., & Cook, G. J. R. (2009).

- Miscellaneous cancers (lung, thyroid, renal cancer, myeloma, and neuroendocrine tumors): role of SPECT and PET in imaging bone metastases. *Seminars in nuclear medicine*, 39(6), 416–430.
- Damadian, R. (1971). Tumor detection by nuclear magnetic resonance. *Science*, 171(3976), 1151–1153.
- Damadian, R., Zaner, K., Hor, D., & DiMaio, T. (1974). Human tumors detected by nuclear magnetic resonance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 71(4), 1471–1473.
- Davies, P., Yasin, S., Gates, S., Bird, D., & Silvestre, C. (2019). Clinical scenarios of the application of electrical impedance tomography in paediatric intensive care. *Scientific reports*, 9(1), 1–8.
- Dennis, M., Ugander, M., Kozor, R., & Puranik, R. (2019). Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging of Inherited Heart Conditions. *Heart, Lung and Circulation*.
- Dhawan, A. P. (2011). *Medical image analysis* (C. 31). John Wiley & Sons.
- Di Nardo, D., Gambarini, G., Capuani, S., & Testarelli, L. (2018). Nuclear magnetic resonance imaging in endodontics: a review. *Journal of endodontics*, 44(4), 536–542.
- Dirix, P., Haustermans, K., & Vandecaveye, V. (2014). The value of magnetic resonance imaging for radiotherapy planning. *Seminars in radiation oncology*, 24(3), 151–159.
- Dunne, R. M., O'Neill, A. C., & Tempny, C. M. (2017). Imaging Tools in Clinical Research: Focus on Imaging Technologies. İçinde *Clinical and Translational Science* (ss. 157–179). Elsevier.
- Eadie, L., Bagshaw, A., Bayford, R., Binnie, C., & Holder, D. (2001). Electrical impedance tomography imaging of epileptic activity in humans. *Neuroimage*, 13(6), 1314.
- Ehman, R. L., Hendee, W. R., Welch, M. J., Dunnick, N. R., Bresolin, L. B., Arenson, R. L., Baum, S., Hricak, H., & Thrall, J. H. (2007). Blueprint for imaging in biomedical research. *Radiology*, 244(1), 12–27.
- El Atta, M. M. A., Amer, T. A., Gaballa, G. M., & El-Sayed, N. T. M. (2016). Multi-phasic CT versus dynamic contrast enhanced MRI in characterization of parotid gland tumors. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 47(4), 1361–1372.
- Ergene, M. C., Bayrak, A., & Ceylan, M. (2020). Tracking the injury recovery of professional football players with infrared thermography: Preliminary Study. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 207–213.
- Ertürk, C. (2005). *Karaciğer transplantasyonu sonrası hepatik arter komplikasyonlarının multidedektör bilgisayarlı Tomografik anjiografi ile değerlendirilmesi*.
- Erturk, S. M., Johnston, C., Tempny-Afdhal, C., & Van den Abbeele, A. D. (2009). Imaging Tools in Human Research. İçinde *Clinical and Translational Science* (ss. 87–104). Elsevier.
- Faro, S. H., & Mohamed, F. B. (2006). *Functional MRI: basic principles and clinical applications*. Springer Science & Business Media.
- Farrow, C., & King, G. (2019). SPECT Ventilation Imaging in Asthma. *Seminars in nuclear medicine*, 49(1), 11–15.
- Fikackova, H., & Ekberg, E. (2004). Can infrared thermography be a diagnostic tool for arthralgia of the temporomandibular joint? *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 98(6), 643–650.
- Friedewald, S. M. (2017). Breast tomosynthesis: practical considerations. *Radiologic Clinics*, 55(3), 493–502.
- Gabriel, M., Brennan, N. P., Peck, K. K., & Holodny, A. I. (2014). Blood oxygen level dependent functional magnetic resonance imaging for presurgical planning. *Neuroimaging Clinics*, 24(4), 557–571.
- Ganguly, D., Chakraborty, S., Balitanas, M., & Kim, T. (2010). Medical Imaging: A Review. İçinde *Communications in Computer and Information Science* (C. 78, ss. 504–516). https://doi.org/10.1007/978-3-642-16444-6_63
- Gharibkandi, N. A., & Hosseinimehr, S. J. (2019). Radiotracers for imaging of Parkinson's disease. *European journal of medicinal chemistry*, 166, 75–89.
- Giussani, A. (2013). *Imaging in nuclear medicine*. Springer.
- Gleeson, F. V. (2008). Imaging in chest disease. *Medicine*, 36(3), 132–141.
- Gomes, C. M., Abrunhosa, A. J., Ramos, P., & Pauwels, E. K. J. (2011). Molecular imaging with SPECT as a tool for drug development. *Advanced drug delivery reviews*, 63(7), 547–554.
- Gray, G. A. (2002). *A variational study of the electrical impedance tomography problem*.
- Gunderman, R. B. (2012). *X-ray vision: the evolution of medical imaging and its human significance*. Oxford University Press.
- Hardy, J. D. (1934). The radiation of heat from the human body: I. An instrument for measuring the radiation and surface temperature of the skin. *The Journal of clinical investigation*, 13(4), 593–604.
- Harvey, C. J., Pilcher, J. M., Eckersley, R. J., Blomley, M. J. K., & Cosgrove, D. O. (2002). Advances in ultrasound. *Clinical Radiology*, 57(3), 157–177.
- Hawkes, R. C., Holland, G. N., Moore, W. S., & Worthington, B. S. (1980). Nuclear magnetic resonance (NMR) tomography of the brain: a preliminary clinical assessment with demonstration of pathology. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 4(5), 577–586.
- Hendee, W. R., & Ritenour, E. R. (2003). *Medical imaging physics*. John Wiley & Sons.
- Hertz, S., Roberts, A., & Evans, R. D. (1938). Radioactive Iodine as an Indicator in the Study of Thyroid Physiology. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 38(4), 510–513.
- Hogg, P., Kelly, J., & Mercer, C. (2015). *Digital Mammography*. Springer.
- Holder, D. (2004). *Electrical impedance tomography: methods, history and applications*. CRC Press.
- Hounsfield, G. N. (1973). Computerized transverse axial scanning (tomography): Part 1. Description of system. *The British journal of radiology*, 46(552), 1016–1022.
- Hsiao, T.-Y., Wang, C.-L., Chen, C.-N., Hsieh, F.-J., & Shau, Y.-W. (2001). Noninvasive assessment of laryngeal phonation function using color Doppler ultrasound imaging. *Ultrasound in medicine & biology*, 27(8), 1035–1040.
- Jalalian, A., Mashohor, S. B. T., Mahmud, H. R., Saripan, M. I. B., Ramli, A. R. B., & Karasfi, B. (2013). Computer-aided detection/diagnosis of breast cancer in mammography and ultrasound: a review. *Clinical imaging*, 37(3), 420–426.
- Jensen, M., & Wilhjelm, J. E. (2006). *X-ray imaging: Fundamentals and planar imaging*. Report.
- Jezzard, P., Matthews, P. M., & Smith, S. M. (2001). *Functional MRI: an introduction to methods* (C. 61). Oxford university press Oxford.
- Kandlikar, S. G., Perez-Raya, I., Raghupathi, P. A., Gonzalez-

- Hernandez, J.-L., Dabydeen, D., Medeiros, L., & Phatak, P. (2017). Infrared imaging technology for breast cancer detection—Current status, protocols and new directions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 2303–2320.
- Kasban, H., El-Bendary, M. A. M., & Salama, D. H. (2015). A comparative study of medical imaging techniques. *International Journal of Information Science and Intelligent Systems*, 4(2), 37–58.
- Kothekar, E., Raynor, W. Y., Al-Zaghal, A., Jonnakuti, V. S., Werner, T. J., & Alavi, A. (2019). Evolving role of PET/CT-MRI in assessing muscle disorders. *PET clinics*, 14(1), 71–79.
- Koundal, D., Gupta, S., & Singh, S. (2012). Computer-aided diagnosis of thyroid nodule: a review. *International Journal of Computer Science and Engineering Survey*, 3(4), 67.
- Lahiri, B. B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., & Philip, J. (2012). Medical applications of infrared thermography: a review. *Infrared Physics & Technology*, 55(4), 221–235.
- Laifer-Narin, S. L., Genestine, W. F., Okechukwu, N. C., Hecht, E. M., & Newhouse, J. H. (2018). The role of computed tomography and magnetic resonance imaging in gynecologic oncology. *PET clinics*, 13(2), 127–141.
- Lauterbur, P. C. (1973). Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance. *nature*, 242(5394), 190–191.
- Leandri, C., Soyer, P., Oudjit, A., Guillaumot, M.-A., Chaussade, S., Dohan, A., & Barret, M. (2019). Contribution of magnetic resonance imaging to the management of esophageal diseases: A systematic review. *European Journal of Radiology*, 120, 108684.
- Lecomte, R. (2009). Novel detector technology for clinical PET. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*, 36(1), 69–85.
- Lee, Z., Nagano, K. K., Duerk, J. L., Sodee, D. B., & Wilson, D. L. (2003). Automatic registration of MR and SPECT images for treatment planning in prostate cancer. *Academic radiology*, 10(6), 673–684.
- Lemoigne, Y., Caner, A., & Rahal, G. (2007). *Physics for medical imaging applications* (C. 240). Springer Science & Business Media.
- Livieratos, L. (2012). Basic principles of SPECT and PET imaging. *Çinde Radionuclide and Hybrid Bone Imaging* (ss. 345–359). Springer.
- Lonzett, L., Zanon, M., Pacini, G. S., Altmayer, S., de Oliveira, D. M., Rubin, A. S., Gazzoni, F. F., Barros, M. C., & Hochhegger, B. (2019). Magnetic resonance imaging of interstitial lung diseases: A state-of-the-art review. *Respiratory medicine*.
- Lozano III, A., & Hassanipour, F. (2019). Infrared imaging for breast cancer detection: An objective review of foundational studies and its proper role in breast cancer screening. *Infrared Physics & Technology*, 97, 244–257.
- Lu, J., Sun, X., Yang, X., Tang, X., Qin, Q., Zhu, H., Cheng, H., & Sun, X. (2016). Impact of PET/CT on radiation treatment in patients with esophageal cancer: A systematic review. *Critical reviews in oncology/hematology*, 107, 128–137.
- Mah, J. K., Huang, J. C., & Choo, H. (2010). Practical applications of cone-beam computed tomography in orthodontics. *The Journal of the American Dental Association*, 141, 7S-13S.
- Mandeville, E. T., Ayata, C., Zheng, Y., & Mandeville, J. B. (2017). Translational MR neuroimaging of stroke and recovery. *Translational stroke research*, 8(1), 22–32.
- Manginas, A., Andreanides, E., Leontiadis, V., Sfyarakis, P., Maounis, T., Degiannis, D., Alivizatos, P. A., & Cokkinos, D. V. (2010). Right ventricular endocardial thermography in transplanted and coronary artery disease patients: first human application. *Journal of Invasive Cardiology*, 22(9), 400.
- Mansfield, P., & Maudsley, A. A. (1977). Medical imaging by NMR. *The British journal of radiology*, 50(591), 188–194.
- McCarville, M. B. (2015). Imaging techniques used in the diagnosis of pediatric tumors. *Çinde Pediatric malignancies: Pathology and imaging* (ss. 7–18). Springer.
- McVeigh, E. R. (2006). Emerging imaging techniques. *Circulation research*, 98(7), 879–886.
- Meola, M., Petrucci, I., & Ronco, C. (2016). *Ultrasound imaging in acute and chronic kidney disease*. Karger Medical and Scientific Publishers.
- Mettler Jr, F. A., & Guiberteau, M. J. (2012). *Essentials of Nuclear Medicine Imaging: Expert Consult-Online and Print*. Elsevier Health Sciences.
- Mikla, V. I., & Mikla, V. V. (2013). *Medical imaging technology*. Elsevier.
- Miwa, S., & Otsuka, T. (2017). Practical use of imaging technique for management of bone and soft tissue tumors. *Journal of Orthopaedic Science*, 22(3), 391–400.
- Moghaddam, K. K., Taheri, T., & Ayubian, M. (2008). Bone structure investigation using X-ray and neutron radiography techniques. *Applied Radiation and Isotopes*, 66(1), 39–43.
- Mourad, C., Omoumi, P., Malghem, J., & Berg, B. C. Vande. (2019). Conventional Radiography of the Hip Revisited: Correlation with Advanced Imaging. *Magnetic Resonance Imaging Clinics*, 27(4), 661–683.
- Nguyen, D. T., Jin, C., Thiagalingam, A., & McEwan, A. L. (2012). A review on electrical impedance tomography for pulmonary perfusion imaging. *Physiological measurement*, 33(5), 695.
- Niklason, L. T., Christian, B. T., Niklason, L. E., Kopans, D. B., Castleberry, D. E., Opsahl-Ong, B. H., Landberg, C. E., Slanetz, P. J., Giardino, A. A., & Moore, R. (1997). Digital tomosynthesis in breast imaging. *Radiology*, 205(2), 399–406.
- Noble, J. M., & Scarneas, N. (2009). Application of Pet Imaging to Diagnosis of Alzheimer’s Disease and Mild Cognitive Impairment1. *International review of neurobiology*, 84, 133–149.
- Ørnbjerg, L. M., & Østergaard, M. (2020). Assessment of structural damage progression in established rheumatoid arthritis by conventional radiography, computed tomography, and magnetic resonance imaging. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 101481.
- Pallaver, A., & Honigmann, P. (2019). The Role of Cone-Beam Computed Tomography (CBCT) Scan for Detection and Follow-Up of Traumatic Wrist Pathologies. *The Journal of hand surgery*.
- Park, J.-Y., Hyun, J. K., & Seo, J.-B. (2007). The effectiveness of digital infrared thermographic imaging in patients with shoulder impingement syndrome. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 16(5), 548–554.
- Park, J. M., Franken Jr, E. A., Garg, M., Fajardo, L. L., & Niklason, L. T. (2007). Breast tomosynthesis: present considerations and future applications. *Radiographics*, 27(suppl_1), S231–S240.
- Penaloza, T. Y. M., Karkhanis, S., Kvaal, S. I., Nurul, F.,

- Kanagasam, S., Franklin, D., Vasudavan, S., Kruger, E., & Tennant, M. (2016). Application of the Kvaal method for adult dental age estimation using Cone Beam Computed Tomography (CBCT). *Journal of forensic and legal medicine*, 44, 178–182.
- Poeppel, T. D., Krause, B. J., Heusner, T. A., Boy, C., Bockisch, A., & Antoch, G. (2009). PET/CT for the staging and follow-up of patients with malignancies. *European journal of radiology*, 70(3), 382–392.
- Polat, A., & Yildirim, I. (2018). An iterative reconstruction algorithm for digital breast tomosynthesis imaging using real data at three radiation doses. *Journal of X-ray science and technology*, 26(3), 347–360.
- Qureshi, N. R., & Gleeson, F. V. (2006). Imaging of pleural disease. *Clinics in chest medicine*, 27(2), 193–213.
- Radon, J. (2005). 1.1 über die bestimmung von funktionen durch ihre integralwerte längs gewisser mannigfaltigkeiten. *Classic papers in modern diagnostic radiology*, 5, 21.
- Ring, E. F. J. (2007). The historical development of temperature measurement in medicine. *Infrared physics & technology*, 49(3), 297–301.
- Ring, F. (2010). *Thermal imaging today and its relevance to diabetes*. SAGE Publications.
- Romans, L. (2018). *Computed Tomography for Technologists: A comprehensive text*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Rubia, K. (2013). Functional brain imaging across development. *European child & adolescent psychiatry*, 22(12), 719–731.
- Samei, E. (2020). *Computed Tomography: Approaches, Applications, and Operations*. Springer Nature.
- Samei, E., & Peck, D. J. (2019). *Hendee's Physics of Medical Imaging*. John Wiley & Sons.
- Scott, S., & Messer, B. (2018). Critical care chest radiology. *Surgery (Oxford)*, 36(12), 694–698.
- Semelka, R. C., & Elias, J. (2013). *Health care reform in radiology (C. 7)*. Wiley Online Library.
- Shamim, S. A., Torigian, D. A., & Kumar, R. (2008). PET, PET/CT, and PET/MR imaging assessment of breast cancer. *PET clinics*, 3(3), 381–393.
- Shevelev, I. A. (1998). Functional imaging of the brain by infrared radiation (thermoencephalography). *Progress in neurobiology*, 56(3), 269–305.
- Shung, K. K. (2015). *Diagnostic ultrasound: Imaging and blood flow measurements*. CRC press.
- Sidden, C. R., & Morteale, K. J. (2007). Cystic tumors of the pancreas: ultrasound, computed tomography, and magnetic resonance imaging features. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, 28(5), 339–356.
- Simard, R. (2020). Ultrasound Imaging of Orthopedic Injuries. *Emergency Medicine Clinics*, 38(1), 243–265.
- Smith, N. B., & Webb, A. (2010). *Introduction to medical imaging: physics, engineering and clinical applications*. Cambridge university press.
- Sniegowski, M., Erlanger, M., Velez-Montoya, R., & Olson, J. L. (2015). Difference in ocular surface temperature by infrared thermography in phakic and pseudophakic patients. *Clinical ophthalmology (Auckland, NZ)*, 9, 461.
- Sørensen, A., & Sinding, M. (2020). Placental Magnetic Resonance Imaging: A Method to Evaluate Placental Function In Vivo. *Obstetrics and Gynecology Clinics*, 47(1), 197–213.
- Sousa, E., Vardasca, R., Teixeira, S., Seixas, A., Mendes, J., & Costa-Ferreira, A. (2017). A review on the application of medical infrared thermal imaging in hands. *Infrared Physics & Technology*, 85, 315–323.
- Stabile, A., Giganti, F., Kasivisvanathan, V., Giannarini, G., Moore, C. M., Padhani, A. R., Panebianco, V., Rosenkrantz, A. B., Salomon, G., & Turkbey, B. (2020). Factors Influencing Variability in the Performance of Multiparametric Magnetic Resonance Imaging in Detecting Clinically Significant Prostate Cancer: A Systematic Literature Review. *European Urology Oncology*.
- Stefanescu, S., Schlumberger, C., & Schlumberger, M. (1930). Sur la distribution électrique potentielle autour d'une prise de terre ponctuelle dans un terrain à couches horizontales, homogènes et isotropes. *Journal de Physique et le Radium*, 1(4), 132–140.
- Sundaram, N., Bosley, J., & Stacy, G. S. (2013). Conventional radiographic evaluation of athletic injuries to the hand. *Radiologic Clinics*, 51(2), 239–255.
- Sung, E. K., Setty, B. N., & Castro-Aragon, I. (2012). Sonography of the pediatric scrotum: emphasis on the Ts—torsion, trauma, and tumors. *American Journal of Roentgenology*, 198(5), 996–1003.
- Szabo, T. L. (2004). *Diagnostic ultrasound imaging: inside out*. Academic Press.
- Tagliafico, A., Houssami, N., & Calabrese, M. (2016). *Digital breast tomosynthesis: a practical approach*. Springer.
- Ülman, Y. I., & Olay, T. B. (2006). *Ülkemiz ve Dünya Radyolojisi Katkılarıyla Dr. Esad Feyzi*. Doktor.
- Van der Vaart, M. G., Meerwaldt, R., Slart, R., van Dam, G. M., Tio, R. A., & Zeebregts, C. J. (2008). Application of PET/SPECT imaging in vascular disease. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 35(5), 507–513.
- Virmani, J., Kumar, V., Kalra, N., & Khandelwal, N. (2014). Neural network ensemble based CAD system for focal liver lesions from B-mode ultrasound. *Journal of digital imaging*, 27(4), 520–537.
- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. (2017). *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*. John Wiley & Sons.
- Wachsmann, J. W., & Gerbaudo, V. H. (2014). Thorax: normal and benign pathologic patterns in FDG-PET/CT imaging. *PET clinics*, 9(2), 147–168.
- Wang, L. H., McKenzie-Brown, A. M., & Hord, A. (2006). *The Handbook of C-Arm Fluoroscopy-Guided Spinal Injections*. CRC Press.
- Wei, S. C., Ulmer, S., Lev, M. H., Pomerantz, S. R., González, R. G., & Henson, J. W. (2010). Value of coronal reformations in the CT evaluation of acute head trauma. *American journal of neuroradiology*, 31(2), 334–339.
- Wintermark, P. (2012). The role of brain MRI scanning in the newborn. *Paediatrics and Child Health*, 22(4), 155–159.
- Wolbarst, A. B., & Hendee, W. R. (2006). Evolving and experimental technologies in medical imaging. *Radiology*, 238(1), 16–39.
- Xiao-Xue, W., Xinyue, H., & Lijun, Z. (2019). Whole body FDG-PET/CT for the assessment of bone marrow infiltration in patients with newly diagnosed lymphoma. *Medicina clinica*.
- Yoon, M.-J., Kim, E., Lee, S.-J., Bae, Y.-M., Kim, S., & Park, S.-H. (2010). Pulpal blood flow measurement with ultrasound Doppler imaging. *Journal of endodontics*, 36(3), 419–422.
- Young, P. M., Foley, T. A., Araoz, P. A., & Williamson, E. E. (2019). Computed tomography imaging of cardiac masses. *Radiologic Clinics*, 57(1), 75–84.
- Zaucha, J. M., Chauvie, S., Zaucha, R., Biggii, A., & Gallamini,

- A. (2019). The role of PET/CT in the modern treatment of Hodgkin lymphoma. *Cancer treatment reviews*.
- Zhang, N., Dong, H., Wang, P., Wang, Z., Wang, Y., & Guo, Z. (2020). The value of obstetric ultrasound in screening fetal nervous system malformation. *World Neurosurgery*.
- Zhang, W., Zhao, J., Jiang, X., Li, L., Yu, C., Zhao, Y., & Si, H. (2020). Thoracic vertebra fixation with a novel screw-plate system based on computed tomography imaging and finite element method. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 187, 104990.
- Zhao, W., Zhong, Z., Xie, X., Yu, Q., & Liu, J. (2020). Relation between chest CT findings and clinical conditions of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: a multicenter study. *American Journal of Roentgenology*, 214(5), 1072–1077.
- Zou, Y., & Guo, Z. (2003). A review of electrical impedance techniques for breast cancer detection. *Medical engineering & physics*, 25(2), 79–90.



Siyah Karbon ile Stabilize Edilen Taban Zeminin Yol Esnek Üst Yapı Maliyetine Etkisi

Tacettin Geçkil¹, Talha Sarıcı², Bahadır Karabaş³

^{1*} İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8070-6836), tacettin.geckil@inonu.edu.tr

² İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8488-5851), talha.sarici@inonu.edu.tr

³ 2'nci Ordu Komutanlığı, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0416-9121), karabasbaha@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 16 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.862682)

ATIF/REFERENCE: Geçkil, T., Sarıcı, T. & Karabaş, B. (2021). Siyah Karbon ile Stabilize Edilen Taban Zeminin Yol Esnek Üst Yapı Maliyetine Etkisi. *European Journal of Science and Technology*, (23), 222-235.

Öz

Bu çalışmada, atık araç lastiklerden geri dönüşüm ürünü olarak elde edilen siyah karbonun, yol taban zemininin stabilizasyonunda kullanılmasının, esnek yol üst yapı tabaka kalınlıklarına ve maliyetine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak zayıf zemin elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri ve piknometre deneylerine tabi tutularak özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra zemine ağırlıkça %2,5; %5, %10, %15, %20 oranlarında siyah karbon ilave edilerek stabilize karışım numuneleri hazırlanmıştır. Saf ve katkılı zemin numuneleri ASTM D698 standardına göre standart proktor deneyine tabi tutulduktan sonra numuneler, 1 ve 7 günlük kür süresi sonrasında ASTM D2166 standardına göre serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda en yüksek mukavemet değeri %10 siyah karbon katkılı karışımlardan elde edilmiştir. Hazırlanan saf ve %10 siyah karbon katkılı numuneler 1 ve 7 günlük kür sonrasında ASTM D1883 standardına göre Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyine tabi tutulmuştur. CBR değerinin; %10 siyah karbon katkısı ile, 1 günlük kür sonunda 1,28 kat arttırdığı ve 7 günlük kür sonunda 1,77 kat arttırdığı tespit edilmiştir. Bu CBR değerleri kullanılarak AASHTO 1993 yöntemine göre esnek yol üst yapı tabaka kalınlıkları tasarımı yapılmış ve üst yapı maliyetleri değerlendirilmiştir. Hesaplamalar neticesinde, siyah karbon ile stabilize edilen zeminlerin üst yapı maliyetlerinin, 1 günlük kür sonunda %5,13 oranında ve 7 günlük kür sonunda %14,37 oranında düşüş gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zayıf Zemin, Siyah Karbon, Stabilizasyon, CBR, AASHTO metodu.

The Effect of Subbase Stabilized by Carbon Black on the Cost of Road Flexible Superstructure

Abstract

In this study, the effects of using black carbon obtained as a recycling product from waste vehicle tires for stabilization of a road base floor on flexible road superstructure layer thickness and cost were investigated. Firstly, the properties of black carbon were determined by experimenting with weak soil sieve analysis, hydrometer consistency limits, and pycnometer test. Secondly, various mass ratios (2.5%, 5%, 10%, 15%, 20%) of black carbon were added to the mixture of stabilization samples. Pure and mixture samples were experimented with by using a proctor test according to the ASTM D698 standards. After 1 and 7 days curing period, they were experimented with under an unconfined compression test according to the ASTM D2166 standards. Experimental results showed that the highest strength values were obtained from the mass ratio of the 10% black carbon mixture sample. These samples were experimented with under a CBR test according to the ASTM D1883 standards after 1 and 7 days curing period. CBR value; It was determined that it increased 1.28 times at the end of 1 day of cure and 1.77 times after 7 days of cure. Using these CBR values, according to the AASHTO 1993 method; flexible road superstructure layer thicknesses were designed and their costs were evaluated. As a result of the calculations; It was determined that in case of improvement with 10% C by applying 1 and 7 days cure, the superstructure costs decreased by 5.13% and 14.37%, respectively.

Key words: Weak soil, Carbon Black, Stabilization, CBR, AASHTO method.

¹ Corresponding Author: karabasbaha@gmail.com

1. Giriş

Geçmişten günümüze; toplumların gelişmesi, yerleşim alanların büyümesi ve ticari faaliyetlerin yaygınlaşması ile birlikte karayolu ihtiyacı önemli ölçüde artmıştır. Bu ihtiyacı karşılanması maksadıyla karayollarının çeşitli iklim, arazi ve zemin şartlarında yapılması gerekebilmektedir. Yapılan etüt ve araştırmalar, tetkik edilen zeminlerin her zaman yol tasarımı için istenilen özelliklere sahip olmayabileceğini göstermektedir. Bu sebeple yapılacak yolun ekonomik ve güvenilir şekilde tasarlanması için yol altında kalan zeminin istenilen mühendislik özelliklerini sağlayacak şekilde stabilize edilerek güçlendirilmesi gerekir. Zemin stabilizasyonu için genellikle sönmüş kireç, bitüm ve çimento gibi malzemeler kullanılmaktadır. Ancak; son yıllarda atık ve geri dönüşüm ürünlerinin kullanılmasına yönelik çalışmalarda yapılmaya başlanmıştır. Bu malzemeler kolay temini ve yapım maliyetlerini azaltmaları sebebiyle tercih edilmektedir. Bu kapsamda çeşitli atık malzemelerle stabilizasyon (iyileştirme) çalışmalarının yapıldığı görülmüştür. Bu tür ürünlerin değerlendirilmesinin ülke ekonomisi ve çevrenin korunmasına faydalı olacağı düşünülmektedir. Keskin (2004), yaptığı çalışmada farklı killi zeminleri kireç ile iyileştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada öncelikle zeminin kireç stabilizasyonuna uygun olup olmadığını laboratuvar çalışmalarıyla belirlemiş ve daha sonra arazi deneyleri gerçekleştirmiştir. Kireç ile yapılan iyileştirme sonucunda CBR deneylerinde yeşil kilde 16 kat, kahverengi kilde ise 21 kat artış olduğu sonucuna ulaşmıştır [1]. Basha ve diğ.(2005), çalışmasında pirinç kabuğu külü ve çimento kullanarak kil bir zemini iyileştirmeye çalışmışlardır. Pirinç kabuğu külü ve çimento ilavesinin maksimum kuru yoğunluğu azalttığı, optimum su muhtevası değerini de arttırdığı sonucunu elde etmişlerdir. CBR değerinin; %4 çimento ve %5 pirinç kabuğu külü kombinasyonu ile %60 kadar arttığını tespit etmişlerdir [2]. Akbulut ve diğ. (2007), %2 atık lastik lifi takviyeli killi zeminlerde yaptığı deneylerde, %2 atık lastik lifi takviyeli killi zeminlerin serbest basınç değerlerinin, killi zeminde 1,97 kat daha yüksek olduğunu tespit etmiştir [3]. Brooks (2009), yaptığı çalışmada uçucu kül ve pirinç kabuğu külünün zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Şişme potansiyeli olan kil zemine pirinç kabuğu külü ve uçucu kül ilave ederek, serbest basınç ve CBR deneyi yapmıştır. Uçucu kül oranının 0'dan %25 artması ile kayma gerilmesinin %105, şekil değiştirmenin ise %50 arttığını tespit etmiştir. Pirinç kabuğu külü oranının 0'dan %12'ye artması ile CBR değerinin %47, serbest basınç dayanımı değerinin %97 arttığını belirlemiştir [4]. Keskin ve Laman (2012), kötü derecelenmiş ince kumu (SP) atık lastik parçacıkları ile iyileştirmeye çalışmışlardır. Karışımlarda atık lastik oranının; %10 ve %15 olması ile kayma mukavemetinde %100 artış olduğunu, %20'den daha fazla olması ile kayma mukavemetinde düşüş olduğunu belirlemişlerdir [5]. Shabana ve diğ. (2014), siltli kum zemini kırılmış Hindistan cevizi kabuğu ile iyileştirmeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmada maksimum 1cm² yüzey alanına sahip %16 oranında kırılmış Hindistan cevizi kabuğu ile yapılan iyileştirmenin taşıma gücünü arttırdığı görülmüştür [6]. Yarbaşı (2016), yaptığı çalışmada kil bir zemini değişik boyutlarda (1,18 mm; 2 mm; 3,15 mm) atık lastik ile iyileştirmeye çalışmıştır. Bu amaçla, 28 günlük kür sonunda yapılan serbest basınç deneyi sonucunda; %0,5 atık lastik (1,18 mm.) karışımında %35,3; %0,5 atık lastik (2.00 mm) karışımında %8,6 ve %2 atık lastik (3,15 mm.) karışımında ise %14,2 mukavemet artışı olduğu belirlemiştir [7]. Karaman ve Ecemiş (2017) atık lastik

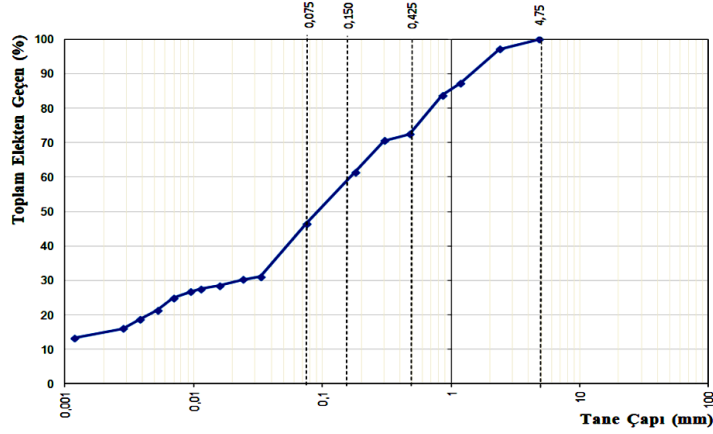
kırıntılarını ince kum (SP) ile karıştırarak hazırladığı numuneler ile sarsma tablası deneyleri yapmıştır. Karışımının sıvılaşma direncinin, temiz kumun sıvılaşma direncinden fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durumun lastik kırıntılarının suyu drene etmesinden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır [8]. Işık ve Akbulut (2018) killi zemine ağırlıkça %1, %3, %5 ve %10 oranında siyah karbon katarak, likit limit ve plastik limit deneyleri yapmıştır. Siyah karbon malzemesi arttıkça likit limit ve plastik limitin azaldığını tespit etmiştir [9]. Kumar S.N ve diğ. (2019), kum zemine Hindistan'ın Andhra Pradesh eyaleti, Bobbili, Vizianagaram Dist. tesisinden temin edilen siyah karbon malzemesi karıştırarak karışımlar hazırlamışlardır. Siyah karbon oranının arttıkça optimum su muhteviyatı değerinin arttığı, maksimum kuru birim ağırlığı değerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca; yapılan CBR deneyinde optimum karışımın %6 olduğu ve CBR değerini 1,2-1,5 kat arttırdığını tespit etmişlerdir [10]. Zemin stabilizasyonunda atık ve geri dönüşüm ürünlerinin kullanılması kapsamında; yılda yaklaşık 17 milyon ton kadar oluşan atık araç lastiklerinin bir geri dönüşüm malzemesi olarak birçok alanda kullanılmasına rağmen [11], yapılan literatür incelemesi neticesinde; atık araç lastiklerden elde edilen siyah karbonun zayıf zeminin stabilizasyonu için kullanılması durumunda, esnek yol üst yapısı kalınlık ve maliyetine etkilerinin araştırılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada, siyah karbon ile dayanımı artırılan zayıf zeminin, esnek yol üst yapısı kalınlık ve maliyetine etkileri, yapılan deneysel çalışmalar ve hesaplamalar ile araştırılmıştır. Bu amaçla, saf zemin numunesine elek analizi, hidrometre deneyi, kıvam limitleri deneyleri, piknometre ve proktor deneyi yapılmıştır. Siyah karbonun %2,5; %5, %10, %15, %20 oranlarında katılarak güçlendirilen zemin karışımlarına proktor, serbest basınç, CBR deneyleri uygulanmış, AASHTO 1993 tasarım yöntemi yardımıyla esnek yol üst yapı kalınlığı tasarımı yapılmış ve üst yapı maliyetleri hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Kullanılan Zemin

Çalışmada yol taban zemini olarak kullanılan zemin malzemesi, İnönü Üniversitesi Yerleşkesi içerisinde bulunan bir sahadan temin edilmiştir. Deneylerde kullanılacak zemin örneğinin özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla ASTM C136 / C136M uygun elek analizi ve ASTM D422-63'e göre hidrometre deneyi yapılarak, zemin içindeki tane boyutlarının dağılımı tespit edilmiştir. Tespit edilen granülometri eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Granulometri Eğrisi

Akabinde, zemin numunesinin kıvam limitleri (likit limit ve plastik limit) ASTM D4318 uygun tespit edilmiş ve özgül ağırlığının belirlenmesi amacıyla ASTM D824 uygun olarak piknometre deneyi yapılmıştır. Daha sonra ASTM D698 standart proktor deneyi yardımıyla zeminin maksimum kuru birim hacim

ağırlığı ve optimum su muhteiyatı belirlenmiştir. Zemin örneğinin killi kum (SC) olduğu ve AASHTO sınıflandırma sistemine göre de zemin tipinin (A-6) olduğu tespit edilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen zemin özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Zeminin Özellikleri

Değişken Adı	Simge	Birim	Değeri
Dane birim hacim ağırlığı	γ_s	g/cm ³	2,714
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı	γ_{kmax}	g/cm ³	1,948
Optimum su içeriği	W_{opt}	%	14,1
Likit limit	W_L	%	25,87
Plastik limit	W_p	%	14,56
Plastisite İndisi	PI	%	11,31
Sınıflandırma (Birleştirilmiş Zemin Sınıfı)	-	-	SC
AASHTO Sınıflandırması	-	-	A-6

2.2 Siyah Karbon

Bu çalışmada katkı olarak, atık araç lastiklerinden elde edilen ve geri dönüşüm ürünlerinden biri olan siyah karbon kullanılmıştır. Siyah Karbon, karbon esaslı, siyah renkli, ince

parçacıklardan oluşan, bir malzemedir. Bu malzeme, kullanım ömrünü tamamlamış araç lastiklerinden piroliz yöntemi ile elde edilen bir geri dönüşüm ürünüdür [12]. Tablo 2'de çalışmada kullanılan siyah karbon özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Siyah Karbon Özellikleri [12]

Değişken Adı	Birim	Değeri
Görünüm	-	Toz
Renk	-	Siyah
Suda Çözünürlüğü (20 °C)	-	Çözülmez
Koku	-	Kokusuz
Erime noktası	°C	> 3000
Kaynama noktası	°C	> 3000
Dane birim hacim ağırlığı (γ_s)	g/cm ³	1,7-1,9
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	°C	> 140
Element Analizi	%	C % 56,73
		H %2,09
		S %2,11
		O %39,07

2.3. Standart Proktor Deneyi

Zeminin numunesindeki maksimum kuru birim hacim ağırlığının ve optimum su muhteiyatının belirlenmesi

maksadıyla, zemin numunesindeki havanın, su ve mekanik araçlar vasıtasıyla dışarı atılması esasına dayanan standart proktor deneyi ASTM D698 uygun yapılır. Deneyde kullanılacak kalıbın ebatları (çap 105 mm ve h=115,5 mm)

ölçülür ve tartılarak ağırlığı kaydedilir. Daha sonra zemin numunesi etüvde kurutularak (105 °C'de 24 saat) karar verilen oranlarda su eklenerek yoğrulur. Yoğrulan numuneler proktor kalıbına serilir ve sonra 2,5 kg ağırlığında tokmak ile 25 kez vurulup sıkıştırılır. Serilme işlemi 3 kademede gerçekleştirilir, son tabaka serildikten sonra üst kısmı düzeltilir ve tartılır. Farklı su içeriklerinde bu işlem 5 defa tekrarlanır, her defasında su muhteviyatı ve kuru birim hacim ağırlığı hesaplanır. Hesaplanan değerler esas alınarak göre doygunluk eğrisi çizilir, maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhteviyatı değerleri belirlenir [13].

2.4. Serbest Basınç Deneyi

Kohezyonlu zeminlerde kayma mukavemetinin belirlenmesi amacıyla uygulanan serbest basınç deneyi, ASTM D2166 standardına uygun yapılıdır. Deneyde aksel gerilmenin en büyük değeri serbest basınç dayanımını (q_u), drenajsız kayma mukavemeti ise; $\tau = c_u = q_u/2$ bağıntısına göre hesaplanır. Deney uygulamasında, zemin numunesi etüvde kurutularak (105 °C'de 24 saat) karar verilen oranlarda su eklenerek yoğrulur. Yoğrulan numuneler serbest basınç kalıbına serilir ve sonra tokmak ile 10 kez vurulup sıkıştırılır. Serilme işlemi 4 kademede gerçekleştirilir ve son tabaka serildikten sonra kalıptan çıkarılır. Daha önceden belirlenen kür süresi için muhafaza edilir ve kür süresini tamamlayan numunelere deney uygulanır. Deney ekipmanındaki presin 100 kN dayanıma kadar yükleme yapması, deneyde dakikada %0,5-2 arası birim boy kısalmasının olması, yapılan deneyin 10 dakikayı geçmemesi gerekir. Deney sonrasında deformasyon ve şekil değiştirmeler esas alınarak dayanım değerleri tespit edilir [13]. Şekil 2'de serbest basınç deneyi seti gösterilmiştir.



Şekil 2: Serbest Basınç Deneyi Seti

2.5 Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi

CBR deneyi, daha önceden tespit edilen maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhteviyatı esas alınarak hazırlanan numunelere, belirlenen kür süresinin ardından, alanı 1935 mm² olan (çapı 50 mm) pistonun 1,27 mm/dk hızla zemine itilmesi ile bulunan yük - penetrasyon bağlantısı vasıtasıyla taşıma gücünün hesaplanması esasına dayanır. Deney ASTM D1883-13 standardına uygun yapılıdır. Deney sonucunda bulunan CBR değeri; deneyde pistonun zemine 2,5 mm ve 5 mm penetrasyon yapması için uygulanan yük değerinin, pistonun standart kırma taş numunesine aynı derinlikte batması için uygulanan yük değerine bölünmesi ile

Tabaka kalınlıkları AASHTO (1993) Tasarım Rehberine göre Denklem (1) ile hesaplanmaktadır [14].

$$\log(T_{8.2}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log M_R - 8.07 \quad (1)$$

Burada;

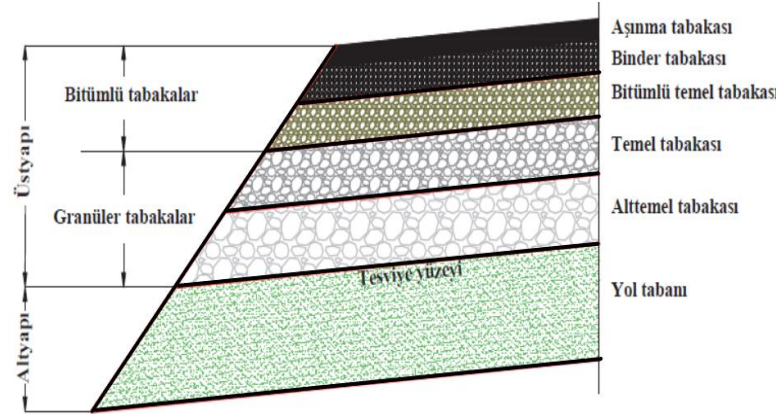
bulunan sonucun yüzde ifadesidir. CBR deneyinin uygulamasında, ilk önce kullanılacak kalıbın ebatları (çap 150 mm ve h=127,3 mm) kontrol edilir ve kaydedilir. Daha sonra, kullanılacak zemin numunesi etüvde 105 °C'de 24 saat kurutulur ve optimum su muhteviyatı esas alınarak zemin numunesi hazırlanır. Hazırlanan zemin numunesi CBR kalıbına 3 kademede serilir ve her tabaka serildikten sonra 2,5 kg ağırlığında tokmak ile 56 kez vurulup sıkıştırılır. Son tabaka serildikten kalıp ile numune birlikte tartılır. Planlanan kür süresini tamamlaması için muhafaza edilir ve kür süresini tamamlayan numuneler deney setine yerleştirilir. Deney sonucunda 2,5 mm ve 5 mm penetrasyon için CBR değerleri belirlenir [13]. Şekil 3'de CBR deneyi seti gösterilmiştir.



Şekil 3: CBR Deneyi Seti

2.6 AASHTO Metodu ile Esnek Üst Yapısı Tasarımı

Karayolu esnek üstyapısı tasarımında, bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılmaktadır. Genel olarak asfalt betonu kaplama, temel ve alttemel tabakalarından oluşmaktadır. Tasarımda proje ömrü ve tabaka kalınlıkları belirlenirken; zemin durumu, trafik, bölgesel ve ekonomik faktörler göz önüne alınır [14]. Şekil 4'de esnek üstyapıyı oluşturan tabakalar gösterilmiştir.



Şekil 4: Esnek Üstyapı Kesit Görünümü [15]

$T_{8,2}$: 8,2 ton eşdeğer standart tek dingil yükü tekrar sayısı (proje trafiği),

M_R : Taban zemini efektif elastisite modülü (psi),

S_0 : Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası,

Z_R : Standart sapma,

SN: Üstyapı kalınlığını bulmak için gerekli üstyapı sayısı,

P_0 : Başlangıç servis kabiliyeti indeksi,

P_t : Nihai servis kabiliyeti indeksi,

ΔPSI : Toplam servis yeteneği kaybını göstermektedir.

SN değeri Denklem 1 ile tespit edilmekten sonra tabaka katsayıları Tablo 3'e göre alınarak esnek üstyapı tabaka kalınlıkları Denklem 2 ile hesaplanmaktadır [14] .

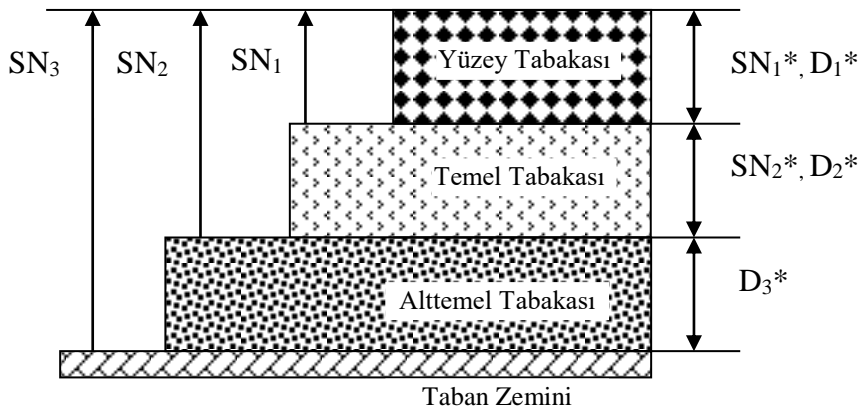
$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times M_2 + a_3 \times D_3 \times M_3 \dots \dots \dots a_i \times D_i \quad (2)$$

Bu denklemde; D_1, D_2, D_3 kaplama, temel, alttemel tabaka kalınlıkları, a_1, a_2, a_3 kaplama, temel ve alttemel tabakalarının izafi mukavemet katsayılarını; M_2, M_3 ise temel ve alttemel tabakası drenaj katsayılarını göstermektedir [14]. Tabaka katsayıları Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3: Esnek Üstyapı İçin Tabaka Katsayıları [14]

Tabaka Cinsi	Marshall Stabilitesi (kg)	CBR (%)	İzafi Mukavemet Katsayısı (a)
Kaplama Tabakası			
Aşınma	≥ 900	-	0,42
Binder	≥ 750	-	0,40
Bitümlü Temel	≥ 600	-	0,36
Temel Tabakası			
Granüler Temel	-	≥ 100	0,14
Plentmiks Temel	-	≥ 120	0,15
Alttemel Tabakası			
Kum-Çakıl Alttemel	-	≥ 30	0,11
Kırmaş Alttemel	-	≥ 50	0,13

Esnek üstyapı tabaka kalınlıkları tespit edildikten sonra kalınlıklarının kontrolü yapılır. Şekil 5'de verilen SN* değerleri hesaplanarak tabaka



Şekil 5: Esnek Üstyapıda Üstyapı Sayıları [16]

Şekilde;

SN₁: Temel tabakası üzerine gereken SN,

SN₂: Alttemel tabakası üzerine gereken SN,

SN₃: Taban üzerine gereken SN,

* : Kullanılan malzemeye göre mevcut değerleri göstermektedir [16].

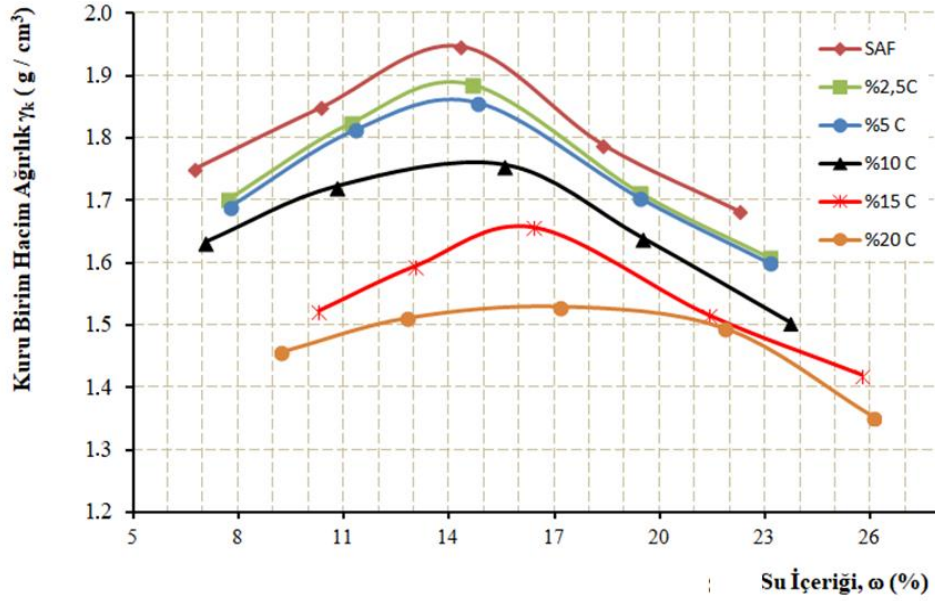
3. Bulgular ve Değerlendirme

Yol taban zemininin siyah karbon ile stabilizasyonunun esnek yol üst yapısı kalınlık ve maliyetine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, ilk olarak zemin numunesine elek analizi, hidrometre deneyi, kıvam limitleri deneyleri, piknometre deneyi yapılmıştır. Akabinde, saf zemin ve ağırlıkça %2,5; %5, %10, %15, %20 oranlarında siyah karbon ile güçlendirilen numunelere standart proktor deneyi, 1 ve 7 gün kür süresinin ardından serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Serbest basınç deneyi ile belirlenen optimum karışım oranına (%10C) göre 1 ve 7 gün kür süresinin ardından CBR deneyleri yapılmıştır. Bulunan CBR deneyleri sonuçlarına göre; saf zemin ve siyah

karbon katkılı zemin için AASHTO 1993 tasarım yöntemi esas alınarak esnek yol üst yapısı kalınlığı tasarımı yapılmış ve üst yapısı maliyetleri hesaplanmıştır

3.1 Standart Proktor Deneyi Bulguları

Saf zemin ve %2,5; %5, %10, %15 ve %20 siyah karbon (C) ilaveli numuneler, standart proktor deneyine tabi tutulmuştur. Deney neticesinde; optimum su içerikleri (%w) ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları (γ_{kmax}) tespit edilmiştir. Deney sonucunda hesaplanan değerlere göre çizilen kompaksiyon eğrileri Şekil 6'da ve Tablo 4'de deney sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6: Standart Proktor Deneyi Kompaksiyon Eğrisi

Tablo 4: Standart Proktor Deneyi Sonuçları

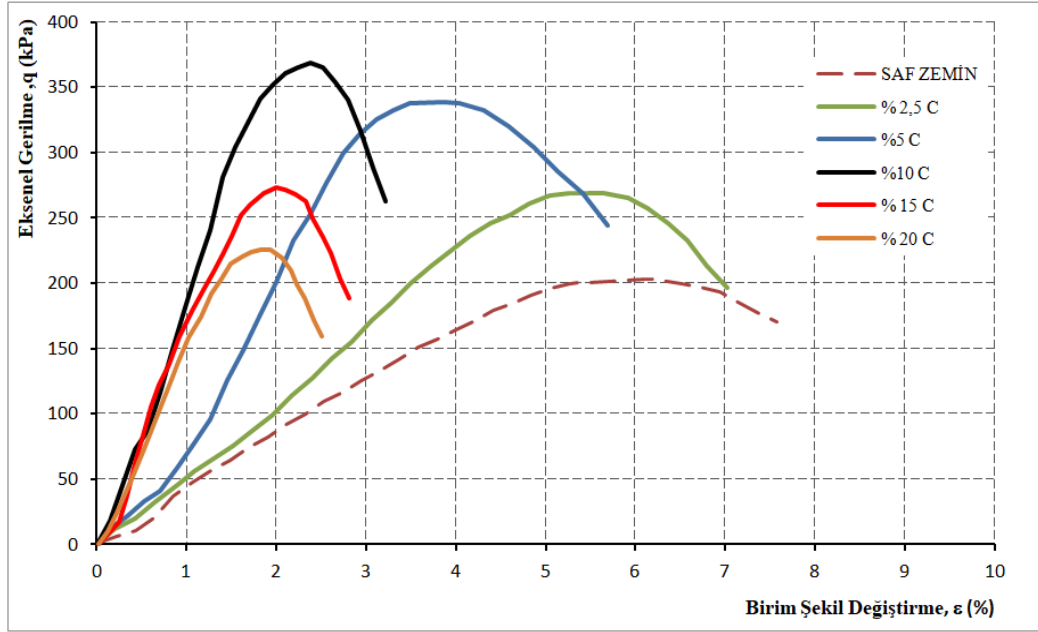
Test Numunesi	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlığı γ_k (g/cm³)	Optimum Su İçeriği %w
Saf Zemin	1,948	14,10
Saf Zemin+ %2,5 C	1,893	14,14
Saf Zemin+ %5 C	1,862	14,20
Saf Zemin+ %10 C	1,762	14,90
Saf Zemin+ %15 C	1,658	15,85
Saf Zemin+ %20 C	1,530	16,60

Katkı malzemesi olarak kullanılan siyah karbon, tanecikli ve boşluklu bir zincir yapısına sahiptir [17]. Deney sonucunda; siyah karbon oranı arttıkça %w değerinin arttığı, γ_k değerinin azaldığı görülmüştür, bu durumun siyah karbonun boşluklu yapısının karışımın absorbe kapasitesini artırması nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. Bu sonucun literatür [10] ile farklılık göstermediği de tespit edilmiştir.

3.2 Serbest Basınç Deney Bulguları

Serbest basınç deneyinde, saf zemin ve %2,5; %5, %10, %15 ve %20 siyah karbon ilaveli numuneler, standart proktor deneyinde tespit edilen %w ve γ_k değerleri esas alınarak hazırlanmıştır. Numuneler 1 ve 7 gün kür süresinin ardından serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Numunelerin tespit edilen serbest basınç mukavemeti (q) ve birim şekil değiştirme

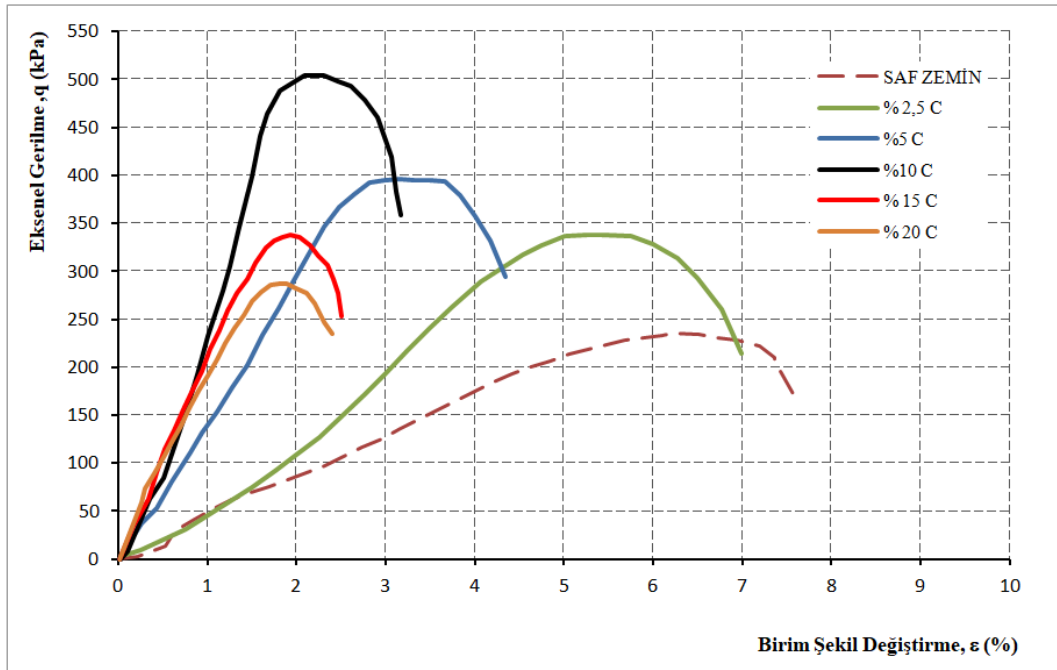
(ϵ) değerleri grafikleri Şekil 7 ve 8'de, elde edilen q- ϵ değerleri Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.



Şekil 7: 1 Günlük Kür Sonrası Serbest Basınç Deneyinden Elde Edilen q-ε Grafiği

Tablo 5: 1 Günlük Kür Sonrası Serbest Basınç Deneyinden Elde Edilen q-ε Değerleri

Test Numunesi	Serbest Basınç Mukavemeti q(kpa)	Birim Şekil Değişirme ε (%)
Saf Zemin	202,81	6,21
Saf Zemin+ %2,5 C	268,85	5,65
Saf Zemin+ %5 C	338,70	3,86
Saf Zemin+ %10 C	368,49	2,38
Saf Zemin+ %15 C	273,50	2,01
Saf Zemin+ %20 C	225,52	1,94



Şekil 8: 7 Günlük Kür Sonrası Serbest Basınç Deneyinden Elde Edilen q-ε Grafiği

Tablo 6: 7 Günlük Kür Sonrası Serbest Basınç Deneyinden Elde Edilen q - ε Değerleri

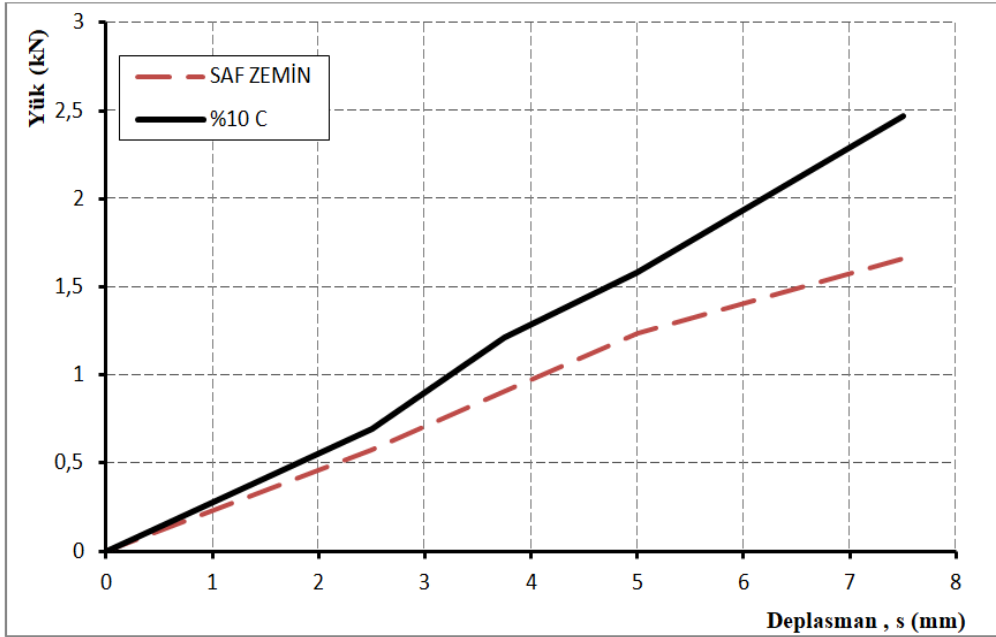
Test Numunesi	Serbest Basınç Mukavemeti q (kpa)	Birim Şekil Değişirme ε (%)
Saf Zemin	235,43	6,1
Saf Zemin+ %2,5 C	337,38	5,42
Saf Zemin+ %5 C	393,40	3,66
Saf Zemin+ %10 C	504,02	2,08
Saf Zemin+ %15 C	335,41	1,93
Saf Zemin+ %20 C	286,74	1,89

Serbest basınç deneyi sonuçları incelendiğinde; saf zeminin serbest basınç mukavemet değerinin, siyah karbon ile stabilize edilmesi ile arttırdığı görülmüştür. Siyah karbon ile güçlendirilen zeminlerde en büyük mukavemet değeri 1 ve 7 günlük kür sonunda %10 C ilaveli numunelerde tespit edilmiştir. Saf zemine göre mukavemet değerinin 1 ve 7 günlük kür sonunda sırasıyla 1,82 ve 2,14 kat arttığı görülmüştür. Mukavemetteki bu önemli artış, siyah karbonun zeminlerin kohezyon kuvveti ve kayma direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, optimum karışım miktarının %10C ile sınırlı kalmasının, literatürde [18-19]; siyah karbon katılan bileşimlerin sertliğinin artması sebebiyle, ilave edilen siyah karbon miktarının belirli bir limiti aşmaması gerektiği [18] ve malzeme sertliğinin siyah karbon ilavesiyle lineer olarak arttığı ancak, gerilme direncinin belirli bir

miktardan sonra azaldığı [19] görüşü ile örtüştüğü görülmektedir.

3.3 Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyine ait Bulgular

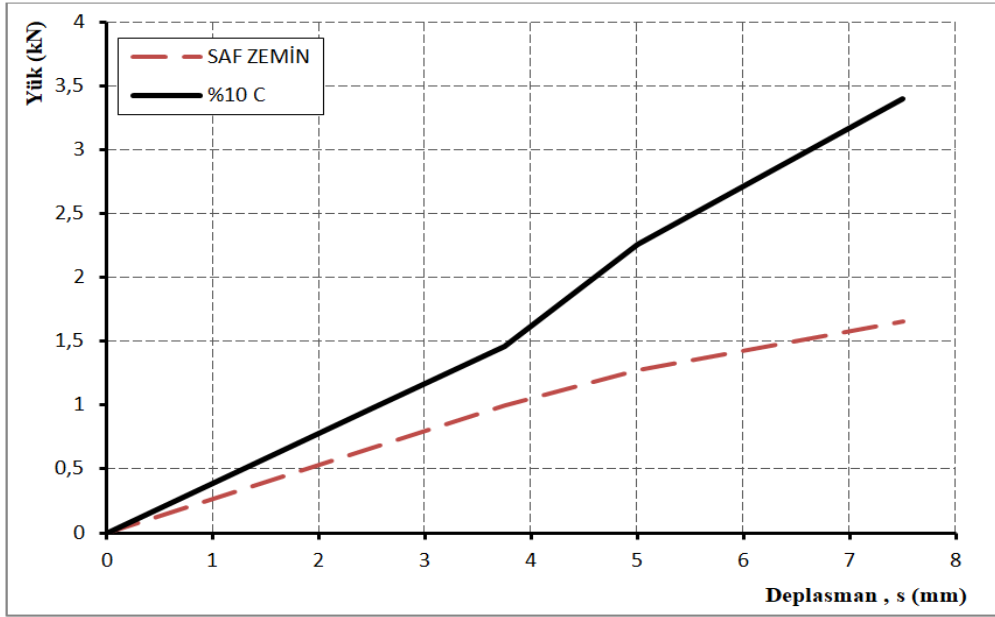
CBR deneyi için, serbest basınç deneyleri sonuçları incelenerek optimum siyah karbon miktarı %10 olarak tespit edilmiş, saf zemin ve %10 karbon ilaveli zemin numuneleri optimum su içerikleri ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 1 ve 7 günlük kür sürecinin ardından CBR deneyi uygulanmıştır. CBR deneyi sonucu elde edilen yük-deplasman grafikleri 1 ve 7 günlük kür süreleri için sırasıyla Şekil 9 ve 10'da; tespit edilen CBR değerleri ise Tablo 7 ve 8'de gösterilmiştir.

**Şekil 9:** 1 Günlük Kür Sonrası CBR Deneyinden Elde Edilen Yük-Deplasman Verileri**Tablo 7:** 1 Günlük Kür Sonrası Elde Edilen CBR Değerleri

Test Numunesi	2,5 mm için CBR Değeri, (%)	5 mm için CBR Değeri, (%)
Saf Zemin	4,32	6,21
Saf Zemin+ %10C	5,24	7,92

Şekil 9 ve Tablo 7'deki CBR deneyi sonuçları incelendiğinde, 1 günlük kür süresi tabii tutulan numunelerde 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara tekabül eden CBR verileri sırası ile katkısız zemin için %4,32 ve %6,21, %10 siyah karbon ilaveli zemin için %5,24 ve %7,92 olarak elde edilmiştir. CBR

değerinin, siyah karbon ilaveli numunelerde 2,5 mm - 5 mm penetrasyon için, saf numunelere kıyasla sırasıyla 1,21 ve 1,28 kat arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 10: 7 Günlük Kür Sonrası CBR Deneyinden Elde Edilen Yük-Deplasman Verileri

Tablo 8: 7 Günlük Kür Sonrası Elde Edilen CBR Değerleri

Test Numunesi	2,5 mm için CBR Değeri, (%)	5 mm için CBR Değeri, (%)
Saf Zemin	5,02	6,38
Saf Zemin+ %10C	7,40	11,32

Şekil 10 ve Tablo 8'deki CBR deneyi sonuçları incelendiğinde; 7 günlük kür süresi tabii tutulan numunelerde 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara tekabül eden CBR değerleri saf zemin için %5,02 ve %6,38; %10 C ilaveli zemin için %7,40 ve %11,32 olarak elde edilmiştir. CBR değerinin, siyah karbon ilaveli numunelerde 2,5 mm - 5 mm penetrasyon için, saf numunelere kıyasla sırasıyla 1,47 ve 1,77 kat arttığı tespit edilmiştir. Literatürde [10], siyah karbonun ilave edildiği karışımların CBR değerinin, saf numunenin CBR değerinden fazla olduğu belirtilmiştir. 1 ve 7 günlük kür sonucu bulunan CBR değerlerinin literatürü desteklediği görülmektedir.

3.4 AASHTO Metodu ile Esnek Üst Yapısı Tasarımı Yapılması

AASHTO 1993 Tasarım Rehberi esas alınarak, 1 ve 7 günlük kür süresi sonunda elde edilen en büyük CBR değerleri kullanılarak üstyapı tasarımı yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda 1 günlük kür süresi sonunda belirlenen CBR değerlerinden; saf zemin için %6,21 ve %10C katkılı numune için %7,92 değerleri esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bunun için öncelikle yol taban zeminin esneklik modülü (M_R) hesaplanmıştır.

Zemine ait M_R ve CBR değerleri arasında $M_R=1500 \times CBR$ bağıntısı mevcut olup, zemine ait CBR değerinin bilinmesi durumunda M_R değeri yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir [20]. Yapılan hesaplamalara M_R değerlerine göre saf zemin için 9.315 psi (64241379 Pa) ve %10C katkılı numune için 11.880 psi (81931035Pa) olarak bulunmuştur. Tablo 9'daki ortak değerler kullanılarak Denklem 1 yardımı ile saf zemin ve %10 C ilaveli zeminler için taban üzerine gereken SN_3 (taban üzerine gereken SN) değerleri sırasıyla 5,67 inç (14,40 cm) ve 5,26 inç (13,36 cm) olarak hesaplanmıştır.

Aynı şekilde, 7 günlük kür süresi sonunda belirlenen CBR değerlerinden yapılan hesaplamalarda; saf zemin için %6,38 ve %10C ilave edilen numune için %11,32 CBR değerleri esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bunun için öncelikle yol taban zeminin esneklik modülü (M_R) hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalara M_R değerleri, saf zeminin için 9.570 psi (66000000 Pa) ve %10C ilave edilen numune için 16.980 psi (117103448 Pa) olarak bulunmuştur. Tablo 9'daki ortak değerler kullanılarak Denklem 1 yardımı ile saf zemin ve %10 C ilaveli zeminler için taban üzerine gereken SN_3 değerleri sırasıyla 5,63 inç (14,30 cm) ve 4,67 inç (11,86 cm) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9: Esnek Kaplama Hesabında Kullanılan Parametreler

Parametreler	Seçilen Değerler
Eşdeğer standart dingil yükü tekerrür sayısı, $T_{8,2}$	30.000.000
Toplam standart sapma, S_0	0,45
Yolun ilk servis kabiliyeti, P_0	4,2
Yolun son servis kabiliyeti, P_t (Otoyollar, devlet yolları için 2,5)	2,5
Servis kabiliyeti indeksi, ΔPSI	1,7
Güvenilirliğin standart normal sapması, Z_R (R=%95)	-1,645

3.4.1 Esnek Üstyapı Tabaka Kalınlıklarının Belirlenmesi

Denklem 1 bağıntısı ile 1 günlük kür uygulanan saf ve %10C katkılı zeminler için SN_3 değerleri esas alınarak esnek

üstyapı tabaka kalınlıkları seçilmiş ve bu kalınlıklar sırasıyla Tablo 10 ve 11’de verilmiştir. Ayrıca, seçilen esnek üstyapı tabaka kalınlıkları Şekil 11’de gösterilmiştir.

Tablo 10: 1 Günlük Kür Uygulanan Saf Zemin için Seçilen Tabaka Kalınlıkları

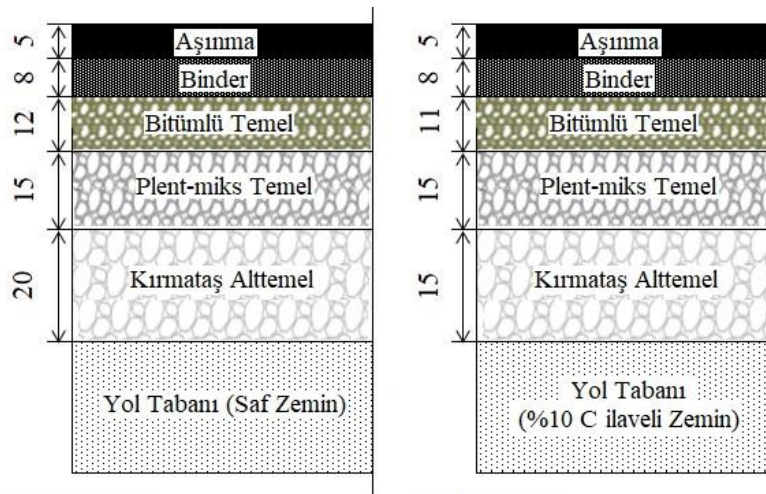
Tabaka Adı	Kalınlık (D_i); (cm)	İzafi Mukavemet Katsayısı (a_i)	$SN^* = a_i \times D_i$	Açıklamalar
Aşınma	5	0,42	2,1	$SN^* > SN$
Binder	8	0,4	3,2	(14,47 > 14,40)
Bitümlü Temel	12	0,36	4,32	Seçilen tabaka kalınlıkları uygundur.
Plent-miks Temel	15	0,15	2,25	
Kırmataş Alttemel	20	0,13	2,6	

SN^* üst yapıda kullanılan gerçek değerler kullanılarak bulunan değer, SN bağıntı (1) hesaplanandır.

Tablo 11: 1 Günlük Kür Uygulanan %10C Katkılı Zemin için Seçilen Tabaka Kalınlıkları

Tabaka Adı	Kalınlık (D_i); (cm)	İzafi Mukavemet Katsayısı (a_i)	$SN^* = a_i \times D_i$	Açıklamalar
Aşınma	5	0,42	2,1	$SN^* > SN$
Binder	8	0,4	3,2	(13,46 > 13,36)
Bitümlü Temel	11	0,36	3,96	Seçilen tabaka kalınlıkları uygundur.
Plent-miks Temel	15	0,15	2,25	
Kırmataş Alttemel	15	0,13	1,95	

SN^* üst yapıda kullanılan gerçek değerler kullanılarak bulunan değer, SN bağıntı (1) hesaplanandır.



Şekil 11: 1 Günlük Kür Uygulanan Saf ve %10C Katkılı Zemin için Seçilen Tabaka Kalınlıkları

Seçilen tabaka kalınlıklarının kontrolünün yapılabilmesi maksadıyla, Tablo 3’den plentmix kırmataş temel için $CBR=120$ ve kırmataş alt temel için $CBR=50$ seçilerek, plentmix kırmataş temel için $M_R=180.000$ psi ve alt temel için $M_R=75.000$ psi

olarak hesaplanır. M_R değeri hesaplandıktan sonra, bu tabakalar üstünde gerekli SN değerleri Denklem 1 bağıntı yardımı ile plentmix kırmataş temel için $SN_1 = 1,91$ inç (4,85 cm), kırmataş alt temel için $SN_2 = 2,69$ inç (6,83 cm) olarak hesaplanmıştır.

Denklemler 2’de, izafi mukavemet katsayıları ve tabaka kalınlıkları kullanılarak yapılan kontrolde, saf zeminlerde, kırmataş temel için $9,62 > 4,85$ ve kırmataş alttemel için $11,87 > 6,83$ olduğu, benzer şekilde %10C içeren zeminler kırmataş temel için $9,26 > 4,85$ ve kırmataş alttemel için $11,51 > 6,83$ olduğu için esnek tabaka kalınlıklarının yeterli olduğu görülmüştür.

Saf ve %10C katkılı zemin için belirlenen üstyapı tabaka kalınlıkları toplamı sırasıyla 60 cm ve 54 cm olarak

belirlenmiştir. Yapılan hesaplamada; %10C içeren zeminler için üstyapı kalınlığında saf zemine kıyasla %10 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Denklemler 1 bağıntısı ile 7 günlük kür uygulanan saf ve %10C katkılı zeminler için SN_3 değerleri esas alınarak esnek üstyapı tabaka kalınlıkları seçilmiş ve bu kalınlıklar sırasıyla Tablo 12 ve 13’de verilmiştir. Ayrıca, seçilen esnek üstyapı tabaka kalınlıkları Şekil 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12: 7 Günlük Kür Uygulanan Saf Zemin için Seçilen Tabaka Kalınlıkları

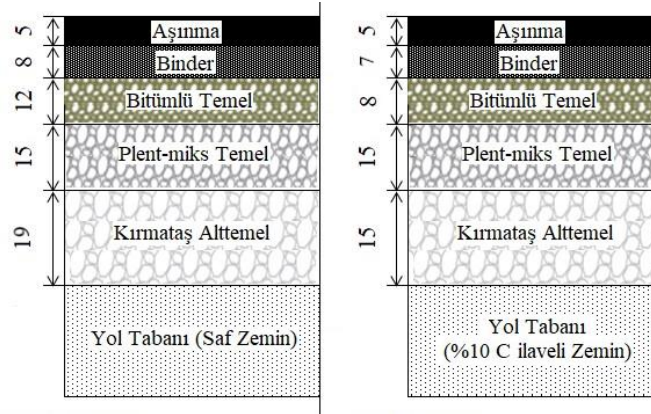
Tabaka Adı	Kalınlık (Di); (cm)	İzafi Mukavemet Katsayısı (ai)	$SN^* = ai \times Di$	Açıklamalar
Aşınma	5	0,42	2,1	$SN^* > SN$
Binder	8	0,4	3,2	$(14,34 > 14,30)$
Bitümlü Temel	12	0,36	4,32	Seçilen tabaka kalınlıkları uygundur.
Plent-miks Temel	15	0,15	2,25	
Kırmataş Alttemel	19	0,13	2,47	

SN^* üst yapıda kullanılan gerçek değerler kullanılarak bulunan değer, SN bağıntısı (1) hesaplanmıştır.

Tablo 13: 7 Günlük Kür Uygulanan %10C İlaveli Zemin için Seçilen Tabaka Kalınlıkları

Tabaka Adı	Kalınlık (Di); (cm)	İzafi Mukavemet Katsayısı (ai)	$SN^* = ai \times Di$	Açıklamalar
Aşınma	5	0,42	2,1	$SN^* > SN$
Binder	7	0,4	2,8	$(11,98 > 11,86)$
Bitümlü Temel	8	0,36	2,88	Seçilen tabaka kalınlıkları uygundur.
Plent-miks Temel	15	0,15	2,25	
Kırmataş Alttemel	15	0,13	1,95	

SN^* üst yapıda kullanılan gerçek değerler kullanılarak bulunan değer, SN bağıntısı (1) hesaplanmıştır.



Şekil 12: 7 Günlük Kür Uygulanan Saf ve %10C İlaveli Zemin için Seçilen Tabaka Kalınlıkları

Seçilen tabaka kalınlıklarının kontrolünün yapılabilmesi amacıyla, Tablo 3’den plentmix kırmataş temel için $CBR=120$ ve kırmataş alt temel için $CBR=50$ seçilerek, plentmix kırmataş temel için $M_R=180.000$ psi ve alt temel için $M_R=75.000$ psi olarak hesaplanır. M_R değeri hesaplandıktan sonra, bu tabakalar üstünde gerekli Denklem 1 bağıntı yardımı ile plentmix kırmataş temel için $SN_1 = 1,91$ inç (4,85 cm), kırmataş alt temel için $SN_2 = 2,69$ inç (6,83 cm) olarak hesaplanmıştır. Denklem 2’de, izafi mukavemet katsayıları ve tabaka kalınlıkları kullanılarak yapılan kontrolde, saf zeminlerde, kırmataş temel için $9,62 > 4,85$ ve kırmataş alttemel için $11,87 > 6,83$ olduğu, benzer şekilde %10C içeren zeminler kırmataş temel için $7,78 > 4,85$ ve kırmataş alttemel için $10,03 > 6,83$ olduğu için esnek tabaka kalınlıklarının yeterli olduğu görülmüştür. Saf ve %10C katkılı

zemin için belirlenen üstyapı tabaka kalınlıkları toplamı sırasıyla 59 cm ve 50 cm olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamada; %10C içeren zeminler için üstyapı kalınlığında saf zemine kıyasla %15,25 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

3.5 Esnek Üstyapı Ekonomik Analizi

Siyah karbon ile stabilize edilmiş zeminin karayolu esnek üstyapı maliyetleri üzerindeki etkisi, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) verileri esas alınarak değerlendirilmiştir. KGM tarafından yayınlanmış olan birim fiyat cetvellerinde, alt temel ve temel tabakaları için birim ağırlık (ton) ve birim hacim (m^3) maliyetleri; bitümlü temel, binder ve aşınma tabakaları için birim alan (m^2) maliyetleri yayınlanmıştır. Çalışmada, karayolu

üstyapılarının ekonomik analizi için 2020 yılı KGM birim fiyatları kullanılmıştır.

Yapılan hesaplamalar ve maliyet analizine göre; 1 günlük kür uygulanan zemin numunelerinin esnek yol üstyapı

kalınlığının m² cinsinden birim maliyetleri Tablo 14 ve 15’de verilmiştir. Saf zemin ve %10 C ilave edilerek güçlendirilen zemin için tabaka kalınlıkları ve maliyetleri karşılaştırma grafiği Şekil 13’de görülmektedir.

Tablo 14: 1 Günlük Kür Uygulanan Saf Zemin için Tabaka Kalınlıkların Birim Maliyetleri

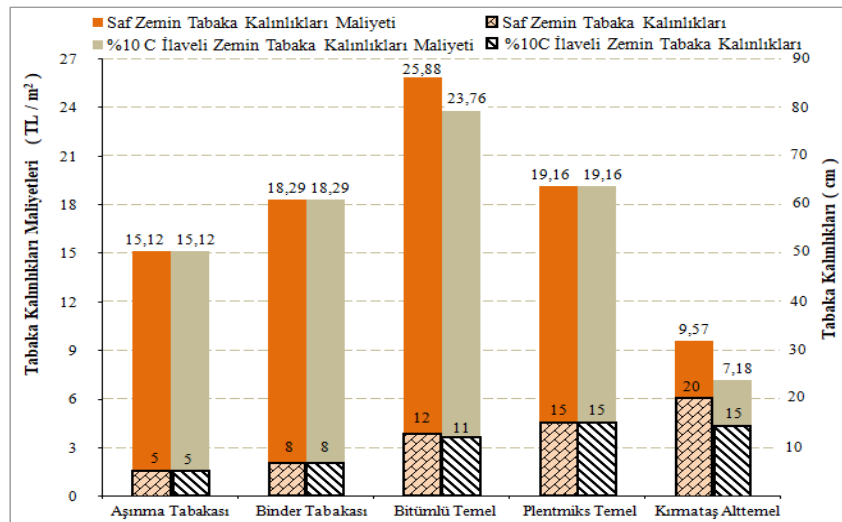
Poz no	Tanım	Birim	Birim Fiyat (TL)	Maliyet (TL) m ² /cm	m ²
KGM/6405/S-M	5 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapımı	m ²	15,12	3,02	15,12
KGM/6308	8 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapımı	m ²	18,29	2,29	18,29
KGM/6212	12 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapımı	m ²	25,88	2,16	25,88
KGM/6100/3	plentmix temel yapılması (kaplama yoğ : 2,4 g / cm ³)	ton	53,21	1,28	19,16
KGM/6000	ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş malzeme ile alt temel yapılması	m ³	47,88	0,48	9,57

Toplam: 88,02 TL

Tablo 15: 1 Günlük Kür Uygulanan % 10C İlaveli Zemin için Tabaka Kalınlıkların Birim Maliyetleri

Poz no	Tanım	Birim	Birim Fiyat (TL)	Maliyet (TL) m ² /cm	m ²
KGM/6405/S-M	5 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapımı	m ²	15,12	3,02	15,12
KGM/6308	8cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapımı	m ²	18,29	2,29	18,29
KGM/6211	11 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapımı	m ²	23,76	2,16	23,76
KGM/6100/3	plentmix temel yapılması (kaplama yoğ : 2,4 g / cm ³)	ton	53,21	1,28	19,16
KGM/6000	ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş malzeme ile alt temel yapılması	m ³	47,88	0,48	7,18

Toplam: 83,51 TL



Şekil 13: 1 Günlük Kür Uygulanan Saf ve %10C İlaveli Zemin için Tabaka Kalınlıkları ve Maliyetleri

Yol üstyapıları maliyetleri saf zemin için 88,02 TL/m², % 10 C ilaveli zemin için 83,51 TL/m² olarak tespit edilmiştir. Tabaka kalınlıklarının maliyetleri göz önüne alındığında %5,13 oranında yapım maliyetinin azaldığı görülmektedir. Bu hesaplamalara göre 1000 m uzunluğunda ve 20 m genişliğindeki bölünmüş bir yolda yol taban zemininin; %10 C ile iyileştirilme yapılması durumunda 147.009,45 TL tasarruf sağlanmış

olacaktır.

Benzer şekilde yapılan hesaplamalar ve maliyet analizine göre; 7 günlük kür uygulanan zemin numunelerinin esnek yol üstyapı kalınlığının m² cinsinden birim maliyetleri Tablo 16 ve 17’de verilmiştir. Saf zemin ve %10 C ilave edilerek güçlendirilen zemin için tabaka kalınlıkları ve maliyetleri

karşılaştırma grafiği Şekil 14’de görülmektedir

Tablo 16: 7 Günlük Kür Uygulanan Saf Zemin için Tabaka Kalınlıkların Birim Maliyetleri

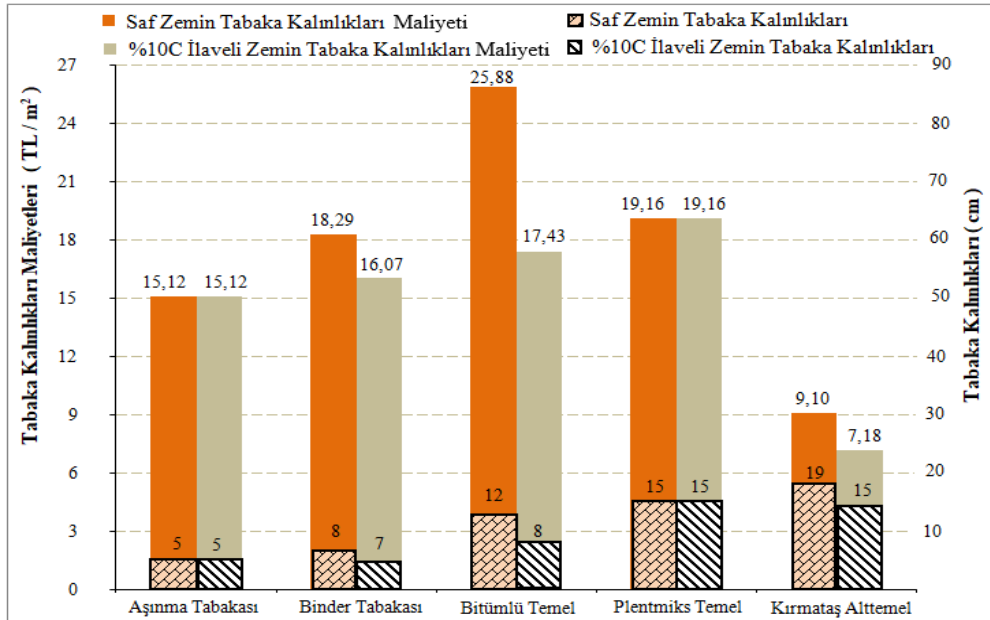
Poz no	Tanım	Birim	Birim Fiyat	Maliyet (TL)	
				m ² /cm	m ²
KGM/6405/S-M	5 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapımı	m ²	15,12	3,02	15,12
KGM/6308	8 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapımı	m ²	18,29	2,29	18,29
KGM/6212	12 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapımı	m ²	25,88	2,16	25,88
KGM/6100/3	plentmix temel yapılması (kaplama yoğ : 2,4 g / cm ³)	ton	53,21	1,28	19,16
KGM/6000	ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş malzeme ile alt temel yapılması	m ³	47,88	0,48	9,10

Toplam: 87,54 TL

Tablo 17: 7 Günlük Kür Uygulanan % 10C İlaveli Zemin için Tabaka Kalınlıkların Birim Maliyetleri

Poz no	Tanım	Birim	Birim Fiyat	Maliyet (TL)	
				m ² /cm	m ²
KGM/6405/S-M	5 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapımı	m ²	15,12	3,02	15,12
KGM/6307	7cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapımı	m ²	16,07	2,30	16,07
KGM/6208	8 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapımı	m ²	17,43	2,18	17,43
KGM/6100/3	plentmix temel yapılması (kaplama yoğ : 2,4 g / cm ³)	ton	53,21	1,28	19,16
KGM/6000	ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş malzeme ile alt temel yapılması	m ³	47,88	0,48	7,18

Toplam: 74,96 TL



Şekil 14: 7 Günlük Kür Uygulanan Saf ve %10C İlaveli Zemin için Tabaka Kalınlıkları ve Maliyetleri

Yol üstyapıları maliyetleri saf zemin için 87,54 TL, % 10 C ilaveli zemin için 74,96 TL olarak tespit edilmiştir. Tabaka kalınlıklarının maliyetleri göz önüne alındığında %14,37 oranında yapım maliyetinin azaldığı görülmektedir. Bu

hesaplamalara göre 1000 m uzunluğunda ve 20 m genişliğindeki bölünmüş bir yolda yol taban zemininin; %10 C ile iyileştirilmesi durumunda 251.648,00 TL tasarruf sağlanmış olacaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Zayıf bir yol taban zemininin, atık araç lastiklerden elde edilen siyah karbon ile stabilizasyonu için kullanılması durumunda, esnek yol üst yapısı kalınlık ve maliyetine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda ifade edilmiştir.

1. Standart proktor deneyi sonucunda; siyah karbon oranı arttıkça optimum su içerikleri değerinin arttığı ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı değerinin azaldığı, bu sonuçların siyah karbonun boşluklu yapısının karışımın absorbe kapasitesini artırması nedeniyle meydana geldiği değerlendirilmektedir.

2. Siyah karbon miktarının artmasıyla numunelerde birim şekil değiştirmenin azaldığı, bunun siyah karbonun numunelerin sertliğini artırması sebebiyle meydana geldiği düşünülmektedir.

3. Serbest basınç deneyi sonuçlarında ise; siyah karbon ile güçlendirilen zeminlerde en büyük mukavemet değeri 1 ve 7 günlük kür sonunda %10 C ilaveli numunelerde tespit edilmiştir. Saf zemine göre mukavemet değerinin 1 ve 7 günlük kür sonunda sırasıyla 1,82 ve 2,14 kat arttığı görülmüştür. Mukavemet değerindeki bu önemli artış, siyah karbonun zeminlerin kohezyon kuvveti ve kayma direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

3. CBR deney sonuçlarına göre; %10 katkılı zeminlerin 1 ve 7 günlük kür süreleri sonundaki CBR değerleri, saf zemine kıyasla sırasıyla 1,28 ve 1,77 kat artış göstermiştir. Bu artış siyah karbonun zeminlerin taşıma gücü üzerinde önemli bir artışa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kür süresinin bu artışta önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

4. Yol üst yapısı tasarım sonuçlarına göre, %10 C katkılı zeminler için hesaplanan üstyapı kalınlığının saf zemine kıyasla, 1 ve 7 günlük kür süreleri için sırasıyla %10 ve %15,25 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalmanın siyah karbonun zeminin taşıma gücü üzerindeki olumlu etkisinden kaynaklandığı görülmüştür.

5. Maliyet analizi sonuçlarına göre, %10C katkılı zeminler üzerine inşa edilecek üstyapı maliyetlerinin saf zemine kıyasla özellikle 7 günlük kür süresi için %14,37 azaldığı tespit edilmiştir. Bu hesaplamalara göre 1000 m uzunluğunda ve 20 m genişliğindeki bölünmüş bir yolda yol taban zemininin, %10 C ile iyileştirilmesi durumunda üst yapı maliyetinde 251.648,00 TL tasarruf sağlanmış olacaktır.

Sonuç olarak, siyah karbonun yol taban zemininin stabilizasyonunda kullanılmasının zemin taşıma gücünü artırarak esnek üst yapı tabaka kalınlığını ve maliyetini azaltacağı, ayrıca çevrenin korunmasına ve ülke ekonomisine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- [1] Keskin, (2004), Kireç Stabilizasyonu ve Yol Kesitine Etkileri, Kocaeli Üniversitesi, FBE, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] Basha, E. A., Hashim, R., Mahmud, H. B., Muntohar, A. S., (2005), Stabilization of Residual Soil with Rice Husk Ash and Cement, Construction and Building Materials, 19, 448–453.
- [3] Akbulut, S., Arasan, S., Ekrem Kalkan, E. (2007). Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers. Applied Clay Science, 38, 23–32.
- [4] Brooks, R.M., (2009), Soil Stabilization with Fly Ash and Rice Husk Ash, International Journal of Research and

Reviews in Applied Sciences, ISSN: 2076-734X, EISSN: 2076-7366 Volume 1, Issue 3 (December 2009), 209-217.

- [5] Keskin, S. ve Laman, M. (2012). Atık lastik - kum karışımlarının kayma mukavemetinin laboratuvar deneyleriyle incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(2), 27-35.
- [6] Shabana S., Anshi C., Shamseera P., Shyamili T. M., Sruthi V., Suhaira P. (2014) “Study on CBR values of soil with crushed coconut shells” International Journal of Advanced Engineering Technology Volume: 05 Issue: 03 | July-September 2014, Pages 55-58.
- [7] Yarbaşı, N. (2016). Atık lastik parçaları ile güçlendirilmiş killi zeminlerin donma-çözülme davranışı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(6), 559-562.
- [8] Karaman, M. ve Ecemiş, N. (2017, Kasım 22-24). Kum - lastik kırpıntı çapının ve karışım oranının sıvılaştırma potansiyeline etkisinin sarsma tablası deneyleri ile incelenmesi. 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul.
- [9] Işık, F. ve Akbulut R.K. (2018). Geri Dönüştürülmüş Karbon Karasının Killi Zeminlerin Kıvam Limitlerine Etkisi. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech. 8(2): 123-130, 2018
- [10] Kumar S.N, Reddy A. S. T., A. Kumar P.V., (2019), “Utilization Of Carbon Black Waste For Subgrades In Flexible Pavements” International Journal Of Scientific & Technology Research volume 8, Issue 12, December 2019, Pages 1817-1820
- [11] Eryılmaz H. ve Demirarslan K.O. “Ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) sıvılaştırılarak geri dönüşümünün araştırılması”. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 2(1): 50-56, (2019).
- [12] Anonim. (2020). https://eracevre.com/pdf/Carbon_Black_Brochure.pdf “Green Karbon Black” (Erişim Tarihi:25.09.2020)
- [13] Yılmaz, I., Yıldırım M., Keskin İ. (2017), Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler, Seçkin Kitabevi Ankara.
- [14] AASHTO (1993). Interim Guide For Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [15] Kök B.V. (2019), Karayolu Mühendisliği ve Tasarımı, Nobel Akademik Yayıncılık Ankara
- [16] Karayolları Esnek Üstyapıları Projelendirme Rehberi (2008). T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara
- [17] Karbon Karaları ve Testleri(2011). Kimya Teknolojisi, Milli Eğitim Bakanlığı (524KI0246), Ankara.
- [18] Kızıltaş, Ü., 1999, Lastik Üretiminde Katkı Elemanlarının Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 64s.
- [19] Geçkil, T., 2008, Siyah Karbonun Bitümlü Sıcak Karışımların Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [20] Tunç, A. 2004. Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım, Ankara.



Evaluation of Supplier Selection Criteria with Fuzzy DEMATEL Method: An Application on the Pharmacy Industry

Burak Leblebicioğlu¹, Abdulkadir Keskin^{2,*}

¹ İstanbul Medeniyet University, Faculty of Political Sciences, Department of Management, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001- 5370-9265), burak.leblebicioglu@medeniyet.edu.tr

^{2*} İstanbul Medeniyet University, Faculty of Political Sciences, Department of Management, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-4795-1028), abdulkadir.keskin@medeniyet.edu.tr

(First received 19 January 2021 and in final form 28 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.864116)

ATIF/REFERENCE: Leblebicioğlu, B. & Keskin, A. (2021). Evaluation of Supplier Selection Criteria with Fuzzy DEMATEL Method: An Application on the Pharmacy Industry. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 236-242.

Abstract

Efforts to improve supply chain management processes, which have gained importance since the '90s, have become an increasingly important phenomenon in today's competitive business life. Particularly due to recent developments, attention has turned to the health sector and improvement efforts in this sector. Supplier selection, which is the basic criterion of supply chain management, and the criteria that determine these choices are among the important issues that draw attention. In today's world where costs are reflected in prices and quality and service performance affect competition, knowing the primary criteria of pharmacies in the selection of suppliers in the health sector will guide both the actors who play a role in the sectoral dynamics and the companies. For this reason, by drawing attention to the issue of supplier selection of pharmacies, Fuzzy DEMATEL was used as a research method and supplier selection criteria of pharmacies were evaluated.

Keywords: Supplier selection, Fuzzy DEMATEL, Pharmacy Industry.

Bulanık DEMATEL Yöntemi ile Tedarikçi Seçim Kriterlerinin Değerlendirilmesi: Eczacılık Sektörü Üzerine Bir Uygulama

Öz

90'lı yıllardan bu yana önem kazanan tedarik zinciri yönetimine ilişkin süreçlerin iyileştirilme çabası günümüz rekabete dayalı iş yaşamında giderek daha da önemli bir olgu haline gelmiştir. Özellikle son zamanlardaki gelişmelere bağlı olarak dikkatler sağlık sektörüne ve bu sektördeki iyileştirme çabalarına dönmüştür. Tedarik zinciri yönetiminin temel kriteri olan tedarikçi seçimi ve bu seçimleri belirleyen kriterlerin neler olduğu dikkat çeken önemli konular arasındadır. Maliyetlerin fiyatlara yansıdığı, kalite ve hizmet performansının rekabeti etkilediği günümüz dünyasında, sağlık sektöründe eczanelerin tedarikçi seçimindeki öncelikli kriterlerini bilmek hem sektörel dinamiklerde rol oynayan aktörlere, hem de firmalara yol gösterici olacaktır. Bu nedenle eczanelerin tedarikçi seçimi konusuna dikkat çekilerek araştırma metodu olarak Bulanık DEMATEL kullanılmış ve eczanelerin tedarikçi seçim kriterleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tedarikçi seçimi, Bulanık DEMATEL, Eczacılık sektörü.

* Corresponding Author: abdulkadir.keskin@medeniyet.edu.tr

1. Introduction

Supply chain applications, which have developed considerably since the 1990s, are among the issues that have become very important for businesses. The most appropriate selection of the supplier affects corporate performance by contributing to finding the right supply chain partners. (Chang, 2011:1850). Especially in the health sector, the increase in costs compared to the consumer price index in recent years has increased the efforts to reduce costs in this sector. However, some concerns reducing costs in this sector will also decrease the quality and service performance (Lambert et al., 1997:17). Especially with the recent Covid 19 pandemic, cost problems related to this sector have started to attract attention again.

In today's competitive business life, it is difficult to achieve low cost and high-quality output without satisfactory suppliers. For this reason, one of the most important purchasing decisions is the selection of a competent supplier group and the maintenance of supply chain relations. The supplier selection decision is a difficult and complex process due to the necessity of considering many criteria in the decision-making process (Weber et al., 1991: 3). Suppliers are becoming a barrier for businesses due to rising costs. But essentially the success of the right supply chain management depends on the choice of an appropriate supplier. Experts agree that the selection of suppliers is one of the most important steps in the purchasing process, as it will reduce costs and provide a competitive advantage (Saen, 2007: 84). Therefore, businesses should transform their attitude towards suppliers from an enemy to a partner and become a source of competitive superiority today (Cousins & Menguc, 2006:605). Therefore, an effective and efficient supply performance evaluation becomes even more critical for supply chain management (Dickson, 1996: 2).

Choosing the right supplier is essentially a tool for an efficient supply chain management goal. In other words, while supplier selection affects the supply chain process, wrong supplier selection is a factor that directly affects supply chain management (Chang, 2011: 1851). Supply chain management is a process and tool that organizes suppliers, producers, warehouses, distribution centers, and distributors to minimize the costs of the entire supply chain system (Xiong Dong, & Wang, 2020: 4199). Supply chain management begins at the source of supply and extends to the point of consumption. It covers the entire value chain and represents a process that includes the relationship between material, information, money flow, and actors (Werner, 2020: 3). Mismanagement of the supply chain causes uncertainty and unexpected problems. For example, manufacturers in the wholesale and retail market face many uncertain situations and different costs. In this case, it chooses the maximum profit by taking a strategic decision instead of the optimum profit. This means that the price increases and therefore, reaching fewer quantities and fewer customers (Choi & Krause, 2006: 637).

As in some other sectors, the supply management of medical equipment and consumer goods in the health sector is full of uncertainty. One of the biggest challenges in the health sector is the evaluation and selection of suppliers (Bahadori, 2017: 1). The supplier selection process is the process of selecting the most suitable supplier in terms of the company's goals and strategies and marketing activities. Criteria for supplier selection may differ

in every geography, culture, and process. Many criteria such as customer expectations, product structure, price, socio-cultural characteristics of the market, technological requirements, the status of the enterprise, and the requirements of marketing activities are effective in supplier selection.

The selection criteria used by decision-makers for supplier selection in organizational life and the relative importance of these selection criteria have been examined in many studies to date. Weber revealed 23 criteria that played a role in the selection of suppliers by examining 74 articles that emerged in the period from 1976 to the date of employment in his study in 1991 (Weber, 1991: 3).

In many subsequent studies, supplier selection criteria were examined and many different criteria were tried to be put forward (Chang, 2011; Dargi et al., 2014; Golmohammadi et al., 2009; Lima Junior et al., 2014; Rajesh & Malliga, 2013; Shemsadi et al., 2011; Wan et al., 2017). In this study, the attributes used in supplier selection were examined in line with the preliminary interviews with purchasing managers in the health sector, and 10 criteria for supplier selection were determined as a result of literature review and interviews. This criterion and research method is parallel to Chang's study in 2011, and the criteria in Table 1 were determined.

Table 1: Supplier Selection Criteria

Product Quality (A1)
Product Price (A2)
Technology Ability of the Supplier (A3)
Supplier Service (A4)
Delivery Performance of the Supplier (A5)
Safe Delivery of the Products (A6)
Delivery time (A7)
Reaction to Demand Change in Time (A8)
Production Ability of the Supplier (A9)
Financial Situation of the Supplier (A10)

With the recent turn of attention to the health sector, sectoral improvement efforts in this sector have increased. Considering the contributions of pharmacists to healthcare (quality drug supply, health promotion, and disease prevention, disease screening, improvement of drug compliance, monitoring of chronic diseases, etc.) (Bağcı & Atasever, 2020:14), choosing the right supplier is vital for pharmacies. In this context, it has become very important to develop an idea about the supplier selection criteria, which is one of the first conditions of efficient supply chain management for pharmacies. Choosing the wrong supplier can cause many consequences, from increasing prices to decreasing service quality, from quality problems to distrust in the sector. The appropriateness and reliability of pharmacies as an institution where people shop from prescription medicines to supplements, personal care products to many supplements are issues that have become more important recently. Since the subject of the study is, the subject of the study was designed on the supplier selection criteria, which is one of the indirect factors of the pharmacies' price, quality, and service performance. Therefore, the purpose of this study is to reveal the supplier selection criteria for the pharmacy sector using the Fuzzy DEMATEL method and to contribute to the relevant field.

2. Material and Method

2.1. Multi-Criteria Decision Making Methods

Multi-criteria decision-making methods are used in problems that have more than one criteria and need to be decided. The decision-making process involves choosing an alternative and listing the alternatives under the available data, decision-makers' opinions, and the purpose of the decision (Zopounidis, 2002: 227).

Many different methods have been developed to make the most appropriate decisions regarding the nature of the problems. Using the Fuzzy DEMATEL method was considered more appropriate in terms of the criteria in this study.

2.2. Fuzzy DEMATEL Method

DEMATEL (Decision Making Trial And Evaluation Laboratory) method was first introduced by Gabus and Fontela in 1972 (Gabus & Fontella, 1972: 3). The method is an effective method that analyzes cause-effect relationships between factors in complex problems with the help of matrices (Si et al., 2018: 20; Bakir et al.2018: 326). The DEMATEL method is a multi-criteria decision-making method developed to determine the causal relationships between criteria. Thanks to the DEMATEL method, the strength, and level of the relationships between the criteria can be determined. In the DEMATEL method, as in other multi-criteria decision-making methods, the evaluation of the criteria is based on expert opinions and experiences. In the DEMATEL method, complex relationships between criteria are visualized in the relationship diagram. The relationship diagram allows decision-makers to visually see the direction and intensity of the relationships between the criteria, allowing for easier interpretation of complex relationships between criteria. In this way, decision-makers can analyze how they can develop the criteria in the affected criteria group to make changes to other criteria. Also, the method allows decision-makers to focus on fewer criteria by determining criteria with a high degree of influence on the solution (Chang et al., 2011; Lin, 2013; Tsai et al., 2015)

The DEMATEL method was first applied by Lotfi A. Zadeh (Zadeh, 1965), who was shown as the founder of fuzzy logic in integration with fuzzy logic. With the application of fuzzy logic to the DEMATEL method, the decision-making group can make their evaluations more applicable and compatible with the real world by using linguistic variables in expressing uncertainty, as is the basis of this logic (Özdemir, 2016:236).

In the Fuzzy DEMATEL method, the steps in the DEMATEL method are handled within the framework of fuzzy logic.

2.1.1. Fuzzy DEMATEL Method Steps

Step 1: After the problem is detected, it should be clearly defined. The criteria should be clear and ensure that all-important criteria that will affect the problem are included in the model.

Step 2: In this step, the first calculation data of the DEMATEL method, the direct relationship matrix is created. At this stage, the relationships between the criteria are evaluated by decision-makers.

Step 3: At this stage, the bilateral relations between the criteria are evaluated by decision-makers to measure the relationship between the criteria. Subsequently, the fuzzy matrix (\check{Z}) is calculated. Fuzzy linguistic expressions are shown in Table

2. In this process, equality (1) and (2) are used. The evaluations were made by 3 different experts. These experts give their opinions using the five-point rating scale mentioned above. Also, 3 different matrices are obtained as a result of the evaluation.

Table 2: Fuzzy Linguistic Scale

Linguistic Scale	Triangular fuzzy number values		
No Influence	0	0	0.25
Low Influence	0	0.25	0.5
Medium Influence	0.25	0.5	0.75
High Influence	0.5	0.75	1
Very High Influence	0.75	1	1

$$(\check{Z}) = \frac{\check{Z} \otimes \check{Z}^2 \otimes \dots \otimes \check{Z}^p}{p} \tag{1}$$

$$\check{Z} = \begin{pmatrix} 0 & \dots & \check{Z}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \check{Z}_{n1} & & 0 \end{pmatrix} \tag{2}$$

As can be seen from Equation 1, the values are divided by the number of experts in the average fuzzy matrix calculation. Also, in the above equations, the value of \check{Z}_{ij} consists of triangular fuzzy numbers in the form of $\check{Z}_{ij} = (lij, mij, uij)$.

Step 4: The fourth stage of the analysis is about the normalization process. In this framework, the normalized direct relationship matrix (\bar{X}) is obtained. In this process, the equation is calculated with the help of (3) - (5).

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} \bar{X}_{11} & \dots & \bar{X}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{X}_{n1} & & \bar{X}_{nn} \end{pmatrix} \tag{3}$$

$$\bar{X}_{ij} = \frac{\check{Z}_{ij}}{r} \left(\frac{I_{ij}}{r}, \frac{m_{ij}}{r}, \frac{u_{ij}}{r} \right) \tag{4}$$

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=i}^n u_{ij} \right) \tag{5}$$

As can be understood from the above equations, the largest number in the rows in the mean fuzzy matrix is determined and all values in the matrix are divided by this number.

Step 5: In the fifth stage, the total relation fuzzy matrix (\check{T}) is formed with the help of equation (6) - (10).

$$X_l = \begin{pmatrix} 0 & \dots & I_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{n1} & & 0 \end{pmatrix} X_m = \begin{pmatrix} 0 & \dots & m_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1} & & 0 \end{pmatrix} X_u = \begin{pmatrix} 0 & \dots & u_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & & 0 \end{pmatrix} \tag{6}$$

$$\check{T} = \begin{pmatrix} \check{t}_1 & \dots & \check{t}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \check{t}_{n1} & & \check{t} \end{pmatrix} \tag{7}$$

$$l_{ij}'' = X(1 - X_l)^{-1} \tag{8}$$

$$m_{ij}'' = X(1 - X_m)^{-1} \tag{9}$$

$$u_{ij} = X(1 - X_u)^{-1} \quad 10$$

The steps of the CFCS (Converting Fuzzy Data into Crisp Scores) method developed by Opricovic and Tzeng (2003: 643), which is the process of converting fuzzy numbers to clear values, are as follows:

$$\check{T} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) R = \max u_{ij} \quad L = \min = \min l_{ij} \quad \text{and} \quad \Delta = R - L \quad 11$$

$$t_{ij} = (l_{ij} - L) / \Delta, \quad t_{mij} = (m_{ij} - L) / \Delta, \quad t_{uj} = (u_{ij} - L) / \Delta \quad 12$$

$$t_{ij}^{ls} = t_{mij} / (1 + t_{mij} - t_{ij}), \quad t_{uj}^{rs} = t_{uj} / (1 + t_{uj} - t_{mij}) \quad 13$$

$$t_j^{crisp} = [t_{ij}^{ls} x(1 - t_{ij}^{ls}) + t_{uj}^{rs} x t_{uj}^{rs}] / [1 - t_{ij}^{ls} + t_{uj}^{rs}] \quad 14$$

$$\check{f}_{ij}^{crisp} = L + t_j^{crisp} x \Delta \quad 15$$

Step 6: In the last stage of the analysis, $(\check{D}_i + \check{R}_i)^{def}$ and $(\check{D}_i - \check{R}_i)^{def}$ values are obtained. \check{R}_i^{def} represents the sum of all vector columns while \check{D}_i^{def} represents the sum of all vector rows. $(\check{D}_i + \check{R}_i)^{def}$, indicates the overall degree of influence between criteria. In other words, when this value is higher, it means that the criterion is much closer to the center point. On the other hand, the value $(\check{D}_i - \check{R}_i)^{def}$ of explains the degree of causality between criteria. Hence, when this value is positive, it means that the criterion affects other criteria.

At the last stage of the study, the importance weights of the variables are calculated. First, the sum of $(\check{D}_i + \check{R}_i)^{def}$ values of all criteria is taken. After that, the $(\check{D}_i - \check{R}_i)^{def}$ value of each criterion is divided by the calculated sum to obtain the importance weights of the criteria. The sum of all the obtained criterion weights gives a value of 1.

Step 7: At this stage, the network structure is created. To create the network structure using the total relationship matrix, the threshold value must first be calculated. The threshold value can be a value determined by decision-makers. If there is no such value, this value can be determined by taking the average of the total relationship matrix.

3. Results and Discussion

To determine the importance of the supplier selection criteria of pharmacies, the Fuzzy DEMATEL method was applied. Ten criteria determined as a result of literature research and expert opinions were subjected to linguistic evaluations of three pharmacists who have been engaged in pharmacy for a long time and calculations were made with the help of the Microsoft Excel program.

The analysis results obtained from the experts are shown in the fuzzy effect matrix in Table 3. The "A" values in Table 3 express the supplier selection criteria (see Table 1) and show the triangular fuzzy number values of the opinions of 3 specialist pharmacists.

The fuzzy effect matrix given in Table 3 should be normalized for later calculations. Table 4 shows the normalized fuzzy effect matrix.

In the next step of the analysis, the total values of the normalized fuzzy effect matrix need to be calculated. Table 5 shows the total fuzzy effect matrix according to the Fuzzy DEMATEL method.

In the next step, the total fuzzy effect matrix has to be transformed into an effect matrix. In Table 6, the fuzzy numbers are transformed into a non-fuzzy number set, that is, the total relationship matrix.

In the next step, the total effect values are obtained from the total relationship matrix. Table 7 shows the degree of impact-relationship and the weights of the criteria. When the values in Table 7 of the criteria that affect the selection of the supplier are examined, the technical ability (A3) criterion of the supplier has been determined as the most important supplier selection criterion. It can be said that the delivery performance of the supplier (A5), the safe delivery of the products (A6), the price of the products (A2), the quality of the products (A1), and the service provided by the supplier (A4) are also more important than the remaining criteria in the selection of the pharmacies. Although the weights of the criteria are close to each other, it is seen that the lead time (A7) is the criterion with the least weight. Accordingly, the importance value ranking of the criteria is technology ability (A3), delivery performance (A5), safe delivery of products (A6), price of products (A2), service provided by the supplier (A4), production ability (A9), the financial status of the supplier (A9), its ability to react to changes in demand promptly (A8) and delivery time (A7).

In the last step of the analysis, a "threshold value" is created by taking the average (0.1525) of the total relationship matrix values shown in Table 6. Values above this threshold value are indicated in bold in Table 6. Based on these values, Figure 1 shows how supplier selection criteria affect each other.

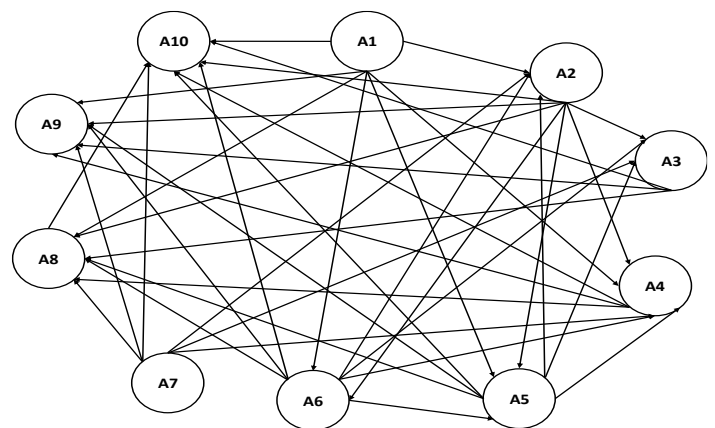


Figure 1: Impact-Relationship Map Between Supplier Selection Criteria

As seen in Figure 1, delivery time (A7) is not affected by any criteria. On the other hand, the product quality (A1) criterion is effective on all criteria except for the delivery time and is not affected by any other criteria. Similarly, the price of the products (A1), delivery performance (A5), and the safe delivery of the products (A6) are effective on many criteria.

Table 3: Fuzzy Impact Matrix for Supplier Selection Criteria

	A1			A2			A3			A4			A5			A6			A7			A8			A9			A10		
A1	0.00	0.00	0.25	0.58	0.83	1.00	0.50	0.75	1.00	0.33	0.50	0.75	0.33	0.58	0.83	0.33	0.58	0.83	0.17	0.33	0.58	0.42	0.67	0.92	0.33	0.58	0.83	0.33	0.58	0.83
A2	0.08	0.17	0.42	0.00	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	0.25	0.50	0.75	0.33	0.58	0.83	0.33	0.58	0.83	0.08	0.25	0.50	0.25	0.50	0.75	0.33	0.58	0.83	0.67	0.92	1.00
A3	0.17	0.42	0.67	0.17	0.42	0.67	0.00	0.00	0.25	0.17	0.42	0.67	0.08	0.33	0.58	0.08	0.33	0.58	0.08	0.33	0.58	0.17	0.42	0.67	0.25	0.50	0.75	0.25	0.50	0.75
A4	0.17	0.33	0.58	0.08	0.17	0.42	0.50	0.75	0.92	0.00	0.00	0.25	0.17	0.42	0.67	0.17	0.42	0.67	0.08	0.33	0.58	0.25	0.42	0.67	0.50	0.75	1.00	0.17	0.42	0.67
A5	0.08	0.25	0.50	0.33	0.50	0.75	0.50	0.75	1.00	0.42	0.67	0.92	0.00	0.00	0.25	0.25	0.50	0.75	0.17	0.25	0.50	0.42	0.67	0.92	0.33	0.58	0.83	0.33	0.58	0.83
A6	0.25	0.42	0.67	0.42	0.67	0.92	0.42	0.67	0.92	0.33	0.58	0.83	0.33	0.58	0.83	0.00	0.00	0.25	0.08	0.17	0.42	0.33	0.58	0.83	0.42	0.67	0.92	0.25	0.50	0.75
A7	0.17	0.33	0.58	0.17	0.42	0.67	0.42	0.67	0.92	0.33	0.58	0.83	0.17	0.33	0.58	0.17	0.25	0.50	0.00	0.00	0.25	0.33	0.58	0.83	0.42	0.67	0.92	0.42	0.67	0.92
A8	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.08	0.33	0.58	0.08	0.33	0.58	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.08	0.33	0.58	0.00	0.00	0.25	0.17	0.42	0.67	0.25	0.50	0.75
A9	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.00	0.17	0.42	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.08	0.33	0.58	0.00	0.00	0.25	0.17	0.42	0.67
A10	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.08	0.33	0.58	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.00	0.25	0.50	0.17	0.42	0.67	0.00	0.00	0.25

Table 4: Normalized Fuzzy Impact Matrix

	A1			A2			A3			A4			A5			A6			A7			A8			A9			A10		
A1	0.00	0.00	0.03	0.07	0.11	0.13	0.06	0.10	0.13	0.04	0.06	0.10	0.04	0.07	0.11	0.04	0.07	0.11	0.02	0.04	0.07	0.05	0.09	0.12	0.04	0.07	0.11	0.04	0.07	0.11
A2	0.01	0.02	0.05	0.00	0.00	0.03	0.06	0.10	0.13	0.03	0.06	0.10	0.04	0.07	0.11	0.04	0.07	0.11	0.01	0.03	0.06	0.03	0.06	0.10	0.04	0.07	0.11	0.09	0.12	0.13
A3	0.02	0.05	0.09	0.02	0.05	0.09	0.00	0.00	0.03	0.02	0.05	0.09	0.01	0.04	0.07	0.01	0.04	0.07	0.01	0.04	0.07	0.02	0.05	0.09	0.03	0.06	0.10	0.03	0.06	0.10
A4	0.02	0.04	0.07	0.01	0.02	0.05	0.06	0.10	0.12	0.00	0.00	0.03	0.02	0.05	0.09	0.02	0.05	0.09	0.01	0.04	0.07	0.03	0.05	0.09	0.06	0.10	0.13	0.02	0.05	0.09
A5	0.01	0.03	0.06	0.04	0.06	0.10	0.06	0.10	0.13	0.05	0.09	0.12	0.00	0.00	0.03	0.03	0.06	0.10	0.02	0.03	0.06	0.05	0.09	0.12	0.04	0.07	0.11	0.04	0.07	0.11
A6	0.03	0.05	0.09	0.05	0.09	0.12	0.05	0.09	0.12	0.04	0.07	0.11	0.04	0.07	0.11	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.05	0.04	0.07	0.11	0.05	0.09	0.12	0.03	0.06	0.10
A7	0.02	0.04	0.07	0.02	0.05	0.09	0.05	0.09	0.12	0.04	0.07	0.11	0.02	0.04	0.07	0.02	0.03	0.06	0.00	0.00	0.03	0.04	0.07	0.11	0.05	0.09	0.12	0.05	0.09	0.12
A8	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.01	0.04	0.07	0.01	0.04	0.07	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.01	0.04	0.07	0.00	0.00	0.03	0.02	0.05	0.09	0.03	0.06	0.10
A9	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.00	0.02	0.05	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.01	0.04	0.07	0.00	0.00	0.03	0.02	0.05	0.09
A10	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.01	0.04	0.07	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.06	0.02	0.05	0.09	0.00	0.00	0.03

Table 5: Total Fuzzy Impact Matrix

	A1			A2			A3			A4			A5			A6			A7			A8			A9			A10		
A1	0.01	0.05	0.38	0.08	0.16	0.53	0.08	0.18	0.61	0.05	0.13	0.53	0.05	0.13	0.51	0.05	0.13	0.50	0.03	0.09	0.41	0.07	0.16	0.57	0.06	0.16	0.61	0.06	0.16	0.59
A2	0.02	0.06	0.37	0.01	0.05	0.40	0.08	0.16	0.57	0.04	0.12	0.49	0.05	0.12	0.47	0.05	0.12	0.46	0.01	0.07	0.37	0.04	0.12	0.50	0.06	0.15	0.56	0.10	0.18	0.57
A3	0.02	0.08	0.36	0.03	0.09	0.41	0.01	0.06	0.42	0.03	0.10	0.43	0.01	0.08	0.39	0.01	0.08	0.39	0.01	0.07	0.34	0.03	0.10	0.44	0.04	0.12	0.49	0.04	0.12	0.48
A4	0.02	0.08	0.36	0.02	0.07	0.39	0.07	0.15	0.51	0.01	0.05	0.39	0.03	0.10	0.41	0.03	0.09	0.40	0.01	0.07	0.35	0.04	0.11	0.45	0.07	0.15	0.53	0.03	0.11	0.48
A5	0.02	0.07	0.38	0.05	0.11	0.46	0.08	0.16	0.57	0.06	0.14	0.51	0.01	0.05	0.40	0.04	0.11	0.45	0.02	0.07	0.38	0.06	0.14	0.53	0.06	0.15	0.57	0.06	0.15	0.55
A6	0.04	0.09	0.41	0.06	0.14	0.49	0.07	0.16	0.57	0.05	0.13	0.51	0.05	0.13	0.48	0.01	0.05	0.40	0.02	0.06	0.37	0.05	0.14	0.53	0.07	0.16	0.58	0.05	0.14	0.55
A7	0.03	0.08	0.38	0.03	0.10	0.44	0.06	0.15	0.55	0.05	0.13	0.48	0.03	0.09	0.43	0.03	0.08	0.41	0.00	0.04	0.33	0.05	0.13	0.50	0.07	0.15	0.56	0.06	0.15	0.54
A8	0.00	0.06	0.31	0.00	0.07	0.35	0.01	0.09	0.42	0.01	0.08	0.37	0.00	0.06	0.34	0.00	0.06	0.34	0.01	0.07	0.31	0.00	0.04	0.35	0.02	0.10	0.43	0.03	0.11	0.43
A9	0.00	0.05	0.29	0.00	0.06	0.32	0.00	0.06	0.37	0.00	0.06	0.34	0.00	0.06	0.32	0.00	0.06	0.31	0.00	0.05	0.28	0.01	0.08	0.36	0.00	0.04	0.35	0.02	0.09	0.40
A10	0.00	0.05	0.29	0.00	0.06	0.33	0.01	0.08	0.39	0.00	0.06	0.34	0.00	0.06	0.32	0.00	0.06	0.32	0.00	0.05	0.28	0.00	0.07	0.36	0.02	0.09	0.41	0.00	0.04	0.35

Table 6: Total Relationship Matrix

Fij	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	0.1065	0.2217	0.2432	0.1964	0.19435	0.1913	0.1427	0.2204	0.2283	0.2264
A2	0.1174	0.1147	0.2246	0.1800	0.1796	0.1769	0.1223	0.1858	0.2109	0.2404
A3	0.1301	0.1456	0.1218	0.1518	0.1351	0.1327	0.1179	0.1572	0.1789	0.1766
A4	0.1258	0.1233	0.2065	0.1093	0.1479	0.1454	0.1213	0.1636	0.2121	0.1726
A5	0.1270	0.1728	0.2258	0.1988	0.1142	0.1685	0.1240	0.2048	0.2120	0.2085
A6	0.1479	0.1942	0.2212	0.1931	0.1840	0.1152	0.1160	0.1996	0.2242	0.2039
A7	0.1322	0.1569	0.2097	0.1835	0.1476	0.1364	0.0891	0.1896	0.2139	0.2110
A8	0.0992	0.1115	0.1389	0.1264	0.1105	0.1085	0.1067	0.0937	0.1507	0.1574
A9	0.0920	0.1034	0.1111	0.1081	0.1025	0.1007	0.0901	0.1212	0.0943	0.1376
A10	0.0937	0.1053	0.13055	0.1102	0.1043	0.1025	0.0915	0.1142	0.1419	0.0946

Table 7: Impact-Relationship Degree and Criterion Weight Results

	D	R	D+R	D-R	W
A1	1.97166	1.17228	3.14394	0.79938	0.10286
A2	1.753	1.44994	3.20294	0.30305	0.10479
A3	1.44812	1.83385	3.28197	-0.38573	0.10738
A4	1.52818	1.55799	3.08617	-0.02981	0.10097
A5	1.75699	1.4204	3.17739	0.33659	0.10395
A6	1.79978	1.37852	3.1783	0.42126	0.10398
A7	1.67046	1.12224	2.79269	0.54822	0.09137
A8	1.20399	1.65064	2.85464	-0.44665	0.09339
A9	1.0615	1.86745	2.92895	-0.80596	0.09583
A10	1.08902	1.82938	2.9184	-0.74036	0.09548

4. Conclusion and Recommendations

The performance of the supply chain, as in many sectors, is vital in competitive advantage and sustainability in the pharmacy sector, and supplier selection is one of the factors determining this performance. The selection of suppliers can vary greatly from sector to sector and from business to business, and there are many different criteria to choose the most suitable supplier for the business, the customer, and the market. Therefore, in this study, it was aimed to estimate which criteria are important in choosing suppliers in the pharmacy sector by using the Fuzzy DEMATEL method. The results of the study can help pharmacies predict precisely which suppliers are suitable by focusing on the important factors identified.

In the study, it is seen that the importance weights calculated with the Fuzzy DEMATEL method of ten criteria determined in line with the literature review and expert opinions are not so far from each other. Businesses often pay close attention to product quality, product price, and delivery performance when selecting or evaluating suppliers. However, this study shows that the technical ability of suppliers has the greatest impact among the supplier selection criteria in pharmacies. The results of the research show that the technical ability, delivery performance and the price and quality of the products are also important criteria in supplier selection. It is thought that the reason for this is that the technological ability of suppliers creates trust in pharmacists and this trust directly affects the quality perception of products and services.

It is believed that the pharmacy sector and the Fuzzy DEMATEL method discussed in the study will contribute to the

literature and shed light on similar studies since they were not used in the evaluation of supplier selection criteria before. In future studies, supplier selection criteria can be analyzed using the Fuzzy DEMATEL method on different sectors and sectoral differences or similarities can be revealed. Also, different perspectives can be developed by using different decision-making methods.

References

- Bağcı, H. & Atasever, M. (2020). Türkiye Serbest Eczane Sektör Analizi, Türk Eczacıları Birliği Yayınları, Ankara.
- Bahadori, M., Hosseini, S.M., Teymourzadeh, E., Ravangard, R. Raadabadi, M. & Alimohammadzadeh, K. (2017): A supplier selection model for hospitals using a combination of artificial neural network and fuzzy VIKOR, *International Journal of Healthcare Management*, 1-9.
- Bakir, S., Khan, S., Ahsan, K. & Rahman, S. (2018). Exploring the critical determinants of environmentally oriented public procurement using the DEMATEL method. *Journal of Environmental Management*, 225, 325-335.
- Chang, B., Chang, C.W. & Wu, C.H. (2011). Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1850-1858.
- Choi, T. Y., & Krause, D. R. (2006). The supply base and its complexity: Implications for transaction costs, risks, responsiveness, and innovation. *Journal of Operations Management*, 24(5), 637-652.
- Cousins, P. D., & Menguc, B. (2006). The implications of socialization and integration in supply chain management. *Journal of Operations Management*, 24(5), 604-620.
- Dargi A., Anjomshoae A., Galankashi M. R., Memari A., & Tap M. B. M. (2014). Supplier Selection: A Fuzzy-ANP Approach. *Procedia Computer Science* 31, 671-700.
- Dickson, G. W. (1996). An analysis of vendor selection systems and decision. *Journal of Research*, 141, 70-87.
- Gabus, A., & Fontela, E. (1972). World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL. Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland, 1-8.
- Golmohammadi, D., Creese, R. C., Valian, H., & Kolassa, J. (2009), Supplier Selection Based on a Neural Network Model Using Genetic Algorithm, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 20(2), 1504-1519.
- Lambert, D., Adams, R. & Emmelhainz, M. (2006). Supplier Selection Criteria in the Healthcare Industry: A Comparison of Importance and Performance. *Journal of Supply Chain Management*. 33. 16 - 22.
- Lima Junior, F. R., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2014), A Comparison Between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods to Supplier Selection, *Applied Soft Computing Journal*, 21, 194-209.
- Lin R.J. (2013). Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices. *Journal of Cleaner Production*, 40, 32-39.
- Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2003). Defuzzification within a Multicriteria Decision Model. *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(5), 635-652.
- Özdemir, Ü. (2016). Bulanık DEMATEL ve bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak limanlarda yaşanan iş kazalarının incelenmesi. *Journal of ETA Maritime Science*, 4(3), 235-247.
- Rajesh, G., & Malliga, P. (2013), Supplier Selection Based on AHP QFD Methodology, *Procedia Engineering*, 64, 1283-1292.
- Saen, R. F. (2007). A new mathematical approach for suppliers selection: Accounting for non-homogeneity is important. *Applied Mathematics and Computation*, 185(1), 84-95.
- Shemsadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M. & Tarokh, M. J. (2011). A Fuzzy VIKOR Method for Supplier Selection Based on Entropy Measure for Objective Weighting. *Expert Systems with Applications*, 38, 12160 - 12167.
- Si, S.L., You, X.Y., Liu, H.C., & Zhang, P. (2018). DEMATEL technique: a systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1-33.
- Tsai, S.B., Chien, M.F., Xue, Y., Li, L., Jiang, X., Chen, Q., & Wang, L. (2015). Using the fuzzy DEMATEL to determine environmental performance: a case of printed circuit board industry In Taiwan. *PloS one*, 10(6), 1-18.
- Wan, S. Ping, Xu, G. Li, & Dong, J. Ying. (2017), Supplier Selection Using ANP and ELECTRE II in Interval 2-Tuple Linguistic Environment, *Information Sciences*, 385-386, 19-38.
- Weber C. A., Current J. R. & Benton W.C. (1991). Vendor Selection Criteria and Methods. *European Journal of Operational Research* 50, 2-18.
- Werner, H. (2020). *Supply Chain Management - Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling*. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Xiong, H., Dong, S. & Wang, Z. (2020). Application of the new method in Supplier Selection. 2020 Chinese Control And Decision Conference, 4199-4203.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control* 8 (3): 338- 353
- Zopounidis, C. (2002). MCDA methodologies for classification and sorting, *European Journal of Operational Research*, 138, 227- 228.



Use of Plasma Tube for the Emergency Tests in Clinical Chemistry Laboratory

Gülçin Şahingöz Erdal¹, Nilgün Işıksacan^{2*}, Pınar Kasapoğlu³, Asuman Gedikbaşı², Murat Koşer⁴

^{1*} University of Health Sciences, Bakırköy Dr. Sadi Konuk Training and Research Hospital, Department of Medical Oncology, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5815-5847), gulcinctf@hotmail.com

² University of Health Sciences, Bakırköy Dr. Sadi Konuk Training and Research Hospital, Department of Biochemistry, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0230-6500), nisiksacan@gmail.com, (ORCID:0000-0001-7121-6077) asugedikbasi@yahoo.com

³ University of Health Sciences, Bakırköy Dr. Sadi Konuk Training and Research Hospital, Department of Immunology, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1703-2204), proxy75@hotmail.com

⁴ Silivri State Hospital, Department of Biochemistry, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7102-0875), muratkoser@yahoo.com

(First received 19 January 2021 and in final form 28 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.864325)

ATIF/REFERENCE: Şahingöz Erdal, G., Işıksacan, N., Kasapoğlu, P., Gedikbaşı, A. & Koşer, M. (2021). Use of Plasma Tube for the Emergency Tests in Clinical Chemistry Laboratory. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 243-247.

Abstract

The major considerations for the STAT testing performed in laboratories are to obtain a fast and accurate test result. Increasing number of instruments and methods have been developed for making it possible to perform the STAT testing on plasma rather than serum. The aim of this study is to compare the STAT test results of the serum and plasma sample tubes. Venous blood samples of 78 patients were collected into BD Vacutainer®SST™II Advance serum gel and Vacutainer®Barricor™ plasma tube. The sampling orders of the tubes were switched during blood collection and loading the tubes into the instruments in order to ensure randomization. It was ensured the tubes were inverted, completely filled, and were allowed serum tubes to clot for a minimum of 30 minutes from the time of blood collection. It was determined that the chloride and sodium tests had a good concordance and the remaining tests had a strong level of concordance. Albumin, ALT, Amylase, AST, Bilirubin, Direct Bilirubin, BUN, Calcium, Chloride, Creatinine, Mg, Na, CK, CRP, Urea, BNP, troponin-T, D-dimer analysis was similar for both, with no significant difference.

While it helps to improve TAT since no clotting time is required to obtain plasma it also supports sample quality and accurate test results with the absence of fibrin formation at plasma tube which is possible at serum tube samples. Plasma tubes may be used instead of serum tubes due to the possibility of hemolysis caused by sample transfer required to obtain serum.

Keywords: Serum, Plasma tube, STAT testing, Clotting

Klinik Kimya Laboratuvarında Acil Durum Testlerinde Plazma Tüpü Kullanımı

Öz

Laboratuvarlarda gerçekleştirilen hızlı testler için ana hususlar hızlı ve doğru bir test sonucu elde etmektir. Hızlı testlerin serum yerine plazma kullanılarak gerçekleştirilmesini mümkün kılmak için artan sayıda cihaz ve yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, serum ve plazma örnek tüplerinin hızlı test sonuçlarını karşılaştırmaktır. 78 hastanın venöz kan örnekleri BD Vacutainer®SST™II Advance serum jeli ve Vacutainer®Barricor™ plazma tüpüne toplandı. Randomizasyonun sağlanması için kan alma ve tüplerin aletlere yüklenmesi sırasında tüplerin örnekleme sıraları değiştirildi. Kan alma anından itibaren tüplerin ters çevrilmesi, tamamen doldurulması ve serum tüplerinin en az 30 dakika süreyle pıhtılaşması sağlandı. Klorür ve sodyum testlerinin iyi bir uyuma sahip olduğu ve kalan testlerin güçlü bir uyum düzeyine sahip olduğu belirlendi. Albümin, ALT, Amilaz, AST, Bilirubin, Direkt Bilirubin, BUN, Kalsiyum, Klorür, Kreatinin, Mg, Na, CK, CRP, Üre, BNP, troponin-T, D-dimer analizi her biri için benzerdi ve anlamlı bir fark yoktu. Plazma elde etmek için pıhtılaşma süresinin gerekmemesi hızlı testin süresinin kısalmasına yardımcı olurken, plazma tüpünde serum tüp örneklerinde görülebilen fibrin oluşumunun olmaması ise örnek kalitesini ve test sonuçlarının doğruluğunu destekler. Serum elde etmek için gerekli numune transferinin neden olduğu hemoliz olasılığı nedeniyle serum tüpleri yerine plazma tüpleri kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Serum, Plazma tüpü, Hızlı test, Pıhtılaşma

* Corresponding Author: nisiksacan@gmail.com

1. Introduction

Considering the urgency of the disease and the necessity of rapid patient circulation, shortening the duration of patient stay (LOS) in the emergency department is of critical importance for patients, doctors and other healthcare professionals. LOS is one of the most important quality indicators for mortality and morbidity risk [1,2]. Most patients presenting to the emergency department undergo laboratory tests and have a wide range of roles ranging from diagnosing the disease to managing treatment and managing critical diseases [3,4]. Since laboratory test return around time is an important determinant of LOS, late results of laboratory tests may delay critical decisions regarding patient care, increase the length of stay, and reduce efficiency in the emergency department [4-6].

Important points for STAT tests in biochemistry laboratories are to obtain fast and accurate test results. Therefore, an increasing number of tools and methods have been developed around the world to enable STAT tests to be performed on plasma tubes rather than on serum tube samples.

The aim of our study was to analyze the serum tube and plasma tube samples of the patients on the same device (Roche analyzer) and compare the results and evaluate the usability of the plasma tube samples in the routine.

2. Materials and Methods

2.1. Patients and equipment

Venous blood samples of 78 patients from the anesthesia and reanimation, emergency service and coronary intensive care unit departments of Bakirkoy Dr. Sadi Konuk Training and Research Hospital were collected into BD Vacutainer® SST™ II Advance serum gel tube (Becton Dickinson - USA) and BD Vacutainer® Barricor™ (Becton Dickinson- USA) plasma tube.

The sampling orders of the tubes were switched during blood collection and loading the tubes into the instruments in order to ensure randomization. It was ensured the tubes were inverted, completely filled, and were allowed serum tubes to clot for a minimum of 30 minutes from the time of blood collection.

2.2. Biochemical analysis

Patient blood samples were analyzed for Albumin, alanine aminotransferase (ALT), amylase, aspartate aminotransferase (AST), direct bilirubin, total bilirubin, blood nitrogen urea (BUN), calcium, chloride, creatinine, glucose, potassium, magnesium (Mg), sodium (Na), phosphorus, total protein, CK, C-Reactive Protein (CRP), B-natriuretic peptide (BNP), troponin T, D-Dimer. After the centrifugation hemolysed samples were not included in the study and the serum tube samples that contain fibrin observed were analyzed after aliquoting.

2.3. Ethical approval

The Ethics Committee of the Institute approved the study protocol (2020/87). The study protocol was explained and written consent was obtained from all patients before sampling.

2.4. Statistical analyses

The Number Cruncher Statistical System 2007 (Utah, USA) software was used for the statistical analysis. ICC test was used in the evaluation of concordance between the plasma and serum tubes whereas Cohen Kappa concordance levels were used in the evaluation of concordance between the decisions (<0.40: Weak; 0.40 – 0.59: Medium; 0.60 – 0.74: Good; 0.75 – 1.00: Strong). Wilcoxon Signed-Rank test was used for evaluating the biases between variants from two separate tubes. The results were within 95% of confidence interval and the statistical significance was $p < 0.05$.

Table 1. Correlations of biochemical parameters in plasma and serum tubes

	Plasma tube		Serum tube		<i>a</i> p	Difference	ICC
	Mean±SD	Min-Max (median)	Mean±SD	Min-Max (median)			
Albumin	3.85±0.98	1.2-5.4 (4.1)	3.86±1.01	1.4-5.4 (4.1)	0.344	-0.01±0.24	0.972*
ALT	36.1±52.31	5-329 (17.5)	36.37±52.99	5-339 (17.5)	0.105	-0.27±2.5	0.999*
Amylase	79.54±59.6	13-355 (64.5)	79.14±58.69	12-349 (64)	0.841	0.4±5.57	0.996*
AST	44.21±100.6	7-804 (21)	43.47±95.79	7-757 (20)	0.239	0.74±5.94	0.999*
Bilirubin, Direct	0.45±0.94	0.1-5.8 (0.2)	0.45±0.93	0.1-5.8 (0.21)	0.395	0±0.03	0.999*
Bilirubin, Total	0.79±1.18	0.1-7.5 (0.45)	0.8±1.18	0.1-7.5 (0.47)	0.247	0±0.04	0.999*
BUN	23.66±16.07	6-67 (18.5)	23.88±15.97	6-68 (18)	0.648	0.12±1.17	0.997*
Calcium	8.79±0.73	6.7-10 (8.99)	8.75±0.84	5.9-10.1 (8.92)	0.513	0.03±0.28	0.945*
Chloride	99.63±6.27	84.9-129 (99.25)	99.22±5.36	85.9-113.6 (99.4)	0.604	0.4±5.06	0.631*
Creatinine	1.01±0.78	0.3-4.3 (0.76)	1.01±0.79	0.3-4.4 (0.75)	0.392	0±0.05	0.998*
Glucose	120.76±30.97	80-241 (115)	118.17±30.04	76-228 (111.5)	0.001*	2.59±6.54	0.977*
Potassium	3.94±0.6	2.8-6.6 (4)	4.14±0.63	2.9-6.8 (4.17)	0.001*	-0.19±0.29	0.892*
Magnesium	1.96±0.28	1.2-2.7 (1.9)	1.96±0.3	1.1-2.8 (1.95)	0.972	0±0.08	0.962*
Sodium	140.39±5.94	112-155 (140)	141.07±4.48	127-154 (140)	0.307	-0.69±4.01	0.738*
Phosphorus	3.46±1.39	1.3-10.2 (3.3)	3.62±1.44	1.5-9.7 (3.4)	0.001*	-0.16±0.35	0.969*
Total protein	6.8±1.12	3.2-8.7 (7.1)	6.52±1.21	3.3-8.6 (6.75)	0.001*	0.28±0.32	0.965*
Creatinin kinase, Total	172.31±224.82	4-1388 (96)	173.17±225.97	5-1427 (96.5)	0.648	-0.86±15.66	0.998*
C-Reactive Protein	5.46±8.04	0-36.5 (2.31)	5.46±8.02	0-36.5 (2.57)	0.883	0±0.67	0.997*
Urea	41.19±42.57	0.1-149 (33.5)	38.69±39.12	0.1-146 (33.5)	0.768	2.51±15.92	0.927*
B-natriuretic peptide	1322.93±1193.82	261.1-3340 (832.55)	1325.03±1197.59	268.1-3347 (830.25)	0.871	-2.1±35.23	1.000*
Troponin T	1.56±2	0.1-6.1 (0.77)	1.55±1.92	0.1-5.8 (0.79)	0.499	0.01±0.12	0.999*
D-dimer	0.82±0.7	0.3-2.5 (0.56)	0.69±0.54	0.2-1.9 (0.51)	0.036	0.14±0.19	0.990*

^aWilcoxon Signed Rank test

ICC: Intraclass Correlation Coefficients

*p<0.05

ALT :alanine aminotransferase, AST: aspartate aminotransferase, BUN: blood nitrogen urea

3. Results and Discussion

3.1 Results

BD Barricor™ Tubes demonstrated clinically equivalent results for all analytes evaluated in this study when compared to BD SST™ II Advance Tubes. Chloride and sodium tests were found to have a good concordance and the other tests to have a strong level of concordance (Table 1).

Albumin, ALT, Amylase, AST, Bilirubin, Direct Bilirubin, Total BUN, Calcium, Chloride, Creatinine, Mg, Na, CK, C-RP, Urea, BNP, troponin T, D-dimer analysis was clinically equivalent for serum and plasma tubes, with no statistically significant difference.

The differences observed for Potassium and Total Protein are known to exist between plasma and serum and are not attributable to the BD Barricor™ Tube. Statistical differences are not clinically meaningful, thus all results are acceptable.

3.2 Discussion

The samples used in the laboratory are very diverse. The main ones; serum, plasma, whole blood, various fluids (pleural, pericardial), urine, and stool. Whole blood is non-separated blood to be serum or plasma. Serum is the remaining liquid part after the

shaped elements (erythrocytes, leukocytes, platelets) are separated from the clotted blood. Plasma is the remaining liquid part after the shaped elements are separated from the blood, whose coagulation is inhibited by anticoagulants [7].

Which is the preferred sample type, serum or plasma? When comparing plasma and serum, there are advantages and disadvantages of both. Serum is the most commonly used material sample type for biochemical analysis in the clinical laboratory. Serum separation from whole blood requires a waiting time of at least 20-30 minutes for complete clotting [8].

The most important advantage of using plasma, especially in the emergency department or in places where rapid decision-making is needed, is to achieve results in a short time. Plasma samples can be directly centrifuged after collection, as opposed to serum from which clotting is complete after 30 minutes, and laboratory analysis can be performed immediately. It may be a life-saving advantage not to wait for clotting time under emergency conditions, intensive care or operating room conditions that compete over time.

In addition, the amount of plasma obtained from the same blood volume is 15 to 20% greater than the amount of serum; this allows more tests with less blood. This causes plasma to be preferred, especially in pediatric patients or in patients undergoing frequent blood tests [9]. Another advantage of plasma analysis is

that it minimizes the risk of hemolysis and reduces the possibility of false results [10].

Furthermore, interactions caused by clotting that occur when serum is obtained are not seen in plasma. Depending on the cellular metabolism and coagulation process, the concentration of glucose, total protein and platelets in the serum sample may decrease [11]. In our study, serum glucose and total protein were significantly lower than plasma samples.

The disadvantage of plasma to serum is that by the addition of anticoagulants, some analysis procedures may be affected or the concentration of components to be measured as a result of contamination with cations (NH_4^+ , Li^+ , Na^+ , K^+) may vary [10]. In our study, no significant difference was found in plasma and serum samples in Na analysis ($p=0.307$), whereas potassium level in plasma analysis was significantly lower than serum ($p=0.001$). Potassium and phosphorus increased in serum due to release from calls/platelets during clotting. And a linear correlation has been shown between platelet count and the increase in serum potassium. Clotting has not occurred in anticoagulated plasma samples. Thus plasma potassium and inorganic phosphorus levels present in vivo levels more accurately [11-14].

Another problem is that metals interact with EDTA and citrate by complexing. For example, inhibition of alkaline phosphatase activity by zinc binding or low measurement of calcium (ionized) by binding to heparin [15]. In our study, Ca levels were similar between plasma and serum ($p=0.513$).

EDTA affects the distribution of ions between intracellular and extracellular spaces due to citrate in its composition (eg Cl^- , NH_4^+) [16]. However, chloride levels were not affected in our study. In other words, whether the analysis was made from serum or plasma did not cause a significant difference in the results.

Our study in patients in the emergency department, anesthesia and reanimation, and coronary intensive care units showed that the results obtained by the analysis of plasma with fewer blood

4. Conclusions and Recommendations

We believe that plasma analyzers will be preferred more in line with the developing technology and needs. Plasma-based analysis may be preferred, especially in cases where the amount of time and sample is important such as emergency room, intensive care units and operating room, and where laboratory errors can cause fatal errors in diagnosis and treatment. Thus, more common serum problems such as coagulation or hemolysis, which cannot be detected visually but cause erroneous results, are avoided.

In addition, the use of plasma may reduce the workload of the laboratories, shorten the turnaround time (TAT), increase the reliability of the results, as well as reduce the laboratory costs by causing serious reductions in the preanalytical error rate. Also the mechanical barrier in the Barricor™ tube is significantly more effective in separating cells from the plasma than the gel in the PST. Hence analytical changes are minimized across the different storage time points and centrifugation settings.

5. Acknowledge

The authors have declared no conflicts of interest.

References

[1] Vermeulen, M.J., Guttman, A., Stukel, T.A., et al. (2016). Are reductions in emergency department length of stay associated with improvements in quality of care? A

samples and yielding earlier results were not much different from the analysis with serum sample. Our results are consistent with the study of Sharma et al [9].

However, there are studies in the literature showing that significant differences can be observed when analyzing serum and plasma samples for the same biochemical parameters [17,18]. Considering the dates of these studies, the effect of the methods and devices used may have caused this difference. Not only device technology but also the development of tube technology (mechanical separator) is effective in reducing these differences. The mechanical separator plasma is superior to gel plasma, resulting in less cellular contamination resulting in longer stability and less false negative results [19-21].

In our study, we used BD Vacutainer® Barricor™ (Becton Dickinson-USA) plasma tubes. Studies have shown that all analytes, except K and total protein, can be measured interchangeably in BD Rapid Serum Tubes and BD Barricor tubes applying the same reference ranges [22]. In another study, in a comparison using standard Vacutainer® lithium heparin tubes and BD Barricor tubes; It has been shown that there is a good correlation between the 2 tubes. The Barricor™ tube has been shown to be an alternative to a regular lithium heparin tube [23]. Yet another study has shown that BD Barricor tubes can be an alternative to serum separator tubes in institutions aiming to reduce turnaround time [24].

As a result, Albumin ALT, Amylase, AST, Bilirubin, Direct Bilirubin, Total BUN, Calcium, Chloride, Creatinine, Mg, Na, CK, C-Reactive Protein, Urea, BNP, Troponin T, D-dimer results are similar in analysis in plasma or serum.

The low serum level of glucose from plasma may be due to the use of intracellular glucose during the time that serum is obtained. High levels of potassium and phosphorus in serum may also be due to intracellular potassium released in lysed cells and platelet metabolism during the waiting period [12-14,20].

difference-in-differences analysis. *BMJ Qual Saf*, (25), 489-98. DOI:10.1136/bmjqs-2015-004189

[2] Mullins, P.M., Pines, J.M. (2014). National ED crowding and hospital quality: results from the 2013 Hospital Compare data. *Am J Emerg Med*, (32), 634-39. DOI: 10.1016/j.ajem.2014.02.008

[3] White, B.A, Baron, J.M., Dighe, A.S., et al. (2015). Applying Lean methodologies reduces ED laboratory turnaround times. *Am J Emerg Med*, (33), 1572-76. DOI: 10.1016/j.ajem.2015.06.013

[4] Boelstler A.M., Rowland, R., Theoret, J., et al. (2015). Decreasing troponin turnaround time in the emergency department using the central laboratory: A process improvement study. *Clin Biochem*, (48), 308-12. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2014.10.014

[5] Li, L., Georgiou, A., Vecellio, E., et al. (2015). The effect of laboratory testing on emergency department length of stay: a multihospital longitudinal study applying a cross-classified random-effect modeling approach. *Acad Emerg Med*, (22), 38-46. DOI: 10.1111/acem.12565

[6] Hwang, U., Baumlin, K., Berman, J., et al. (2010). Emergency department patient volume and troponin laboratory turnaround time. *Acad Emerg Med*, (17), 501-507. DOI: 10.1111/j.1553-2712.2010.00738.x

[7] Young, D.S., Bermes, E.W. (2001). Specimen collection and other preanalytical variables. In Burtis CA, Edward RA. eds. *Tietz textbook of clinicalchemistry* Philadelphia: W.B sounders company, 30-53.

- [8] Hawkins, R.C. (2007). Laboratory turnaround time. *Clin Biochem Rev*, (28), 179-94.
- [9] Sharma, L.K., Dutta, D., Sharma, N., et al. (2018). Comparisons of metabolite profile from paired serum and ethylenediaminetetraacetic acid-plasma samples using dry chemistry technology: An emergency department perspective. *J Lab Physicians*, (10), 346-350. DOI: 10.4103/JLP.JLP_151_17. PubMed PMID: 30078974; PubMed Central PMCID: PMC6052806.
- [10] Engstad, C.S., Guttentag, T.J., Osterut, B. (1997). Modulation of blood cell activation by four commonly used anticoagulants. *Thromb Hemost*, (77), 690-6.
- [11] Grafmeyer, D., Bondon, M., Manchon, M., et al. (1995). The influence of bilirubin, haemolysis and turbidity on 20 analytical tests performed on automatic analysers. *Eur J Clin Chem Clin Biochem*, (33), 31-52
- [12] Organization, W.H. (2002). Use of anticoagulants in diagnostic laboratory investigations. *World Health Organization*.
- [13] Harr, R., Bond, L., Trumbull, D. (1987). A comparison of results for serum versus heparinized plasma for 30 common analyses. *Lab Med*, (18), 449-55.
- [14] Ciuti, R., Rinaldi, G. (1989). Serum and plasma compared for use in 19 common chemical tests performed in the Hitachi 737 analyzer. *Clin Chem*, (35), 1562-3. PubMed PMID: 2758626.
- [15] Caliezi, C., Reber, G., Lämmle, B., et al. (2000) Agreement of D-dimer results measured by a rapid ELISA (VIDAS) before and after storage during 24 h or transportation of the original whole blood samples. *Thromb Haemost*, (83), 177-8.
- [16] Hagemann, P. (1994). Qualität im Arztlabor. Optimierung der Präanalytik. *Heidelberg: Springer*.
- [17] Ladenson, J.H., Tsai, L.M., Michael, J.M., et al. (1974). Serum versus heparinized plasma for eighteen common chemistry tests: Is serum the appropriate specimen?. *Am J Clin Pathol*, (62), 545-52.
- [18] Miles, R.R., Roberts, R.F., Putnam, A.R., et al., 2004, "Comparison of serum and heparinized plasma samples for measurement of chemistry analytes, " *Clin Chem.*, 50, p. 1704-6.
- [19] Boyanton, B.L. Jr., Blick, K.E. (2002). Stability studies of 24 analytes in human serum and plasm. *Clin Chem*, (48), 2242-7
- [20] Sonntag, O. (1986). Haemolysis as an interference factor in clinical chemistry. *Clin Chem Clin Biochem*, (24), 127-39.
- [21] Goce, D., Johnston, J. (2018). Is the BD Barricor Tube the New Standard for Lithium Heparin Plasma?. *Clin Med Pathol*, (5), 1-5. DCMP: 000514.2018.
- [22] Mandić, S., Mandić, D., Lukić, I., et al. (2020). Test results comparison and sample stability study: is the BD Barricor tube a suitable replacement for the BD RST tube?. *Biochem Med*, (30), 3:030704.
- [23] Dupuy, A.M., Badiou, S., Daubin, D., et al. (2018). Comparison of Barricor™ vs. lithium heparin tubes for selected routine biochemical analytes and evaluation of post centrifugation stability. *Biochem Med*, (28), 2:020902.
- [24] Moon, S.Y., Lee, H.S., Park, M.S., et al. (2021). Evaluation of the Barricor Tube in 28 Routine Chemical Tests and Its Impact on Turnaround Time in an Outpatient Clinic. *Ann Lab Med*, (41), 277-284.



Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağlarının Nehir Akım Tahmininde Farklı Optimizasyonlarla Karşılaştırılması ve Tekil Spektrum Analizinin Etkisi

Hüseyin Çağan Kılınç^{1*}

^{1*} İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1848-2856), huseyincagankilinc@esenyurt.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 28 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.864496)

ATIF/REFERENCE: Kılınç, H. Ç. (2021). Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağlarının Nehir Akım Tahmininde Farklı Optimizasyonlarla Karşılaştırılması ve Tekil Spektrum Analizinin Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 248-253.

Öz

Su kaynaklarının sürdürülebilir olması için periyodik nehir akım ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Bunun için farklı tahmin yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada, Yapay Zeka yöntemlerinden Derin Öğrenme (DL) ile Aksu Nehri akımlarının LSTM (Uzun-Kısa Süreli Bellek) sinir ağı ile tahmini yapılmıştır. Çalışmada, Aksu Nehri üzerindeki D20A002 No'lu Başpınar Akım Gözlem İstasyonuna (AGİ) ait 2000-2019 yılları arasını kapsayan veriler analiz için girdi olarak kullanılmıştır. Ayrıca, Tekil Spektrum Analizi'nin (TSA) LSTM'ye olan performans etkisi irdelenmiştir. TSA-LSTM modeline iyileştirici olarak Adam, Adamax ve AdaGrad algoritmaları uygulanmıştır. Tahmin ve gerçek değerler karşılaştırılarak en doğru tahmin modeli belirlenmiştir. Akım tahmininde iyi performansı Adamax iyileştiricisinin sağladığı görülmüştür. TSA-LSTM modeli katsayısı (R^2) tayini test aşamasında 0,9851 bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde TSA-LSTM modelinin akım çalışmaları tahmininde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları, Tekil spektrum, Akım.

Comparison of Long-Short Term Memory Networks with Different Optimizations in River Flow Prediction and the Effect of Singular Spectrum Analysis

Abstract

Periodic river flow measurements are required to ensure sustainable water resources. For this, different estimation methods are required. In this study, Deep Learning (DL) and Aksu River flows were estimated by LSTM (Long-Short Term Memory) neural network, which is one of the Artificial Intelligence methods. In the study, the data belonging to Başpınar Flow Measurement Station (FMS) (D20A002) on Aksu River between 2000-2019 were used as input for analysis. In addition, the performance effect of Single Spectrum Analysis (TSA) on LSTM was examined. Adam, Adamax and AdaGrad algorithms were applied to the TSA-LSTM model. The most accurate estimation model has been determined by comparing the estimate and actual values. It has been observed that the Adamax optimizer provides the best performance in flow estimation. TSA-LSTM model coefficient (R^2) determination was found to be 0.9851 during the test phase. When the obtained results were examined, it was seen that the TSA-LSTM model gave better results in estimating flow studies.

Keywords: LSTM, Singular spectrum, Stream flow.

* Sorumlu Yazar: huseyincagankilinc@esenyurt.edu.tr

1. Giriş

İnsan yaşamının her döneminde gerekli olan suyun varlığı ve kalitesi oldukça önemlidir. İnsanoğlu, yaşamını devam ettirebilmesi için suyun özelliklerini tanımaya, kontrol altına almaya, hareketini yöneten kanunları belirlemeye, oluşabilecek tehlikeleri önlemeye ve sudan en iyi şekilde yararlanmaya çalışmışlardır (Yücerer ve Yılmaz, 2020). Küresel ısınma, kuraklık, iklim değişikliği, plansız tüketim, sanayileşme ve tarımsal kullanım nedeniyle su talebinin artması temiz su kaynakları üzerinde baskı yaratmaktadır. Bu riski azaltmanın yolu, mevcut kaynakların ve su yönetiminin etkin kullanımınıdır. Sürdürülebilir su kaynakları planlaması ve entegre nehir havzası etkin yönetimi mühendislere ve karar vericilere önemli faydalar sağlamaktadır. Su kaynakları potansiyelinin belirlenmesinde, taşkın veya kuraklık durumlarında baraj haznelerinin davranışlarının incelenmesinde büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilirliğin sağlanması için önemli noktalardan biri de nehir akımlarının ileriye dönük tahminidir (Kılınç, 2021). Nehir akımlarının doğru ve hassas tahmini için akarsu akımları ve havzaya ait hidrometrik ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat sadece gözlemlenmiş değerler yeterli olmaz. Taşkın kontrol rezervuarlarının işletilmesi, kurak dönemlerde hidroelektrik verilerinin anlaşılması, içme suyu ve sulama suyunun dağıtımını ve nehir ulaşımının planlanması için gelecekteki nehir akımlarının öngörülmesi çok önemlidir. Bu veriler olması muhtemel değerlerdir (İstanbuluoğlu ve Konukçu, 2006). Bu değerler gözlenmiş olan veriler yardımıyla bulunurlar. Öte yandan, verisel tabanlı modeller deneyseldir, basittir ve uygulaması kolaydır. Ayrıca süreçle ilgili herhangi bir fiziksel bilgi gerektirmez (Küçükerdem vd., 2019).

Günümüzde eski yıllara göre sorunlar ve hesaplama problemleri katlanarak büyümüştür. Bu büyümeler aynı zamanda ortaya çok fazla verinin çıkmasına neden olmuştur. Süregelen bu süreçte çok miktarda verinin işlenmesi hatta eski veri yığınlarının içerisinde gelecek bir durum veya olay tahmini yapılması mümkün hale gelmiştir. Makine öğrenmesi bu büyük veri yığınlarının içerisinde belirli problemleri çözmek veya belirli durumlar için tahminlerde bulunabilmek için ortaya çıkmıştır. Derin öğrenme, yapay zekâ alanında yeni bir öğrenme yöntemidir ve yapısında bulunan algoritmaları sayesinde etkili özellik temsillerinin öğrenilmesine yardımcı olmaktadır. (Gemici vd., 2013). Derin öğrenme'nin belirleyici farkı ise katmanlar halinde çalışması ve bu katmanların birbirleri arasında bilgi aktarımı olmasıdır. Yani herhangi bir katman kendinden önceki katmanlardan bilgi alarak kendi bilgisini revize edebilir. Verilen bir veri kümesiyle çıktılar tahmin edebilmek için farklı öğrenme yöntemleri kullanılabilir ve sınıflandırma yapabilir (Ahi ve Soğukpınar, 2020). Nehir akım verileri yapısından dolayı lineer olmayan karakterdedir. Makine öğrenme yöntemleri bu verilerin tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bazı durumlarda veriler arasında zamana dayalı ya da ardışık türden ilişkiler olabilir. Bu tür durumlarda yapay sinir ağları yeterli performansı sağlayamamaktadır. Yinelenen sinir ağlarının bazı problemleri sebebiyle ortaya çıkan ve günümüzde sıkça kullanılan uzun kısa vadeli hafıza ağları (LSTM) bu durumlarda çözüm olmuştur. LSTM ilk olarak Hochreiter ve Schmidhuber tarafından geliştirilmiştir. Ek olarak, zaman serisi verilerinden niteliklerini manuel olarak belirlemek zor olduğu için derin yapay sinir ağları önerilmiştir. LSTM, zaman serileri tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sivapgrasam vd. (2001) yağış yüzey akış değerlerini tahmin etmek için destek vektör makinesi (SVM) ile birlikte TSA analizine dayalı bir yaklaşım modeli geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan tahmin yöntemi doğal dil işleme (NLP) ile karşılaştırılmış ve önerilen modelin NLP'ninkinden önemli ölçüde daha yüksek bir doğruluk sağladığı görülmüştür. Chau ve Wu (2010) günlük nehir akım değerlerinin tahmini için TSA ile birleştirilmiş hibrit bir model geliştirmiştir. Modelleme sürecinde ilk olarak ham akım verilerini ayrıştırmak için TSA analizi yapılmıştır. Daha sonra veriler kümelenecek alt gruplara ayrılmıştır. Düşük ve orta yoğunluklu alt kümeleri eğitmek ve tahmin etmek için iki yerel yapay sinir ağı modeli, yüksek yoğunluklu alt küme için ise yerel bir destek vektörü regresyon modeli uygulanmıştır. Veriler yapay sinir ağları (YSA) modeli ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar, hibrit regresyon modelinin en iyi performansı gösterdiğini göstermiştir. Ayrıca, Tekil spektrum analiz modeli, akım tahmininde de yüksek bir doğruluk sergilemiştir. Bojang vd. (2020) aylık yağış değer tahmini için TSA bağlantılı makine öğrenimi modeli geliştirmiştir. Oluşturulan bu hibrit model, standart modeller ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, hibrit modellerin yağışları aylık olarak verimli bir şekilde tahmin edebileceğini göstermiştir. Genel olarak, hibrit modellerin, standart modellerden önemli ölçüde üstün olduğu görülmüştür.

Xu vd. (2020) araştırmalarında nehirlerin akım tahmini için zaman serisi veri alanını hedefleyen LSTM ağını kullanmıştır. LSTM'nin tahminleri Destek Vektör Regresyonu (SVR) ve Çok Katmanlı Algı Modelleri ile (MLP) ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca LSTM modeli üzerinde geliştirilmiş deneyler yapılarak performansın etki faktörleri araştırılmıştır. Performans sonuçlarında LSTM'nin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Liu vd. (2020) çalışmalarında nehir akım değerleri tahmini için LSTM ağı bağlantılı Amprik Mod Ayırma (EMD) modelini oluşturmuştur. Modelin performansı Willmott indeksi (WI) ve Legates-McCabe's (LMI) indeksi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sel yıllarında ve uzun süreli sürekli tahminlerde bu yöntemin güvenilirliğini göstermiştir. Aylık akım verileri ile oluşturulan girdiler tahmin ve gözlemlenen değerler arasında yakın sonuçlar vermiştir. Literatür'de TSA ile LSTM analizini birlikte kullanan Latifoğlu ve Nuralan (2020), yapmış oldukları araştırmalarında LSTM ağlarını kullanarak nehir akım tahminini gerçekleştirmiştir. Tahmin verisi için TSA kullanarak oluşan yeni modelin performans analizi incelenmiştir.

Ayrıca literatürde LSTM analizi, nehir akımları tahmin analizi dışında oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Kara (2019), günlük güneş ışınımı tahmininde etkin bir model oluşturmak için LSTM ağı önermiştir. Önerilen yöntemin etkinliği, makine öğrenme algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. LSTM yönteminin diğer makine öğrenme modellerinden daha iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir. Sagheer ve Kotb (2019), petrol fiyatlarını tahmin etmek için çalışmalarında LSTM algoritması kullanmıştır. Bouktif vd. (2018) LSTM parametre optimizasyonu için bir genetik algoritma yöntemi önermiştir. Ayrıca, finansal piyasadaki hisse senedi fiyatlarını tahmin etmek için LSTM algoritmasının performansı da incelenmiştir (Alpay, 2020). Balcı ve Oralhan (2020), LSTM kullanarak üç farklı eğitim serisi üzerinde 200 test uygulamış ve sistemi farklı koşullar altında çalışacak şekilde tasarlamıştır. Sistemin çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanılarak gelişime açık olduğunu saptamışlardır. Süzen vd. (2019) LSTM tabanlı DSA ile bireylerin ölçülen ayak tabanı basınç değerleri ile vücut kitle indeksi durumlarını sınıflandıran bir model geliştirmiştir. LSTM tabanlı

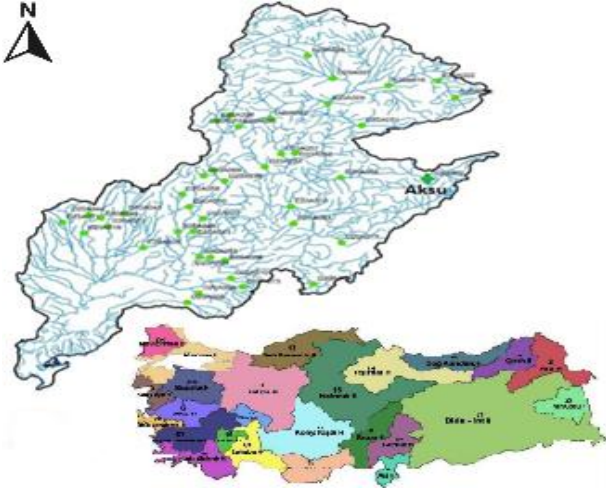
DSA, sınıflandırma işlemlerinde yüksek başarı performansı göstermiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Akım Gözlem İstasyonu Verileri

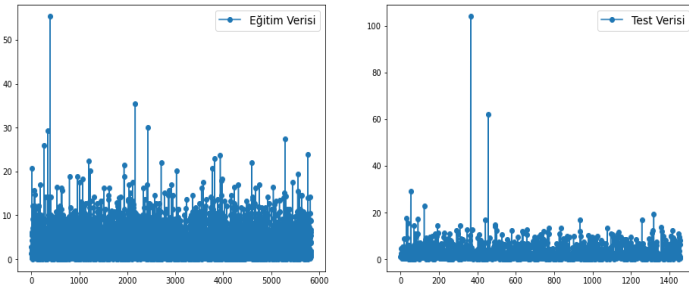
Aksu Nehri'nin Kahramanmaraş topraklarındaki uzunluğu 115 km'dir. Aksu Çayı Havzası, Ceyhan Nehri Havzası içerisinde bir alt havza konumunda olup bir açık havza olma özelliğine sahiptir. Nehir Sularını Kahramanmaraş üzerinden Sır Barajı'na bırakır. Sır Barajı'nı Ceyhan Nehri'nden sonra besleyen en büyük akarsudur (Sarıgül ve İnan, 2013).

Çalışmada Ceyhan havzası Gölbaşı Kahramanmaraş yolunun 60. km'sinden sağa ayrılan yolun 16. km'si üzerindeki Devlet Su İşleri (DSİ)'ye ait Aksu Nehri üzerinde yer alan D20A002 no'lu Başpınar AGİ'den alınan günlük akım verileri kullanılmıştır. Nehir günlük akım verileri 2000-2019 yılları arasına aittir. Verilerin işlendiği alana ait harita Şekil 1.'de verilmektedir. Akım verileri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nden, sağlanmıştır (Bayazıt, 1999).



Şekil 1. Ceyhan Havzası

Çalışmada akım verilerinin %80'i eğitim verisi %20'si ise test verisi olarak kullanılmıştır. Şekil 2' de kullanılan normalize eğitim ve test verileri görülmektedir.



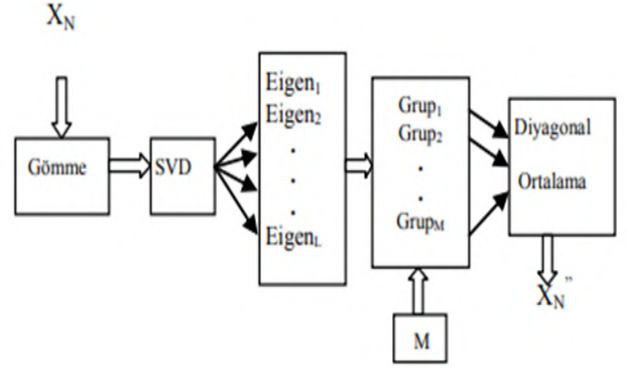
Şekil 2. Çalışmada kullanılan eğitim ve test verileri

2.2. Tekil Spektrum Analizi

Vautard vd. (1992) TSA'yı uyarlanabilir bir gürültü azaltma algoritması olarak tanımlamıştır. Zaman serisi analizlerinde güçlü bir teknik olan TSA, görüntü işleme, sistem tanımlama, modelleme gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Birçok bilimsel araştırma alanında kullanılan TSA, zaman serisi analizlerinde yenilikçi ve güvenilir bir tekniktir. İlk olarak Broomhead ve King (1986) tarafından önerildiğinden beri;

klimatoloji, meteoroloji ve jeofizik gibi alanlarda geniş ilgi görmüştür. TSA yöntemi, bir iletiyle ilgili parçalara bölmek için zaman bilgisini kullanan bir yöntemdir. Yöntem ayırma ve yeniden oluşma olmak üzere iki ana süreci içerir. Ayırıştırma, aşaması gömme ve tekil değer ayırıştırma işlemlerinden oluşmaktadır. Şekil 3'te işlem aşamaları gösterilmektedir. Denklem içinde ifade edilen N uzunluğundaki X (t) sinyali, belirli bir pencere aralığı (L) olan bir matris olarak ifade edilir. (Acer vd., 2014).



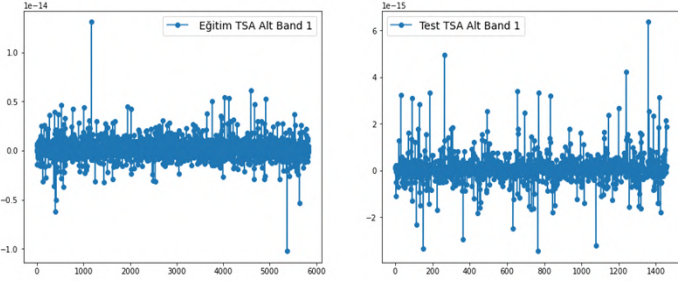
Şekil 3. Tekil spektrum analizi yönteminin aşamaları

Sinyali bir matris olarak ifade etme sürecine Hankelizasyon süreci denir. Şekil 4'te gibi elde edilen KxL boyutlu matrise yörünge matrisi denir. L, pencerenin uzunluğudur, K = NL + 1. Pencere uzunluğu, periyodik sinyalin süresidir. Gömme işleminden sonra, tekil değer ayırıştırma (TDA) uygulanır. A matrisi A=USVT olarak üç matrise ayrıştırılabilir. Burada (U) KxK, (V) LxL, ortogonal matrislerde ve (S) ise LxK boyutlarında köşegen matristir. S matrisinin köşegen elemanları A matrisinin tekil değerleri olarak adlandırılır. Ardından gruplandırarak oluşturduğumuz yeni matrisin diyagonal ortalaması alınarak oluşan zaman serisi ile işlem tamamlanmış olur. Tek spektrum analizinde (SSA) L spesifikasyon standardını kullanarak Hankelizasyon işlemini incelemek çok önemlidir. Özellikle, iki boyutlu SSA matrislerinde çapraz köşegenlerin temsil edilen değerleri, L'i en aza indirerek bulunabilmektedir (Acer vd., 2014; Huang ve Ling, 2019).

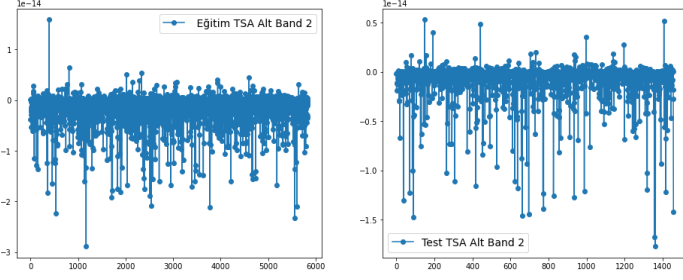
$$X = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_L \\ X_2 & X_3 & \dots & X_{L+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_K & X_{K+1} & \dots & X_N \end{bmatrix}$$

Şekil 4. Gömme işlemine ait matris (Acer vd., 2014)

Çalışmada kullanılan veriler TSA ile iki ayrı gruba ayrıştırılmıştır. TSA analizinde gömme aşamasında ardışık akım değerlerinin benzerliğinden ötürü, pencere uzunluğu 16 olarak tanımlanmıştır. Alt bant verileri 1-8 özdeğerine ve 9-16 özdeğerine göre gruplandırılarak tekrar oluşturulmuştur. Şekil 5 ve Şekil 6'da TSA alt bant verileri eğitim ve test olarak ayrı ayrı gösterilmektedir.



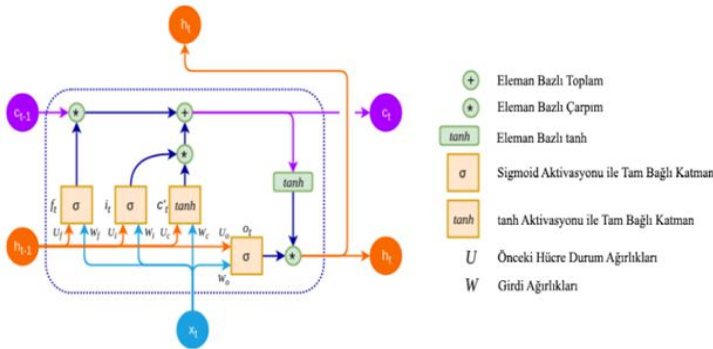
Şekil 5. Tahmin çalışmasında kullanılan TSA 1. altbant verisi



Şekil 6. Tahmin çalışmasında kullanılan TSA 2. altbant verisi

2.3. Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları

Uzun-Kısa Süreli Bellek ağları (derin bir sinir ağı olarak gösterilebilir), gradyan bozma ve gradyan patlama problemi çözmek için kullanılmaktadır. Uzun ve kısa süreli bellek ağları, temel olarak geçmişteki bilgilerin mevcut bilgiyi açıklamasında ve gelecek bilginin tahmin edilmesinde etkili bir yöntemdir. Uzun ve kısa süreli depolama katmanının ana bileşeni, depolama bloğu verilen bir birimdir. Uzun ve kısa süreli bellek bloklarının giriş, çıkış ve unutma kapıları olmak üzere üç kapısı vardır. Bu kapılar hücrenin yazılmasını, okunmasını ve sıfırlanmasını gerçekleştirir. Uzun ve kısa bellek hücre durumu, uzun ve kısa süreli belleğin her bloğu arasında bilgi aktarımı için anahtar bir bileşendir. Bütün hücreler bu üç kapı tarafından kontrol edilir. (Singh ve diğ., 2017). Giriş kapısı açık hücreye giriş bilgileri kontrol eder, geçmiş geçidi kullanarak yeni verilere ne kadar bilgi aktarılacağını belirler ve çıkış geçidini kullanarak çıktıyı hesaplarken ne kadar bilgi kullanılacağını kontrol eder. (Tokgöz ve Ünal, 2018).



Şekil 7. LSTM yapısı

Yapıda yer alan i , o , f ve c terimleri sırasıyla giriş kapısı, çıkış kapısı, unut kapısı ve hafıza hücrelerini ifade etmektedir. LSTM mimarisinde öncelikle girdi olarak X_t ve h_{t-1} bilgileri kullanılarak hangi bilgilerin silineceğine karar verilir. Unut kapısı, kararını bir önceki h_{t-1} hücrenin çıktısına ve mevcut x_t girdisine dayandırmaktadır.

Çalışmada en sık kullanılan aktivasyon fonksiyonu olan sigmoid kullanılmıştır. Bahsi geçen işlem, Denklem 1'deki eşitlik yardımıyla gösterilmiştir.

$$f_t = \sigma(W_f \cdot x_t + W_f \cdot h_{t-1} + b_f) \quad (1)$$

İkinci adımda yeni bilgilerin belirleneceği girdi katmanı devreye girer ve öncelikle (1) Eşitlik (2) kullanılarak sigmoid fonksiyonu ile bilgiler güncellenir. Ardından Eşitlik (3) ile yeni bilgiyi oluşturacak aday bilgiler tanh fonksiyonu tarafından belirlenir.

$$i_t = \sigma(W_i \cdot x_t + W_i \cdot h_{t-1} + b_i) \quad (2)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot x_t + W_c \cdot h_{t-1} + b_c) \quad (3)$$

Eşitlik (4) tarafından yeni bilgiler oluşturulur. Unut ve girdi kapıları, yeni ve eski durumun hangi kısımlarının dâhil edileceğini seçerek yeni hücre durumuna karar vermektedir.

$$C_t = C_{t-1} \cdot f_t + i_t \cdot \tilde{C}_t \quad (4)$$

Çıktı kapısı, toplam hücre çıktısının ne olacağına karar vermektedir. Hücre belleğinin her bir bloğu için h_{t-1} ve x_t 'yi girdi olarak alır. Son olarak Eşitlik (5) ve (6) kullanılarak çıktı verileri elde edilir. Uzun-Kısa Süreli Bellek çıktısı bir tanh fonksiyonu ile transfer edilmektedir.

$$o_t = \sigma(W_o \cdot x_t + W_o \cdot h_{t-1} + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

Bu işlemler doğrultusunda süreç tekrarlanarak devam eder. Ağırlık parametreleri (W) ve bias parametreleri (b) gerçek eğitim değerleri ile LSTM çıktı değerleri arasındaki farkı minimize edecek şekilde model tarafından öğrenilmektedir (Sakarya ve Yılmaz, 2019).

2.4. Performans Yöntemleri

2.4.1. Ortalama Mutlak Hata

Ortalama Mutlak Hata (OMH) iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçüsüdür. OMH, her gerçek değer ile veriye en iyi uyan çizgi arasındaki ortalama dikey mesafedir.

2.4.2. Ortalama Karesel Hata

Ortalama Karesel Hata (OKH), bir makine öğrenmesi modelinin, tahminleyicinin performansını ölçer, her zaman pozitif değerlidir ve OKH değeri sıfıra yakın olan tahminleyicilerin daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir.

2.4.3. Determinasyon Katsayısı

Regresyonda bağımlı değişkenin yüzde olarak ne kadarının açıklayıcı değişkenler tarafından açıklandığını gösterir. Determinasyon katsayısı R^2 ile gösterilir.

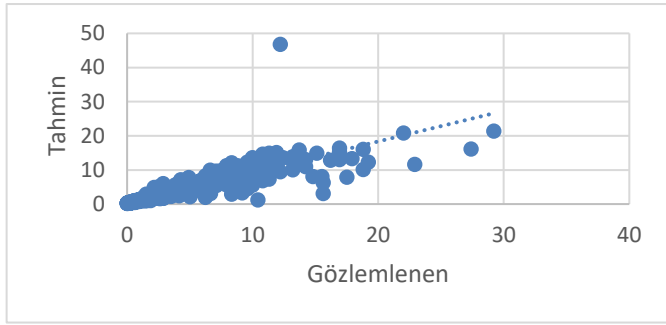
2.4.4. Standart Sapma

Standart sapma varyansın kareköküdür. Daha matematiksel bir ifade ile standart sapma veri değerlerinin aritmetik ortalamadan farklarının karelerinin toplamının veri sayısı -1 'e bölümünün kareköküdür, yani verilerin ortalamadan sapmalarının kareler ortalamasının karekökü olarak tanımlanır.

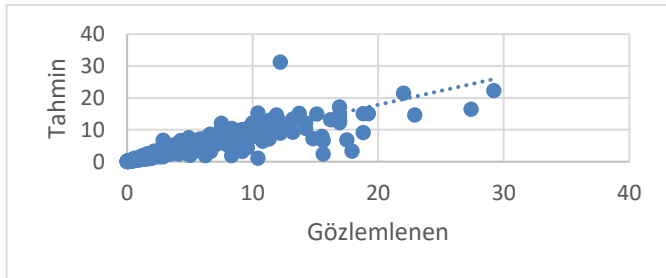
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları

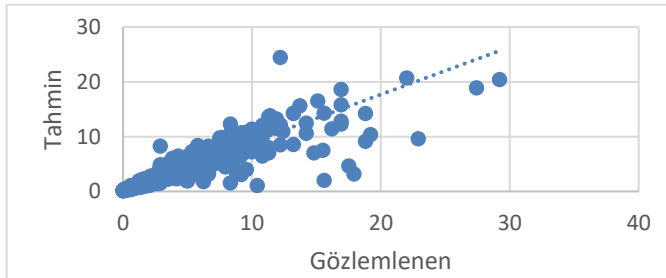
Nehir akım verileri normalize edilmiş ve LSTM metodu ile bir ötelemeli tahmin işlemi uygulanmıştır. Derin Sinir Ağı Modeli dört girdi katmanı kullanılarak oluşturulmuştur. LSTM katmanı da bu girdiler arasında yer almaktadır. Ağın eğitimi aşamasında maksimum iterasyon sayısı 100, öğrenme oranı ise 0,2 olarak belirlenmiştir. Ağın eğitimi için 'Adam', 'Adamax' ve 'AdaGrad' optimizasyon algoritması kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır. Tablo 1'deki performans değerlendirme kriterlerine göre en düşük OKH, OMH değerlerinin ve en yüksek R^2 değerinin Adamax optimizasyon algoritmasından elde edildiği görülmüştür. Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10 gözlemlenen değerlerle, tahmin edilen değerlerin karşılaştırıldığı en önemli grafiklerden olan saçılma grafiği eğitim ve test sonuçlarına göre gösterilmiştir. Bu tip saçılma grafiklerinde gösterilen gerçek ve tahmin edilen değerler ne kadar doğrusalsa değerler birbirine o kadar yakındır.



Şekil 8. LSTM Modeli Adam test veri setine ait saçılma grafiği



Şekil 9. LSTM modeli Adamax test veri setine ait saçılma grafiği



Şekil 10. LSTM modeli AdaGrad test veri setine ait saçılma grafiği

Tablo 1. Optimizasyon algoritmalarının performans değerleri

OPTİMİZASYONLAR	STD	MSE	MAE	R^2
LSTM				
Adam	3,3566	6,8644	0,4625	0,8353
Adamax	3,2015	2,4161	0,3910	0,8741
AdaGrad	3,1780	1,5311	0,4382	0,8691

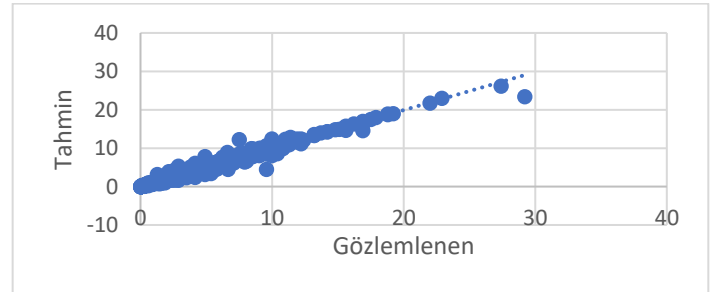
3.2. TSA-Uzun Kısa Süreli Bellek Ağları

Normalize edilen dataset eğitim ve test datasetleri olarak ayrıştırılmış ve her iki dataset de TSA ile iki alt bantta gruplandırılmıştır. Alt bantlar kullanılarak yapılan tahminlerde LSTM modeline benzer bir yapı oluşturulmuştur. TSA-LSTM yönteminde, LSTM yöntemi ile aynı parametreler kullanılmış ve LSTM yöntemindeki en iyi performans sonucuna ait olan Adamax iyileştiricisi kullanılmıştır. TSA-LSTM modeli ile bir ötelemeli tahmin işleminin performans sonuçları Tablo 2 de görülmektedir.

Tablo 2. Modellerin tahmini performans değerleri

	STD	MSE	MAE	R^2
LSTM				
1 giriş-1 çıkış	3,2015	2,4161	0,3910	0,8741
TSA-LSTM				
1 giriş-1 çıkış	3,4194	1,5122	0,1772	0,9851

Tablo 2'de TSA-LSTM yönteminin LSTM yönteminden daha başarılı olduğu görülmektedir. Şekil 11' de ise gözlemlenen değerler ile TSA-LSTM modelinden elde edilen tahmin değerleri gösterilmiştir.



Şekil 11. TSA-LSTM Modeli test veri setine ait saçılma grafiği

4. Sonuç

Akış boyunca havzaya yerleştirilen ölçüm istasyonlarının değerleri tahmini destekleyen en önemli etkidir. Akış verilerinin yüksek hassasiyetli değerlerinin tahmin edilmesi, nehir havzası yönetimini ve planlamasını kolaylaştıracaktır. Kullanıldığı çalışmalarda etkin sonuçlar veren yapay zekâ yöntemlerinden biri olan Derin Öğrenme Modeli incelendiğinde çözüm metodu olarak uygun bulunmuştur.

Bu çalışmada, günlük akım verilerine uygulanan TSA yönteminin akım tahminlerinde kullanılan derin sinir ağları performansına etkisi incelenmiştir. LSTM modeli Adam, Adamax ve AdaGrad iyileştiricileri kullanılarak uygulanmıştır. En iyi performans, Adamax iyileştiricisi kullanılarak eğitilen ağda görülmüştür. LSTM modelinde çıkan sonuçlarda: MSE değeri 2.4161, MAE değeri 0.3910 ve R^2 değeri ise 0.8741 iken TSA-LSTM modelinde çıkan sonuçlarda: MSE değeri 1.5122, MAE değeri 0.1772 ve R^2 değeri 0.9851'dir. Sonuçlara bakıldığında,

TSA veri ön işleme çalışmasının modelin performansını önemli ölçüde etkilediği ve TSA-LSTM modelinin nehir akış tahmin araştırmalarında kullanılabilir önemli bir yöntem olduğu görülmektedir. Akım değerleri tahmininde kullanılabilir bu metod, Aksu Nehri yakınında yapılması planlanan barajların tasarımı ve fizibilitesi için önemli bir kaynak olacaktır.

Kaynakça

- Acer, Ç. G., Latifoğlu, F., Eset, K., & Kuduz, H. (2014). Elektromiyogram Sinyallerinden Tekil Spektrum Analizi Kullanarak Öznitelik Çıkarımı, Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi.
- Ahi, Ş.N., Soğukpınar, I. (2020). Derin Öğrenme Modelleri İle Kimlik Avı E-Posta Tespiti, *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, cilt 13, no. 2, pp. 17-31, 2020.
- Alpay, Ö. (2020). LSTM Mimarisi Kullanarak USD/TRY Fiyat Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 452-456, 2020.
- Balcı, F., Oralhan, Z. (2020). LSTM ile EEG Tabanlı Kimliklendirme Sistemi Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 135-141, 2020.
- Bayazit, M. 1996. İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri (I. Basım), İTÜ Rektörlüğü Yayın No: 1573, 245 s.
- Bojang, P. O., Yang, T. C., Pham, Q. B., Yu, P. S. (2020). Linking Singular Spectrum Analysis and Machine Learning for Monthly Rainfall Forecasting. *Applied Sciences*, 10(9), 3224.
- Bouktif, S., Fiaz, A., Ouni, A., Serhani, M. (2018). Optimum deep learning lstm model for electric charge prediction using feature selection and genetic algorithm: Comparison with machine learning approaches. *Energies*, 11 (7), 1636
- Broomhead, D., King, G. (1986). Deriving qualitative dynamics from experimental data. *Physica D: Nonlinear Events*, 20 (2-3), 217-236.
- Chau, K. W., Wu, C. L. (2010). A hybrid model coupled with singular spectrum analysis for daily rainfall prediction. *Journal of Hydroinformatics*, 12(4), 458-473.
- DSİ, (1994). Türkiye Akarsu Havzaları Maksimum Akımlar Frekans Analizi, DSİ Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Gemici, E., Ardiçlıoğlu, M., Kocabaş, F. (2013). Akarsular Debinin Yapay Zeka Yöntemleri İle Modellenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 2, no. 29, pp. 135-143, 2013.
- Hochreiter, S., Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory, *Neural computation*, cilt 9, no. 8, pp. 1735-1780, 1997.
- Huang, Z., Ling, B. (2019). Hankelization of singular spectrum analysis matrices with L 1 norm criterion. *Signal, Image and Video Processing*, 13 (5), 933-940.
- İstanbuluoğlu, A., Konukçu, F. (2006). Trakya Bölgesi Su Kaynaklarının Geliştirilmesi ve Sulu Tarım Uygulamaları, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, cilt 3, no. 2, pp. 139-152, 2006.
- Kara, A. (2019). Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağı Kullanarak Global Güneş Işınımı Zaman Serileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 7, no. 4, pp. 882-892, 2019.
- Kılınç, H.Ç. (2021). Nehir Akımlarının Derin Öğrenme İle Tahmini ve Akımların Demiryolları Güzergahına Etkisi, *Demiryolu Mühendisliği*, no. 13, pp. 106-114
- Küçükerdem, T.S, Kilit, M., Saphoğlu, K. (2019). Bulanık çıkarım sistemlerinde kullanılan küme sayılarının K-ortalamar, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 8, no. 25, pp. 962-967
- Latifoğlu, L., Nuralan K.B. (2020). Tekil Spektrum Analizi ve Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları ile Nehir Akım Tahmini.” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 376-381, 2020.
- Liu, D., Jiang, W., Mu, L., Wang, S. (2020). Streamflow Prediction Using Deep Learning Neural Network: Case Study of Yangtze River. *IEEE Access*, 8, 90069-90086.
- Sagheer, A., Kotb, M. (2019). Time series prediction of oil production using deep LSTM recurrent networks. *Neuro calculation*, 323, 203-213.
- Sakarya, Ş., Yılmaz, Ü. (2019). Derin Öğrenme Mimarisi Kullanarak BİST30 İndeksinin Tahmini. *European Journal of Educational and Social Sciences*, 4(2), 106-121.
- Sarıgül, O., İnan, N. (2013). *Aksu Çayı havzası (K. maraş)'nın fiziki coğrafyası* (Master's thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi).
- Singh, D., Merdivan, E., Psychoula, I., Kropf, J., Hanke, S., Geist, M., Holzinger, A. (2017). Human Activity Recognition Using Recurrent Neural Networks. Paper presented at the International Cross-Domain Conference for Machine Learning and Knowledge Extraction.
- Sivapragasam, C., Liong, S. Y., & Pasha, M. F. K. (2001). Rainfall and runoff forecasting with SSA-SVM approach. *Journal of Hydroinformatics*, 3(3), 141-152.
- Süzen, A.A., Yıldız, Z., Yılmaz, T. (2019). “LSTM tabanlı Derin Sinir Ağı ile Ayak Taban Basınç Verilerinden VKİ Durumlarının Sınıflandırılması.” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(4), 1392-1398, 2019.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2016). Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ceyhan Havzası Kirlilik Önleme Eylem Planı
- Tokgöz, A. ve Ünal, G. (2018). Türkiye elektrik yükünü tahmin etmek için RNN tabanlı bir zaman serisi yaklaşımı. In *2018 26 Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU)* (s. 1-4). IEEE.
- Vautard, R., Yiou, P., Ghil, M. (1992). Singular spectrum analysis: A toolkit for short, noisy chaotic signals. *Physica D: Nonlinear Events*, 58 (1-4), 95-126.
- Xu, W., Jiang, Y., Zhang, X., Li, Y., Zhang, R., & Fu, G. (2020). Using long short-term memory networks for river flow prediction. *Hydrology Research*, 51(6), 1358-1376.
- Yücerer, B., Yılmaz, T. (2020). Küresel Su Hakları ve Türkiye, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 39, no. 7, pp. 124-132



A Performance Analysis for Face-to-Face, Distance and Hybrid Education Models Based on Student Satisfaction

Serap Tepe^{1*}

^{1*} University of Health Sciences, Faculty of Health Sciences, Department of Occupational Health and Safety, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9723-6049), serap.tepe@sbu.edu.tr

(First received 22 January 2021 and in final form 28 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.866479)

ATIF/REFERENCE: Tepe, S., (2021). A Performance Analysis for Face-to-Face, Distance and Hybrid Education Models Based on Student Satisfaction. *European Journal of Science and Technology*, (23), 254-271.

Abstract

Learning is to bring about permanent behavioral change in the individual. Different methods and models are used for the realization of learning. The face-to-face learning model, which has served education for many years, leaves its place to other models with the development of technology. However, some lack of enthusiasm and deficiencies experienced during this transition process affect the learner's decisions in terms of psychological, technical and educational competence. The situation is interesting when students are asked to make a choice between face-to-face education, distance education and hybrid education. The present paper focuses on the comparison of the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and VlseKriterijumska Optimizacija I Kaompromisno Resenje (VIKOR) to resolve preferences in education methods in higher education system. The ranking of the different education methods can be similar to solving multiple criteria decision-making (MCDM) problems. In this paper, Analytical Hierarchy Process (AHP) -TOPSIS based approach was used. Then it was tested using the VIKOR method to validate the results obtained and the proposed model. The study was conducted with 4009 university students answering the survey questions. Despite technological opportunities and changes, face-to-face education model emerges as the most preferred model, it is followed by hybrid model and distance education model.

Keywords: Higher education, Distance education, Education models, MCDM, TOPSIS, VIKOR

Öğrenci Memnuniyetine Dayalı Yüz Yüze, Uzaktan ve Hibrit Eğitim Modelleri için Performans Analizi

Öz

Öğrenme, bireye kalıcı davranış değişikliği getirmektir. Öğrenmenin gerçekleşmesi için farklı yöntem ve modeller kullanılmaktadır. Uzun yıllar eğitime hizmet veren yüz yüze öğrenme modeli, teknolojinin gelişmesiyle birlikte yerini diğer modellere bırakıyor. Bununla birlikte, bu geçiş sürecinde yaşanan bazı eksiklikler, öğrencinin psikolojik, teknik ve eğitimsel yeterlilik açısından kararlarını etkilemektedir. Öğrencilerden yüz yüze eğitim, uzaktan eğitim ve karma eğitim arasında bir seçim yapmaları istendiğinde durum ilginçtir. Bu makale, yüksek öğretim sistemindeki eğitim yöntemlerinde tercihleri çözmek için Tercih Sıralaması Tekniğinin İdeal Çözümü Benzerlik (TOPSIS) ve VlseKriterijumska Optimizacija I Kaompromisno Resenje (VIKOR) ile karşılaştırılmasına odaklanmaktadır. Farklı eğitim yöntemlerinin sıralaması, bir çok kriterli karar verme (MCDM) problemidir. Bu yazıda Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) -TOPSIS tabanlı yaklaşım kullanılmıştır. Ardından, elde edilen sonuçları ve önerilen modeli doğrulamak için VIKOR yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Araştırma, anket sorularını yanıtlayan 4009 üniversite öğrencisi ile gerçekleştirildi. Teknolojik fırsatlara ve değişikliklere rağmen en çok tercih edilen model olarak yüz yüze eğitim modeli ortaya çıkmakta, onu hibrit model ve uzaktan eğitim modeli takip etmektedir.

Anahtar kelimeler: Yüksek öğrenim, Uzaktan eğitim, Eğitim modelleri, ÇKKV, TOPSIS, VIKOR

* Corresponding Author: serap.tepe@sbu.edu.tr

1. Introduction

Humankind has faced many dramatic paradigm shifts throughout the history. There are different ways to adapt to those shifts. Three prominent strategies adopted by people and/or individuals are as follows: (I) Lead the change mandated by the paradigm shift and become a pioneer in the new era by setting the rules, (II) Follow the emerging patterns of changes immediately in order not to lag behind, (III) Let the change alter the individual. No matter which strategy is adopted, it is obvious that paradigm shifts and required/mandated changes take some time to settle down and then become permanent. However, the pandemic seems to have changed the basic criteria of change. With the effect of Covid 19, many changes in all areas of life were included in the game before they had the opportunity to fully mature. Perhaps, for the first time, the concept of 'learning by living' is seen simultaneously all over the world. In this process, which is called the new normal, change takes place in every field, from working life to shopping, from eating and drinking habits to holiday preferences, from the use of technology to education. In fact, pandemic is not a new concept; there are many epidemic diseases that have affected the world at different times. Many pandemics have taken place throughout human history, and they all had various effects and devastations. All of them had casualties and changing lifestyles. However, the situation in Covid 19 is different; It is the speed of spread of the effects of the pandemic with advanced technology. The point that distinguishes Covid 19 from others is that, this journey creates a butterfly effect. In our world, where change in one area triggers changes in another area, and the boundaries are more uncertain and accessibility increases due to the intensive use of technology, Covid19 will be more effective than other pandemics seen throughout human history. There is a struggle on many fronts to adapt to the new normal, to change and improve circumstances. Perhaps the most important one of these fronts is education. Education, which is also used in the sense of upbringing, is a life adventure that is carried out for the individual to stand on their own feet, to understand the age one is in and to try to bring the future closer. Learning is an effort to bring about desired directional and permanent behavioral changes in the individual. Throughout history, the concepts of education and learning have always kept people busy. Education, which was mostly face-to-face at all levels, was started to be distance education as the pandemic period necessity. Distance education is a system where the learner and teacher are not physically together. This separation has been defined in many sources as time and space. Face-to-face education is a system where the learner and the teacher can see each other, and this system is synchronous, generally known as a system that does not require much use of technology. In the case of the current pandemic, the transition to distance education is different for each country and sometimes for every educational institution within a country. While some institutions prefer broadcasting over television, some institutions reach students with various applications. In the use of these applications, there are variations such as making the courses synchronous or asynchronous as in formal education. The differences are not only in reaching the student, but also in the use of materials and assessment. In this paper, higher education students were asked to compare face to face education, distance education and the hybrid education in terms of technical characteristics, educational functioning

characteristics and criteria for psychological evaluation. The aim of the present paper is to interpret the distance education experiences of students. It was aimed to determine whether face-to-face education, distance education or hybrid education types are preferred by the students. Thus reached 4009 higher education students who are in the pandemic process in Turkey, then they are asked to answer the questions about the learning satisfaction. The purpose of this study is to develop a comprehension for assessing the satisfaction of students about distance learning. It is inevitable that education models will change with the needs in our world where accessibility is increased due to the intensive use of technology. The pandemic crisis experience has accelerated this change. Throughout this process, distance education has become the lifeblood of education as a model that has more advantages than disadvantages. However, with the new normal, it will not be sufficient to use the distance education model to meet all needs of education in general. In the light of all this information, face to face education will remain up-to-date and vital until the inadequacies of distance education are fully eliminated. Many questions arise on the present subject. Will distance education replace face to face education? or should distance education be considered as an integral part of face to face education? Will the co-education model, which we come across as hybrid learning, also provide time and opportunity for educators to eliminate the shortcomings of distance education? Which education method will be more preferred by students? Specific objectives for the study are to determine the academician performance in distance education in terms of students, to establish the comprehension for assessing the satisfaction of students about distance learning and to determine the impact of using e-learning strategies on the efficiency of learning practices. The research questions were utilized to guide data collection while also structuring the research instruments used. This study has technical assessment questions such as the level of computer skills that affect online learning behaviors. It also tries to establish the level of social and demographic factors that affect the learning behaviors of students. Feeling comfortable in distance education and be able to communicate are seem to be important psychological factors. The efficiency of distance education and the preferences to continue in distance education even if the conditions return to normal are other research questions for the study. The process is a pandemic crisis and if this crisis can be managed well in terms of education, positive results can be achieved. The best way to see the shortcomings of distance education in practice is to measure student satisfaction. To the best of our knowledge, there is no such wide-ranging student satisfaction study of comparing distance education with face-to-face education in terms of technical characteristics, educational functioning characteristics and criteria for psychological evaluation. Recently, researchers have paid more attention to the distinction between the distance education and face to face education. Martinez et al. (2019) studied the transition process from face-to-face learning to distance learning in engineering master program. They determined the challenges as exams, assignments, and evaluations during this process. They suggested that hybrid and online education should be used together. Alenezi (2020) studied the effect of e-learning materials on the development of learning. This study suggested that the increase in e- material use positively influences learning behavior. Alghamdi et al (2020) studied academic performance in face-to-face and online classes in terms of self-efficacy and gender factors.

Carlson et al (2020) suggest that the use of portable learning technologies increases student participation and a sense of commitment in the learning process. Fish et al (2019) studied business students' perceptions on online versus face-to-face education in terms of the student characteristics. They made comparisons based on the criteria of being undergraduate or graduate, gender, previous experience and self-discipline. They recommended that students feel they are more motivated, disciplined, self-directed and independent in the face to face classroom setting. Evans et al (2019) tried to construct the professional development course, by allowing teachers to become online learners, and collaborating with teachers to plan and implement purposeful online activities in their subjects. Teachers were also required to evaluate the impact of their implementation on student learning. Fish et al (2019) studied how demographic factors, specifically the academic factors of an instructor, affect their perceptions. Analysis of the differences between online and face-to-face perspectives on many individual and program factors demonstrated significant differences. The intention here is to evaluate the specific academic factors of the instructor. Nunez et al (2016) studied the challenges in transformation from higher education to open education. Furthermore, Monk et al (2019) recommended blended learning, a combination of face-to-face and computer-assisted pedagogy. They suggested blended learning is gaining acceptance at universities as an alternative learning experience. Pala et al (2019) stated that distance education has become widespread in universities with the development of the internet in recent years. According to this study, in the field of distance education, it is necessary to measure the quality of the services provided by the institutions and to ensure the sustainability of the institutions. Tratnik et al (2019) studied student satisfaction with an online and a face-to face Business English course in a higher education context. The results indicate that there are significant differences in student satisfaction levels between online and face-to-face learning of English as a foreign language. Students taking the face-to-face course were generally more satisfied with the course on several dimensions than their online counterparts. Usher and Barak (2020) studied team diversity as a predictor of innovation in team projects of face to- face and online learners, in the study the differences observed between face-to-face and online learners are presented. Wang et al (2019) claimed that despite the explosive growth of online learning in higher education, it has also raised some pressing concerns regarding low student engagement and high dropout rates in online courses and programs. Yen et al (2018) conducted a three-way comparison of face-to-face, online, and blended teaching modalities to determine if there were differences in student academic outcomes and course satisfaction across modalities. Student academic outcomes were measured by two examinations; one research paper assignment, and the overall course total grade. Yıldız and Seferoğlu (2020) examined the self-efficacy perceptions of distance education students regarding online technologies in terms of various variables. In this study, it was found that the perceptions of self-efficacy towards online technologies by the students who undertake distance education are relatively high. Self-efficacy perception was researched based on gender and it has been concluded that males have higher self-efficacy perception than females. In the study, the self-efficacy perceptions were also handled based on the age range, and it was concluded that the self-efficacy belief is increased as the age range increased. This situation is interpreted as individuals'

abilities may increase as their ages progress, therefore their self-efficacy may also increase. Gökmen et al. (2016) stated that the recent spread of mobile technologies in distance education has created the concept of new learning. The ability of these technologies to be portable and to connect to the internet has the feature of eliminating the time and place limitation in almost all aspects of distance education. Consequently, those who learn from the use of mobile technologies in distance education can easily and quickly obtain information wherever they want, in line with their needs. In their study, Nenning et al (2019) evaluated student attitudes and performance in an online and a face-to-face inorganic chemistry course. The study claimed that student-to-instructor interactions and student-to-student interaction promote critical thinking and force students to engage with the course material at higher levels of learning. Mendiluze et al (2020) suggested a learning-by-teaching methodology through games can be used to promote informatics (computer science) in education. They claimed applying the computer activities can change students' perception of informatics, the experience can also help students acquire competencies in teaching. Related literature shows that many factors are critical in differentiation of education styles. This paper reports student satisfaction in comparing distance education with face-to-face education in terms of technical characteristics, educational functioning characteristics and criteria for psychological evaluation. In the study, it was aimed to propose a road map for what the envisioned system would be in terms of education while habits and needs change. It was aimed to determine whether face-to-face education, distance education or hybrid education types are preferred by the students. This situation is a decision-making problem. To decide; it is defined as a selection process for determining the appropriate one among the alternatives. Both the abundance of alternatives in the decision process and the high number of criteria that affect the decision make the process complicated. Many studies in the literature used multi criteria decision making (MCDM) methods for performance measurement in different sectors. Bilişik et al (2013), suggested a hybrid fuzzy approach consisting SERVQUAL, the Delphi method, fuzzy analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) methodologies for the evaluation of public transportation system. The SERVQUAL method is used for classifying the public transportation evaluation criteria, the Delphi method is used to obtain the evaluations of experts, fuzzy AHP is used to determine the weights of the criteria and fuzzy TOPSIS is applied to rank the alternatives. Kaya et al (2019) analyzed a large number of papers that use fuzzy MCDM methods to solve energy policy and decision-making problems with respect to some characteristics such as types of fuzzy sets, year, journal, fuzzy MCDM method, country and document type. The results of this study indicate that fuzzy AHP, as an individual tool or by integrating with another MCDM method, is the most applied MCDM method and type-1 fuzzy sets are the most preferred type of fuzzy sets. Eren et al (2019) aimed to determine the safety of hospitals in their medical waste management function. The study involved the determination of medical waste management steps, establishment of a hierarchical structure, and weighting of the criteria within the established hierarchical structure by means of the AHP method. Afterwards, the extent to which these criteria are adopted in hospitals was evaluated by the medical waste management officers of those hospitals, and safety scores were obtained for each hospital by associating

the results with the weighted values obtained by the AHP method. Korkusuz et al (2020) used AHP, PROMETHEE and GRA in their performance measurement method. First, safety indicators were identified and weighted by AHP. Then, data was collected, and performances of companies were measured by using GRA and PROMETHEE. This article is structured as follows. Section II presents the methodology of the research. Section III introduces the characteristics of the data collected during the process. The results obtained are discussed in Section IV. Finally, the conclusions and future research directions are outlined in Section V.

2. Material and Method

Higher Educational Institutions began providing most of their services online during the pandemic situation. This situation began in the middle of the spring semester, which was unforeseen for both instructors and students. The main framework of this study is to evaluate the performance of three different education styles from the students' perspectives. For data collection, 4009 higher education students who are located in Turkey during the pandemic process answered the questions about the evaluation of the three different education styles such as face to face, distance and hybrid models based on technical, psychological and educational factors. 20 questions were asked to students. 5 of these questions are about technical factors (questions 1,2,3,11,15); 7 of them are about educational factors (questions 4,5,8,9,14,18,20) and the others are about psychological factors (questions 6,7,10,12,13,16,17,19). There are several different reasons why technical parameters are measured in the study. Firstly, it is aimed to observe whether the students have the necessary infrastructure for distance education. In addition, it was also questioned whether the students could get help immediately when they encountered a problem in distance education. The reason is that the study is aimed to reveal how these factors affect the quality of distance education and the effect of technology-related factors on education. Education-related parameters were also aimed to be measured in the study. These parameters aimed to observe students' synchronous / asynchronous preferences for distance education. The students were asked to state their beliefs whether distance education met all their needs for professional equipment and also their thoughts whether there is time and space limitation in distance education is better or worse for the continuity of education were questioned. It is believed that some kind of skills like solving technical problems, discussing issues with other students easily, asking instant questions to the lecturer are connected to students' synchronous / asynchronous

preferences for distance education. Even after the pandemic, preferences for going to school for face-to-face education over distance education, although the problems like traffic-weather conditions-time constraints-staying away from the family, etc. can be considered based on the education-related parameters. Psychological parameters, such as the student's participation in the lesson, beliefs about the fairness of the exams, the rate of being able to concentrate in the lesson, their ability to ask questions and how they feel in distance education were aimed to be measured in the study and the participants were asked questions about these issues. For the selection of alternatives, where there are multiple criteria, the best alternative is MCDM that enables selection called methods. First, to decide the problem to be solved and to realize the purpose must be determined. The present paper focuses on the comparison of the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and VlseKriterijumska Optimizacija I Kaompromisno Resenje (VIKOR) to resolve preferences in education methods in higher education system. The ranking of the different education methods can be similar to solving multiple criteria decision-making (MCDM) problems. In this paper, Analytical Hierarchy Process (AHP) -TOPSIS based approach was used. Then it was tested using the VIKOR method to validate the results obtained and the proposed model. Also, questionnaire analysis was mainly used for Statistical Packaging Social Software (SPSS) and AHP method for weighting and ranking alternatives. The priority of each education method was calculated using the TOPSIS and these results are crosschecked with VIKOR method; thus, both methods were compared while overcoming uncertainty and achieving optimal results in the process.

2.1. AHP Method

AHP is a method that considers the relationship between criteria and alternatives and enables the analysis of components by creating a hierarchical structure. With this method, in decision problems where many criteria are considered, criterion weights can be calculated, and an appropriate decision alternative can be selected to determine the extent to which criteria should be considered in achieving the goal. In AHP technique, criteria and alternatives are subjected to binary comparisons by decision makers. The preference scale with 1-9 points developed by Saaty (1980) is used in the transactions. Binary comparisons of the criteria and alternatives are made. The importance weights of the criteria are determined. The pairwise comparison scale is given in Table 1.

Table 1. The pairwise comparison scale

Importance Values	Description
1	The case that the two compared criteria are of equal importance
3	If the first criterion is more important than the second criterion
5	The first criterion is much more important than the second criterion
7	The first criterion has a very strong importance in the second criterion
9	The condition that the first criterion has an absolute priority over the second criterion
2, 4, 6, 8	Intermediate values that can be used in necessary situations

Steps for AHP are given as follows (Tepe 2014).

Step 1: Defining the problem statement and determining the purpose in the problem.

Step 2: Starting from the purpose and main criteria, putting the middle level criteria and the lowest level alternatives in a hierarchical structure.

Step 3: Making binary comparisons between both alternatives and criteria and preparing paired comparison matrices in (n x n) dimension to determine which alternative or criterion is dominant.

Step 4: For each column in the binary comparison matrix, taking the column sums and normalizing the matrix by dividing the elements in the matrix by the corresponding column sum.

Step 5: Getting the total row totals for each alternative or criterion in the normalized matrix. (Priority vector matrix)

Step 6: Multiplying the priority values obtained for each criterion or option with all the elements in the column in the binary comparison matrix for that criterion or option. (weighted sum matrix)

Step 7: Dividing the row total values in the weighted aggregate matrix by the row values of the priority matrix and calculating the arithmetic average of the values in the final matrix of the (n x 1) dimension (the largest eigenvalue of the matrix).

Step 8: Calculating the consistency ratio

Step 9: Calculating the final priority value to be achieved by multiplying the criteria priorities obtained as a result of the comparisons for each alternative.

2.2. TOPSIS Method

The TOPSIS is one of the well-known multi-criteria decision-making methods. It is based on selection of alternatives that have the shortest distance from the positive-ideal solution and the farthest distance from the negative-ideal solution. Steps for TOPSIS are given as follows. (Aslantaş,2019)

Step 1: Construct the Pythagorean fuzzy decision matrix.

$$D = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \dots & \alpha_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Step 2: Normalize.

$$r_{ij} = \begin{cases} \alpha_{ij} & ; j \in B \\ \alpha_{ij}^c & ; j \in C \end{cases} \quad (2)$$

Step 3: Construct the score matrix.

$$R = \begin{pmatrix} M_{(r_{11})} & M_{(r_{12})} & \dots & M_{(r_{1n})} \\ M_{(r_{21})} & M_{(r_{22})} & \dots & M_{(r_{2n})} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{(r_{m1})} & M_{(r_{m2})} & \dots & M_{(r_{mn})} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Step 4: Determine the distance separation of each alternative from the ideal and anti-ideal alternatives.

$$d(A_i, a^+) = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left\{ \omega_j (M(a^+) - M(r_{ij}))^2 \right\}} \quad (4)$$

$$\text{and } d(A_i, a^-) = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left\{ \omega_j (M(r_{ij}) - M(a^-))^2 \right\}} \quad (5)$$

Step 5: Compute the closeness coefficient (CC).

$$CC_i = \frac{d_i(A_i, a^-)}{d_i(A_i, a^+) + d_i(A_i, a^-)}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

Step 6: Rank the alternative.

2.3. VIKOR Method

The VIKOR method, characterized as an MCDM model, concentrates on the ranking and selection of a set of alternatives in the existence of multiple criteria.

Steps for VIKOR are given as follows. (Liu et al 2013)

Step 1: Establish the decision matrix.

$$X = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{1j} & \dots & I_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{m1} & I_{m2} & \dots & I_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Step 2: Determine the normalized decision matrix. f_{ij} is the value of i th criterion for the alternative.

$$f_{ij} = \frac{I_{ij}^j}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (I_{ij}^j)^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Step 3: Calculate the Utility measure (S_i) and Regret measure (R_i). w_i is the weight of the i th criterion; $(f_{ij})_{max}$ and $(f_{ij})_{min}$ are the best and worst values, respectively, of all the criterion functions for all the alternatives.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \left[\frac{(f_{ij})_{max} - (f_{ij})}{(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}} \right] \text{ for beneficial criteria.} \quad (9)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \left[\frac{(f_{ij}) - (f_{ij})_{min}}{(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}} \right] \text{ for non-beneficial criteria.} \quad (10)$$

$$R_i = \text{Maximum of } \left\{ w_j \left[\frac{(f_{ij})_{max} - (f_{ij})}{(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}} \right] \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

for beneficial criteria.

$$R_i = \text{Maximum of } \left\{ w_j \left[\frac{(f_{ij}) - (f_{ij})_{min}}{(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}} \right] \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

for non-beneficial criteria.

Step 4: Calculate the value of Q_i , which represents the VIKOR index.

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - (S_i)_{min}}{(S_i)_{max} - (S_i)_{min}} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - (R_i)_{min}}{(R_i)_{max} - (R_i)_{min}} \right] \quad (13)$$

v is introduced as the weight of strategy of ‘the majority of criteria’ (or ‘the maximum group utility’), here $v = 0.5$ (v can take any value from 0 to 1)

Step 5: Rank the order of preference by the Q_i value.

The framework of the proposed process is given in figure 1.

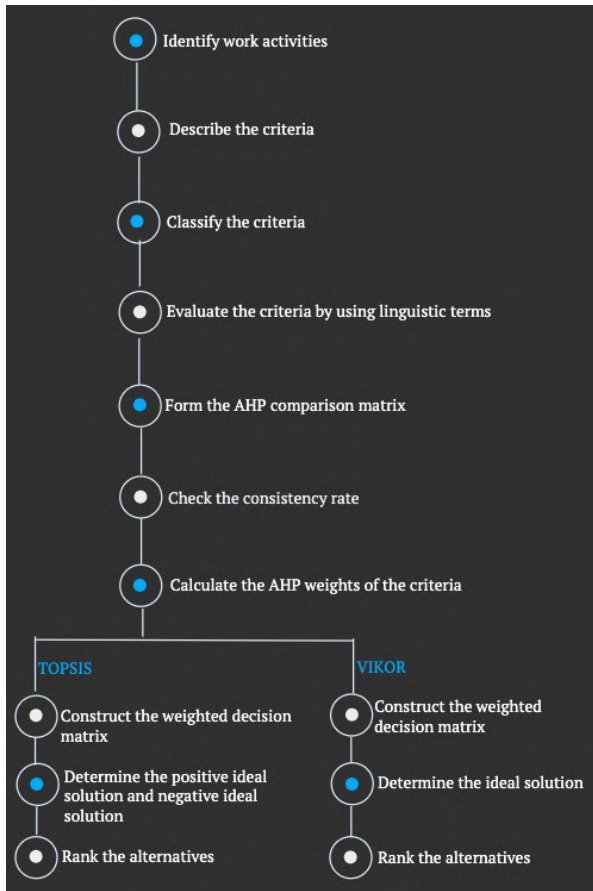


Figure 1. Framework of the proposed process.

3. Findings

3.1. Demographic Findings

Demographic findings of the study conducted are as follows; it belongs to gender, age, school type, education level, class information, the number of people receiving distance education at home and the types of devices used in distance education. Of the 4009 students participating in the study, 2980 are female and 1029 are male students. Male students constitute 25.7% of all students, while female students correspond to 74.3% of all students. The gender dispersion of the students who participated in the study is given in Table 2.

Table 2. The gender dispersion of the students

Gender	Number	Frequency
Female	2980	74.3
Male	1029	25.7
Total	4009	100

While 814 of the 4009 students participating in the study were studying at a state university, there were 3195 students studying at a foundation university. While the students studying at the state university constitute 20.3% of all participants, the e-ISSN: 2148-2683

participants studying at the foundation university correspond to 79.7% of all students. University types of students participating in the study is given in Table 3.

Table 3. University types of students

	Number	Frequency
State	814	20.3
Foundation	3195	79.7
Total	4009	100

Of the 4009 students who participated in the study, 2181 were studying at an associate degree vocational school, and 1828 at a faculty at the undergraduate level. Vocational school students constitute 54% of all students, while faculty students constitute 45.6% of the total participation. Education levels of the students participating in the study is given in Table 4.

Table 4. Education levels of the students

	Number	Frequency
Vocational school	2181	54.4
Faculty	1828	45.6
Total	4009	100

While 1542 of the 4009 students participating in the study attend distance education alone at home, it is seen that the remaining 2467 students have to share the facilities at home with their siblings. The number of people at home who receive distance education at the same time is given in Table 5.

Table 5. Number of siblings who receive distance education at the same time

Number of siblings	Number	Frequency
0	1542	38.5
1	1082	27.0
2	846	21.1
3	400	10.0
4	139	3.5
Total	4009	100

Of the 2181 vocational high school students participating in the study, 1077 students are in the first grade and 1089 are in the second grade. Of the 1828 faculty students participating in the study, 657 are in the first grade, 477 are in the second grade, 437 are in the third grade, and 257 are in the fourth grade. Class information of the students is given in Table 6.

Table 6. Class information of the students

	Class				Total
	1	2	3	4	
<i>Vocational school</i>	1077	1089	10	5	2181
<i>Faculty</i>	657	477	437	257	1828
<i>Total</i>	1734	1566	447	262	4009

Students participating in the research use their mobile phones at most with 52.1% while they follow the distance education.

The types of devices used while following distance education lessons are given in Table 7.

Table 7. The types of devices used while following distance education

The types of devices	Number	Frequency	Percentage of cases
<i>Computer</i>	2411	45.3%	60.1%
<i>Mobile phone</i>	2774	52.1%	69.2%
<i>Tablet</i>	138	2.6%	3.4%
<i>Total</i>	5323	100%	132.8%

3.2. Research Findings

As a result of comparing the evaluation criteria among themselves, a strong relationship was observed between the training evaluation criteria and the technical evaluation criteria. These results indicate that the performance of distance

education depends on the adequacy of the technical infrastructure. The comparison of evaluation criteria is given in Table 8.

Table 8. The comparison of evaluation criteria

		Psychology Evaluation Criteria	Education Evaluation Criteria	Technical Evaluation Criteria
<i>Psychology Evaluation Criteria</i>	<i>Correlation Coefficient</i>	1	0.297	0.290
	<i>P Value</i>		0.000	0.000
	<i>Number</i>	4009	4009	4009
<i>Education Evaluation Criteria</i>	<i>Correlation Coefficient</i>	0.297	1	0.649
	<i>P Value</i>	0.000		0.000
	<i>Number</i>	4009	4009	4009
<i>Technical Evaluation Criteria</i>	<i>Correlation Coefficient</i>	0.290	0.649	1
	<i>P Value</i>	0.000	0.000	
	<i>Number</i>	4009	4009	4009

Table 9. The device preferences

(I) Device	(J) Device	Mean Difference (I-J)	Standard Error	P Value	
Psychology	Computer	Mobile phone	0.722	0.150	0.000
		Tablet	-0.159	0.448	1.000
		Computer. Mobile phone	-0.007	0.150	1.000
		Computer. Tablet	-1.188	1.243	1.000
		Mobile phone. Tablet	-1.896	0.610	0.095
		All	-1.119	0.475	0.358
	Mobile phone	Computer	-0.722	0.150	0.000
		Tablet	-0.881	0.447	0.701
		Computer. Mobile phone	-0.730	0.145	0.000
		Computer. Tablet	-1.910	1.243	0.986
		Mobile phone. Tablet	-2.618	0.609	0.005
		All	-1.841	0.473	0.004
	Tablet	Computer	0.159	0.448	1.000
		Mobile phone	0.881	0.447	0.701
		Computer. Mobile phone	0.152	0.447	1.000
		Computer. Tablet	-1.029	1.312	1.000
		Mobile phone. Tablet	-1.737	0.741	0.394
		All	-0.960	0.635	0.951
Computer. Mobile phone	Computer	0.007	0.150	1.000	
	Mobile phone	0.730	0.145	0.000	
	Tablet	-0.152	0.447	1.000	
	Computer. Tablet	-1.180	1.243	1.000	
	Mobile phone. Tablet	-1.888	0.609	0.097	
	All	-1.112	0.473	0.365	
Computer. Tablet	Computer	1.188	1.243	1.000	
	Mobile phone	1.910	1.243	0.986	
	Tablet	1.029	1.312	1.000	

	<i>Computer. Mobile phone</i>	1.180	1.243	1.000
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	-0.708	1.376	1.000
	<i>All</i>	0.068	1.322	1.000
	<i>Computer</i>	1.896	0.610	0.095
	<i>Mobile phone</i>	2.618	0.609	0.005
	<i>Tablet</i>	1.737	0.741	0.394
<i>Mobile phone Tablet</i>	<i>Computer. Mobile phone</i>	1.888	0.609	0.097
	<i>Computer. Tablet</i>	0.708	1.376	1.000
	<i>All</i>	0.777	0.758	1.000
	<i>Computer</i>	1.119	0.475	0.358
	<i>Mobile phone</i>	1.841	0.473	0.004
	<i>Tablet</i>	0.960	0.635	0.951
<i>All</i>	<i>Computer. Mobile phone</i>	1.112	0.473	0.365
	<i>Computer. Tablet</i>	-0.068	1.322	1.000
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	-0.777	0.758	1.000
	<i>Mobile phone</i>	1.214	0.232	0.000
	<i>Tablet</i>	-0.460	0.978	1.000
	<i>Computer. Mobile phone</i>	-0.396	0.249	0.917
<i>Computer</i>	<i>Computer. Tablet</i>	-0.603	2.750	1.000
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	-0.436	1.149	1.000
	<i>All</i>	-2.356	0.810	0.094
	<i>Computer</i>	-1.214	0.232	0.000
<i>Education</i>	<i>Tablet</i>	-1.674	0.973	0.875
	<i>Computer. Mobile phone</i>	-1.609	0.232	0.000
<i>Mobile phone</i>	<i>Computer. Tablet</i>	-1.817	2.749	1.000
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	-1.650	1.145	0.976
	<i>All</i>	-3.570	0.805	0.001
	<i>Computer</i>	0.460	0.978	1.000
<i>Tablet</i>	<i>Mobile phone</i>	1.674	0.973	0.875

		<i>Computer. Mobile phone</i>	0.065	0.977	1.000
		<i>Computer. Tablet</i>	-0.143	2.908	1.000
		<i>Mobile phone. Tablet</i>	0.024	1.488	1.000
		<i>All</i>	-1.896	1.245	0.948
		<i>Computer</i>	0.396	0.249	0.917
		<i>Mobile phone</i>	1.609	0.232	0.000
		<i>Tablet</i>	-0.065	0.977	1.000
<i>Computer</i>		<i>Computer. Tablet</i>	-0.207	2.750	1.000
<i>Mobile phone</i>		<i>Mobile phone. Tablet</i>	-0.041	1.149	1.000
		<i>All</i>	-1.961	0.810	0.314
		<i>Computer</i>	0.603	2.750	1.000
		<i>Mobile phone</i>	1.817	2.749	1.000
		<i>Tablet</i>	0.143	2.908	1.000
<i>Computer</i>		<i>Computer. Mobile phone</i>	0.207	2.750	1.000
<i>Tablet</i>		<i>Mobile phone. Tablet</i>	0.167	2.970	1.000
		<i>All</i>	-1.753	2.856	1.000
		<i>Computer</i>	0.436	1.149	1.000
		<i>Mobile phone</i>	1.650	1.145	0.976
		<i>Tablet</i>	-0.024	1.488	1.000
<i>Mobile phone</i>		<i>Computer. Mobile phone</i>	0.041	1.149	1.000
<i>Tablet</i>		<i>Computer. Tablet</i>	-0.167	2.970	1.000
		<i>All</i>	-1.920	1.383	0.981
		<i>Computer</i>	2.356	0.810	0.094
		<i>Mobile phone</i>	3.570	0.805	0.001
		<i>Tablet</i>	1.896	1.245	0.948
<i>All</i>		<i>Computer. Mobile phone</i>	1.961	0.810	0.314
		<i>Computer. Tablet</i>	1.753	2.856	1.000
		<i>Mobile phone. Tablet</i>	1.920	1.383	0.981
<i>Technical</i>	<i>Computer</i>	<i>Mobile phone</i>	1.739	0.183	0.000

	<i>Tablet</i>	-0.570	0.789	1.000
	<i>Computer. Mobile phone</i>	-0.400	0.192	0.554
	<i>Computer. Tablet</i>	-1.708	2.124	1.000
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	-0.624	1.041	1.000
	<i>All</i>	-1.842	0.597	0.057
	<i>Computer</i>	-1.739	0.183	0.000
	<i>Tablet</i>	-2.309	0.787	0.115
<i>Mobile phone</i>	<i>Computer. Mobile phone</i>	-2.139	0.184	0.000
	<i>Computer. Tablet</i>	-3.447	2.124	0.977
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	-2.363	1.039	0.499
	<i>All</i>	-3.581	0.595	0.000
	<i>Computer</i>	0.570	0.789	1.000
<i>Tablet</i>	<i>Mobile phone</i>	2.309	0.787	0.115
	<i>Computer. Mobile phone</i>	0.170	0.789	1.000
	<i>Computer. Tablet</i>	-1.138	2.258	1.000
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	-0.055	1.292	1.000
	<i>All</i>	-1.273	0.971	0.989
	<i>Computer</i>	0.400	0.192	0.554
<i>Computer Mobile phone</i>	<i>Mobile phone</i>	2.139	0.184	0.000
	<i>Tablet</i>	-0.170	0.789	1.000
	<i>Computer. Tablet</i>	-1.308	2.124	1.000
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	-0.225	1.041	1.000
	<i>All</i>	-1.443	0.598	0.318
	<i>Computer</i>	1.708	2.124	1.000
<i>Computer Tablet</i>	<i>Mobile phone</i>	3.447	2.124	0.977
	<i>Tablet</i>	1.138	2.258	1.000
	<i>Computer. Mobile phone</i>	1.308	2.124	1.000
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	1.083	2.358	1.000
	<i>All</i>	-0.135	2.198	1.000

	<i>Computer</i>	0.624	1.041	1.000
	<i>Mobile phone</i>	2.363	1.039	0.499
<i>Mobile phone</i>	<i>Tablet</i>	0.055	1.292	1.000
	<i>Computer. Mobile phone</i>	0.225	1.041	1.000
<i>Tablet</i>	<i>Computer. Tablet</i>	-1.083	2.358	1.000
	<i>All</i>	-1.218	1.185	1.000
	<i>Computer</i>	1.842	0.597	0.057
	<i>Mobile phone</i>	3.581	0.595	0.000
<i>All</i>	<i>Tablet</i>	1.273	0.971	0.989
	<i>Computer. Mobile phone</i>	1.443	0.598	0.318
	<i>Computer. Tablet</i>	0.135	2.198	1.000
	<i>Mobile phone. Tablet</i>	1.218	1.185	1.000

During the pandemic, students attended classes with a computer, mobile phone or tablet in distance education. The effects of these device preferences on the evaluation criteria were compared and various findings were obtained. According to the study, a positive relationship was found between the use of computers in distance education and all three evaluation criteria. The device preferences are given in Table 9.

Table 10. The effect of gender on assessment criteria

Gender		Number	Mean	Standard Deviation	Standard Error Mean
<i>Psychology</i>	<i>Female</i>	2980	23.758	3.650	0.067
	<i>Male</i>	1029	23.033	4.164	0.130
<i>Education</i>	<i>Female</i>	2980	19.944	5.803	0.106
	<i>Male</i>	1029	20.529	6.652	0.207
<i>Technical</i>	<i>Female</i>	2980	15.989	4.669	0.086
	<i>Male</i>	1029	15.835	5.267	0.164

Table 11. The effect of students' education level on evaluation criteria

		Number	Mean	Standard Deviation	Standard Error Mean
<i>Psychology</i>	<i>Vocational School</i>	2181	23.235	4.029	0.086
	<i>Faculty</i>	1828	23.974	3.470	0.081
<i>Education</i>	<i>Vocational School</i>	2181	20.620	6.481	0.139
	<i>Faculty</i>	1828	19.466	5.394	0.126
<i>Technical</i>	<i>Vocational School</i>	2181	16.260	4.992	0.107
	<i>Faculty</i>	1828	15.580	4.602	0.108

“When the education levels of the students were examined, a significant relationship was found between education and

technical evaluation criteria for vocational school students. The effect of students' education level on evaluation criteria is given in Table 11.

Table 12. The effect of university types on evaluation criteria

		Number	Mean	Standard Deviation	Standard Error Mean
Psychology	State	814	23.950	3.775	0.132
	Foundation	3195	23.476	3.803	0.067
Education	State	814	19.220	5.542	0.194
	Foundation	3195	20.316	6.137	0.109
Technical	State	814	15.168	4.778	0.167
	Foundation	3195	16.149	4.823	0.085

When the university students were examined, a meaningful relationship was found with the students studying at the

foundation university in terms of education evaluation criteria. The results are given in Table 12.

Table 13. The relationship between distance education exams and injustice

		12- I think that exams without supervision in distance education cause injustice.	17- After the pandemic, I prefer the distance education processes to continue.
12- I think that exams without supervision in distance education cause injustice.	Pearson Correlation	1	-,305**
	P value		0,000
	Number	4009	4009
17- After the pandemic, I prefer the distance education processes to continue.	Correlation coefficient	-,305**	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	
	Number	4009	4009

According to the results in Table 13, students think that uncontrolled and unattended exams in distance education are unfair. This thought affects students' willingness and motivation to continue distance education after the pandemic. For this reason, the scarcity of students who stated as 'I would prefer the distance education processes to continue after the pandemic' indicates that a new assessment and evaluation system will be needed.

Table 14. The relationship between lecturer performance in distance education and the desire to continue distance education

		18- I find the lecturer performance of the course better in distance education compared to face-to-face education.	20- Post-pandemic new normally Traffic-Weather conditions-Time Constraint-Staying away from the family, etc. Despite the circumstances, I prefer going to school for face-to-face education over distance education.
18- I find the lecturer performance of the course better in distance education compared to face-to-face education.	Pearson Correlation	1	-,364**
	Sig. (2-tailed)		0,000
	Number	4009	4009
20- Post-pandemic new normally Traffic-Weather conditions-Time Constraint-Staying away from the family, etc. Despite the circumstances, I prefer going to school for face-to-face education over distance education.	Pearson Correlation	-,364**	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	
	Number	4009	4009

According to the Table 14, one of the factors that increases student motivation in distance education has been identified as the performance of the lecturer. Having the camera on during the lesson, use of different techniques by the lecturer and

synchronizing the lesson seem to increase the distance education motivation of the student. From here, it is understood that just the delivery of an asynchronous audio file to students will result in failure for distance education. It is thought that the

lack of technical infrastructure of the lecturers, who have experienced distance education for the first time, and the difficulties they encounter in adapting the process psychologically is the cause of this situation.

Table 15. Relationship between meeting professional needs in distance education and preferring face to face education

		5- The courses I take through distance education meet all the needs for my professional equipment.	20- Post-pandemic new normally Traffic-Weather conditions-Time Constraint-Staying away from the family, etc. Despite the circumstances, I prefer going to school for face-to-face education over distance education.
<i>5- The courses I take through distance education meet all the needs for my professional equipment.</i>	<i>Pearson Correlation</i>	1	-.266**
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		0.000
	<i>Number</i>	4009	4009
<i>20- Post-pandemic new normally Traffic-Weather conditions-Time Constraint-Staying away from the family, etc. Despite the circumstances, I prefer going to school for face-to-face education over distance education.</i>	<i>Pearson Correlation</i>	-.266**	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	0.000	
	<i>Number</i>	4009	4009

According to the information from the students, although they stated that the courses taken through distance education meet their professional skills, their preference for face-to-face education shows that students actually lead to a hybrid understanding in education. It has been understood that distance

education is a system that cannot replace face-to-face education in full terms. The hybrid education model will provide the opportunity to eliminate the shortcomings of distance education and to continue the psychological advantages of the face-to-face education model. The results are given in Table 15.

Table 16. The relationship between synchronous lesson tracking and distance education satisfaction

		1- In the distance education system, I follow the lessons completely synchronous.	8- It is better for the continuity of education to not have time and space limitations in distance education.
<i>1- In the distance education system, I follow the lessons completely synchronous.</i>	<i>Pearson Correlation</i>	1	,058**
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		0,005
	<i>Number</i>	2411	2411
<i>8- It is better for the continuity of education to not have time and space limitations in distance education.</i>	<i>Pearson Correlation</i>	,058**	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,005	
	<i>Number</i>	2411	2411

The coexistence of the lecturer and the learner as in the master-apprentice relationship or at least sharing the same platforms simultaneously are among the factors that increase learning. For this reason, as seen in the results in Table 16,

following the lessons live is an expected result to increase satisfaction in distance education.

Table 17. The desire to continue face to face education in the new normal

	Gender	Number	Mean	Standard Deviation	Standard Error Mean
<i>Post-pandemic new normally Traffic-Weather conditions-Time Constraint-Staying away from the family, etc. Despite the circumstances, I prefer going to school for face-to-face education over distance education.</i>	Female	2980	3.268	1.685	0.031
	Male	1029	3.055	1.731	0.054
	University Type	Number	Mean	Standard Deviation	Standard Error Mean
	State	814	3.452	1.661	0.058
	Foundation	3195	3.153	1.704	0.030
Education Level	Number	Mean	Standard Deviation	Standard Error Mean	
	Vocational School	2181	3.044	1.743	0.037
	Faculty	1828	3.416	1.623	0.038

Looking at the demographic information of the participants, who were asked about their preference for continuing face to face education, it has been observed that being female, being a student at a state university and being 4-year course undergraduates are more willing to continue face to face education. Throughout the study, education models, which were examined under three headings, as face-to-face, distance, and hybrid, were evaluated both in terms of student satisfaction, and it was aimed to find the ideal solution by considering it as a decision-making problem with the opinions of expert educators. In the study, first, the performance measurement methods and indicators were examined. The criteria indicators to be used in the study were determined by interviewing expert educators working in the field of education. Course follow up (synchronous / asynchronous), technical assistance, anxiety level, communication problems, exam issues, assessment and evaluation, concentration and performance of teaching staff are found as the criteria for the study. After a long preparation, the survey questions were created, and the validity and reliability of the questionnaire were tested in the front group. As the selection of indicators quantitatively (numerically) will make the results more objective, attention has been paid to the indicators being quantitative and thus measurable. The performance indicators using AHP method with the help of education experts are weighted. After data is collected, performance indexes of training models were obtained using TOPSIS and VIKOR methods. The results obtained by two different methods were compared with each other and the consistency of the study was examined. The structure of the proposed model is given in Figure 2.

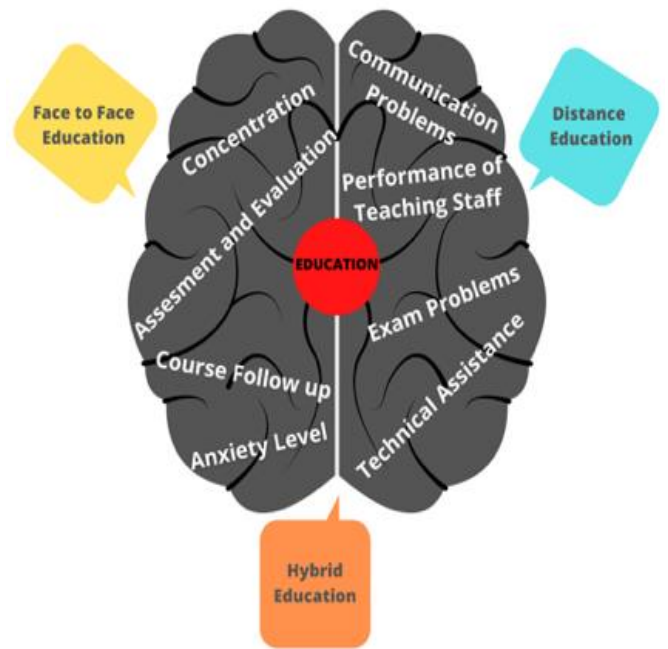


Figure 2. The structure of the proposed model

According to AHP results, assessment and evaluation, exam problems and concentration were determined as the most important criteria. No matter which educational model is used, one of the main points of understanding the permanence of education is assessment and evaluation. Exam problems that arise while making assessment and evaluation are another difficult situation for students. Another important parameter is the concentration and motivation required for learning to take place. The results are given in Table 18.

Table 18. Criteria according to AHP

Criteria	Weight
Course Follow up (synchronous / asynchronous)	0.0330
Technical Assistance	0.0716
Anxiety Level	0.0447
Communication Problems	0.0533
Exam Problems	0.2207
Assessment and Evaluation	0.3128
Concentration	0.1550
Performance of Teaching Staff	0.1090

Changes in people, environment and time require updates in education models. Distance education and hybrid education models, which are offered as an alternative to face-to-face education, have brought some disadvantages along with innovations. There are several actions that must be taken to turn these disadvantages into advantages. The inadequacies in assessment and evaluation system and the problems faced by students in exams can be counted among the disadvantages of the distance education model. In addition, the loss of concentration experienced in following lessons in distance education causes students to worry about this model. Distance education has been used at all educational levels throughout the pandemic process. In the present paper, the situation for higher education students was evaluated and it was understood that using the distance education model would not be sufficient to meet all the needs of education. For this reason, distance education should be considered as an integral element of face to face education rather than a replacement for it. The mixed education model, known as hybrid learning, will also provide the opportunity to overcome the shortcomings of distance education.

Table 19. Results according to TOPSIS

Si*	Si	Ci*	Rank
0.045	0.074	0.624	1
0.074	0.045	0.376	3
0.043	0.043	0.500	2

When the results are examined according to TOPSIS method for Performance Analysis for Face-to-Face, Distance and Hybrid Education Models Based on Student Satisfaction, the face-to-face education model has been identified as the most preferred model by students. Results are given according to TOPSIS method in Table 19.

Table 20. Results according to VIKOR

Si	Ri	Qi	Rank
1.00	0.31	0.50	1
0.00	0.00	-0.50	3
0.50	0.16	0.00	2

Rankings according to VIKOR method were found to be face-to-face education, hybrid education and distance education. Results are given according to VIKOR method in Table 20.

Table 21. Comparison of results according to TOPSIS and VIKOR

	TOPSIS	VIKOR
1	Face to Face	Face to Face
2	Hybrid	Hybrid
3	Distance	Distance

Comparison of results according to TOPSIS and VIKOR is given in Table 21. Rankings according to both methods were found to be face-to-face education, hybrid education and distance education. Considering the complex nature of learning, it is possible to find the results in this way. Because learning is not just receiving written information; it is also socializing, practicing, getting to know oneself and exchanging ideas. For this reason, it has been observed that higher education students do not prefer distance education despite their other advantages when they do not have the opportunity to practice their profession, when they lack opportunities for socialization, when they have technical infrastructure problems and when they lose their belief that assessment and evaluation are fair.

4. Discussion and Conclusion

Internet and computer-based distance education, which is defined as a great revolution in education, is becoming widespread day by day and the number of users is increasing. This educational model, which can be used a computer and internet is present, has changed the classical learning approach by bringing the educational service to the student's feet. In the lessons given by distance education method, students' knowledge level about internet and technical base of computer affects their approach to the lesson and their overall success. Online exams preferred in the distance education process have various benefits for both students and educators. The benefits of online exams on the internet are cost and time savings, storage of answers, convenient and fast feedback, flexibility and rapid results. Internet access and computer needs are the most important problems in online exams. Also, it is not secure, students are likely to cheat or it is hard to control whether the student has taken the exam himself. One of the factors affecting the success of distance education is the definition of the roles / competencies that instructors should have in online education settings and preparations to facilitate this process. The interaction between the learner and the teacher is an important factor for permanent learning. For this reason, following the lessons live in distance education increases student motivation, strengthens communication, and gives the student the feeling of sharing the same environment. This situation increases the efficiency of distance education. The distance education model requires being technology-friendly and solving a technical problem in the most effective way possible. For this reason, for the distance education model to be successful, both students and educators need to learn the technical infrastructure and determine their needs and provide them. In cases where this is not provided, the training model will be perceived as insufficient. Every new situation brings with its uncertainties. These uncertainties may reflect on students as anxiety. Having communication problems with the instructor, not being able to reach the instructor or school staff when there is a problem, and not getting answers to questions increase the level of anxiety. Increasing anxiety level affects educational performance. For all these reasons, distance education may not be where it deserves in terms of student satisfaction. In this case, hybrid learning emerges as an alternative model. Hybrid education, which is at a point between distance education and face-to-face education, carries traces of both models. In the paper, preference of these models was listed by comparing all three education models. The fact that the obtained results are also the same in the results of the student satisfaction questionnaire reveals the consistency and importance of the subject. Accordingly, students love innovations, but still prefer face-to-face education due to various factors. According to the results of MCDM, face-to-face education is still superior to other models. Looking at the results of many studies, it is seen that the vast majority of faculty still believe that distance learning is less qualified than face to face learning (Jaschik & Letterman, 2014). Findings from studies conducted to date show that there is no difference between face-to-face teaching and distance learning, but hybrid learning is more advantageous than online teaching in terms of learning performance (Means et al., 2009). Research into learning is not an easy task, due to the wide variety of variables and conditions that affect learning. Although there are technological developments and opportunities, why face-to-face education is still the first choice

is an issue that should be considered. In distance education, only imitating face-to-face education, not using new teaching styles, or students' technical deficiencies may be the answer to this situation. In the present paper the performance indicators using AHP method with the help of education experts are weighted. After data is collected, performance indexes of training models were obtained using TOPSIS and VIKOR methods. The results obtained by two different methods were compared with each other and the consistency of the study was examined. At the same time, the questions based on the determined criteria were answered by 4009 higher education students and the results obtained were compared with the results of the MCDM. This paper examines the factors that affect the preference of educational models by students and highlights the reasons for the most preferred model. For future research, training models can be compared according to new developments that will emerge and what can be done for improvement can be discussed. The methodology recommended in the present paper can be utilized in performance evaluations of other processes. In future studies, VIKOR-TOPSIS can be compared with other multi-criteria decision-making extensions, such as intuitionistic fuzzy or hesitant fuzzy sets. In addition, the methodology suggested can be used in evaluation processes for different problems and its robustness can also be tested for different decision-making problems.

References

- Martínez, P. J., Aguilar, F. J. & Ortiz, M. (2020). Transitioning from Face-to-Face to Blended and Full Online Learning Engineering Master's Program, *IEEE Transactions on Education*, 63(1), 2-9, doi: 10.1109/TE.2019.2925320.
- Alenezi, A. (2020). The Role of e-Learning Materials in Enhancing Teaching and Learning Behaviors *IJIT* 10(1), 48-56.
- Alghamdi, A., Karpinski, A. C., Lepp, A. & Barkley, J. (2020). Online and face-to-face classroom multitasking and academic performance: Moderated mediation with self-efficacy for self-regulated learning and gender, *Computers in Human Behavior*, 102, 214-222.
- Carlson, C., Peterson, G. & Day, D. (2019). Utilizing Portable Learning Technologies to Improve Student Engagement and Retention, in *IEEE Transactions on Education*, 63(1), 32-38, doi:10.1109/TE.2019.2941700.
- Fish, L. A., & Snodgrass, C.R. (2019). Instructor Academic Factors and Their Influence on Instructor Perspectives of Online versus Face-to-Face Education at a Jesuit Institution, *Business Education Innovation Journal* 11(1), 107-117.
- Evans, J. C., Yip, H., Chan, K., Armatas, C. & Tse, A. (2020) Blended learning in higher education: professional development in a Hong Kong university, *Higher Education Research & Development*, 39:4, 643-656, DOI: 10.1080/07294360.2019.1685943.
- Núñez, J. L., Caro, E. T., & González, J. R. H. (2017). From Higher Education to Open Education: Challenges in the Transformation of an Online Traditional Course, in *IEEE Transactions on Education*, 60(2), 134-142, doi: 10.1109/TE.2016.2607693.
- Monk, E. F., Guidry, K. R., Pusecker, K. L., & Ilvento, T. W. (2020). Blended learning in computing education: It's here but does it work? *Education and Information Technologies* 25, 83-104. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09920-4>.

- Pala, O., & Aksaraylı, M. (2019). Evaluation of Quality Improvement Dimensions in Distance Education: SMART-AHP Based SERVQUAL Approach, *Ege Academic Review*, 19 (2), 173 -187.
- Tratnik, A., Urh, M., & Jereb, E. (2019) Student satisfaction with an online and a face-to-face Business English course in a higher education context, *Innovations in Education and Teaching International*, 56:1, 36-45, DOI: 10.1080/14703297.2017.1374875.
- Usher, M., & Barak, M. (2020). Team diversity as a predictor of innovation in team projects of face-to-face and online learners, *Computers & Education* 144, 103702.
- Wang, C., Hsu, H.C. K., Bonem, E. M., Moss, J. D., Yu, S., Nelson, D. B., & Levesque-Bristol, C. (2019). Need satisfaction and need dissatisfaction: A comparative study of online and face-to-face learning contexts', *Computers in Human Behavior*, 95 ,114–125.
- Yen, S.C., Lo, Y., Lee, A., & May Enriquez, J. (2018). Learning online, offline, and in-between: comparing student academic outcomes and course satisfaction in face-to-face, online, and blended teaching modalities, *Educ Inf Technol* 23, 2141–2153.
- Yıldız, E., & Seferoğlu, S.S. (2020). Examination of Self-Efficacy Perception of Distance Education Students About Online Technologies, *Celal Bayar University Journal of Social Sciences*, 18 (1); 33-46.
- Gökmen, Ö.F., Duman, İ., & Horzum, M.B. (2016). Theories, changes and new directions in distance education, *AUAd* 2(3), 29-51.
- Larraza-Mendiluze, E., Arbelaitz, O., Arruarte, A., Lukas, J. F., & Garay-Vitoria, N. (2020). JolasMATIKA: An Experience for Teaching and Learning Computing Topics from University to Primary Education, in *IEEE Transactions on Education*, 63(3), 136-143, doi: 10.1109/TE.2019.2951568.
- Nennig, H.T., Idárraga, K.L., Salzer, L.D., Bleske-Rechek, A., & Theisen, R. M. (2020). 'Comparison of student attitudes and performance in an online and a face-to-face inorganic chemistry course', *Chem. Educ. Res. Pract.* 21, 168-177.
- Bilişik, Ö.N., Erdogan, M., Kaya, İ., & Baraçlı, H. (2013). A hybrid fuzzy methodology to evaluate customer satisfaction in a public transportation system for Istanbul. *Total Quality Management & Business Excellence*, 24, 1141-1159.
- Kaya, İ., Çolak, M., & Terzi, F. (2019). A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making. *Energy Strategy Reviews*, 24, 207-228.
- Eren, E., & Tuzkaya, U.R. (2019) Occupational health and safety-oriented medical waste management: A case study of Istanbul, *Waste Manag Res*, 37(9):876-884. doi: 10.1177/0734242X19857802.
- Korkusuz, A.Y., İnan, U.H., Özdemir, Y., & Başlıgil, H. (2020). Occupational health and safety performance measurement in healthcare sector using integrated multi criteria decision making methods, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 35,1 ,81-96.
- Saaty, T. L. (1980). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 32 (7), 841-855.
- Tepe, S., & Görener, A. (2014). An Implementation of Analytic Hierarchy Process and Moora Methods on the Employee Selection, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(25), 1-14.
- Aslantaş, S., Tepe, S., & Mertoğlu, B. (2019). A Fuzzy Based Risk Assessment Model with a Real Case Study, In: *Kahraman C., Cebi S., Cevik Onar S., Oztaysi B., Tolga A., Sari I. (eds) Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making. INFUS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1029. Springer, Cham.
- Liu, H.C., Wu, J., & Li, P. (2013). Assessment of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy multi-criteria decision-making method', *Waste Management* 33, 2744–2751.
- Jaschik, S. and Letterman, D. (2014). *The 2014 Inside Higher Ed Survey of Faculty Attitudes to Technology*. Washington DC, Higher Education.
- Means, B. et al. (2009) *Evaluation of Evidence-Based Practices in Online Learning: A Meta-Analysis and Review of Online Learning Studies*. Washington DC, US Department of Education.



Katyon Değişim Reçinesi Kullanarak Sulu Çözeltilerden Amonyum Giderimi

Nejdet Değermenci^{1*}

^{1*} Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3135-1471), degermenci@kastamonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 28 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.866673)

ATIF/REFERENCE: Değermenci, N. (2021). Katyon Değişim Reçinesi Kullanarak Sulu Çözeltilerden Amonyum Giderimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 272-279.

Öz

Amonyum, su kütlelerinin ötrofikasyonundan sorumlu temel faktörlerden biridir. Amonyum giderim etkinliği üzerindeki potansiyel kullanımını araştırmak amacıyla Purolite SSTC60 iyon değiştirici reçine kullanılmıştır. İyon değiştirici reçine dozajı, başlangıç çözelti pH'ı, sıcaklık, karıştırma hızı ve başlangıç amonyum konsantrasyonu gibi iyon değişimini etkileyen önemli parametrelerin amonyum giderimi üzerine etkisi araştırılmıştır. En yüksek amonyum giderimi pH 7 değerinde sağlanmıştır. Reçine dozajı, karıştırma hızı ve sıcaklık artışı ile amonyum giderim hızlarının arttığı belirlenmiştir. 20°C'den daha yüksek sıcaklıkların ve karıştırma hızının denge anında ki amonyum giderim verimlerini azalttığı gözlemlenmiştir. Başlangıç amonyum konsantrasyonlarının artışı ile giderim verimlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Amonyum iyonlarının gideriminde en uygun kinetik modeli belirlemek üzere yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece kinetik denklemler lineer olmayan yöntem kullanılarak analiz edilmiş ve yalancı birinci derece kinetik model ile uyumlu olduğu görülmüştür. Son olarak, deneysel verilerin Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinin doğrusal olmayan formları kullanılarak yapılan değerlendirme de adsorpsiyon verilerinin Langmuir izoterm modelinden ziyade Freundlich izoterm modeline uyduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Amonyum giderimi, İyon değişimi, Ötrofikasyon, Kinetik, Purolite SSTC60.

Ammonium Removal from Aqueous Solutions Using Cation Exchange Resin

Abstract

Ammonium is one of the main factors responsible for eutrophication of water bodies. Purolite SSTC60 ion exchange resin was used to investigate its potential use on ammonium removal efficiency. The effects of important parameters affecting ion exchange such as ion exchange resin dosage, initial solution pH, temperature, mixing speed and initial ammonium concentration on ammonium removal were investigated. The highest ammonium removal was achieved at pH 7. It was determined that ammonium removal rates increased with resin dosage, mixing speed and temperature increase. It has been determined that temperatures higher than 20°C and mixing speed do not have a significant effect on ammonium removal efficiencies at equilibrium. It was observed that removal efficiencies decreased with increasing initial ammonium concentrations. Pseudo-first order and pseudo-second order kinetic equations were analyzed using nonlinear method to determine the most appropriate kinetic model for ammonium ion removal and found to be compatible with the pseudo-first order kinetic model. Finally, the evaluation of experimental data using nonlinear forms of Langmuir and Freundlich isotherm models determined that the adsorption data fit the Freundlich isotherm model rather than the Langmuir isotherm model.

Keywords: Ammonium removal, Ion exchange, Eutrophication, Kinetic, Purolite SSTC60.

* Sorumlu Yazar: degermenci@kastamonu.edu.tr

1. Giriş

Amonyum, su ve atıksuların arıtılmasında önemli parametrelerden biridir. Sulu çözeltilerdeki toplam amonyak, bağlı konsantrasyonları pH ve sıcaklığa bağlı olan, amonyum iyonu (NH_4^+) ve serbest amonyak (NH_3) olmak üzere iki formdan oluşur (Bonmatí ve Flotats, 2003; Körner ve ark., 2001). Doğal sularda baskın olan tür amonyum iyonudur. İçme suyu kaynağı olarak hizmet eden belirli yüzey sularındaki NH_4^+ konsantrasyonu izin verilen seviyeden daha yüksektir. Çünkü büyük miktarda kentsel, tarımsal veya endüstriyel atık sular mevcut su kaynaklarına deşarj edilmektedir. Alıcı su ortamlarına deşarj edilen amonyum iyonu, yüzeysel su rezervuarlarında ötrofikasyona, çözünmüş oksijenin azalmasına, sucul yaşam için toksisiteye ve toprak malzemelerinde artan korozyon hızı gibi zararlı etkilere neden olabilir (Alshameri ve ark., 2014; Saltali ve ark., 2007). Ayrıca, içme suyunda bulunan amonyum, insan sinir sistemine zarar verebilecek ve suyun tadının ve kokusunun bozulmasına sebep olabilecek dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturmak üzere klor ile reaksiyona girmektedir. Bu nedenlerden dolayı amonyum iyonunun deşarjını kısıtlayan yasa ve yönetmelikler uygulamaya alınmıştır ve amonyağı sudan giderebilmek ya da geri kazanabilmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. NH_4^+ giderimi için kullanılan yöntemlerden bazıları biyolojik arıtım (nitritifikasyon ve denitritifikasyon), hava sıyırma, foto-katalitik bozunma, ters ozmos, kimyasal çöktürme, elektro-kimyasal oksidasyon süperkritik su oksidasyonu ve iyon deşarjı sayılabilir (Carrera ve ark., 2003; Değermenci ve ark., 2012; Taşdemir ve ark., 2020; Bahmani ve ark., 2020; Mondor ve ark., 2008; Uludağ-Demirer ve ark., 2005; Chung ve ark., 2020; Bermejo ve ark., 2008). İyon deşarjı işlemi kullanılarak kirlenmiş doğal sulardan ve atık sulardan çok çeşitli kimyasallar etkili bir şekilde giderilebilir. Örneğin, anyon deşarjı reçineleri kullanılarak nitrat, nitrit, fosfat, uranyum ve fenol gibi anyonik maddelerin giderimi yapılmıştır (Aşçi ve ark., 2018; Awual ve Jyo, 2011; Caetano ve ark., 2009; Kalaruban ve ark., 2016; Wen ve ark., 2019). Ayrıca katyon deşarjı reçinesini kullanılarak amonyum, demir, bakır, çinko ve krom giderimleri test edilmiştir (Bashir ve ark., 2010; Lin ve Juang, 2007; Victor-Ortega ve ark., 2016).

İyon deşarjı, bir elektron kaybetmiş veya kazanmış ve böylece çözeltilerden elektrik yükü almış bir iyon, atom veya molekülün, sabit bir katı parçacığa bağlı benzer yüklü bir iyonla yer deşarj edildiği, tersine çevrilebilir bir kimyasal reaksiyondur. İyon deşarjı reçineleri, deşarj için pozitif yüklü mobil iyonları olan katyon deşarjı reçineleri ve deşarj edilebilir iyonları negatif yüklü anyon deşarjı reçineleri olarak sınıflandırılabilir (Hazwani-Osman ve ark., 2017; Paul Chen ve ark., 2002). Sentetik iyon deşarjı reçineleri iyi mekanik mukavemet, farklı yapılar ve hızlı rejenerasyon kapasitesine sahip olmaları nedeniyle amonyum giderimi için kullanılabilir (Ding ve Sartaj, 2016). İyon deşarjı yöntemi şok yüklemeleri kaldırabilme kabiliyetine sahiptir ve geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilir (Nur ve ark., 2015). Dahası, iyon deşarjı işlemi sadece amonyum giderimi için değil, aynı zamanda amonyum geri kazanımı için de kullanılabilir. Ancak bu sentetik polimerik malzemelerin üretim maliyetleri ve su içerisinde var olan diğer katyonların etkisi yaygın uygulamalarını sınırlandırmaktadır (Cheng ve ark., 2018). Bu nedenle ticari olarak satışı yapılan reçinelerin giderim performanslarını belirlemek amacıyla laboratuvar çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Purolite SSTC60 katyon deşarjı reçinesini kullanarak sulu çözeltilerden amonyum giderimini araştırmaktır. Kesikli işletilen bir reaktörde çalışmalar yapılarak başlangıç pH değeri, reçine dozajı, karıştırma hızı, başlangıç amonyum konsantrasyonu ve sıcaklığın amonyum giderimine olan etkileri araştırılmıştır. Amonyum gideriminin yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece kinetik modellere uygunluğu incelenmiştir. Ayrıca elde edilen deneysel verilerin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm modelleri ile uyumluluğu da araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada iyon deşarjı reçine olarak kuvvetli bir katyon deşarjı reçinesini olan Purolite SSTC60 kullanılmıştır. Kullanılan reçineye ait özellikler ise Tablo 1'de verilmiştir. Amonyum iyonları içeren çözeltilerin hazırlanmasında NH_4Cl kullanılmıştır. Çözeltiler hazırlanırken saf su kullanılmış olup çözeltilerin pH değerlerinin ayarlanmasında seyreltik HCl ve NaOH çözeltilerinden yararlanılmıştır. pH ölçümlerinde WTW MultiLine Multi 3620 IDS taşınabilir çoklu parametre ölçer kullanılmıştır.

Tablo 1. SSTC60 katyon deşarjı reçinesinin özellikleri

Özellik	Açıklama
Polimer yapısı	Divinilbenzen ile çapraz bağlanmış jel polistiren
Fonksiyonel grup	Sülfonik asit
Görünüm	Küresel boncuk
İyonik yükü	Na^+
Kapasite	3.80 eq/kg Na^+
Partikül büyüklüğü	0.3-1.2 mm
Maksimum çalışma sıcaklığı	60°C
Su tutma kapasitesi	% 38-46

Deneysel olarak kullanılan ceketli reaktörde ki çözeltilerin hacmi 500 mL olup karıştırmayı sağlamak amacıyla MTOPS MS-3020D model mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Reaktördeki sıcaklık ise LABO C200-H13 ısıtmalı soğutmalı sirkülasyon kullanılarak istenilen sıcaklıkta sabit tutulmuştur. Her bir deneyde zamana bağlı olarak alınan numunelerde amonyum konsantrasyonları spektrofotometre (Hach Lange DR6000) ile Nessler metodu kullanılarak belirlenmiştir. Amonyum giderim verimi (R), zamana bağlı iyon deşarjı kapasitesi ve denge anında iyon deşarjı kapasiteleri ise Eşitlik 1 - 3 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m} \quad (2)$$

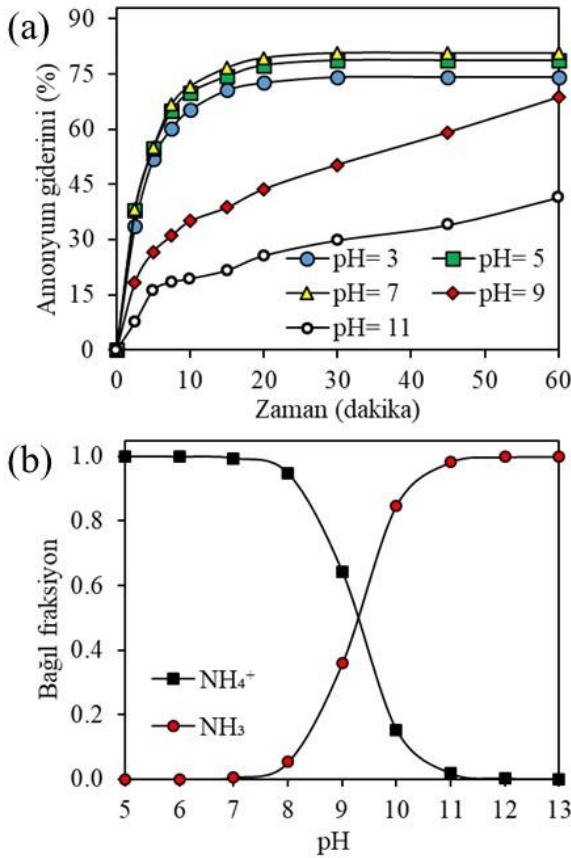
$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (3)$$

burada C_0 , başlangıç amonyum konsantrasyonunu (mg/L), C_t , t zamanındaki amonyum konsantrasyonunu (mg/L), C_e , denge anındaki amonyum konsantrasyonunu (mg/L), V, reaktör hacmini (L), m, reçine miktarını (g), q_e , iyon deşarjı reçinesinin denge anındaki amonyum deşarjı kapasitesini ve q_t ise iyon deşarjı reçinesinin t zamanındaki amonyum deşarjı kapasitesini ifade etmektedir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Başlangıç pH'nın Etkisi

Çözeltinin pH değerine bağlı olarak toplam amonyak, amonyum iyonu ve serbest amonyak olmak üzere iki formdan oluşur. Bu nedenle çözelti pH'ı amonyumun iyon değiştirme prosesi ile gideriminde önemli bir kontrol parametresidir. Başlangıç pH'nın iyon değişim reçinesi kullanılarak sulu çözüldüğü amonyumun giderilmesi üzerindeki etkisini belirlemek için farklı başlangıç pH (3 - 11 aralığında) değerlerinde deneyler yapılmıştır (Şekil 1). Deneyler de sıcaklık 20°C, karıştırma hızı 500 rpm, reçine dozajı 3 g/L, başlangıç amonyum konsantrasyonu 30 mg/L'dir.



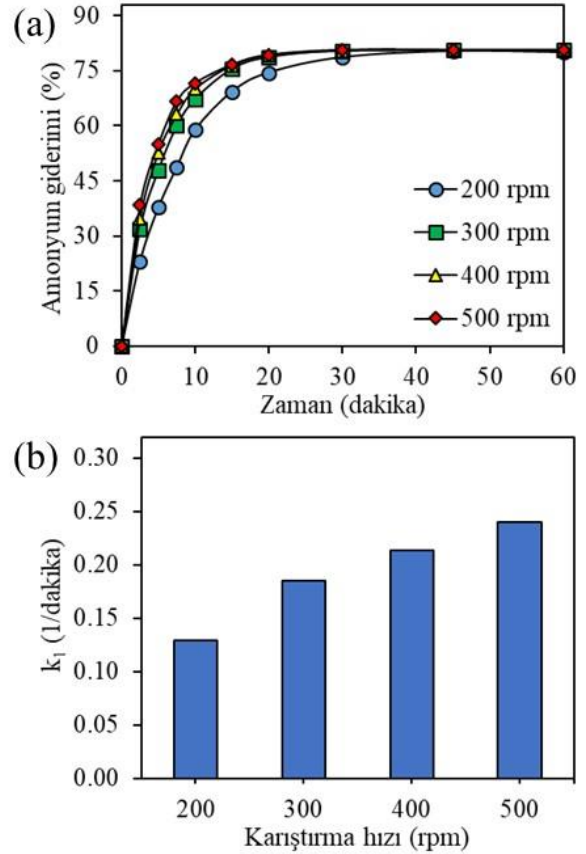
Şekil 1. (a) Başlangıç pH değerinin amonyum giderimine etkisi, (b) pH değerine bağlı olarak amonyum amonyak dengesi (Deneysel şartlar: Karıştırma hızı= 500 rpm, $C_0= 30$ mg/L, Reçine dozajı= 3 g/L, $T= 20^\circ C$)

Şekil 1 (a) başlangıç pH değerinin amonyumun giderimi üzerinde önemli olduğunu göstermiştir. Maksimum giderim verimi pH 7'de elde edilmiştir. pH 7'den daha küçük değerlerde amonyum gideriminin azalması pH ayarlamada kullanılan HCl ile ilave edilen H^+ iyonu ile NH_4^+ iyonu arasındaki rekabete bağlanabilir. pH 7'den büyük değerlerde ise amonyumun gideriminin azalması çözelti pH değerine bağlı olarak Şekil 1 (b) de verilen amonyum iyonu ve serbest amonyak arasında ki bağlı fraksiyon ile açıklanabilir. Özellikle pH 11 değerinde çözeltide ki toplam amonyanın tamamı serbest amonyak formunda olduğundan amonyum giderimi gözlenmemesi gerekir ancak ilave edilen reçine çözelti pH değerini zamanla düşürdüğünden dolayı yüksek pH değerlerinde amonyum giderimi artmıştır. Başlangıç pH değerleri 9 ve 11 için 60 dakika sonunda pH değerleri sırasıyla 7.4 ve 10.3'tür. Ayrıca pH 11 değerinde reçine

ilave edilmeden yaklaşık %7 amonyak giderimi (karıştırma etkisi altında amonyanın sıyrılması ile) tespit edilmiştir. Amonyum giderim hızları göz önüne alındığında optimum başlangıç pH değeri 7 seçilmiştir.

3.2. Karıştırma Hızının Etkisi

Kesikli işletilen tam karışimli reaktörlerde yapılan iyon değiştirme işleminde karıştırma hızı önemli bir faktördür. Karıştırma hızının etkisini belirlemek amacıyla reçine dozajı 3 g/L, sıcaklık 20°C, başlangıç pH'ı 7 ve başlangıç amonyum konsantrasyonu 30 mg/L'de sabit tutularak 200 - 500 rpm arasındaki farklı karıştırma hızlarında deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir.



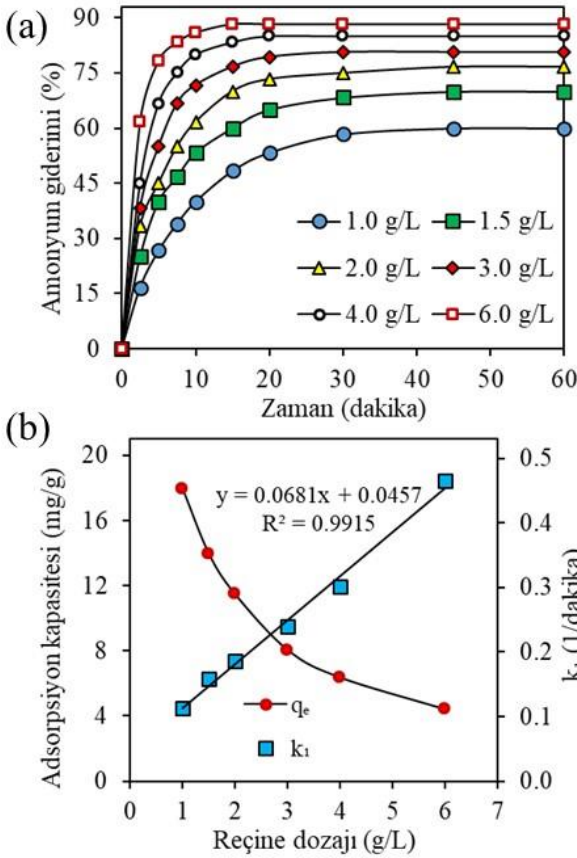
Şekil 2. (a) Karıştırma hızının amonyum giderimine etkisi, (b) yalancı birinci derece hız sabiti değerleri (Deneysel şartlar: $C_0= 30$ mg/L, Başlangıç pH= 7, Reçine dozajı= 3 g/L, $T= 20^\circ C$)

Şekil 2 (a) karıştırma hızındaki artışın, amonyum giderim hızı üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. Karıştırma hızının artışıyla reçine ile amonyum iyonlarının daha iyi etkileşimi sağlanmış ve amonyum giderim hızları bakımında en yüksek giderim hızı 500 rpm'de elde edilmiştir. Bu durum karıştırma hızının artırılması ile sıvı film kalınlığı azalmasına bağlanabilir (Korkmaz ve ark., 2016; Bingul ve ark., 2016). Dolayısıyla amonyum iyonlarının reçine yüzeyine transferi hızlanır. Şekil 2 (a) incelendiğinde 10 dakika sonunda 200, 300, 400 ve 500 rpm'de sırasıyla %59.0, %67.3, %70.2 ve %71.7 amonyum giderimi elde edilmiştir. Ayrıca tüm karıştırma hızlarında 45 dakika dan sonra amonyum giderimlerinin karıştırma hızından çok fazla etkilenmediği sonucuna varılabilir. Kinetik hesaplamalardan yalancı birinci derece kinetik modele uyduğu belirlenmiştir ve elde edilen sonuçlar Şekil 2 (b)'de verilmiştir. Karıştırma hızının artışı ile reaksiyon hız sabiti değeri de artmıştır. Yalancı birinci derece reaksiyon hız sabiti

değeri artan karıştırma hızı ile artarak 200, 300, 400 ve 500 rpm için sırasıyla 0.1287, 0.1856, 0.2134 ve 0.2400 dakika⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, 500 rpm karıştırma hızı aşağıdaki deneyler için optimum parametre olarak seçilmiştir.

3.3. Reçine Dozajının Etkisi

Ekonomik faktör göz önüne alındığında daha az reçine kullanılarak maksimum amonyum giderimi sağlamak büyük önem taşımaktadır. Düşük miktarda reçine ilavesi ile iyon değişim bölgelerinin amonyum iyonlarına tam olarak maruz bırakılması, bir reçinenin maksimum iyon değiştirme kapasitesine ulaşmasını kolaylaştırır (Liu ve ark., 2018). Bu nedenle reçine dozajının amonyum giderim verimine olan etkisini belirlemek için 1 g/L'den 6 g/L'ye kadar değişen reçine dozajlarında deneyler yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu deneylerde başlangıç amonyum konsantrasyonu 30 mg/L, başlangıç pH'ı 7, karıştırma hızı 500 rpm ve sıcaklık 20°C'de sabit tutulmuştur.



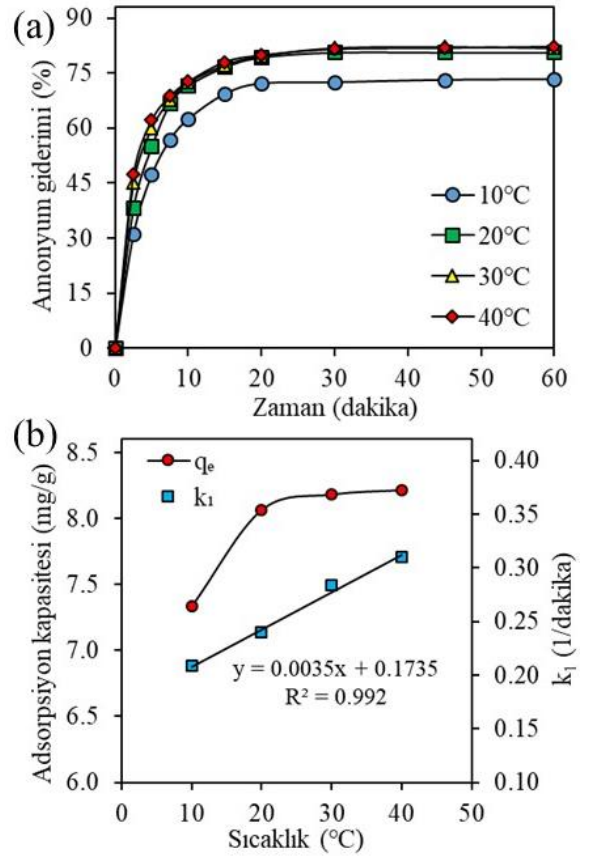
Şekil 3. (a) Reçine dozajının amonyum giderimine etkisi, (b) Adsorpsiyon kapasitesi ve yalancı birinci derece reaksiyon hız sabiti değerleri (Deneysel şartlar: Karıştırma hızı= 500 rpm, C₀= 30 mg/L, Başlangıç pH= 7, T= 20°C)

Şekil 3 (a) incelendiğinde reçine dozajının 1 g/L'den 6 g/L'ye artışı ile amonyum giderimi 60 dakika temas süresi sonunda yaklaşık %60'dan %88.3'e kadar artmıştır. İyon değiştirme işlemi reçinenin yüzeyinde meydana geldiğinden reçine dozajının artışı yüzey alanının artmasına ve dolayısıyla amonyum giderim veriminin artmasına neden olmuştur. Ancak Şekil 3 (b)'de reçine dozajının 1 g/L'den 6 g/L'ye artmasıyla amonyum iyon değiştirme kapasitesi 18 mg/g'dan 4.4 mg/g'a azalmıştır. Bu durum artan reçine dozajı ile gereğinden fazla iyon değiştirme bölgesinin varlığına atfedilebilir. Ding ve Sartaj (2016) yaptıkları çalışmada Amberlite IR120 H iyon değiştirici e-ISSN: 2148-2683

reçine kullanarak benzer sonuçlar elde etmiştir. 12.5 g/L reçine (Amberlite IR120 H) dozajında amonyum iyon değiştirme kapasitesi 23.49 mg/g iken reçine dozajının 100 g/L'ye artırılması ile amonyum iyon değiştirme kapasitesi 8.43 mg/g'a düştüğünü tespit etmişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlardan yalancı birinci derece reaksiyon hız sabiti değerleri hesaplanmıştır ve Şekil 3 (b)'de verilmiştir. Artan reçine dozajı ile reaksiyon hız sabiti değerleri arasında lineer bir ilişki olduğu bulunmuştur. 1 g/L reçine dozajında hız sabiti 0.1133 dakika⁻¹ iken 6 g/L'de 0.4664 dakika⁻¹'dir.

3.4. Sıcaklığın Etkisi

Reçine gözenekleri düşük sıcaklıklarda büzüşebilir yüksek sıcaklıklarda ise büyüebilir (Korkmaz ve ark., 2016). Bu nedenle reçinenin iyon değiştirme kapasitesi sıcaklıkla değişir. Purolite SSTC60 reçinesinin amonyum iyonu değişim kapasitesi üzerine sıcaklığın (10, 20, 30 ve 40°C) etkisi çalışılmıştır. Deneyler reçine dozajı 3 g/L, başlangıç pH'ı 7, karıştırma hızı 500 rpm ve başlangıç amonyum konsantrasyonu 30 mg/L'de yapılmıştır. Deneysel sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir.



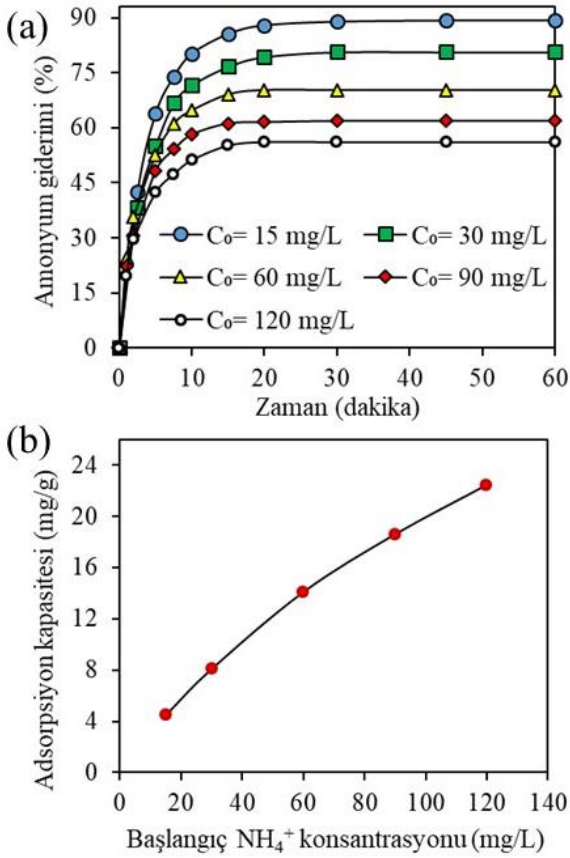
Şekil 4. (a) Sıcaklığın amonyum adsorpsiyonuna etkisi, (b) Adsorpsiyon kapasitesi ve yalancı birinci derece reaksiyon hız sabiti değerleri (Deneysel şartlar: Karıştırma hızı= 500 rpm, C₀= 30 mg/L, Başlangıç pH= 7, Reçine dozajı= 3 g/L)

Şekil 4 (a) incelendiğinde sıcaklığın 10°C'den 20°C'ye artışı amonyum giderim verimi üzerine etkili olduğu görülmüştür. Ancak 20°C'den daha yüksek sıcaklıklarda amonyum giderim verimlerinde ki değişimin çok önemli olmadığı söylenebilir. 10°C'de denge anında %73.3 amonyum giderim verimi gözlenirken 20°C'de amonyum giderim verimi %80.7'ye artmıştır. Sıcaklık artışı ile amonyum giderim hızı artmıştır. Bunun nedeni sıcaklık artışı ile gözenek difüzyon hızının artmasına bağlanabilir (Aydin ve ark., 2017). 20°C, 30°C

ve 40°C’de amonyum giderimleri incelendiğinde 10 dakika’dan sonra amonyum gideriminin küçük farklılıklar ile sınırlı olduğu söylenebilir. Şekil 4 (b)’de denge zamanında ki iyon değiştirme kapasiteleri incelendiğinde 20°C’den yüksek sıcaklıklarda iyon değiştirme kapasitesinde çok küçük farklılıklar vardır. Bu nedenlerden dolayı amonyum giderimi için optimum sıcaklık 20°C seçilmiştir.

3.5. Başlangıç NH₄⁺ Konsantrasyonunun Etkisi

Başlangıç amonyum konsantrasyonunun etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde sıcaklık, başlangıç pH’ı, karıştırma hızı ve reçine dozajı sabit tutularak 15 ila 120 mg/L arasında değişen amonyum konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 5’te verilmiştir. Deneylerde reçine dozajı 3 g/L, başlangıç pH’sı 7, karıştırma hızı 500 rpm ve sıcaklık 20°C’dir.



Şekil 5. (a) Başlangıç amonyum konsantrasyonunun amonyum giderimine etkisi, (b) Adsorpsiyon kapasitesi (DeneySEL şartlar: Karıştırma hızı= 500 rpm, T= 20°C, Başlangıç pH= 7, Reçine dozajı= 3 g/L)

Şekil 5 (a) başlangıç amonyum konsantrasyonunun artışı ile amonyum giderim veriminin azaldığını göstermektedir. Sabit miktardaki reçine yüzeyinde amonyum iyonlarının yer değiştirebileceği alanların miktarı da sabit olduğundan, başlangıç amonyum konsantrasyonunun artması ile giderim verimleri azalır. 15 mg/L başlangıç amonyum konsantrasyonunda denge anında %89.3 amonyum giderim sağlanırken 120 mg/L başlangıç amonyum konsantrasyonunda denge anında %56.1 amonyum giderimi sağlanmıştır. Ancak amonyum konsantrasyonunun artışı ile iyon değiştirme kapasitesi artmıştır. Kullanılan reçinenin amonyum değişim kapasitesi 15, 30, 60, 90 ve 120 mg/L başlangıç amonyum konsantrasyonu için sırasıyla 4.47, 8.07, 14.1, 18.6 ve 22.4 mg/g’dır.

3.6. İyon Değiştirme Kinetiği

Reçineler üzerindeki iyon değişimi, sıvı faz ile katı faz arasındaki bir kütle transfer işlemidir. Bu fenomen, modelleri geliştirmek için veri sağlayacak bir denge ve kinetik hız tarafından karakterize edilir (Darracq ve ark., 2014). İyon değiştirici reçinenin amonyum değişim hızını, dengede ki ve denge dışı koşullar altında elde edilen iyon değişim kapasitesini tanımlamak için yalancı birinci derece (Lagergren, 1898) ve yalancı ikinci dereceden (Blanchard ve ark., 1984) kinetik modeller kullanılmıştır. Yalancı birinci dereceden kinetik model Eşitlik 4 ile yalancı ikinci dereceden kinetik model ise Eşitlik 5 ile gösterilmektedir:

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (4)$$

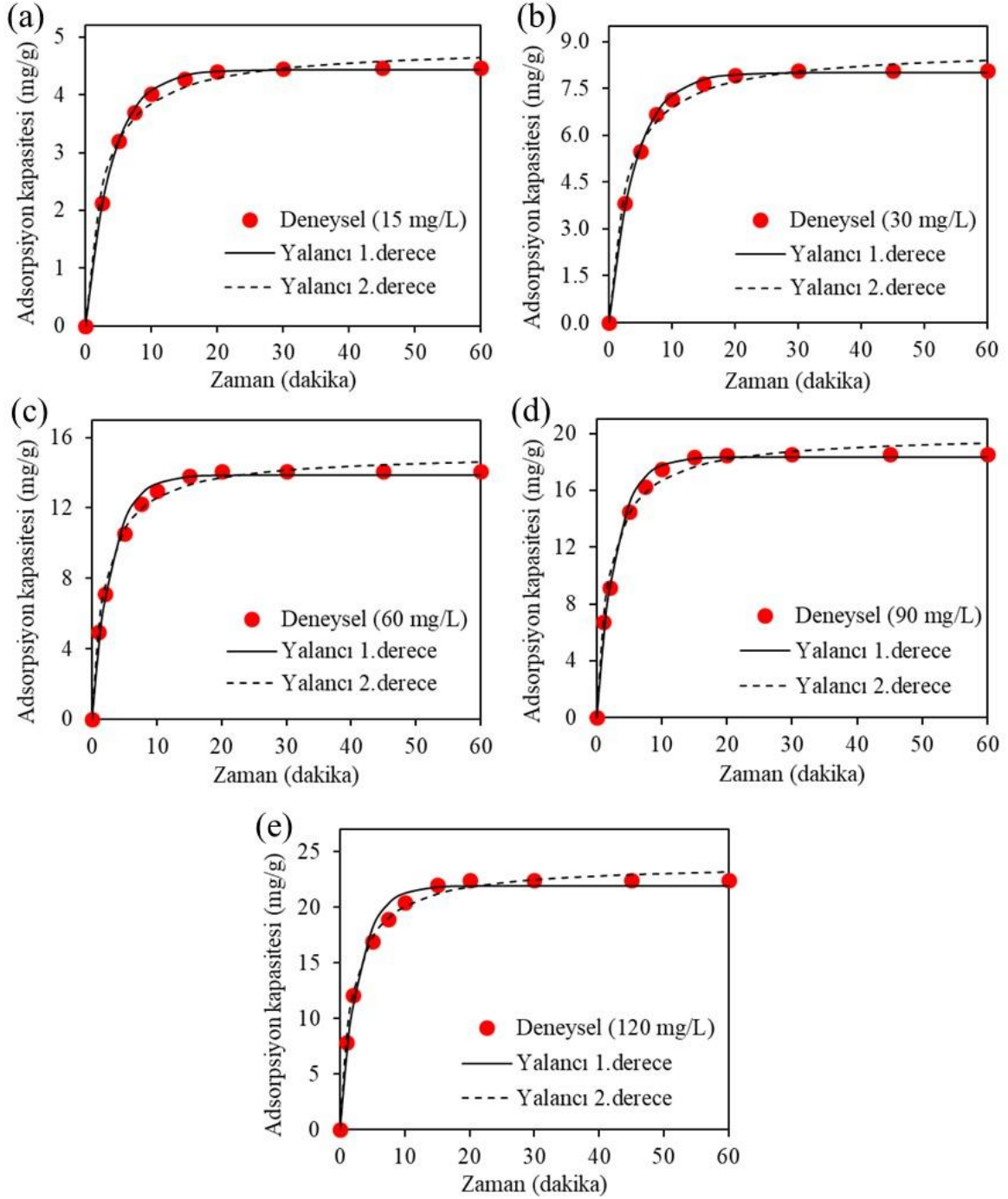
$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (5)$$

burada k_1 yalancı birinci dereceden kinetik model için hız sabitini (1/dakika); k_2 yalancı ikinci dereceden kinetik model için hız sabitini (g/mg/dakika); q_t ve q_e ise sırasıyla t zamanındaki ve dengede ki amonyum değişim kapasitesini (mg/g) temsil etmektedir.

Bu kinetik modellerin doğrusal formlarının kullanılan verilere bağlı olarak hatalı sonuçlara ve dolayısıyla yanlış kararlara neden olduğu ve doğrusal olmayan formlarının, deneysel verilerin uyumu için doğrusal formlarından daha iyi sonuçlar verdiği literatürde belirtilmiştir (Lima ve ark., 2015; Lin ve Wang, 2009; Simonin, 2016). Bu nedenle maksimum (dengede ki) iyon değiştirme kapasitesi ve hız sabiti değerleri doğrusal olmayan yöntem kullanılarak elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Şekil 6’da farklı başlangıç amonyum konsantrasyonlarının Purolite SSTC60 iyon değiştirici reçine kullanılarak amonyumun giderimi için doğrusal olmayan yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece kinetik modellerinin deneysel ve tahmin edilen sonuçlarını göstermektedir. Elde edilen verilerden yalancı birinci derece kinetik model ile yalancı ikinci derece kinetik modelin her ikisi de yüksek R² değerine sahiptir. Ancak, dengedeki iyon değiştirme kapasiteleri incelendiğinde yalancı birinci derece kinetik model için hesaplanan değerler, deneysel değerler ile daha uyumlu olduğu sonucuna varılabilir. Yalancı ikinci dereceden kinetik model ile elde edilen q_e değerleri ise deneysel sonuçlardan elde edilen değerlerden her zaman daha yüksektir. Şekil 6 incelendiğinde başlangıç amonyum konsantrasyonunun değişimine bağlı olarak 60 dakika sonunda sistemin kararlı halde olduğu görülmektedir. Bu nedenle yalancı birinci derece kinetik modelin amonyumun Purolite SSTC60 reçinesini ile iyon değişimini daha iyi tanımladığı söylenebilir.

3.7. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi adsorbat ve adsorbent arasındaki etkileşimi göstermek için kullanılır (Değermenci ve ark., 2019). Başlangıç amonyum konsantrasyonu ile denge adsorpsiyon kapasitesi arasındaki ilişki, adsorpsiyon izoterm modelleri kullanılarak incelenmiştir. İyon değiştirici reçine ile amonyum arasındaki etkileşimi araştırmak için kesikli deneylerden elde edilen sonuçlar ile adsorpsiyon dengesi çalışmaları yapılmıştır. Yaygın olarak kullanılan Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri adsorpsiyon izotermi yorumlamak için kullanılmıştır.



Şekil 6. Farklı başlangıç amonyum konsantrasyonlarının da (a) 15 mg/L, (b) 30 mg/L, (c) 60 mg/L, (d) 90 mg/L ve (e) 120 mg/L lineer olmayan yöntemle hesaplanan yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece reaksiyon kinetikleri (DeneySEL şartlar: Karıştırma hızı= 500 rpm, T= 20°C, Başlangıç pH= 7, Reçine dozajı= 3 g/L)

Tablo 2. Yalancı birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden kinetik model sabitleri

C ₀ (mg/L)	q _{e, deney} (mg/g)	Yalancı birinci derece kinetik			Yalancı ikinci derece kinetik		
		k ₁ (1/dakika)	q _{e, hesap} (mg/g)	R ²	k ₂ (g/mg/dakika)	q _{e, hesap} (mg/g)	R ²
15	4.47	0.2516	4.43	0.9991	0.0793	4.85	0.9904
30	8.07	0.2400	8.00	0.9984	0.0412	8.79	0.9911
60	14.1	0.3344	13.9	0.9899	0.0327	15.1	0.9941
90	18.6	0.3457	18.3	0.9922	0.0256	20.0	0.9919
120	22.4	0.3504	21.9	0.9851	0.0216	23.9	0.9958

Langmuir izoterm modeli adsorpsiyonun homojen adsorbent yüzeyinde meydana geldiğini ve adsorbat molekülleri arasında etkileşim olmadığını varsaymaktadır. Bu modele göre adsorbent üzerinde sadece tek tabakalı adsorpsiyon vardır (Langmuir, 1918; Tran ve ark., 2017). Bu tür tek tabakalı adsorpsiyon işlemi sınırlı sayıda benzer bölgeye sahip adsorbent yüzeyinde gerçekleşir. Langmuir izoterm modelinin doğrusal olmayan formu Eşitlik 6 ile ifade edilir:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (6)$$

burada q_m (mg/g) ve K_L (L/mg) sırasıyla adsorpsiyon kapasitesi ve adsorpsiyon enerjisi (adsorban ve adsorbat arasındaki afinite) ile ilgili Langmuir sabitidir.

Freundlich izoterm modeli, heterojen bir yüzey için denge verilerini ve adsorpsiyon özelliklerini tanımlamak için kullanılan en eski ampirik denklemlerden biridir. Freundlich izoterm modeli adsorpsiyonun farklı adsorpsiyon enerjisine sahip bölgelerde heterojen yüzeyde meydana geldiğini varsayar (Freundlich, 1906; Tran ve ark., 2017). Freundlich izoterm modelinin doğrusal olmayan formu eşitlik 7 ile ifade edilebilir:

$$q_e = K_F C_e^n \quad (7)$$

burada K_F Freundlich sabitini n ise yüzey heterojenliğini veya adsorpsiyon yoğunluğunu ifade etmektedir. Freundlich teorisine göre, adsorpsiyon izotermi $n = 1$ olduğunda doğrusal, $n < 1$ olduğunda uygun ve $n > 1$ olduğunda elverişsiz hale gelir.

Langmuir ve Freundlich sabitleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir. Denge konsantrasyonuna karşılık hesaplanan denge adsorpsiyon kapasitelerinin uyumu karşılaştırıldığında, yüksek determinasyon katsayısı (R^2) amonyumun adsorpsiyonu için Langmuir izoterm modelinden ziyade Freundlich izoterm modelinin daha uygun olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, reçine üzerinde amonyum iyonlarının çok katmanlı adsorpsiyon ile karakterize edildiğini ve yüzeylerinin heterojen olduğunu gösterir. Reçinenin tek tabakalı (Langmuir) adsorpsiyon kapasitesi (q_m) ise 27.49 mg/g olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Langmuir ve Freundlich izoterm parametreleri

İzoterm	Parametreler	Değerler
Langmuir	q_m (mg/g)	27.49
	K_L (L/mg)	0.068
	R^2	0.975
Freundlich	K_F [(mg/g)/(mg/L) ⁿ]	3.699
	n	0.456
	R^2	0.999

4. Sonuç

İyon değiştirici reçine (Purolite SSTC60) kullanılarak sulu çözeltilerden amonyum giderimi gerçekleştirilmiştir. İyon değiştirici reçine kullanarak amonyum gideriminde başlangıç pH değeri, karıştırma hızı, reçine dozajı, başlangıç amonyum konsantrasyonu ve sıcaklığın amonyum giderimi üzerine etkileri sistematik olarak araştırılmıştır. Amonyum giderimi pH değerine büyük oranda bağlıdır ve en yüksek amonyum giderimi pH 7'de gerçekleştirilmiştir. Amonyum giderim hızları karıştırma hızı, sıcaklık ve reçine dozajının artması ile artarken başlangıç amonyum konsantrasyonunun artışı ile azalmıştır. 30 mg/L

amonyum konsantrasyonunda reçine dozajı 3 g/L, başlangıç pH'ı 7, karıştırma hızı 500 rpm ve sıcaklık 20°C için %80.7 amonyum giderimi elde edilmiştir. Aynı şartlarda reçine dozajının 6 g/L'ye artırılması ile amonyum giderim verimi de artarak %88.7 olmuştur. Kinetik modellerin doğrusal formlarının analizinde veri sayılarının yetersizliği nedeniyle hatalı sonuçlara ve dolayısıyla yanlış kararlara neden olduğundan dolayı doğrusal olmayan formları kullanılmış ve yalancı birinci derece kinetik modelin amonyum giderimini daha iyi yansıttığı ortaya koyulmuştur. Adsorpsiyon verilerinin Langmuir izoterm modelinden ziyade Freundlich modeline uyduğu belirlenmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "KÜ-BAP01/2017-40" kodlu proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Alshameri, A., Ibrahim, A., Assabri, A.M., Lei, X., Wang, H., & Yan, C. (2014). The investigation into the ammonium removal performance of Yemeni natural zeolite: Modification, ion exchange mechanism, and thermodynamics. *Powder Technology*, 258, 20–31.
- Aşçi, B., Kövenç, E., Arar, Ö., & Arda, M. (2018). Kinetic, isotherm and thermodynamic investigations of nitrite (NO₂-) removal from water by anion exchange resins. *Global Nest Journal*, 20, 368–372.
- Awual, M.R., & Jyo, A. (2011). Assessing of phosphorus removal by polymeric anion exchangers. *Desalination*, 281, 111–117.
- Aydin, Ö., Özmetin, C., Korkmaz, M., & Fil, B.A. (2017). A semiempirical kinetic model for removal of iron (Fe³⁺) from saturated boric acid solution by ion exchange using amberlite IR-120 resin. *Particulate Science and Technology*, 35, 505–511.
- Bahmani, M., Dashtian, K., Mowla, D., Esmailzadeh, F., & Ghaedi, M. (2020). UiO-66(Ti)-Fe₃O₄-WO₃ photocatalyst for efficient ammonia degradation from wastewater into continuous flow-loop thin film slurry flat-plate photoreactor. *Journal Hazardous Materials*, 393, 122360.
- Bashir, M.J.K., Aziz, H.A., Yusoff, M.S., & Adlan, M.N. (2010). Application of response surface methodology (RSM) for optimization of ammoniacal nitrogen removal from semi-aerobic landfill leachate using ion exchange resin. *Desalination*, 254, 154–161.
- Bermejo, M.D., Cantero, F., & Cocero, M.J. (2008). Supercritical water oxidation of feeds with high ammonia concentrations. Pilot plant experimental results and modeling. *Chemical Engineering Journal*, 137, 542–549.
- Bingul, Z., Gurbuz, H., Aslan, A., & Ercisli, S. (2016). Biosorption of zinc(II) from aqueous solutions by nonliving lichen biomass of xanthoria parietina (L.) Th. Fr. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(12).
- Blanchard, G., Maunaye, M., & Martin, G. (1984). Removal of heavy metals from waters by means of natural zeolites. *Water Research*, 18, 1501–1507.
- Bonmatí, A., & Flotats, X. (2003). Air stripping of ammonia from pig slurry: Characterisation and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion. *Waste Management*, 23, 261–272.

- Caetano, M., Valderrama, C., Farran, A., & Cortina, J.L. (2009). Phenol removal from aqueous solution by adsorption and ion exchange mechanisms onto polymeric resins. *Journal of Colloid and Interface Science*, 338, 402–409.
- Carrera, J., Baeza, J.A., Vicent, T., & Lafuente, J. (2003). Biological nitrogen removal of high-strength ammonium industrial wastewater with two-sludge system. *Water Research*, 37, 4211–4221.
- Cheng, P., Chen, D., Liu, H., Zou, X., Wu, Z., Xie, J., Qing, C., Kong, D., & Chen, T. (2018). Synergetic effects of anhydrite and brucite-periclase materials on phosphate removal from aqueous solution. *Journal of Molecular Liquids*, 254, 145–153.
- Chung, S., Chung, J., & Chung, C. (2020). Enhanced electrochemical oxidation process with hydrogen peroxide pretreatment for removal of high strength ammonia from semiconductor wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101425.
- Darracq, G., Baron, J., & Joyeux, M. (2014). Kinetic and isotherm studies on perchlorate sorption by ion-exchange resins in drinking water treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 3, 123–131.
- Değermenci, G.D., Değermenci, N., Ayvaoğlu, V., Durmaz, E., Çakır, D., & Akan, E. (2019). Adsorption of reactive dyes on lignocellulosic waste; characterization, equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Cleaner Production*, 225, 1220-1229.
- Değermenci, N., Ata, O.N., & Yildiz, E. (2012). Ammonia removal by air stripping in a semi-batch jet loop reactor. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18, 399–404.
- Ding, Y., & Sartaj, M. (2016). Optimization of ammonia removal by ion-exchange resin using response surface methodology. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13, 985–994.
- Freundlich, H. (1907). Über die adsorption in lösungen. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 57, 385-470.
- Hazwani-Oslan, S.N., Tan, J.S., Saad, M.Z., Halim, M., & Ariff, A.B. (2017). Improved cultivation of *gdhA* derivative *Pasteurella multocida* B:2 for high density of viable cells through in situ ammonium removal using cation-exchange resin for use as animal vaccine. *Process Biochemistry*, 56, 1–7.
- Jorgensen, T.C., & Weatherley, L.R. (2006). Continuous removal of ammonium ion by ion exchange in the presence of organic compounds in packed columns. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81, 1151–1158.
- Kalaruban, M., Loganathan, P., Shim, W.G., Kandasamy, J., Naidu, G., Nguyen, T.V., & Vigneswaran, S. (2016). Removing nitrate from water using iron-modified Dowex 21K XLT ion exchange resin: Batch and fluidised-bed adsorption studies. *Separation and Purification Technology*, 158, 62–70.
- Korkmaz, M., Özmetin, C., & Fil, B.A. (2016). Modelling of Boron Removal from Solutions Using Purolite S 108 in a Batch Reactor. *Clean - Soil Air Water*, 44, 949–958.
- Körner, S., Das, S.K., Veenstra, S., & Vermaat, J.E. (2001). The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemna gibba*. *Aquatic Botany*, 71, 71–78.
- Lagergren, S.K. (1898). About the theory of so-called adsorption of soluble substances. *Kungliga Svenska Vetenskaps akademiens Handlingar*, 24, 1–39.
- Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, 40, 1361-1403.
- Lima, É. C., Adebayo, M. A., & Machado, F. M. (2015). Kinetic and equilibrium models of adsorption. In *Carbon nanomaterials as adsorbents for environmental and biological applications* (pp. 33-69). Springer, Cham.
- Lin, J., & Wang, L. (2009). Comparison between linear and non-linear forms of pseudo-first-order and pseudo-second-order adsorption kinetic models for the removal of methylene blue by activated carbon. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 3, 320–324.
- Lin, L.C., & Juang, R.S. (2007). Ion-exchange kinetics of Cu(II) and Zn(II) from aqueous solutions with two chelating resins. *Chemical Engineering Journal*, 132, 205–213.
- Liu, R., Chi, L., Wang, X., Sui, Y., Wang, Y., & Arandiyan, H. (2018). Review of metal (hydr)oxide and other adsorptive materials for phosphate removal from water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, 5269–5286.
- Mondor, M., Masse, L., Ippersiel, D., Lamarche, F., & Massé, D.I. (2008). Use of electro dialysis and reverse osmosis for the recovery and concentration of ammonia from swine manure. *Bioresource Technology*, 99, 7363–7368.
- Nur, T., Shim, W.G., Loganathan, P., Vigneswaran, S., & Kandasamy, J. (2015). Nitrate removal using Purolite A520E ion exchange resin: batch and fixed-bed column adsorption modelling. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, 1311–1320.
- Paul Chen, J., Chua, M.L., & Zhang, B. (2002). Effects of competitive ions, humic acid, and pH on removal of ammonium and phosphorous from the synthetic industrial effluent by ion exchange resins. *Waste Management*, 22, 711–719.
- Saltali, K., Sari, A., & Aydin, M. (2007). Removal of ammonium ion from aqueous solution by natural Turkish (Yıldızeli) zeolite for environmental quality. *Journal Hazardous Materials*, 141, 258–263.
- 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.
- Taşdemir, A., Cengiz, İ., Yildiz, E., & Bayhan, Y.K. (2020). Investigation of ammonia stripping with a hydrodynamic cavitation reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*, 60, 104741.
- Tran, H.N., You, S.J., Hosseini-Bandegharai, A., & Chao, H.P. (2017). Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: a critical review. *Water Research*, 120, 88-116.
- Uludag-Demirer, S., Demirer, G.N., & Chen, S. (2005). Ammonia removal from anaerobically digested dairy manure by struvite precipitation. *Process Biochemistry*, 40, 3667–3674.
- Victor-Ortega, M.D., Ochando-Pulido, J.M., & Martínez-Ferez, A. (2016). Thermodynamic and kinetic studies on iron removal by means of a novel strong-acid cation exchange resin for olive mill effluent reclamation. *Ecological Engineering*, 86, 53–59.
- Wen, Z., Huang, K., Niu, Y., Yao, Y., Wang, S., Cao, Z., & Zhong, H. (2019). Kinetic study of ultrasonic-assisted uranium adsorption by anion exchange resin. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 585, 124021.



K-Ortalamlar Kümeleme Yöntemi İçin Çift K Başlatma Algoritması

Aziz Mahmut Yücelen^{1*}, Abdullah Baykal²

^{1*} Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Diyarbakır, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7160-6614), ayucelen@msn.com

² Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8011-024X), baykal.abdullah@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 22 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 28 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.866830)

ATIF/REFERENCE: Yücelen, A. M., Baykal, A. (2021). K-Ortalamlar Kümeleme Yöntemi İçin Çift K Başlatma Algoritması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 280-287.

Öz

Veri madenciliğinin en dikkat çekici konularından biri olan kümeleme yöntemleri, bu alanın en yoğun araştırma sahası olup kümeleme üzerine bir çok teknik ve bağlı yöntemler bulunmaktadır. Bu alandaki çalışmaların bir kısmı daha önce mevcut olan algoritmaların güncellenmesiyle elde edilmiş ve performansları değerlendirilmiştir. Kümelemenin en çok ilgi duyulan konusu K-Ortalamlar yöntemidir. K-Ortalamlar algoritması her çalıştırıldığında, başlangıç merkezlerinin rastgele seçilmesi nedeniyle farklı küme çıktıları döndürür. Bu nedenle, sonuçların güvenilirliği olumsuz etkilenir ve kümeleme doğruluğu için yineleme sayısı artar. Bu yöntemin doğruluğunu arttırmaya çalışan yöntemlerden biri de K-Ortalamlar++ yöntemidir. Bu çalışmada K-Ortalamlar algoritmasının başarısının artırılması hedeflenmiştir. Sentetik veri kümesine çift k olarak adlandırdığımız önerilen yöntem uygulanmıştır. Çift k yönteminin, nihai kümeleme etiketlerini bulmada K-Ortalamlar ve K-Ortalamlar++ yöntemine göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Veri Madenciliği, Kümeleme, Başlangıç Ağırlık Merkezleri, K-Ortalamlar, K-Ortalamlar++.

Double K Initializing Algorithm For K-Means Clustering Method

Abstract

Clustering methods which is one of the most striking subjects of data mining are the most intensive research area of this field and there are many techniques and related methods on it. Some of the studies in this field have been obtained by updating the algorithms previously available and their performance has been evaluated. The most interesting topic of clustering techniques is K-Means method. Every initializing of K-Means algorithm return different cluster outputs because of random selection of the initial centers. Therefore, the reliability of the results is adversely affected and the number of iterations increase for clustering accuracy. One of the methods that tries to increase accuracy of this method is the k-means ++ method. In this study, it was aimed to increase the success of the K-means algorithm. The proposed method that we called double k was applied to synthetic dataset. It has been observed that double k method is more successful in finding final clustering labels than the K-Means and K-Means++ methods.

Keywords: Data Mining, Clustering, Initial Centroids, K-Means, K-Means++

* Sorumlu Yazar: ayucelen@msn.com

1. Giriş

Veri madenciliği, ilerleyen teknolojik gelişmeler doğrultusunda artan veriler açısından her geçen gün ihtiyacın hissedildiği bir alan olmaktadır. Tıbbi görüntüleme ve teşhis alanındaki çalışmalardan otonom araç altyapısına, biyolojiden finansal uygulamalara kadar görüntü, sinyal ve veri işleme adına birçok disiplin tarafından sıkça kullanılan bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Veri madenciliği temel olarak veri yığınlarından anlamlı bilgiler çıkarmayı esas alır ve çıkarılacak sonuçlar bir çok disiplin tarafından anlamlandırılarak teknolojiye katkı sunar. Yığınlardan kullanışlı bilgilerin ortaya çıkarılması için birçok teknik ve yöntem bulunmaktadır. Her teknik, işlenmesi gereken verilerin türüne uygun olarak seçilir. Kullanılan bu tekniklerden biri de kümelemedir.

Kümeleme, tanım olarak bu alanda çalışan araştırmacılar tarafından değişik şekillerde ifade edilse de temel olarak herhangi bir anlamsız ham veri kümesinin, uygun istatistiksel kriterler, benzerlik ve benzemezlik ölçütleri ile önceden belirlenmiş sayıda veri gruplarına ayrılması işlemi olarak tanımlanabilir. Bir anlamda, bir dizi benzer nesneyi aynı gruplara ve benzer olmayan nesnelere farklı gruplara parçalama tekniği olarak kullanılır [1]. Böylece işlemin kendisi, belirli bir benzerlik kriterine göre bir uzay içinde bulunan bir kümeye ait parçalanmayı kapsar [2]. Bu haliyle veri nesnelere ait örüntülerin gruplara gözetimsiz yani etiketsiz bir sınıflandırması da gerçekleştirilmektedir [3]. Birçok branştan araştırmacı, kümeleme probleminin güçlüklerini ortadan kaldırmak için yeni yöntemler ve eniyilemeler geliştirmektedir. Ham yığınlar içindeki nesnelere yoğunlukları diğer bölgelerde bulunanlara göre yerel veya global olarak daha yüksek veya düşük olabilir [4]. Bu alandaki çalışmalarda temel hedef üretilen sonuçlarda yerel minimumdan çok, global minimuma erişmektir. Kümeleme, birçok disiplinde kullanılan makine öğrenmesi, istatistik, veri madenciliği ve örüntü tanıma gibi birçok alanda bilginin ortaya çıkarılmasına zemin oluşturmuştur [5]. Mühendislikte makina öğrenmesi, örüntü tanıma, biyometrik tanıma ve sinyal analizi, bilgisayar bilimlerinde görüntü segmentasyonu ve veri analizi, tıbbi bilimlerde gen ve protein tanımlanması, hastalık teşhis ve tedavisinde, yer bilimleri ve astronomi bilimlerinin gezegen ve yıldız keşiflerinde, finans ve ekonomi bilimlerinde müşteri ve firma profillerinin çıkarılması gibi alanlara ek olarak sosyoloji, arkeoloji ve psikoloji gibi alanlarda da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [6]. Kümeleme alanında başlangıçta biri birinden bağımsız çalışmaların olması ve biri birinden habersiz benzer algoritmalar geliştirilmesine rağmen son zamanlarda bu çalışma alanı oldukça popüler olmaktadır.

Kümeleme teknikleri içinde kullanılan yöntemlerden biri de K-Ortalamlar (KO) yöntemidir. Etkili bir algoritma olup düşük boyutlu ve büyük veri kümelerinde çalışan birçok uygulamada kullanılır [7]. Mac Queen [11] tarafından geliştirilen en çok kullanılan kümeleme algoritmaları içinde klasik olanlardan biridir [8]. KO, kümelemenin gözetimsiz öğrenme işlevini yerine getirmenin yanı sıra sıkça kullanılmaktadır [9][10]. Zaman karmaşıklığı düşük olduğundan dolayı programlanması oldukça kolay olan ve temel olarak kümeleme içi varyansların düşük tutulduğu etkili kümelemeler oluşturabilmektedir [11]. Karmaşıklık kavramı olarak, yöntemine ait algoritmanın çalışma süresi ve üzerinde çalıştırılan bilgisayarda kullandığı hafıza kaynağı olarak ifade edilmektedir. KO yöntemi de, zaman karmaşıklığının düşük olduğu algoritmalar arasında yer

almaktadır. Farklı kümeleme algoritmaları arasında basitliği nedeniyle popüler olarak kabul edilir ancak algoritmadan elde edilen sonuç, ilk ağırlık merkezi seçimine oldukça duyarlıdır. Sonuç olarak, KO algoritmasında başlangıç ağırlık merkezlerinin seçimi, doğruluk ve verimlilikte önemli bir rol oynar [1]. Bu nedenle en iyi sonucun elde edilmesi için 20 defa rastgele başlangıç ile çalıştırması önerilir [12]. Temel bileşenler analizi kullanılarak veri kümeleri üzerinde yapılan boyut azaltma işlemi yöntemdeki başarıyı olumlu yönde etkileyebilmektedir [9]. Sonuç olarak KO algoritması doğruluğu garanti etmese de hız açısından oldukça tatmin edicidir [13]. KO algoritmasının doğruluğunu arttırmaya yönelik çalışmalardan biri de Arthur ve Vassilvitskii (2006) [13] tarafından önerilen KO++ yöntemidir. KO++'da, KO yönteminin başlangıç ağırlık merkezi seçimi için olasılık temelli bir yöntem kullanılmıştır [39]. Bu çalışmada, istenen kümeleme sayısının iki katı ile işlem yapıldığından dolayı 'Çift K' (ÇK) olarak adlandırılmış ve sentetik veri kümesi üzerinde k-ortalama++ yöntemini de kullanan bir dizi işlemle sonuna nihai ağırlık merkezleri elde edilmiştir. Bu nihai ağırlık merkezleri ile KO yöntemi çalıştırılmış ve yöntemin KO (rasgele) ve KO++ yöntemlerine göre etiketleme ve toplam karesel hata açısından başarısı incelenmiştir. Kümeleme ölçümleri ile ÇK yönteminin daha başarılı olduğu görülmüş ve elde edilen bulgular çalışmada sunulmuştur.

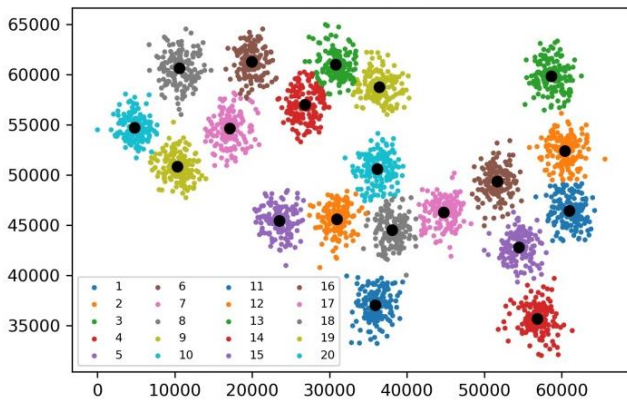
2. Materyal ve Metot

KO yöntemi, Jain'e [34] göre birbirinden bağımsız olarak farklı zamanlarda çok benzer yöntemler kullanılarak Lloyd [14] ve MacQueen [11] tarafından keşfedilmiş olup, günümüzde en yaygın kullanılan bir yöntemdir. Astrahan [2] konuşma dalga formu verilerindeki bir ifadeyi bölümlere ayırmak için her bir kümelemeye ait başlangıç ağırlık merkezi seçiminin rasgele olması yerine en yakın komşuluk yoğunluğuna dayalı olan bir KO yöntemi önermiştir. Lloyd [14] en küçük kareler ile kuantalama işleminde kullanılmak üzere bir ilkendirme yöntemi önermiştir. Bu yöntemde göre ilkendirme, verinin rasgele bir alt kümesi üzerinde belirli bir "K" parametresi için KO yönteminin çalıştırılarak elde edilir. Bu algoritma N kez rasgele alt küme üzerinde KO uygulanarak çalıştırılır ve sonuç olarak N*K tane veri son giriş verisi olarak kullanılarak nihai kümeleme merkezleri elde edilmiş olunur. Katsavounidis ve ark. [15] genelleştirilmiş Lloyd [14] algoritmasından daha iyi bir yerel minimum elde edebilecek iyi bir başlangıç kümeleme elde etmek için bir ilkendirme yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemde göre N tane başlangıç vektörü elde etmek üzere ilk vektör veri kümesinin kenarından seçilir, ardından bu vektöre en uzak mesafedeki vektör ikinci vektör olur. Bu şekilde istenilen N vektör elde edilene kadar iterasyonel olarak devam edilir. Bradley ve Fayyad [16] KO benzeri tekniklerin başlangıç koşullarına olan hassasiyeti ortadan kaldırmayı hedeflemişlerdir. Buna yönelik olarak, verilen bir başlangıç koşulundan rafine bir başlangıç koşulunu hesaplayan bir yöntem önermişlerdir. Bu önerilen yöntem ile elde edilen rafine başlangıç şartları, algoritmalarının yerel minimumların en iyisine yakınsamasını sağlayarak KO kümeleme yöntemine ait çözümleri iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Likas ve ark. [17] k-ortalamlar yönteminin kronik başlangıç noktalarına bağımlı olma problemini ortadan kaldırmak için başlangıç noktalarından bağımsız olan ve "global k-means (GKM)" olarak adlandırdıkları yöntemlerini önermişlerdir. Gan ve ark. [18], Xie ve ark. [19], Beigi [20], Agrawal ve ark. [21] belirlenimci olmayan GKM yönteminin başlangıç şartlarından bağımsız bir yöntem olarak kümeleme

problemine bir çözüm olduğunu ancak zaman karmaşıklığından dolayı orta ve büyük ölçekli veriler için uygulanabilir olmadığını bildirmişlerdir. Redmond ve Heneghan [5] KO kümeleme algoritmasının başlangıç merkez noktalarını belirlemek için verilerin yoğunluk tahminini gerçekleştirmek üzere bir kd-ağacının kullanıldığı bir yöntem önermişlerdir. Rani ve Parthipan [22] KO algoritmasının başlangıç ağırlık merkezi noktalarının belirlenmesinde, geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu (IPSO - Improved Particle Swarm Optimization) olarak adlandırdıkları yöntemlerini önermişlerdir. Önerilen bu yöntem ile, bilinen KO algoritmasına göre daha doğru sonuçlar üreten çözümler sağlandığını bildirmişlerdir. Li ve ark. [23] verileri sınıflandırmak için kısaca AKM (Adaptive KMeans) olarak adlandırdıkları ve kümeleme sayısının otomatik belirlendiği KO temelli yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde KO yönteminin başlangıç şartları probleminden dolayı kısaca KMRIC (K-Means Refined Initial Centers) olarak adlandırdıkları ve KO algoritmasının başlangıç merkezini seçimini güçlendirecek, Bradley ve Fayyad'ın [16] çalışmasında kullandıkları yöntemle benzer bir yöntem kullanmışlardır. Zahra ve ark. [8] KO kümeleme tabanlı bir öneri algoritması önermişlerdir. Yöntemin ağırlık merkezlerinin rasgele seçildiği, bilinen ağırlık merkezi seçim yöntemlerine göre daha iyi doğruluk ve performans gösterdiğini ve bu yöntem ile var olan yaklaşımlardan daha iyi kümeleme ve hızlı yakınsaklık elde edilmesine ek olarak sağlanan tavsiyenin doğruluğunun arttığını bildirmişlerdir. KO işlem olarak öklid uzaklığının karesini kullandığından dolayı her bir kümeleme merkezlerine uzak olan gürültülü verilerin, yöntemin ürettiği sonuç üzerinde etkisi oldukça fazladır. Bu da yöntemin gürültülü verilere karşı yüksek bir hassasiyeti olduğunu göstermektedir [24]. Her ne kadar KO++ yöntemi KO yöntemini güçlendirse de istenilen seviyede değildir.

2.1. Veri Kümesi

Önerilen yöntemde Şekil 1.'de gösterilen, kümeleme problemine yönelik Kärkkäinen ve Fränti'nin [25] geliştirdikleri algoritmanın testi için kullandıkları sentetik 'A' veri kümesi grubu içinden iki boyutlu (d=2) ve 3000 (N) veri noktasından oluşan 'A1' veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümesi, 20 kümelemeli (k=20) olup her bir kümelemede 150 veri noktası bulunmaktadır.



Şekil 1. A1 veri kümesi ve hesaplanmış ağırlık merkez noktaları

2.2. İstatistiksel Kümeleme Başarı Ölçümleri

Her bir sınıflandırma yönteminde, algoritma çıktılarının değerlendirilmesi için sınıflandırmanın doğruluğunun ölçülmesi

gerekmektedir. Böylece harici kıstaslar ile sonuçlar arasındaki karşılaştırmanın bir ölçümü yapılabilir [29].Kümeleme bölümlerinin doğruluğu, oluşan kümelerin karşılaştırma veri kümesindeki sınıflarla ne derece eşleştiğinin ölçülmesiyle değerlendirilebilir [27].Geliştirilen yöntemler literatürde yerini alsada her bir yöntemin diğer yöntemlere göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Karşılıklı bilgi yöntemi (MI,) iki rasgele değişken arasındaki karşılıklı bağımlılığın olup olmadığının bir ölçüsünü verir. Buna göre eğer $MI(X,Y)=0$ ise X ve Y istatistiksel olarak bağımsızdır yani Y'de X'e dair herhangi bir bilgi yoktur [30][31]. Makine öğrenmesinde ise kümeleme ve sınıflama alanında, veri kümelerindeki farklı bölümlere veya etiketlemelerin benzerliğinin ölçümünde oldukça sık kullanılan bir yöntemdir [32]. Rand [26], iki farklı kümelemenin benzerliğin ölçümüne dayalı ve Rand indeksi olarak adlandırılan bir yöntem önermiştir. Campello'ya [27] göre Rand indeksi(RI), aynı veri kümesine bir kümeleme veya sınıflandırma yöntemi uygulanmasıyla elde edilen farklı etiketlemelerin başarı karşılaştırma ve değerlendirilmesi için genel bir kıstas tanımlamaktadır. Düzeltilmiş Rand İndeksi (ARI), bir kümeleme ve dışarıdan bir yöntem ile belirlenen kıstaslar tarafından oluşturulan iki bölümlere arasındaki benzerliğin ölçüsü olarak kümeleme doğrulama işlemlerinde sıklıkla kullanılır [28]. Bu çalışmada, önerilen yöntemin ne derece başarılı olduğunun tespiti için kümeleme başarı ölçümünde kullanılan bilinen bu üç yöntem kullanılmıştır.

2.2.1. Karşılıklı Bilgi (Mutual Information - MI)

Newman ve ark.'a [32] göre MI'nin bazı eksiklikleri olsa da en yaygın kullanılan bir yöntemdir. Kökeni Shannon'nun [41] çalışmasına dayanan bu yöntem için X ve Y ayrık rasgele değişkenleri arasındaki karşılıklı bilgi, aşağıdaki şekilde tanımlanabilir [40].

Tanım: X,Y $x_i \in U_X$ ve $y_j \in V_Y$ olacak şekilde iki rasgele değişken, $P(X = x_i)$ ve $P(Y = y_j)$ marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu ve $P(X = x_i, Y = y_j)$ ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu olmak üzere, X,Y rasgele değişkenleri ile gösterilen iki örüntü arasındaki Karşılıklı Bilgi (MI) ölçüsü;

$$MI(X, Y) = \sum_i \sum_j P(X = x_i, Y = y_j) \log \frac{P(X = x_i, Y = y_j)}{P(X = x_i)P(Y = y_j)}$$

olarak tanımlanır.

2.2.2. Rand İndeksi (RI)

Rand indeksi [26], sınıflandırılmış veriler için bir değerlendirme kriteridir ve sınıflandırmanın performansını ölçer [27]. Bu doğrultuda RI aşağıdaki şekilde tanımlanabilir [26][27][28].

Tanım: $H = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$, n elemanlı bir küme verilsin ve H kümesi, p ve q alt kümeyle bölümlensin. Bunlardan ilki $M_i = \{\exists h_k\}$ ($1 \leq i \leq p$ ve $1 \leq k \leq p$ için $\cup_k M_k = H$ ve $\cap_k M_k = \emptyset$) şeklindeki $M = \{M_1, M_2, \dots, M_p\}$ bölümlenmesi ve sonuncusu $R_i = \{\exists h_k\}$ ($1 \leq i \leq q$ ve $1 \leq k \leq q$ için $\cup_k R_k = H$ ve $\cap_k R_k = \emptyset$) şeklindeki $R = \{R_1, R_2, \dots, R_q\}$ bölümlenmesi olsun. $\forall i \neq j$ için $1 \leq i, j \leq n$, $\forall u \neq v$ için $1 \leq u, v \leq p$ ve $\forall z \neq s$ için $1 \leq z, s \leq q$ olmak üzere,

$$\tilde{H} = \{(h_i, h_j) | h_i, h_j \in M_u \wedge h_i, h_j \in R_z\} \text{ olmak üzere } a = |\tilde{H}|$$

$\check{H} = \{(h_i, h_j) | h_i \in M_u, h_j \in M_v \wedge h_i \in R_z, h_j \in R_s\}$ olmak üzere $b = |\check{H}|$

$\check{H} = \{(h_i, h_j) | h_i, h_j \in M_u \wedge h_i \in R_z, h_j \in R_s\}$ olmak üzere $c = |\check{H}|$

$\check{H} = \{(h_i, h_j) | h_i \in M_u, h_j \in M_v \wedge h_i, h_j \in R_z\}$ olmak üzere $d = |\check{H}|$

şeklindeki matematiksel a, b, c, d ifadeleri ile RI,

$$RI = \frac{a + b}{a + b + c + d} = \frac{a + b}{\binom{n}{2}} = \frac{a + b}{n(n-1)/2}$$

olarak tanımlanır.

Tanıma göre ‘a’ ifadesi, eleman çiftlerinden her bir elemanın her iki farklı bölümlerdeki aynı alt kümede bulunanların sayısını ve ‘b’ ifadesi, eleman çiftlerinden her bir elemanın farklı bölümlerlerdeki farklı alt kümelerde bulunanların sayısını ifade etmektedir. Ayrıca ‘c’ ifadesi, eleman çiftlerinden her bir elemanın ilk bölümlerde aynı ancak ikinci bölümlerde farklı alt kümelerde bulunanların sayısını ve son olarak ‘d’ ifadesi, eleman çiftlerinden her bir elemanın ilk bölümlerde farklı ancak ikinci bölümlerde aynı alt kümede bulunanların sayısını ifade etmektedir.

2.2.3. Düzeltilmiş Rand İndeksi (ARI)

Santos ve Embrechts’e [28] göre, Rand indeksinin geliştirilmiş bir versiyonu olan ve Hubert ve Arabie [33] tarafından önerilen Düzeltilmiş Rand İndeksi (ARI), bölümler arasındaki uyumu ölçer ve RI’nın sabit değerler almayan beklenen değerini [0,1] kapalı aralığına indirger. Santos ve Embrechts [28] ARI yöntemini aşağıdaki şekilde ifade etmiştir.

Tanım: $H = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$, n elemanlı bir küme verilsin. H kümesini r alt kümeye bölümlen U = $\{U_1, U_2, \dots, U_r\}$ ve c alt kümeye bölümlen V = $\{V_1, V_2, \dots, V_c\}$ kümeleri $U_i = H = U_{j=1}^c V_j$ ve $\bigcap_{i=1}^r U_i = \emptyset = \bigcap_{j=1}^c V_j$, $1 \leq i \leq r$ ve $1 \leq j \leq c$ özellikleri sağlayan iki bölümlenme olsun.

Tablo 1. U ve V bölümlenmelerinin karşılaştırmalarına ait uygunluk tablosu

U/V	v ₁	v ₂	...	v _c	Toplam
u ₁	y _{1 1}	y _{1 2}	...	y _{1 c}	p ₁
u ₂	y _{2 1}	y _{2 2}	...	y _{2 c}	p ₂
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
u _r	y _{r 1}	y _{r 2}	...	y _{r c}	p _r
Toplam	q ₁	q ₂	...	q _c	n

y_{t,k} ifadesi H kümesindeki her bir elemandan, U bölümlenmesinin hem t alt kümesinde ve hem de V bölümlenmesinin k alt kümesinde bulunan elemanların sayısını gösterebilir. Tablo 1. deki uygunluk tablosuna göre ARI,

$$ARI = \frac{\sum_{i,j} \binom{y_{ij}}{2} - \left[\sum_i \binom{p_i}{2} \cdot \sum_j \binom{q_j}{2} \right] / \binom{n}{2}}{\frac{1}{2} \left[\sum_i \binom{p_i}{2} + \sum_j \binom{q_j}{2} \right] - \left(\left[\sum_i \binom{p_i}{2} + \sum_j \binom{q_j}{2} \right] / \binom{n}{2} \right)}$$

denklemlerle tanımlanır.

2.3. K-Ortalamalar Yöntemi

$\forall x_i \in \mathbb{R}^n, i = 1 \dots n$ için $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$ bir küme ve $k \in \mathbb{Z}^+$ kümeleme sayısını gösterebilir. $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_k\}$, X kümesinin bir k kümelemesi, c_k ise C_k kümesinin denklem (1) ile ifade edilen ağırlık merkezi olsun. Denklem (2)’deki $\| \cdot \|$ ifadesi bu yöntemde en çok tercih edilen öklid normudur [38]. Öklid uzaklığının kullanıldığı toplam karesel hata fonksiyonu denklem (2)’de gösterildiği üzere ifade edilir [35].

$$c_k = \frac{\sum_{x_p \in C_k} x_p}{|C_k|} \quad (1)$$

$$TKH = \sum_{i=1}^K \sum_{x_p \in X} \|x_p - c_i\|^2 \quad (2)$$

Aggarwal ve Reddy [38] ve Han ve ark.’a [37] göre denklem (2)’yi minimize eden çözümler, denklem (1) de ifade edilen ağırlık merkezlerinin kendisi, yani kümedeki elemanların aritmetik ortalaması olup, her bir iterasyon monoton azalır ve nihayetinde yerel minimuma yakınsayacaktır. Yönteme ait algoritma Aggarwal ve Reddy[38] ve Bramer [36] tarafından şu şekilde özetlenmiştir.

1. X kümesi içinden rasgele k tane ağırlık merkez noktaları seçilir.
2. X kümesinin her bir elemanı, en yakın olduğu kümeleme merkezine göre, ilgili kümelemeye atanarak k tane kümeleme elde edilir.
3. Oluşan her bir kümelemenin yeni ağırlık merkezi hesaplanır.
4. Adım 2 ve 3 işlemleri ağırlık merkezleri değişmeyene kadar tekrarlanır.

2.4. K-Ortalamalar++ Yöntemi

Arthur ve Vassilvitskii (2006) [13] tarafından önerilen KO++ yöntemi, KO yönteminin kullanıldığı ve olasılık temelli bir yöntemdir [39]. $D(x)$, bir $x \in X$ noktasının en yakın ağırlık merkezine olan uzaklığını göstermek üzere Arthur ve Vassilvitskii (2006) [13] tarafından önerilen KO++ yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşur;

1. “k” tane seçilecek ağırlık merkezlerinden ilki olan c_1 , X kümesi içinden rasgele seçilir.
2. Geri kalan “k-1” ağırlık merkezi c_i ($1 \leq i \leq k-1$) olmak üzere, $\frac{D(\hat{x})^2}{\sum_{x \in X} D(x)^2}$ olasılıklı $\hat{x} \in X / \{c_i\}$ için $c_i = \hat{x}$ şeklinde seçilir.
3. Adım 2, ‘k-1’ kez tekrarlanarak Adım 1’deki ağırlık merkezi ile birlikte toplamda ‘k’ adet başlangıç ağırlık merkezi noktası elde edilmiş olunur.

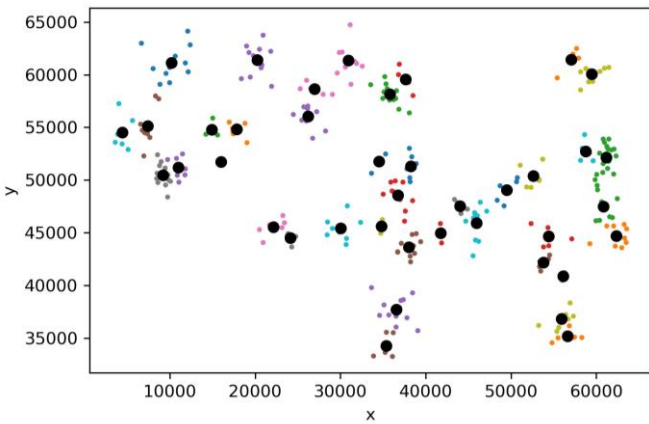
4. KO yöntemi, Adım 3 te elde edilen başlangıç ağırlık merkezleri ile başlatılarak nihai kümeleme ve kümeleme merkezlerine ulaşılır.

2.5. Önerilen Yöntem

$k \in \mathbb{Z}^+$ önceden seçilen kümeleme sayısı olmak üzere $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$, $|X| \geq 30 * k$ koşulunu sağlayan bir küme ve $\forall x_i \in \mathbb{R}^n$ olsun. Buna göre KO yöntemini başlatacak önerilen ağırlık merkezi elde etme algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. $Z \subset X$ ve $|Z| = |X|/10$ olacak şekilde rasgele Z örneklem kümesi seçilir.
2. Alınan Z örneklem kümesi üzerinde, kümeleme sayısı $2 * k$ seçilerek KO++ çalıştırılır ve $|Y| = 2 * k$ elemanlı nihai kümeleme merkez noktalarının kümesi olan $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_{2*k}\}$ elde edilir.
3. $\forall y_i \in Y$ için $Y/\{y_i\}$ kümesi üzerinde $\arg\min(d(y_i, y_j))$ indeksli eleman olan y_j bulunur ve yeni kümeleme merkez noktalarının kümesi olan $\check{Y} = Y/\{y_j\}$ elde edilir. Bu adım $|\check{Y}| = k$ olana kadar tekrarlanır.
4. Adım (3) teki kümeleme merkez noktalarının kümesi olan Y yerine yeni $Y = \check{Y}$ alınarak adım (3) işlemi, $|Y| = k$ olana kadar çalıştırılır.
5. Nihai kümeleme merkez noktalarının kümesi olan Y ile KO yöntemi başlatılarak kümeleme işlemi tamamlanır.

Çift k (ÇK) olarak adlandırdığımız önerilen yöntemin ilk adımında alınan örneklem ile amacı, yöntem içinde KO ve KO++ birer kez başlatıldığından dolayı işlem içerisindeki zaman karmaşıklığının azaltmaktır. Böylece KO ve KO++ yöntemleri Şekil 1 'deki veri kümesi üzerinde çalışmak yerine Şekil 2'deki seyreltilmiş veriler ile çalışarak daha kısa zamanda işlemi tamamlayabilmektedir. Bu çalışmaya ait algoritma, python programlama diliyle geliştirilmiştir. Python programlama dilinin numpy kütüphanesi, rasgele sayı üreteç algoritması olarak PCG64 üretici kullanılmaktadır. Önerilen yöntemin ilk adımında alınan örneklem kümesi, bu kütüphanenin üreteç algoritması kullanılarak elde edilmiştir.



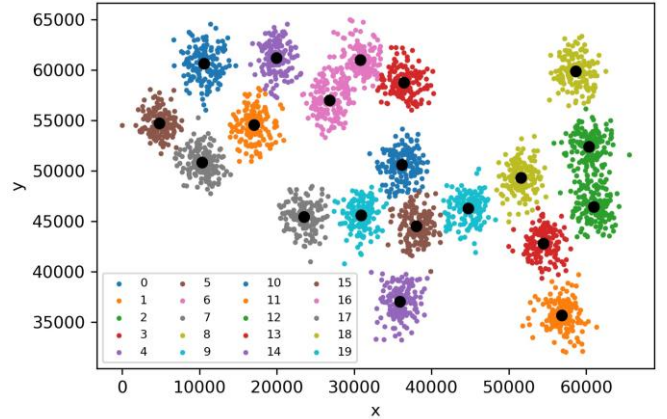
Şekil 2. Deneme 1'e ait 1. adım ve 2. adım çıktıları. (siyah noktalar üretilen ağırlık merkezlerini ve renkli noktalar ise örneklem verilerini göstermektedir)

Örneklem kümesi üzerinde kümeleme sayısı parametresinin 'k' yerine '2 * k' olarak seçilmesiyle KO++ yöntemi başlatılmış ve böylece seçilecek ağırlık merkezi noktalarının dağılımı artırılması hedeflenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

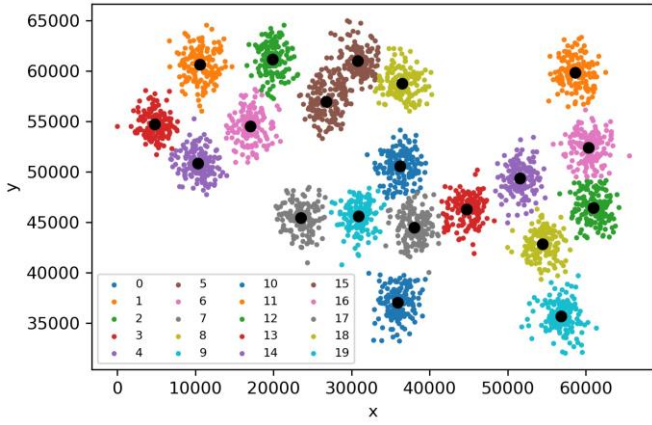
3.1. Bulgular

Şekil 1'deki A1 veri kümesine önceden hesaplanmış merkezler ile başlatılan KO algoritması uygulanmış, nihai TKH ve bölümeleme etiketleri, diğer yöntemler ve önerilen ÇK yöntem sonuçlarıyla karşılaştırmak üzere referans olarak alınmıştır. Buradaki "diğer yöntemler" ifadesi ile kastedilen, aynı veri kümesi üzerinde KO (rasgele) ve KO++ yöntemlerinin çalıştırılmasıdır. Referans yöntem dışındaki bu üç yöntem, aynı veri kümesine 5 kez uygulanmış, oluşan nihai bölümeleme etiketlerinin referans sonuçlara göre ölçümleri yapılmış ve buna bağlı olarak önerilen yöntem ile birlikte diğer yöntemlerin başarıları hesaplanmıştır. Bu ölçümlere ek olarak üç yöntemin TKH'larının, referans TKH ile olan yüzde bağıl hatası belirlenmiş ve tüm bu sonuçlar Tablo 2.'de gösterilmiştir. ÇK yönteminde KO++ ve KO yöntemleri birer kez olmak üzere KO yöntemi iki kez çalıştırıldığından dolayı, diğer yöntemler de iki kez farklı merkezler ile başlatılmış ve buna göre kıyaslama yapılmıştır.



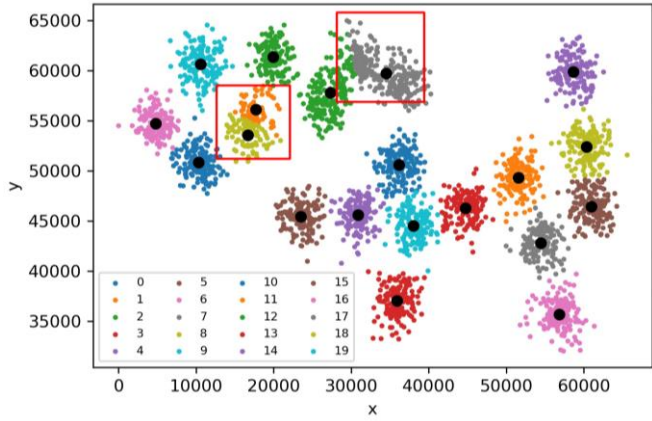
Şekil 3. Önerilen Yöntemin 1. Denemesi (% $\delta = 0,036$, $MI=2,990$, $RI=1,000$, $ARI=0,998$)

Şekil 3. ve Şekil 4.'te, önerilen yöntemin sırasıyla 1. ve 2. denemelerine ait sonuçları gösterilmektedir. ÇK yönteminin Tablo 2.'deki ölçüleri dikkate alındığında diğer yöntemlere göre, TKH anlamında yüzde bağıl hata düşük çıkarak ve etiketleme anlamında ise MI, RI ve ARI değerleri yüksek çıkarak, başarısının oldukça yüksek olduğu görülebilir.



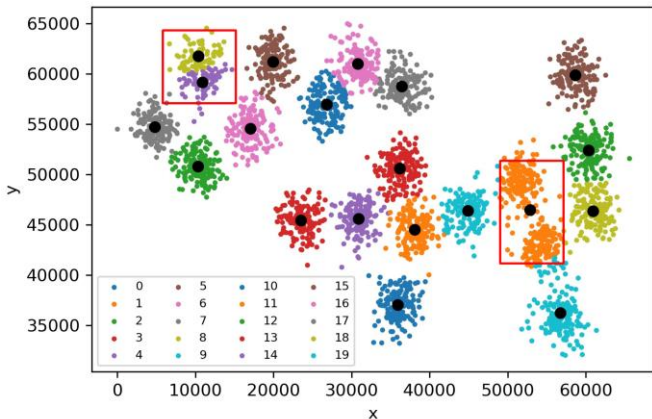
Şekil 4. Önerilen Yöntemin 2. Denemesi ($\% \delta = 0,030$, $MI=2,988, RI=1,000, ARI=0,997$)

ÇK yöntemi 3. denemede Şekil 5.'te görüldüğü gibi bir ağırlık merkezini hatalı üreterek iki hatalı etiketleme yapmasına rağmen başarısı, Tablo 2.'den de görüleceği üzere diğer yöntemlerden daha kötü değildir.



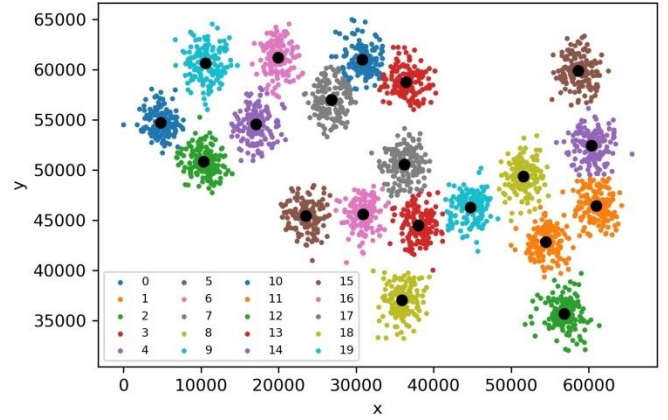
Şekil 5. Önerilen Yöntemin 3. Denemesi ($\% \delta = 16,117$, $MI=2,896, RI=0,993, ARI=0,924$)

5 denemenin sadece 4'üncüsünde sadece bir ağırlık merkezini hatalı üreterek başarısız olmuştur. Ancak diğer yöntemlerin başarısı ile kıyaslandığında, THK anlamında yüzde bağıl hata birbirine yakın olup etiketleme anlamında ise MI, RI ve ARI değerleri birbirine çok yakın olduğu Tablo 2.'de görülmektedir.



Şekil 6. Önerilen Yöntemin 4. Denemesi ($\% \delta = 26,411$, $MI=2,890, RI=0,993, ARI=0,924$)

Şekil 7.'de gösterilen son deneme kümelemesi Tablo 2.'den de anlaşılacağı üzere önerilen yöntemin diğer yöntemlere göre başarılı olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 7. Önerilen Yöntemin 5. Denemesi ($\% \delta = 0,029$, $MI=2,990, RI=1,000, ARI=0,998$)

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada A1 verikümesine ÇK yöntemi ile başlatılan KO algoritması, KO (rasgele) ve KO++ algoritmaları uygulanmıştır. Bu yöntemlere ait nihai bölümlenmelerin başarıları ve TKH'larının sonuçları Tablo 2.'de gösterilmiştir. Tüm yöntem ve başarı kriterlerine ait kodlama Python programlama dilinde yazılmış olup bu programlama dilinin kütüphaneleri kullanılmıştır.

Bu çalışmaya ait algoritma, python programlama diliyle geliştirilmiştir. Python programlama dilinin "sklearn.cluster" kütüphanesi, KO algoritmasının farklı merkezler ile kaç kez başlatılacağını belirten n_{init} parametresi kullanılmaktadır. Önerilen yöntemin içinde KO ve KO++ yöntemleri birer kez çalıştırıldığından dolayı, kıyaslama için kullanılan KO (rasgele) ve KO++ yöntemlerinin farklı merkezler ile başlatma sayısı (n_{init}) olarak "2" değeri seçilmiştir. Ayrıca TKH'ların kıyaslanması için yüzde bağıl hata ($\% \delta$) kullanılmıştır. 5 denemeden oluşan deneyde, önerilen yöntemin KO (rasgele) ve KO++ yöntemlerine göre daha başarılı olduğu, Tablo 2.'den gözlemlenmiştir. Bu açıdan önerilen ÇK ile başlatılan KO yöntemi, KO (rasgele) ve KO++ yöntemine göre daha başarılı sonuçlar vermekte olup, başarısız olunan durumlardaki başarısızlık derecesi ise hemen hemen kıyaslanan yöntemler kadardır.

Başarının artırılması için önerilen yöntemdeki kümeleme sayısı veya örneklem seçimi gibi parametreler tekrar düzenlenerek başarının artmasına katkı sağlanabilir. Bu anlamda yapılan çalışma gelecek çalışmalara zemin hazırlamaktadır.

Tablo 2. Önerilen ve Diğer Yöntemlerin Başarı Ölçümleri.

Deneme	Yöntem	TKH	% δ	MI	RI	ARI
1	KO (Orijinal Merkez)	12150760265,000	referans	2,996	0,000	1,000
	ÇK	12146338010,547	0,036	2,990	1,000	0,998
	KO (Rasgele)	14491251869,920	19,262	2,895	0,993	0,928
2	KO++	14082208713,901	15,896	2,893	0,993	0,926
	ÇK	12147128466,414	0,030	2,988	1,000	0,997
	KO (Rasgele)	14491251869,920	19,262	2,895	0,993	0,928
3	KO++	14082208713,902	15,896	2,893	0,993	0,926
	ÇK	14109129146,570	16,117	2,896	0,993	0,924
	KO (Rasgele)	14491251869,920	19,262	2,895	0,993	0,928
4	KO++	14082208713,902	15,896	2,893	0,993	0,926
	ÇK	15359846639,327	26,411	2,890	0,993	0,924
	KO (Rasgele)	14491251869,920	19,262	2,895	0,993	0,928
5	KO++	14082208713,90	15,896	2,893	0,993	0,926
	ÇK	12147254122,73	0,029	2,990	1,000	0,998
	KO (Rasgele)	14491251869,92	19,262	2,895	0,993	0,928

Kaynakça

- [1] Rahim, M. S., & Ahmed, T. (2017). An initial centroid selection method based on radial and angular coordinates for K-means algorithm. In 2017 20th International Conference of Computer and Information Technology (ICCI) (pp. 1-6). IEEE.
- [2] Astrahan, M. M. (1970). Speech analysis by clustering, or the hyperphoneme method (No. AIM-124). STANFORD UNIV CA DEPT OF COMPUTER SCIENCE.
- [3] Jain, A. K., Murty, M. N., & Flynn, P. J. (1999). Data clustering: a review. ACM computing surveys (CSUR), 31(3), 264-323.
- [4] Pena, J. M., Lozano, J. A., & Larranaga, P. (1999). An empirical comparison of four initialization methods for the k-means algorithm. Pattern recognition letters, 20(10), 1027-1040.
- [5] Redmond, S. J., & Heneghan, C. (2007). A method for initialising the K-means clustering algorithm using kd-trees. Pattern recognition letters, 28(8), 965-973.
- [6] Xu, R., & Wunsch, D. (2008). Clustering (Vol. 10). John Wiley & Sons.
- [7] Singhal, M., & Shukla, S. (2018, February). Centroid Selection in Kernel Extreme Learning Machine Using K-Means. In 2018 5th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN) (pp. 708-711). IEEE.
- [8] Zahra, S., Ghazanfar, M. A., Khalid, A., Azam, M. A., Naeem, U., & Prugel-Bennett, A. (2015). Novel centroid selection approaches for KMeans-clustering based recommender systems. Information sciences, 320, 156-189.
- [9] Ding, C., & He, X. (2004, July). K-means clustering via principal component analysis. In Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning (p. 29).
- [10] Selim, S. Z., & Ismail, M. A. (1984). K-means-type algorithms: A generalized convergence theorem and characterization of local optimality. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, (1), 81-87.
- [11] MacQueen, J. (1967, June). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability (Vol. 1, No. 14, pp. 281-297).
- [12] Hand, D. J., & Krzanowski, W. J. (2005). Optimising k-means clustering results with standard software packages. Computational Statistics & Data Analysis, 49(4), 969-973.
- [13] Arthur, D., & Vassilvitskii, S. (2006). k-means++: The advantages of careful seeding. Stanford.
- [14] Lloyd, S. (1982). Least squares quantization in PCM. IEEE transactions on information theory, 28(2), 129-137.
- [15] Katsavounidis, I., Kuo, C. C. J., & Zhang, Z. (1994). A new initialization technique for generalized Lloyd iteration. IEEE Signal processing letters, 1(10), 144-146.
- [16] Bradley, P. S., & Fayyad, U. M. (1998, July). Refining initial points for k-means clustering. In ICML (Vol. 98, pp. 91-99).
- [17] Likas, A., Vlassis, N., & Verbeek, J. J. (2003). The global k-means clustering algorithm. Pattern recognition, 36(2), 451-461.
- [18] Gan, G., Chaoqun, M., & Wu, J. (2007). Data Clustering: Theory, Algorithms and Applications; 20 of Series on Statistics and Applied Probability. Philadelphia, PA.
- [19] Xie, J., Jiang, S., Xie, W., & Gao, X. (2011). An Efficient Global K-means Clustering Algorithm. JCP, 6(2), 271-279.
- [20] Beigi, H. (2011). Speaker recognition. In Fundamentals of Speaker Recognition (pp. 543-559). Springer, Boston, MA.
- [21] Agrawal, A., & Gupta, H. (2013). Global K-means (GKM) clustering algorithm: a survey. International journal of computer applications, 79(2).
- [22] Rani, A. J. M., & Parthipan, L. (2012). Clustering Analysis by Improved Particle Swarm Optimization and KMeans Algorithm.
- [23] Li, H., Yang, X., & Wei, W. (2014). The application of pattern recognition in electrofacies analysis. Journal of Applied Mathematics, 2014.
- [24] Hennig, C. (2015). Clustering strategy and method selection. arXiv preprint arXiv:1503.02059.

- [25] Kärkkäinen, I., & Fränti, P. (2002). Dynamic local search algorithm for the clustering problem. Joensuu, Finland: University of Joensuu.
- [26] Rand, W. M. (1971). Objective criteria for the evaluation of clustering methods. *Journal of the American Statistical Association*, 66(336), 846-850.
- [27] Campello, R. J. (2007). A fuzzy extension of the Rand index and other related indexes for clustering and classification assessment. *Pattern Recognition Letters*, 28(7), 833-841.
- [28] 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.
- [29] Yeung, K. Y., & Ruzzo, W. L. (2001). Details of the adjusted rand index and clustering algorithms, supplement to the paper an empirical study on principal component analysis for clustering gene expression data. *Bioinformatics*, 17(9), 763-774.
- [30] Priness, I., Maimon, O., & Ben-Gal, I. (2007). Evaluation of gene-expression clustering via mutual information distance measure. *BMC bioinformatics*, 8(1), 111.
- [31] Kraskov, A., & Grassberger, P. (2009). MIC: Mutual information based hierarchical clustering. In *Information theory and statistical learning* (pp. 101-123). Springer, Boston, MA.
- [32] Newman, M. E., Cantwell, G. T., & Young, J. G. (2020). Improved mutual information measure for clustering, classification, and community detection. *Physical Review E*, 101(4), 042304.
- [33] Hubert, L., & Arabie, P. (1985). Comparing partitions. *Journal of classification*, 2(1), 193-218.
- [34] Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern recognition letters*, 31(8), 651-666.
- [35] Jenssen, R., & Eltoft, T. (2008). A new information theoretic analysis of sum-of-squared-error kernel clustering. *Neurocomputing*, 72(1-3), 23-31.
- [36] Bramer, M. (2007). *Principles of data mining* (Vol. 180). London: Springer.
- [37] Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data mining concepts and techniques* third edition. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, 5(4), 83-124.
- [38] Aggarwal, C. C., & Reddy, C. K. (2014). *Data clustering. Algorithms and applications*. Chapman&Hall/CRC Data mining and Knowledge Discovery series, Londra.
- [39] Aubaidan, B., Mohd, M., & Albared, M. (2014). Comparative study of k-means and k-means++ clustering algorithms on crime domain.
- [40] Kvålseth, T. O. (2017). On normalized mutual information: measure derivations and properties. *Entropy*, 19(11), 631.
- [41] Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.



Çevrenin Restoratif Kalitesinin Ölçümü: Algılanan Restoratiflik Ölçeğinin Türkçeye Uyarlanması

İrem Özçifçi¹, Işıl Kaymaz^{2*}, İlkden Tazebay³, Ferhan Elmalı⁴

¹ Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7095-012X), irmkync@gmail.com

^{2*} Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2659-4965), cakci@agri.ankara.edu.tr

³ Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8286-6574), tazebay@ankara.edu.tr

⁴ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1967-1811), ferhan.elmali@ikcu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 23 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 28 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.867180)

ATIF/REFERENCE: Özçifçi, İ., Kaymaz, I., Tazebay, İ. & Elmalı, F. (2021). Çevrenin Restoratif Kalitesinin Ölçümü: Algılanan Restoratiflik Ölçeğinin Türkçeye Uyarlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 288-295.

Öz

Özellikle bireylerin çevre kaynaklı yoğun zihinsel bilgiye maruz kaldıkları kentsel alanlarda, çevrenin restoratif kalitesini zenginleştirecek tasarım müdahaleleri iyi oluş hali açısından önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında 1997 yılında Hartig, Korpela, Evans ve Gärling tarafından geliştirilen Algılanan Restoratiflik Ölçeğinin (ARÖ) Türkçeye uyarlanarak, mekânsal tasarım çalışmalarında kullanılacak bir ölçme aracının alanyazına kazandırılması hedeflenmiştir. Araştırma, peyzaj mimarlığı bölümlerinde eğitim gören 279 lisans öğrencisi ile farklı restoratiflik düzeyinde kategorize edilmiş 9 adet fotoğraf kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçeğin kapsam geçerliliği için "Aiken V Formülasyonu" kullanılmıştır. Uyarlanan ölçeğin yapı geçerliğini belirlemek amacıyla yapılan doğrulayıcı faktör analizi sonucunda 26 maddeden ve 4 boyuttan oluşan modelin iyi uyum verdiği bulunmuştur [χ^2 (288, N = 279) = 746.67, $\chi^2/sd=2.59$, SRMR=.075, CFI=.91, RMSEA=.075]. Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı alt boyutlar için .84-.90 arasında bulunmuştur. Sonuç olarak, bu çalışma ARÖ'nün Türkçe formunun geçerli ve güvenilir bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mekânsal tasarım, Algılanan Restoratiflik Ölçeği, Zihinsel Restorasyon, Çevre Kalitesi.

Measurement of Environmental Restorativeness Quality: Adaptation of "Perceived Restorativeness Scale" Into Turkish

Abstract

Design interventions aimed at enhancing the environment's restorative quality is crucial to well-being, especially in urban environments where individuals are exposed to overwhelming information derived from the physical environment. The aim of this study is to adapt Perceived Restorativeness Scale -which was developed by Hartig, Korpela, Evans & Gärling in 1997 - to Turkish language to develop a tool to be used in spatial design. The study was carried out with 279 undergraduate landscape architecture students, using 9 colored slides categorized into different restorative levels. "Aiken's V Formula" was used. Confirmatory factor analysis revealed that the model consisting of 26 items and 4 dimensions fit well [χ^2 (288, N = 279) = 746.67, $\chi^2/sd=2.59$, SRMR=.075, CFI=.91, RMSEA=.075]. The Cronbach's alpha values for the subscales were .84-.90. Consequently, this study has showed that Turkish version of the PRS can be used as a valid and reliable instrument.

Keywords: Spatial design, Perceived Restorativeness Scale, Mental Restoration, Environmental Quality.

* Sorumlu Yazar: cakci@agri.ankara.edu.tr

1. Giriş

Modern toplumda insanın fiziksel çevresi ile olan etkileşiminin yine insanın sağlığı ve iyi olma hali ile ilişkili olduğu giderek daha fazla kabul görmekte ve bu doğrultuda farklı çalışma alanları (coğrafya, peyzaj mimarlığı, çevre psikolojisi vb.) tarafından da bu konu ilgi görmektedir. Kentleşme, günümüzün fiziksel çevresini biçimlendiren önemli bir olgudur. Birleşmiş Milletler verilerine göre 1950’de 751 milyon olan kentsel nüfus 2018 yılında 4.2 milyara ulaşmıştır (BM, 2018). Her ne kadar kentler daha iyi sağlık sistemleri, iş ve eğitim imkânları gibi yaşam kalitesini arttırmaya yönelik olanaklar sağlayan ortamlar olsa da, insan sağlığı açısından riskler de barındırmaktadırlar (Bai ve ark.,2012; DSÖ, 2017; Renalds ve ark., 2010). Kentsel ortamdaki kirleticilere (hava kirliliği, gürültü, su kirliliği) maruz kalmanın yanı sıra hatalı kent planlamanın, sürdürülebilir olmayan kentsel çevre yönetiminin ve sosyo-ekonomik çevre koşulları ile hizmetlere erişimde toplumsal eşitsizliklerin de anksiyete, depresyon, dikkat eksikliği bozukluğu, madde kullanımı, saldırgan davranışlar, obezite, kardiyovasküler hastalıklar, solunum ve bağışıklık sistemi rahatsızlıkları ilişkili olduğu alanyazında gösterilmiştir (Srinivasan ve ark.,2003).

Diğer yandan, sosyal bilimlerin insan sağlığı ve doğal alanlar arasındaki karmaşık ilişkinin araştırılmasına yönelik ilgisi, yapıli çevrenin sağlık ve iyi oluş hali üzerindeki etkilerine karşı farklı bakış açılarının gelişmesine yardımcı olmuştur. 1960’lı yıllarda davranışçı yaklaşımla başlayan birey ve çevresi arasındaki uyumun irdelenmesine yönelik çalışmaları (örneğin French ve ark., 1974; Pervin, 1968) insan-çevre ilişkisini bilişsel süreçleri temel alarak inceleyen çalışmalar izlemiştir (örneğin Kaplan R. ve Kaplan S., 1989; Kaplan, 1983).

Bilgi, insanın evrimsel süreci boyunca yaşamını devam ettirebilmesi adına oldukça önemli bir olgudur ve fiziksel çevre barındırdığı öğeler ve bu öğelerin kompozisyonu ile ilişkili olarak farklı biçimlerde bilgi sunar (Kaplan ve ark., 1998). Bununla birlikte bu bilginin değerlendirilmesi, bilgiye tepki verilmesi, bilginin çok fazla olması ve insanın bu bilgiyi özümleme ve sentezleme kapasitesini zaman zaman aşması nedeni ile oldukça karmaşık bir süreçtir (Gibson, 1979). Bu süreçte dikkat ve güç sarf etmek gerekirken, insanın yönlendirilmiş dikkat kapasitesi kısıtlıdır (Kaplan ve ark., 1998). Fiziksel çevre, çoğu zaman, bireyin bilişsel işlevselliğini destekler özellikle olmadığından, bireyler çevre ile uyumluluğun eksikliğine bağlı kaybettikleri psikolojik kaynaklarını restorasyona, bir başka deyişle yenilemeye yönelik olanaklar ararlar (Kaplan, 1983). Dikkat kapasitesinin aşılması ile ortaya çıkan stres, obezite, performans düşüklüğü ve dikkat yorgunluğu gibi olumsuz durumlara karşılık restoratif deneyimler olumlu ruh hali değişikliği, yönlendirilmiş dikkat kapasitesinin yenilenmesi gibi olumlu etkiler yaratabilmektedir (Hartig ve ark., 1997; Kaplan, 1983, Korpela ve ark., 2001; Ohly ve ark., 2016: 305; Ulrich ve ark, 1991). Restoratif deneyim ve restoratif çevre kavramları, yönlendirilmiş dikkat yorgunluğunu azaltan olanaklar olarak tanımlanabilir (Kaplan R. ve Kaplan S., 1989).

Evrimsel psikoloji kuramlarından yola çıkarak, doğal ortamların en etkin restoratif deneyimi sağladıklarını öne süren bir çok çalışma (örneğin Kaplan, 2001; Kaplan R. ve Kaplan S., 1989; Kaplan ve Talbot, 1983; Parsons, 1991; Ulrich, 1981; Ulrich, 1984; Ulrich ve ark., 1991) bulunmakla birlikte restoratif deneyimlere ilişkin alanyazında iki temel kuram bulunmaktadır;

Ulrich ve ark. (1991) tarafından geliştirilen “Stres Azaltma Kuramı” ve Kaplan (1995) tarafından geliştirilen “Dikkat Restorasyonu Kuramı”. Ulrich ve ark. (1991) stres seviyesini arttıran bir video sonrası katılımcılara doğal ve kentsel alanlara ilişkin renkli ve sesli görüntüler izletmişler; doğal görüntüleri izleyen katılımcılarda fizyolojik ve sözel ölçümler sonrası stres seviyesindeki iyileşmenin daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Stres Azaltma Kuramı, bireylerin restorasyon kaynağı olarak doğaya verdikleri anlık duygusal tepkilere dayanırken Kaplan (1995) tarafından geliştirilen Dikkat Restorasyonu Kuramı ise doğal çevrelerle olan iletişimden elde edilebilecek potansiyel bilişsel faydalara odaklanmaktadır (Joye ve Dewitte, 2018). Bu kurama göre restoratif çevrenin dört temel özelliği bulunmaktadır; (i) günlük yaşamın neden olduğu stresten uzaklaşabilmeye fırsat tanır (being away), (ii) yönlendirilmiş dikkat gerektirmeyen olay desenlerini barındırarak zihinsel dinlenme sağlar (fascination), (iii) dikkati dağıtmayacak kapsam ve uyuma sahiptir (extent) ve (iv) bireyin işlevselliğini gereğinden fazla dikkat ve güç gerektirmeden destekleyebilir (compatibility) (Kaplan, 1995). Kaplan (1995) yine aynı çalışmasında doğal alanların yapıli çevrelere göre bu özelliklere daha fazla sahip olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmalarda doğal çevrelerden kasıt her zaman için kentsel olmayan alanlar olmayıp, özellikle vejetasyonun baskın olduğu yeşil alanları da kapsamaktadır (Kaplan ve ark., 1998).

Kentsel alanlarda yaşayan bireyler sürekli olarak fazla miktarda dikkat gerektiren uyaranlara ve sonuç olarak da daha fazla zihinsel yorgunluğa maruz kalmaktadır (Peschardt ve Stigsdotter, 2013). Kentsel kamusal alanlarda, yapısal ve doğal elemanların uygun kompozisyonlarda kullanımıyla restoratif olanaklar tanıyan mekânlar yaratılması bu anlamda önem kazanmaktadır. Mekânsal tasarım kapsamında doğanın iyileştirici etkilerinin ele alınması, aslında yeni değildir. Peyzaj mimarı Frederick Law Olmsted, 1865’te kentlerin ve kentlilerin iş bulma taleplerinin stresle olan ilişkisini vurgulayarak, bu tip stres kaynaklarına karşı doğayı deneyimlemenin restorasyona ve iyileşmeye katkıda bulunduğunu yazmıştır (Ulrich ve ark., 1991). Olmsted’e göre doğal alanlarda zihinsel çaba en az düzeydedir ve bu nedenle restoratif özellikleri yüksektir (Ulrich ve ark., 1991, s.206). Nitekim Olmsted, bu yaklaşımını New York’taki Central Park örneğinde olduğu gibi kent parkı tasarımlarına pastoral bir anlayışla yansıtmıştır. Olmsted’in bu sezgisel yaklaşımına karşılık, restoratif özellikleri yüksek mekânlar yaratılması için ise çevre psikolojisi alanındaki çalışmaları işlevselleştirecek araçlar gerekmektedir. Bu amaçla; Hartig ve ark. (1996, 1997) tarafından, Kaplan’ın Dikkat Restorasyonu Kuramı temel alınarak, “Algılanan Restoratiflik Ölçeği” (ARÖ) geliştirilmiştir. Ölçeğin geliştirilmesinde Dikkat Restorasyonu Kuramı çerçevesinde ele alınan ve daha önce değinilen restoratif çevrelerin temel dört özelliğini temsiliyeti ((i) uzaklaşma, (ii) dikkat gerektirmeyen olay desenlerini barındırma, (iii) uygun kapsam ve uyum ve (iv) bireyin işlevselliği ile uyumluluk) ve restoratif potansiyeli farklılık gösteren fiziksel çevrelerin ayrımının ortaya koyulması hedeflenmiştir. Geliştirilmesini takip eden yıllarda, ölçek üzerinde, farklı araştırmacılar tarafından kısaltmalar ve kapsam değişiklikleri yapılmış olsa da (Rennit ve Maikov, 2015) ARÖ çok sayıda çalışmada kullanılmakta, dolayısıyla geçerliği yüksek olarak kabul edilmektedir (Peschardt ve Stigsdotter, 2013). Ölçeğin özgün dili İngilizcedir, bununla birlikte ölçek Almanca, İtalyanca ve İspanyolca dillerinde de kullanılmak üzere farklı araştırmacılar tarafından çevrilmiştir (Negrin, Hernandez-Fernaud ve ark., 2017; Rennit ve Maikov, 2015).

Ülkemizde çevre psikolojisi temellerine dayalı olarak zihinsel restorasyona ilişkin mekânsal kapsamda yapılmış bir çalışmaya alanyazında rastlanmamıştır. Oysa Parker'in (2010) belirttiği gibi çevre psikolojisi yalnızca psikologları ilgilendiren bir alan olmayıp, mimarlık, coğrafya, sosyoloji, ekonomi gibi çok-disiplinli bir yapıdadır ve insan-mekân ilişkisi üzerine çalışan uzmanları yakından ilgilendirir. Kaplan (1983) da algı ve dikkat gibi temel bilişsel süreçleri destekleyen mekânların özelliklerinin incelenmesinin, insan ve fiziksel çevresi arasındaki ilişkinin anlaşılmasını kolaylaştıracağını ifade etmiştir. Bununla birlikte bu tip araştırmalarda verilerin ölçülebilir olması önemlidir. Fiziksel olarak ölçülemeyen bilişsel ve duysal işlevlerin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için kullanılan sistematik araçlar ise psikolojik testler olarak adlandırılmaktadır ve ölçekler bu kapsamda sıklıkla kullanılmaktadır (Urbina, 2004). Bu çalışma kapsamında; kentsel tasarım ve kentsel peyzajın yönetimi çalışmalarında kullanılmak üzere, mekânın algılanan restoratif niteliğinin belirlenmesi amacıyla Hartig ve ark. (1997) tarafından geliştirilen ARÖ'nün geçerlik ve güvenilirlik ölçütlerinin sağlanarak Türkçe'ye uyarlanması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Toplama Araçları

Bu çalışmada Türkçeye uyarlaması yapılmak üzere Hartig ve arkadaşları (1997) tarafından geliştirilen ARÖ'nün 4 alt ölçek (uzaklaşma, büyüleyicilik, kapsam/ahenk ve uyumluluk) ve 26 ifade içeren İngilizce dilindeki özgün metni kullanılmıştır. Uzaklaşma boyutunda 5, büyüleyicilik boyutunda 8, kapsam boyutunda 4 ve son olarak uyumluluk boyutunda 9 ifade yer almaktadır. İfadeler 7'li Likert tipi (0=hiç katılmıyorum, 6=tamamen katılıyorum) puanlama ile derecelendirilmektedir.

Ölçeğin ölçüt geçerliğini belirlemek için Russell ve ekibi (Russell, Weiss ve Mendelsohn, 1989) tarafından geliştirilen ve Aydın ve ekibi (Aydın ve ark., 2011) tarafından Türkçeye uyarlaması yapılmış olan 'Duygu Kafesi Ölçeği' kullanılmıştır. Ölçek, kişinin içinde bulunduğu andaki duygu durumu ve uyarılma düzeyini belirleyen 9x9'luk bir matristen oluşmaktadır.

Veri toplama aracı olarak ölçeğin uygulanmasında, "yüksek, orta ve düşük restoratiflik düzeyleri" göz önünde bulundurularak seçilen ve her bir düzeyi temsilen 3 fotoğrafın bulunduğu 9 adet fotoğraf kullanılmıştır. Daha önce de değinildiği üzere bir mekândaki doğallık düzeyinin gerek dikkat restorasyonu gerekse de çevrenin genel restoratiflik düzeyi ile ilişkili olduğu bilinmektedir (Ulrich ve ark., 1991; Kaplan, 1995). Bu çalışmada da farklı seviyelerde doğallık özelliği gösteren fotoğrafların, farklı restoratif düzeylere sahip olacağı hipotezi benimsenerek fotoğraf seçimi yapılmıştır. Bu amaçla Çakıcı (2007) tarafından, kent parklarının görsel peyzaj özelliklerinin peyzaj algısı yönünden değerlendirilmesi üzerine yapılmış tez çalışmasından faydalanılmıştır. Söz konusu tez kapsamında, farklı kent parklarına ilişkin görseller bir uzman grubu tarafından doğallık derecelerine göre sınıflandırılmıştır. Bu doğrultuda yazardan gerekli izinler alınarak, farklı restoratiflik düzeyleri temsil edecek fotoğraflar "doğallık" düzeylerine göre puanlandırılmış kent parklarına ait görüntüler arasından seçilmiştir (Şekil 1).

Alanyazında örneklemin ölçek madde sayısının en az 5-10 katı olması önerilmektedir (Tavşancıl, 2010; Tosun 2018; Yurdugül, 2005). ARÖ'de 26 madde bulunması nedeniyle, hata

payı da dikkate alınarak, örneklem sayısı en az 270 kişi olarak belirlenmiştir. Uygulama, 2018-2019 Eğitim- Öğretim yılı, Bahar yarıyılında Ankara Üniversitesi ve Süleyman Demirel Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümlerinde öğrenim gören farklı sınıflardan gönüllü olan 279 lisans öğrencisi (197 kadın, 82 erkek; ortalama yaş= 24) ile gerçekleştirilmiştir.

Uyarlama çalışması için ölçeğin geliştiricilerinden olan Prof.Terry Hartig'den (Uppsala Üniversitesi, İsveç) ve Ankara Üniversitesi Etik Kurul Başkanlığı'ndan (02.01.2019 tarih ve 56786525 sayı) yazılı izin alınmıştır.



Şekil 1. Restoratiflik Düzeylerine Göre Çalışmada Kullanılan Görseller

2.2. Metot

Ölçeğin Türkçeye çevirisinde dil geçerliğini sağlamak amacıyla, Brislin (1970) tarafından kültürlerarası araştırmalar kapsamında önerilen hedef dile çeviri ve kaynak dile geri çeviri süreci uygulanmıştır. Bu süreçte ilk olarak ölçek, ana dili Türkçe olan ve üniversitelerin İngilizce Öğretmenliği Bölümlerinde görev yapan iki akademisyen tarafından, birbirinden bağımsız olarak İngilizceden Türkçeye çevrilmiştir. Bir sonraki aşamada Türkçe ölçek, İngiliz Dili ve Edebiyatı Bölümü'nde görev yapan bir akademisyen tarafından İngilizceye geri çevrilmiştir. İngilizceye geri çevrilmiş ölçek ile orijinal ölçek karşılaştırılarak, Türkçe tercüme metni üzerinde son düzeltmeler yapılmış ve dil eşdeğerliği sağlanması ile çeviri aşaması son bulmuştur.

Kapsam geçerliğini belirlemek üzere Aiken's V Formülasyonu (Aiken, 1985) temel alınmıştır. Kapsam geçerliğini tespit etmek için uygulanan adımlar sırasıyla; uzman grubunun oluşturulması, uzman değerlendirme formunun hazırlanması, uzman görüşlerinin değerlendirilmesi, ölçek maddelerinin Kapsam Geçerlik İndeksi'nin hesaplanması ve elde edilen verilere göre forma son şeklinin verilmesidir. Çalışmada Peyzaj Mimarlığı Bölümlerinde görev yapan ve rastgele belirlenen 50 akademisyene elektronik ileti yoluyla davet gönderilmiş; 29'u katılmaya gönüllü olmuştur. Uzmanlardan her maddeyi amaca uygunluk ve anlaşılabilirlik bakımından 1-3 puan (3=uygun, 2=uygun ancak ifade düzeltilmeli, 1=uygun değil) arasında puanlandırmaları ve ifade düzeltmesi önerenlerden ifade önerileri istenmiştir. Yapılan puanlandırmalar SPSS (V.25) yazılımına aktarılarak, her bir maddeye ilişkin Aiken's V Formülasyonu (Aiken, 1985) ile maddenin anlamlılığına ilişkin bir indeks değeri (V) saptanmıştır. V değeri, ölçek maddesinin istatistikî olarak anlamlı olup olmadığını test etmek için geliştirilmiş bir ölçüttür. Bu değer, 0-1 arasında değişmekte olup; 1'e yakın değerler yüksek kapsam geçerliğini göstermektedir

(Aiken, 1985). Mevcut çalışmada, Aiken's V indeks tablosuna bakıldığında 29 uzman için indeks değerinin 0.70 ve üzerinde olması maddenin çok iyi kapsam geçerliliği olduğunu göstermektedir.

Kapsam geçerliğinin belirlenmesinden sonra son şekli verilen Türkçe ölçeğin denek grubu tarafından anlaşılabilirliğini kontrol etmek amacıyla yapılan pilot çalışma, Ankara Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nden gönüllü 20 lisans öğrencisi ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara anlamadıkları ya da duygu durumunu belirtme konusunda rahatsızlık duyabilecekleri herhangi bir sözcük ya da ifade olup olmadığı sorulmuştur.

Görünüş geçerliği sağlandıktan sonra ölçeğin uygulanması aşamasına geçilmiştir. Katılımcılar 31 kişiden oluşan 9 alt gruba ayrılmıştır. Her bir kategoriden (yüksek-orta-düşük restoratiflik derecesi) rastgele seçilen birer fotoğraf projeksiyon cihazı ile yansıtılarak katılımcılara gösterilmiştir. Fotoğraf ekrana yansıtıldıktan sonra, öğrencilerden kendilerini görseldeki alanın içinde hissetmeye çalışmaları ve orijinal ARÖ'de olduğu gibi 7'li Likert tipi (0= Kesinlikle katılmıyorum, 6= Kesinlikle katılıyorum) ölçeğin üzerinden değerlendirmeleri istenmiştir.

İkinci aşamada ise ekrandaki fotoğrafa bakıldığında o anlık duygu durumlarını en iyi şekilde ifade ettiğini düşündükleri kutucuğu, Duygu Kafesi Ölçeği üzerinde işaretlemeleri istenmiştir.

Bu çalışma kapsamında ölçeğin faktör yapısının Türk örnekleminde doğrulanıp doğrulanamayacağını belirlenmesi için Doğrulamalı Faktör Analizi (DFA) kullanılmıştır. Ölçek geçerliliğini tespit etmek amacıyla DFA kapsamında, Kline (2005) tarafından önerilen χ^2/sd , SRMR (Standardized Root Mean Square Residual), CFI (Comparative Fit Index) ve RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) uyum indeksleri kullanılmıştır. Ölçeğin güvenilirliğini belirlemek için ölçeğin bütünü ve alt boyutları kapsamında iç tutarlılığı, Cronbach alfa katsayısı hesaplanarak test edilmiştir. Ölçeğin güvenilirliği için katsayı değeri en az .70 olarak kabul edilmiştir (Santos, 1999). Ayrıca madde-toplam korelasyonları da incelemiş ve ölçülen nitelik açısından madde-toplam korelasyonu .30 ve daha yüksek olan maddelerin bireyleri "iyi derecede" ayırt ettiği kabul edilmiştir (Büyüköztürk, 2015).

Ölçeğin, farklı restoratiflik düzeyleri arasında ayırım yapıp yapmadığını test etmek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde post-hoc yöntemi olarak Tukey-HSD metodu kullanılmış ve %95 güven aralığı benimsenmiştir.

Ölçeğin, duygu durumunu ölçen "duygu kafesi" ile uyumunu değerlendirmek için ise korelasyon analizi uygulanmıştır. Korelasyon analizi değerlendirilirken r değeri anlamlılıkları 0.3-0.5 arası düşük derece, 0.5-0.7 arası orta derece, 0.7-0.9 arası yüksek derece ve 0.9 üzeri çok yüksek derece korelasyonu göstermektedir. 0.3'ün altındaki değerler anlamlı kabul edilmemektedir (Hinkle ve ark., 2003).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Ölçek Geçerliliği ve Güvenirliğine İlişkin Bulgular

Dil geçerliliği çalışması sonucunda çalışmada kullanılan ve Türkçe'ye uyarlanan ARÖ'de yer alan ölçek maddelerinin

uzman grubu tarafından değerlendirilmesinin ardından, verilen puanlara ilişkin Aiken's V Formülasyonu ile belirlenen geçerlik indeks değerleri sonucunda yalnızca 1. ve 14. maddelerde yer alan ifadelerin geçerlik değerleri, sınır değer olarak kabul edilen .70'in altında saptanmıştır (sırasıyla V=0.66, V=0.57)). Bu maddelere ek olarak 3., 4., 5., ve 18. maddelerdeki ifadeler, V değerleri .70'in üzerinde olmasına rağmen uzman görüşleri doğrultusunda değiştirilerek ölçeğin son hali Tablo 1'de verilmiştir. Bir ölçeğin farklı bir dile uyarlanması, kültürlerarası anlatım ve kavramlaştırma farklılıkları nedeniyle ölçeğin özünde değişikliklere neden olur (Aksayan ve Gözüm, 2002:11). Bu nedenle çeviri ve geri çeviri aşamasından geçen ölçeğin kapsam geçerliğine ilişkin olarak hesaplanan V değerleri, bazı ifadeler için kabul edilen sınırın üzerinde olsa da, uzman görüşleri ön plana alınmış ve bu ifadeler öneriler doğrultusunda düzenlenmiştir.

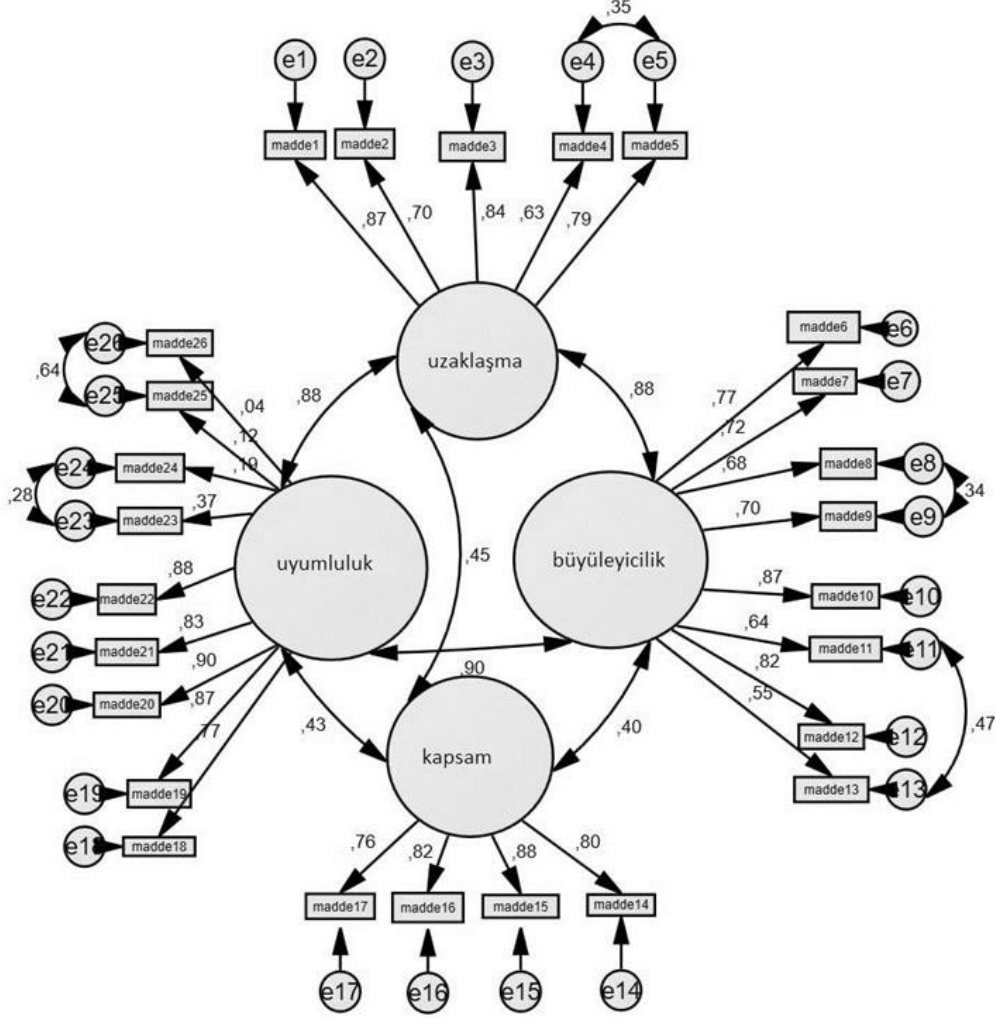
Tablo 1. Türkçe ARÖ

Boyut	İfade
Uzaklaşma	1.Burası zihnimi rahatlatan bir ortama kaçış deneyimi sağlıyor.
	2.Burada zaman geçirmek günlük rutine ara vermemi sağlıyor.
	3.Burası zihnimi meşgul eden her şeyden uzaklaşma imkânı sunan bir yer.
	4.Buradayken zorunluluklarımı düşünmemeye gerek kalmıyor.
	5.Burası rahatsız edici şeylerden dikkatimi uzaklaştırmam için bana yardımcı oluyor.
Büyüleyicilik	6.Burası büyüleyici niteliklere sahip.
	7.Burada dikkatimi çeken/merak uyandıran pek çok ilginç şey var.
	8.Burayı daha iyi tanımak istiyorum.
	9.Burada incelenen ve keşfedilecek birçok şey var.
	10.Burada etrafı izleyerek daha fazla vakit geçirmek istiyorum.
	11.Burası sıkıcı bir yer.
	12.Burası ilgi çekici.
13.Burada görülmeye değer bir şey yok.	
Kapsam	14.Burada o kadar çok şey oluyor ki zihnim yoruluyor.
	15.Burası kafa karıştırıcı bir yer.
	16.Burada dikkat dağıtan birçok şey var.
Uyumluluk	17.Burası kaotik bir yer.
	18.Burası kişisel eğilimlerime uyuyor.
	19.Burada yapmaktan keyif aldığım şeyleri yapabiliyorum.
	20.Buraya ait olduğumu hissediyorum.
	21.Burada kendimi eğlendirecek şeyler bulabiliyorum.
	22.Burası ile bütünleştiğimi hissediyorum.
	23.Burada çevreyi dolaşmaya yardımcı olacak yönlendirici işaretler var.
	24.Buranın haritasını zihnimde kolayca oluşturabilirim.
	25.Burada yolumu bulmak kolay.
	26.Buranın nasıl organize edildiğini anlamak kolay.

Tablo 1'de verilen Türkçe ölçek, görünüş geçerliği çalışmasına katılan öğrencilerin tümü tarafından anlaşılabilir bulunmuş ve ölçeğin uygulanması aşamasına geçilmiştir. Elde edilen verilere uygulanan ilk DFA sonucu, uyum indekslerine ilişkin değerler modelin iyi uyum göstermediğini [χ^2 (74, N = 279) = 113.36, $\chi^2/sd=3.56$, SRMR=.085, CFI=.85, RMSEA=.09] ortaya koymuştur. Bu nedenle düzeltme

(modifikasyon) indeksleri incelenmiştir. Kovaryanslara yönelik düzeltme indeks değeri yüksek olan 4-5, 8-9, 11-13, 24-25 ve 25-26 numaralı ifadelerin hataları arası ilişki olduğu gözlenmiş; buna bağlı olarak aynı boyutların altında yer alan maddeler arasında kovaryans oluşturularak yeni bir model oluşturulmuştur (Şekil 2). Düzeltme indekslerinde ortaya konulan bu hatalar cevaplayanların karakteristik özellikleri gereği ya da maddelerin aynı veya benzer anlamları taşımasından kaynaklanabilir (Yaşlıoğlu, 2017:79). Ortaya konan ikinci model üzerinden yeniden DFA gerçekleştirilmiş ve elde edilen uyum indeksi

değerleri [χ^2 (293, N = 279) = 1043.43, $\chi^2/sd=2.59$, SRMR=.075, CFI=.91, RMSEA=.075] Tablo 2’de verilen değerlere göre kabul edilir bulunmuştur. Tablo 3’de ise madde-toplam korelasyonları verilmiştir. Yalnızca 26. Maddenin madde-toplam korelasyon katsayısı .30’dan küçük olarak hesaplanmıştır. Ancak Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı alt boyutlar için .84- .90 arasında (uzaklaşma boyutu=.88, büyüleyicilik boyutu=.90, kapsam boyutu=.89, uyumluluk boyutu=.84) bulunması nedeniyle, ölçeğin özgün yapısının korunması amacıyla bu madde ölçekten çıkarılmamıştır.



Şekil 2. DFA Yol Şeması

Tablo 2. Düzeltme Sonrası Elde Edilen Uyum İndeksleri ve Kabul Düzeyleri

Uyum İndeksleri	Değerler	Kabul Düzeyi
χ^2/sd	2.59	≤ 3 mükemmel uyum (Kline, 2005)
SRMR	.075	$\leq .08$ iyi uyum (Jöreskog ve Sörbom, 1993; Kline, 2005)
CFI	.91	$\geq .90$ iyi uyum (Kline, 2005)
RMSEA	.075	$\leq .08$ iyi uyum (Kline, 2005)

Tablo 3. Ölçek Madde-Toplam Korelasyonları

Boyut	Madde-toplam korelasyonu	
Uzaklaşma	Madde 1	.76
	Madde 2	.64
	Madde 3	.80
	Madde 4	.65
	Madde 5	.77
Büyüleyicilik	Madde 6	.70
	Madde 7	.71
	Madde 8	.67
	Madde 9	.70
	Madde 10	.79
	Madde 11	.62
	Madde 12	.75
	Madde 13	.57

Kapsam	Madde 14	.75
	Madde 15	.80
	Madde 16	.75
	Madde 17	.72
Uyumluluk	Madde 18	.64
	Madde 19	.74
	Madde 20	.70
	Madde 21	.71
	Madde 22	.73
	Madde 23	.43
	Madde24	.39
	Madde 25	.34
	Madde26	.25

3.2. Restoratiflik Düzeylerine İlişkin Bulgular

Her ne kadar ölçeğin güvenirlik ve geçerliğinin belirlenmesinde belirleyici olmasa da, ölçeğin uygulandığı görsellere ilişkin algılanan restoratiflik düzeylerine ilişkin tek yönlü ANOVA ve post-hoc analizlerinin sonuçları da çalışma kapsamında irdelenmiştir. Düşük, orta ve yüksek restoratif

olarak ayrılan 3 farklı alan arasında ölçeğin; “uzaklaşma” ($F_{2,276}=47.12$, $p<0.01$, kısmi $\eta^2=.25$), “büyüleyicilik” ($F_{2,276}=50.35$, $p<0.01$, kısmi $\eta^2=.27$), “kapsam” ($F_{2,276}=23.24$, $p<0.01$, kısmi $\eta^2=.14$) ve “uyumluluk” ($F_{2,276}=36.06$, $p<0.01$, kısmi $\eta^2=.21$) skorlarında anlamlı fark saptanmıştır. Yapılan post-hoc analiz sonucunda yüksek restoratiflik düzeyine sahip olduğu varsayılan görsellerde tüm boyutlar düşük ve orta restoratif düzeyine sahip görsellere kıyasla anlamlı yüksek çıkarken ($p<0.05$), düşük ve orta restoratiflik düzeyli görseller arasında “büyüleyicilik” boyutu dışında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanamamıştır (Tablo 4). Restoratiflik düzeylerine ilişkin olarak uzaklaşma, uyumluluk ve kapsam boyutlarında düşük ve orta restoratiflik düzeylerinin anlamlı çıkmayışının bu iki restoratiflik düzeyine ait görüntülerin yeteri kadar ayırt edici olmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, restoratiflik düzeyine ilişkin bulgular ölçeğin geçerliği ve güvenirliği üzerine etki etmeyecek olsa da Türkçe’ye uyarlaması yapılan ölçeğin bundan sonraki uygulamalarında, görüntü seçiminin bulguları etkileyebileceği göz önüne alınmalıdır.

Tablo 4. ARÖ’nün Görsellere Göre Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Uzaklaşma	N	Grup		
		1	2	
Düşük restoratif	94	2,41±1,45		
Orta restoratif	91	2,68±1,31		
Yüksek restoratif	94	4,09±1,02		
Büyüleyicilik	N	Grup		
		1	2	3
Düşük restoratif	94	2,24±1,18		
Orta restoratif	91	2,65±1,25		
Yüksek restoratif	94	3,90±1,10		
Kapsam	N	Grup		
		1	2	
Düşük restoratif	94	4,16±1,52		
Orta restoratif	91	4,49±1,30		
Yüksek restoratif	94	5,39±0,95		
Uyumluluk	N	Grup		
		1	2	
Düşük restoratif	91	2,84±0,99		
Orta restoratif	94	2,80±1,10		
Yüksek restoratif	94	3,92±0,97		

3.3. Duygu Kafesi ile Korelasyon Bulguları

ARÖ ile “duygu kafesi” arasında uyuma bakmak için uygulanan korelasyon analizi sonucunda; uzaklaşma, büyüleyicilik ve kapsam boyutları ile duygu durumu arasında orta derecede pozitif korelasyon saptanmıştır ($r=.55$, $r=.55$ ve $r=.56$, $p<0.01$). Uyumluluk ile duygu durumu arasında da düşük derecede pozitif korelasyon saptanmıştır ($r=.49$, $p<0.01$). ARÖ’nin hiçbir alt boyutu ile uyarılma arasında anlamlı bir korelasyon saptanamamıştır.

4. Sonuç

Bu çalışma, özgün dili İngilizce olan ARÖ’yü Türkçe diline uyarlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte ölçeğin isminde geçen “restoratif” kelimesini aynı anlam ve orijinal ölçeğin belirlediği hedef kapsamında karşılamak üzere farklı ve

Türkçe kökenli bir ifade önerisi olmamıştır. Ölçek maddelerinin içinde bu kelimenin geçmemesi de göz önüne alınarak, ölçek adında bir değişikliğe gidilmemiştir.

Dil, kapsam ve görünüş geçerliği sağlanan ölçeğe DFA uygulanarak, önceden belirlenen yapının Türkçe dilindeki geçerliği sorgulanmıştır. Düzeltme indekslerinin incelenmesi sonucu aynı faktörlere ait maddeler arasında kovaryans gerçekleştirilerek, modelin χ^2/sd açısından mükemmel uyum; SRMR, CFI ve RMSEA indeksleri açısından iyi uyum saptanmıştır. DFA bulguları sonucunda yapı geçerliği sağlanan testin Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları da yüksek düzeyde bulunduğundan, ölçeğin 4 boyutlu yapısının yeterli düzeyde güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte çalışmanın kısıtlayıcılarından biri uyarılma çalışmasının lisans öğrencileri ile gerçekleştirilmiş olmasıdır. ARÖ’de kullanılan değişkenler psikolojik değişkenlerdir ve Erkuş (2007)’un da belirttiği üzere bu değişkenler çoğu zaman kültüre bağlıdır.

Dolayısıyla aynı kültür içinde farklı hedef gruplara da yapılması önerilmektedir.

1986 yılında Dünya Sağlık Örgütü tarafından gerçekleştirilen ilk "Uluslararası Sağlık Geliştirme Konferansı" sonucunda kabul edilen "Ottawa Bildirgesi"nde; "Sağlık, insanların öğrendikleri, çalıştıkları, oynadıkları ve sevdikleri gündelik yaşam ortamlarında yaratılır ve yaşanır" denmekte, öncelikli eylemler arasında ise "destekleyici çevrelerin yaratılması" yer almaktadır (DSÖ, 1986). Zihinsel sağlık ise üretken bir toplumsal yapı için büyük önem taşır (Gong ve ark., 2016). Bu çalışmada sunulan Türkçeye uyarlanmış ARÖ'nün, mekân ve zihinsel sağlık ilişkisini irdelemeye yönelik bir ölçüm aracı olarak kentsel tasarım araştırmalarına ve pratiğine katkı sağlaması beklenmektedir.

5. Teşekkür

Ölçeğin Türkçeye uyarlama iznini veren ve çalışma süresince büyük ölçüde destek veren Prof. Dr. Terry Hartig'e verdiği emek, ayırdığı zaman ve hoşgörüsünden dolayı çok teşekkür eder, saygılarımızı sunarız.

Kaynakça

- Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. *Educational and Psychological Measurement*, 45, 131-142.
- Aksayan, S. & Gözüm, S. (2002). Kültürlerarası Ölçek Uyarlaması İçin Rehber 1: Ölçek Uyarlama Aşamaları ve Dil Uyarlaması. *Hemşirelik Araştırma Dergisi*, 4(1), 9-14.
- Aydin, A., Araz, A. & Asan, A. (2011). Görsel Analog Ölçeği ve Duygu Kafesi: Kültürümüze Uyarlama Çalışması. *Türk Psikoloji Yazıları*, 14 (27), 1-13.
- Bai, X., Nath, I., Capon, A., Hasan, N. & Jaron, D. (2012). Health and wellbeing in the changing urban environment: Complex challenges, scientific responses and the way forward. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4, 464-472.
- BM, (2018). *2018 Revision of World Urbanization Prospects*. (15.02.2020 tarihinde <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> adresinden alınmıştır.)
- Brislin, R.W. (1970). Back-translation for Cross-Cultural Research. *Journal of Cross-cultural Psychology*, 1(3), 185-216.
- Büyükköztürk, Ş. (2015). *Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı* (21. Basım). Ankara: Pegem Akademi.
- Çakıcı, I. (2007). Peyzaj Planlama Çalışmalarında Görsel Peyzaj Değerlendirmesine Yönelik Bir Yöntem Araştırması, Yayınlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara.
- DSÖ, 2017. Cities, Urban Planning and Health, Fact Sheet 2. (02.01.2020 tarihinde http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/341129/Fact-Sheet-2-Cities-Urban-planning-and-health.pdf?ua=1 adresinden alınmıştır.)
- DSÖ (1986). *The Ottawa Charter for Health Promotion. First International Conference on Health Promotion*. (23.05.2020 tarihinde <https://www.who.int/healthpromotion/conferences/previous/ottawa/en/index1.html> adresinden alınmıştır.)
- Erkuş, A. (2007). Ölçek geliştirme ve uyarlama çalışmalarında karşılaşılan sorunlar. *Türk Psikoloji Bülteni*, 13(40), 17-25.
- French, J.R.P., Rodgers, W.L. & Cobb, S. (1974). *Adjustment as person-environment fit*. George V. Coelho, David A. Hamburg & John E. Adams (Ed.), *Coping and Adaptation içinde* (316-333). New York: Basic Books.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gong, Y., Palmer, S., Gallacher, J., Marsden, T. & Fone, D. (2016). A systematic review of the relationship between objective measurements of the urban environment and psychological distress. *Environment International*, 96, 48-57.
- Hartig, T., Korpela, K., Evans, G.W. & Gärling, T. (1997). A measure of restorative quality in environments. *Scandinavian Housing & Planning Research*, 14, 175-194.
- Hartig, T., Korpela, K. M., Evans, G. W. & Garling, T. (1996). Validation of a measure of perceived environmental restorativeness. *Göteborg Psychological Reports*, 26, 7.
- Hinkle D.E., Wiersma W. & Jurs S.G. (2003). *Applied Statistics for the Behavioral Sciences* (5th Edition). Boston: Houghton Mifflin.
- Joye, Y., & Dewitte, S. (2018). Nature's broken path to restoration: A critical look at Attention Restoration Theory. *Journal of Environmental Psychology*, 59, 1-8.
- Jöreskog, K. G. & Sörbom, D. (1993). *LISREL 8: Structural Equation Modeling with The SIMPLIS Command Language*. USA: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kaplan, R. (2001). The nature of the view from home. *Environment and Behavior*, 33(4), 507-542.
- Kaplan, R., Kaplan, S. & Ryan, R. (1998). *With People in Mind Design and Management of Everyday Nature*. Washington DC: Island Press.
- Kaplan, S. (1995). The restorative benefits of nature: toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*, 15, 169-182.
- Kaplan, R. & Kaplan, S. (1989). *The Experience of Nature: A psychological Perspective*. New York: Cambridge University Press.
- Kaplan, S. (1983). A Model of Person-Environment Compatibility. *Environment and Behavior*, 15, 311-332.
- Kaplan, S. & Talbot, J.F. (1983). Psychological benefits of a wilderness experience. Irwin Altman & Joachim F. Wohlwill (Ed.), *Behavior and the Natural Environment içinde* (163-203). New York: Plenum.
- Kline, R. B. (2005). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling* (2nd Edition). New York: Guilford Press.
- Korpela, K.M., Hartig, T., Kaiser, F.G. & Fuhrer, U. (2001). Restorative experience and self-regulation in favorite places. *Environment and Behavior*, 33(4), 572-589.
- Negrin, F., Hernandez-Fernaund, E., Hess, S. & Hernandez, B. (2017). Discrimination of urban spaces with different level of restorativeness based on the original and on a shorter version of Hartig et al.'s Perceived Restorativeness Scale. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 1735.
- Ohly, H., White, M.P., Wheeler, B.W., Bether, A. & Ukoumunne, O.C. (2016). Attention restoration theory: A systematic review of the attention restoration potential of exposure to natural environments. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 19(7), 305-343.
- Paker, M. (2010). Önsöz. Melek Göregenli, *Çevre Psikolojisi*, içinde (ix-x). İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.

- Parsons, R. (1991). The potential influences of environmental perception on human health. *Journal of Environmental Psychology*, 11, 1-23.
- Pervin, L. A. (1968). Performance and Satisfaction as a function of individual-environment fit. *Psychological Bulletin*, 69(1), 56-68.
- Peschardt, K.K. & Stigsdotter U.K. (2013). Associations between park characteristics and perceived restorativeness of small public urban green spaces. *Landscape and Urban Planning*, 112, 26-39.
- Renalds, A., Smith, T.H. & Hale, P.J. (2010). A systematic review of built environment and health. *Fam Community Health*, 33 (1), 68-78.
- Rennit, P. & Maikov, M. (2015). Perceived restoration scale method turned into (used as the) evaluation tool for parks and open green spaces using Tartu city parks as an example. *City, Territory and Architecture*, 2, Article 6.
- Russell, J. A. Weiss, A. & Mendelsohn, G. A. (1989). Affect grid: A single-item scale of pleasure and arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57, 493-502.
- Santos, J.R.A. (1999). Cronbach's alpha: A tool for assessing the reliability of scales. *The Journal of Extension*, 37(2), 1-5.
- Srinivasan, S., O'Fallon, M.A. & Dearry, A. (2003). Creating healthy communities, healthy homes, healthy people: Initiating a research agenda on the built environment and public health. *American Journal of Public Health*, 93(9), 1446-1450.
- Tavşancıl, E. (2010). *Tutumların Ölçülmesi ve SPSS ile Veri Analizi* (4. Baskı). Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Tosun, H. (2018). Ahlaki Duyarlılık Anketi (ADA): Türkçe geçerlik ve güvenilirlik uyarlaması. *Journal of Contemporary Medicine*, 8(4), 316-321.
- Ulrich, R.S., Simons, R.F., Losito, B.D., Fiorito, E., Miles, M.A. & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11, 201-230.
- Ulrich, R.S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 244, 420-421.
- Ulrich, R.S. (1981). Natural versus urban scenes: some psychophysiological effects. *Environment and Behavior*, 13, 523-556.
- Urbina, S. (2004). *Essentials of Psychological Testing*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Yaşlıoğlu, M.M. (2017). Sosyal bilimlerde faktör analizi ve geçerlilik: keşfedici ve doğrulayıcı faktör analizlerinin kullanılması. *İstanbul University Journal of the School of Business*, 46, 74-85.
- Yurdugül, H. (2005). Ölçek Geliştirme Çalışmalarında Kapsam Geçerliği için Kapsam Geçerlik İndekslerinin Kullanılması. (01.06.2020 tarihinde <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~yurdugul/3/indir/PamukkaleBildir.pdf> adresinden alınmıştır.)



Türkiye'nin Orta Fırat Bölümü'nün Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Aylık Aydeniz Metodu Kullanılarak Kuraklık Analizi

Emre Topçu^{1*}

^{1*} Kafkas Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kars, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0728-7035), emretopcu01@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 26 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 28 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.868545)

ATIF/REFERENCE: Topçu, E. (2021). Türkiye'nin Orta Fırat Bölümü'nün Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Aylık Aydeniz Metodu Kullanılarak Kuraklık Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 296-303.

Öz

Bu çalışmada, Türkiye'nin en kurak bölümlerinden biri olan Orta Fırat Bölümü'nde Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Aylık Aydeniz Metodu kullanılarak bir kuraklık analizi yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada; Gaziantep, Adıyaman ve Şanlıurfa olmak üzere 3 adet meteoroloji gözlem istasyonunun aylık ortalama yağış, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama nispi nem ve aylık toplam güneşlenme süresi parametreleri kullanılarak kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Her istasyonun tecrübe ettiği 7 farklı kuraklık sınıfının görülme yüzdeleri bulunmuştur. Sonuçlara göre bölgenin tamamının çoğunlukla çöl iklimine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Oransal olarak çöl ikliminin en fazla yaşandığı istasyon Şanlıurfa olarak bulunmuştur. Aylık Aydeniz Metodu ile elde edilen ve gözlenmiş değerler olarak kabul edilen kuraklık katsayısı değerleri, Bulanık Mantık Yaklaşımı'nda 85 adet kural tabanı oluşturularak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin yüzdesinin en yüksek olduğu il %87.5'lik doğru tahmin etme oranıyla Şanlıurfa istasyonudur. Ortalama doğru tahmin etme oranı %83'ün üzerindedir. Böylece, bölgede kuraklık analizinde kullanılan yöntemlerin karar vericilere su kaynakları planlanmasında yol göstermesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, Aydeniz Metodu, Bulanık Mantık, İklim.

Drought Analyses of the Middle Fırat Part of Turkey by Using Fuzzy Logic Approach and Monthly Aydeniz Method

Abstract

In this study, it is aimed to conduct a drought analyses in Middle Fırat Part, which is one of the most drought parts of Turkey using Fuzzy Logic Approach and Monthly Aydeniz Method. Monthly average precipitation, monthly average temperature, monthly average humidity and monthly total sunshine duration parameters of 3 meteorological stations namely Gaziantep, Adıyaman and Şanlıurfa were exploited for drought analyses. The percentages of 7 different drought classes experienced by each station were found. According to the results, it was observed that the entire region has a mostly desert climate. The station where the desert climate is experienced the most in proportion is Şanlıurfa. The drought coefficient values obtained with the Monthly Aydeniz Method and accepted as observed values were tried to be estimated by creating 85 rule bases in Fuzzy Logic Approach. The province with the highest estimation percentage is Şanlıurfa station with 87.5% correct prediction rate. Average correct estimation rate is over 83%. Thus, the methods used in drought analysis in the region are expected to guide decision-makers in planning water resources.

Keywords: Drought, Aydeniz Method, Fuzzy Logic, Climate.

* Sorumlu Yazar: emretopcu01@gmail.com

1. Giriş

İklim, bir bölgede, olabildiğince uzun bir dönemde saptanan hava durumunun sınır ve ortalama değerlerinin tümüne denir. Bu nedenle yıllara göre koşullardaki değişimler hava değişikliğidir; iklim değişikliği değildir. Fakat bir bölgenin iklimi de binlerce yıl veya daha uzun dönemlerde değişiklik gösterebilmektedir (Aydeniz, 1985). Küresel ısınma iklim değişikliğini tetiklemektedir. Küresel ısınmanın zararlarını kontrol etmenin ya da en azından azaltmanın ilk adımı, her bölgedeki etkisini tanımlamakla olur (Abbasnia ve diğ., 2016).

İklim öğelerini sıcaklık, nem, nemlilik, bulutluluk, yağış, hava basıncı, hava hareketleri ve buharlaşma olarak gruplandırabiliriz. Bu öğelerden bir veya birden fazlasının normalden sapması, görüldüğü bölgede, kısa ya da uzun vadede hava değişikliğine neden olmaktadır. Hava değişikliğinin belki de en ürkütücü olumsuz sonuçları kuraklık ve çoraklıktır. Çünkü bütün canlıların temel ihtiyacı olan ve vücutlarını meydana getiren su, eksikliğinde strese ve telafisi olmayan hasarlara yol açar. Kuraklık, bozulan iklim hadisesinin devam etme süresine göre genellikle geçicidir. Ancak uzun periyotta devam ederse geri dönüşü olmayan çevresel tahribata yol açar. Bu olaya ise çoraklık denir ve olumsuz etkisi kalıcıdır. Kuraklık, oluşma sırasına göre meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik kuraklık olarak kategorize edilebilir. Dönemsel yağış eksikliğinde ilk olarak meteorolojik kuraklık kendisini hissettirir. Ardından yeterli nemi alamayan bitkiler için tarımsal kuraklık başlar. Sürecin devam etmesi neticesinde, artan su talepleri nedeniyle, su kaynaklarında azalma meydana gelir ve hidrolojik kuraklıktan bahsedilir. Nihayetinde bölgede kıtlık, suya hükmetme savaşları başlar. Bu da sosyoekonomik kuraklığın göstergesidir (Wilhite & Glantz, 1987).

Sulak alanlar dünya ekosisteminin dengesini ve devamlılığını sağlayan yeryüzünün en önemli ve kıymetli parçalarından biridir. Büyük bir sistemin parçaları olan bu alanlar, yer aldıkları sahanın iklimi, su kaynakları ve jeomorfolojik özellikleri gibi çevresel faktörlere karşı çok duyarlı olmakla birlikte, özellikle kuraklık sorunu ile karşı karşıyadır (Çakaroz ve diğ., 2020). Kuraklığın oluşma zamanını tahmin etmek zor olsa da, alınacak bazı çevresel ve hidrolojik önlemlerle, kuraklık gerçekleştiğinde negatif etkileri kısa süre de olsa hissedilmeyebilir. Örneğin baraj, gölet, akarsu gibi su kaynaklarını optimum düzeyde yönetmek suyun varlığını sürekli kılar. Hafif şiddetli kuraklıklarda herhangi bir yan etki görülmez.

İnsanların yaşamsal ya da sanayide üretim amaçlı harcadığı su miktarı, beklenmedik bir kuraklığa neden olabilir. Çünkü su kaynaklarının planlanarak yönetildiği bölgelerde mevcut su varlığının haddinden fazla kullanılması, su kaynaklarının dengesini bozabilir. Su israfı hangi amaçla olursa olsun kesinlikle yapılmamalıdır. Özellikle kalabalık ve sanayileşmiş şehirlerde depolama suyunun önemi daha fazladır. İsrif edilen su kuraklığın daha erken başlamasına sebebiyet verebilir. İsrif, ürün veya hizmetlere değer katmayan faaliyetlerin tümüdür (Sevgili & Antmen, 2019). Özellikle kalabalık ve sanayileşmiş şehirlerde sanayinin su kullanımı en yüksek seviyededir. Zaman ilerledikçe, teknoloji geliştikçe; müşteri ihtiyaç ve beklentileri artmakta dolayısı ile yöneticilerin de istekleri değişmektedir (Akçimen & Antmen, 2019). Bu da daha fazla suyun kullanımına yol açabilmektedir.

Yapılacak kuraklık analizleri ile geçmişe dönük kurak dönemlerin belirlenmesi, bir bölgede kuraklığın ne kadar sık yaşandığını ve devam etme süresini açığa çıkarabilir. Eğer çok sık tekrarlanan kuraklık hadiseleri, uzun soluklu belirli periyotlarda gerçekleşiyorlarsa, ilerleyen zamanlar için kuraklık tahmininin de bile bulunulabilir. İklim öğelerini gözlemleyerek, çeşitli iklim parametrelerini inceleyerek kuraklık yargısına ulaşılabilir. Literatürde matematiksel olarak formülize edilmiş çok sayıda kuraklık hesaplama yöntemi bulunmaktadır. En popüler olarak kullanılanlara örnek verecek olursak; De Martonne Metodu (De Martonne, 1942), Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (Palmer, 1965), Ondalıklar Kuraklık İndeksi (Gibbs & Maher, 1967), Aydeniz Metodu (Aydeniz, 1973), Erinç Yöntemi (Erinç, 1984), Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (McKee ve diğ., 1993), Bütünleşik Kuraklık İndeksi (Keyantash & Dracup, 2004), Keşif Kuraklık İndeksi (Tsakiris & Vangelis, 2005), Akım Kuraklık İndeksi (Nalbantis, 2008) gibi yöntemler örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin en kurak bölgeleri arasında yer alan Orta Fırat Bölümü'nde iklimsel olarak kuraklık analizi yapılmıştır. Orta Fırat Bölümü, Dicle Böümü'nden sonra Türkiye'de yaz sıcaklığı ve buharlaşmanın en fazla olduğu bölgedir. Orta Fırat Bölümü'nün denize uzaklığı ve sıcak rüzgârlara açık bir konumda bulunması kurak olmasında en büyük etkidir. Bu bölgede sanayice nispeten gelişmiş; Gaziantep, Adıyaman ve Şanlıurfa olmak üzere insanların yoğun olarak yaşadığı iller bulunmaktadır. Dolayısıyla; sanayi, tarım ve yaşamsal olarak suyun varlığının büyük önem taşıdığı söylenebilir. Küresel iklim değişikliğinin fazlaca tartışıldığı bu dönemde, çalışma bölgesi yaşanılmaz bir çöl olma durumuyla karşı karşıya kalmıştır. Sosyoekonomik kuraklığın meydana gelmesi durumunda, bölge, canlı popülasyonu bakımından olumsuz etkilenecektir. Bu nedenle çalışma alanı olarak bu bölge seçilmiştir.

Çalışmada ilk olarak Aylık Aydeniz Metodu kullanılmış ve meteoroloji istasyonlarının iklimsel olarak kuraklık türleri belirlenmiştir. Akabinde ise Bulanık Mantık Yaklaşımı ile eldeki parametreler kullanılarak geçmişe dönük kuraklıklar tahmin edilmeye çalışılmıştır. Her iki yöntem sonuçları karşılaştırılarak yöntemlerin kuraklığı tespit etme ve birbirilerini doğrulama kapasiteleri incelenmiştir. Çalışmadaki üç istasyonun da iklimleri belirlenmiş ve hangi zamanlarda kuraklık ya da tam tersi ıslaklığın görüldüğü belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Materyal olarak Orta Fırat Bölümü'nde yer alan Gaziantep, Adıyaman ve Şanlıurfa meteoroloji istasyonlarından elde edilen aylık ortalama yağış (mm), aylık ortalama sıcaklık (°C), aylık ortalama nem (%) ve aylık toplam güneşlenme süreleri (saat), analizlerde girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Parametrelerin değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Çalışma alanının konumu Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının Türkiye'deki konumu

Verisi elde edilen meteoroloji istasyonlarının coğrafi bilgileri ise Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Meteoroloji istasyonlarının coğrafi bilgileri

No	Adı	Kot (m)	X (Enlem) K	Y (Boylam) D
17261	Gaziantep	854	37.0585	37.351
17265	Adıyaman	672	37.7553	38.2775
17270	Şanlıurfa	550	37.1608	38.7863

17261 No'lu Gaziantep ve 17265 No'lu Adıyaman meteoroloji istasyonları 1968-2013 (552 ay), 17270 No'lu Şanlıurfa istasyonu ise 1960-2013 (648 ay) yılları arasında parametre serisine sahiptirler.

2.2. Metot

2.2.1. Aylık Aydeniz Metodu

Aydeniz, 1973 yılında, ülkemizin iklim koşullarını göz önüne alarak kuraklık hadisesine etkisi olan faktörleri

(güneşlenme süresi, oransal nem, kuraklık periyodu) de içeren bir katsayı geliştirmiştir. Nemlilik katsayısı olarak adlandırılan bu katsayı (N_{ks}), aylık değerlerin hesabında Eşitlik 1 kullanılarak elde edilmektedir.

$$N_{ks} = \frac{yxNx12}{(SxG_s)+15} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de,

N_{ks} : aylık nemlilik katsayısını

y : cm cinsinden aylık ortalama yağışı

S : aylık ortalama sıcaklığı ($^{\circ}C$)

N : % olarak oransal nemi

G_s : % olarak güneşlenme süresi'ni ifade etmektedir.

% olarak güneşlenme süresi, gerçek güneşlenme süresinin her enlem derecesine göre değişen teorik güneşlenme süresine oranı ile elde edilir. Bu değer elde edilişi (Bölük, 2016) çalışmasında ayrıntılı olarak yer almaktadır. Kuraklık katsayısı K_{ks} ise Eşitlik 2 yardımıyla elde edilir.

$$K_{ks} = \frac{1}{N_{ks}} \quad (2)$$

Bu şekilde bulunan Nemlilik Katsayıları (N_{ks}) ve Kuraklık Katsayıları (K_{ks})'nin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Aylık Aydeniz Metodu'nda kuraklık katsayısı değerlerine göre, kurak dönemler; Çöl, Çok kurak, Kurak, Kurakça, Nemlice, Nemli ve Islak olmak üzere 7 sınıfta kategorilendirilmiştir.

Tablo 2. Nemlilik-Kuraklık katsayılarının iklim özellikleri (Aydeniz, 1985)

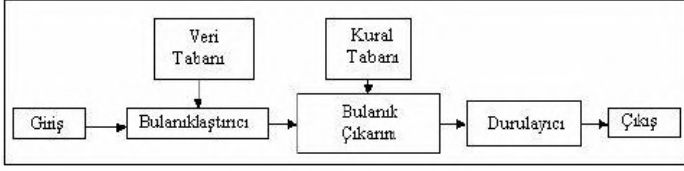
N_{ks}	K_{ks}	İklim
<0.40	>2.50	Çöl
0.40-0.67	1.50-2.50	Çok kurak
0.67-1.00	1.00-1.50	Kurak
1.00-1.33	0.75-1.00	Kurakça
1.33-2.00	0.50-0.75	Nemlice
2.00-4.00	0.25-0.50	Nemli
>4.00	<0.25	Islak

2.2.2. Bulanık Mantık Yaklaşımı

Bulanık Mantık Yaklaşımı bir yaklaşık akıl yürütme metodudur ve söz konusu durumları modellerken belirsizliklerle başa çıkmak için faydalıdır. Bu yaklaşım ilk olarak (Zadeh, 1965) tarafından ortaya konulmuştur ve yaptığı çalışmada insan zihninin çoğunlukla bulanık olduğunu ve kesin olmadığını belirtmiştir. Araştırmalar bulanık mantık yaklaşımı ile elde edilen sonuç performansının bilinen yöntemlerle bulunanlara göre daha iyi olduğunu ortaya çıkarmıştır (Elmas, 2003). Zadeh tarafından ortaya konulan bulanık model (Antmen & Miç, 2018) ve (Miç & Antmen, 2019) çalışmalarında farklı bir boyutuyla ele alınmıştır.

Klasik kümeler olarak bilinen kesin kümeler ait olduğu evrensel kümenin her bir elemanına 1 ya da 0 değerini atamaktadır.

Bir nesne 1 değerini alırsa kümenin elemanıdır, 0 değerini alırsa kümenin elemanı değildir. Bulanık mantıkta belirsizlik durumları, bu durumu temsil eden küme elemanlarına üyelik fonksiyonlarının verilmesi ile tanımlanır. En büyük önem derecesine sahip olan öğelere 1 değeri atanırsa, diğerleri 0 ile 1 arasında değişim gösterir. Bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öğe için değerine üyelik derecesi ve bunun bir alt küme içindeki değişimine de üyelik fonksiyonu denir. (Demir & Gençoğlu, 2004). Bulanık Mantık bulanık denetleyiciden oluşur. Şekil 2'de basit bir bulanık denetleyici mekanizması verilmektedir.



Şekil 2. Bulanıklaştırma-Durulaştırma birimli bulanık sistem (Aksoy, 2003)

Literatürde bulanık kural tabanında modelleme çeşitleri bulunmaktadır. Bu çalışmada Mamdani Bulanık Mantık yöntemi (Mamdani & Assilian, 1975) kullanılmıştır. Bu yöntem, sözel bulanık model “eğer- o halde” kuralları şeklinde (yarı-) nitel bilginin kullanılabilmesi için olanak sağlamaktadır. Kuralların

oluşturulmasından sonra elde edilen bulanık çıktılar ağırlık merkezi, ortalama merkezi, en büyüklerin ortası, açıortay yöntemleri gibi çeşitli metotlar kullanılarak durulanmış çıktı haline gelir (Çeribaşı & Doğan, 2016).

Bu çalışmada kuraklık tespiti amacıyla toplamda 85 adet kural tabanı oluşturulmuştur. Kural tabanında yağış, sıcaklık, nispi nem ve güneşlenme süreleri için VL (very low), L (low), M (moderate), H (high), VH (very high) şeklinde kurallar atanmıştır. Tüm analizler Matlab uygulamasında gerçekleştirilmiştir. Örnek kural tabanı Tablo 3’te yer almaktadır.

Tablo 3. Çalışmada oluşturulan örnek kural tabanı

Yağış	Sıcaklık	Nispi Nem	G. Süresi	Durum
VL	M	VL	H	Çöl
VL	H	M	M	Çok Kurak
VL	L	M	M	Kurak
VL	VL	M	M	Kurakça
M	H	M	H	Nemlice
H	H	H	H	Nemli
VH	M	VH	VL	Islak

Bu çalışmada yapılan analizlerin performansını değerlendirmek için Kök Ortalama Kare Hata Değeri (RMSE) hesap edilmiştir, RMSE (Root Mean Square Error) değerleri Eşitlik 3 yardımıyla bulunmuştur. Bu denklemde n gözlem sayısıdır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Tahmin\ Değer - Gözlenmiş\ Değer)^2}{n}} \quad (3)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Ülkemizde ve çalışma bölgesinde en kurak ay Ağustos ayıdır. Yapılan analizler neticesinde çalışmada yer alan 3 istasyonda da en kurak ayda, aylık ortalama sıcaklıklarda artış tespit edilmiştir. Ortalama yağışta ise son yıllarda, daha önceki yıllara benzemeyen pik yapan yağışlar kaydedilmiştir. Bunun nedeninin; küresel ısınmanın iklimi bozması, uzun süre yağış oluşmaması, oluştuğunda da yağışın çok şiddetli ve kısa süreli olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. 17261 ve 17270 No’lu istasyonlarda aylık ortalama nem değerlerinde ise azalış eğilimi vardır. Bunun nedeni güneyden gelen sıcak ve kuru hava dalgasının sıklığının artması olabilir. 17265 No’lu istasyonda ise birbirini takip eden kurak ve ıslak dönemler göze çarpmaktadır. İstasyonlarda aylık toplam güneşlenme süresi ise azalış eğilimindedir ancak son yıllarda nispeten artış görülmüştür.

Gaziantep (17261), Adıyaman (17265) ve Şanlıurfa (17270) meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama yağış, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama nispi nem ve aylık ortalama toplam güneşlenme süreleri Tablo 4’de gösterilmiştir. Bu değerlere göre aylık ortalama yağış ve aylık ortalama nispi nemin en yüksek olduğu yer 17261 No’lu istasyon, aylık ortalama sıcaklık ve

aylık ortalama toplam güneşlenme süresinin en yüksek olduğu yer 17270 No’lu istasyondur. Yağış, sıcaklık, nispi nem ve güneşlenme sürelerinin, eldeki seriler kullanılarak elde edilen minimum ve maksimum değerleri Tablo 5’te verilmektedir. Bu tabloya göre aylık ortalama yağış en fazla 17265 No’lu istasyonda, en az ise 17261 No’lu istasyondadır. En yüksek aylık ortalama sıcaklık 17270 No’lu istasyonda görülmüştür. Aylık ortalama nispi nemin en yüksek olduğu istasyon 17261 No’lu istasyondur. Aylık toplam güneşlenme süresi ise 17270 No’lu istasyonda en fazladır.

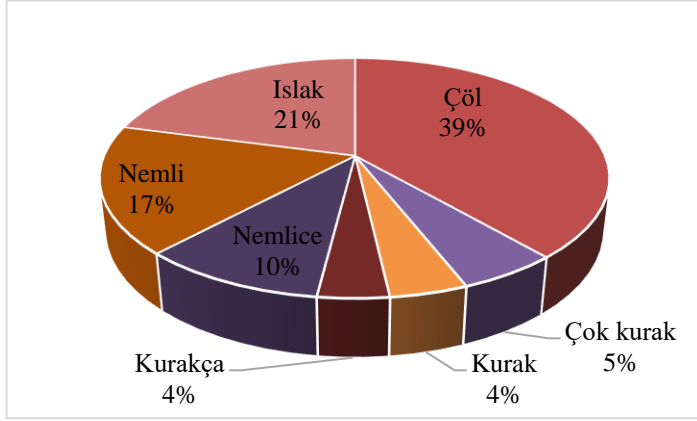
Tablo 4. İstasyonların iklim parametrelerinin aylık ortalama değerleri

No	Yağış (mm)	Sıcaklık (°C)	Nispi Nem (%)	G. Süresi (saat)
17261	47.1	15.1	61.0	218.4
17265	58.3	17.2	49.2	241.4
17270	38.2	18.4	50.7	246.3

Tablo 5. İstasyonların iklim parametrelerinin min. ve maks. değerleri

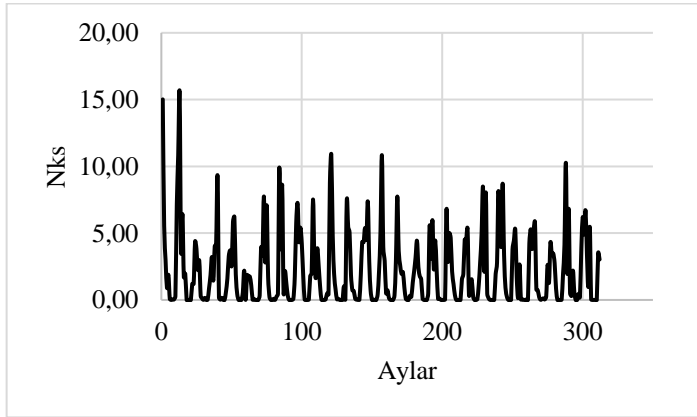
	Yağış		Sıcaklık		Nispi Nem		G. süresi	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
17261	0	259.4	-3.2	31.2	28.1	90.2	47.7	419.5
17265	0	367.1	-0.2	33.5	13.7	81	53.4	420.8
17270	0	324.9	1.2	34.8	17.2	85.8	58.5	437.4

Aylık Aydeniz Metodu ile bulunan nemlilik (N_{ks}) ve kuraklık (K_{ks}) katsayıları zaman serileri haline getirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 17261 No'lu istasyonda özellikle haziran, temmuz, ağustos aylarında çöl iklimi yaşandığı tespit edilmiştir. Hatta ekim, kasım ve nisan aylarında bile çöl iklimi görülebilmektedir. En yüksek N_{ks} değerleri 1968 ve 1969 yılları Ocak ayında ve 2001 yılı Aralık ayında görülmüştür. Toplam 552 ay içerisinde 213 ay çöl, 30 ay çok kurak, 23 ay kurak, 21 ay kurakça, 55 ay nemlice, 95 ay nemli ve 115 ay ise ıslak olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerin toplam ay sayısı içerisindeki yüzde oranları elde edilmiştir. 17261 No'lu istasyon için kuraklık sınıflarına göre yüzdeler Şekil 3'te verilmektedir.



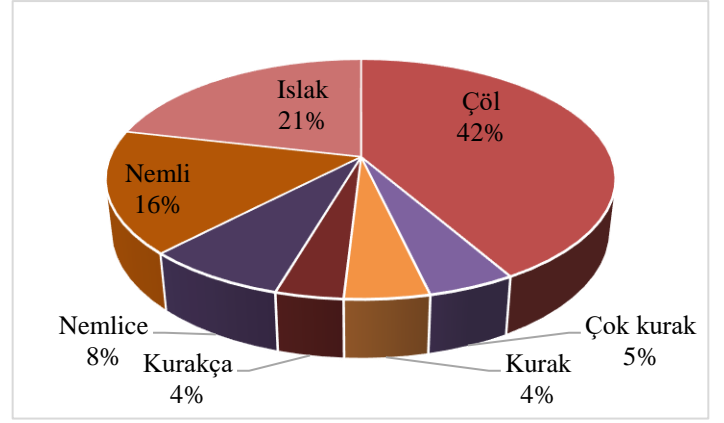
Şekil 3. 17261 No'lu istasyon için kuraklık sınıfı yüzdeleri

Şekil 4'de ise aylar boyunca N_{ks} değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

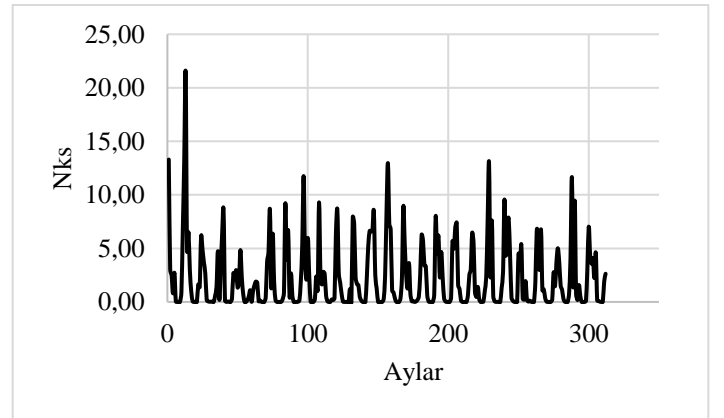


Şekil 4. 17261 No'lu istasyon için N_{ks} değerlerinin aylık olarak değişimi

17265 No'lu istasyonda haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında çöl iklimi görülmektedir. Kasım, mart, nisan ve mayıs aylarında bile çöl ikliminin yaşanabildiği tespit edilmiştir. En yüksek N_{ks} değerleri 1969 yılı Ocak ayı, 2001 yılı Aralık ayı ve 2012 yılı Aralık ayında görülmüştür. Bu istasyonun sahip olduğu 552 aylık zaman serisinde 230 ay çöl, 26 ay çok kurak, 25 ay kurak, 20 ay kurakça, 42 ay nemlice, 91 ay nemli ve 118 ay ise ıslak olduğu ortaya çıkmıştır. 17265 No'lu istasyon için kuraklık sınıflarına göre yüzdeler Şekil 5'de verilmektedir. Şekil 6'da ise aylar boyunca N_{ks} değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

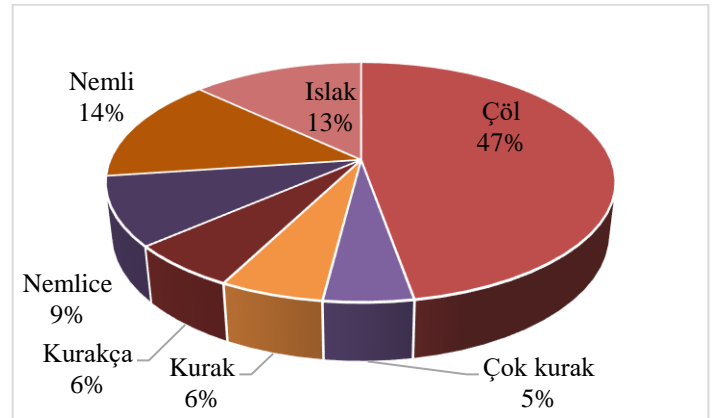


Şekil 5. 17265 No'lu istasyon için kuraklık sınıfı yüzdeleri

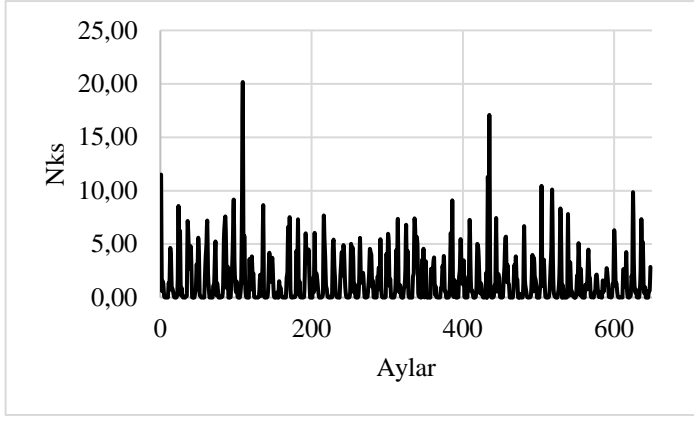


Şekil 6. 17265 No'lu istasyon için N_{ks} değerlerinin aylık olarak değişimi

17270 No'lu istasyonda da benzer durumlar yaşanmıştır. Ancak en büyük N_{ks} 1960 ve 1969 yılları Ocak ayında ve 1996 yılı Mart ayında görülmüştür. Bu istasyonda sahip olduğu 648 aylık zaman serisi boyunca 306 ay çöl, 31 ay çok kurak, 36 ay kurak, 39 ay kurakça, 60 ay nemlice, 92 ay nemli ve 84 ay ıslak olarak tespit edilmiştir. Çöl ikliminin en fazla ve ıslaklığın en az görüldüğü istasyon bu istasyon olarak gözlemlenmiştir. 17270 No'lu istasyon için kuraklık sınıflarına göre yüzdeler Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 8'de ise aylar boyunca N_{ks} değerlerinin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7. 17270 No'lu istasyon için kuraklık sınıfı yüzdeleri



Şekil 8. 17270 No'lu istasyon için N_{ks} değerlerinin aylık olarak değişimi

İstasyonların pasta grafikleri incelendiğinde çoğunlukla çöl ikliminin hâkim olduğu göze çarpmaktadır.

Bulanık mantık yönteminde kullanılan 85 kural tabanı ile elde edilen kuraklık sonuçları irdelenmiştir. Bu incelemede, Aylık Aydeniz Metodu ile elde edilenler "Durum", Bulanık Mantık yaklaşımı ile oluşturulan kuraklık ve nemlilik sayıları "Tahmin" olarak isimlendirilmiştir. Aylık Aydeniz Metodu ile elde edilen aylık kuraklık ve nemlilik durumlarının, Bulanık Mantık Yaklaşımı ile elde edilen tahminler ile karşılaştırıldığında yüzde olarak birbirini tutturma oranı elde edilmiştir. 17261 No'lu istasyona ait Durum ve Tahmin değerleri ve iklim sınıfına denk gelen gözlenmiş ve tahmin edilmiş ay sayısı Tablo 6'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre yapılan 552 tahminden 461 iklim tipi doğru tespit edilmiştir. Bu sayı oldukça yüksek bir değer olan % 83.51'e denk gelmektedir.

Tablo 6. 17261 No'lu istasyonun kuraklık sınıflarına göre tahmin değerleri

GAZİANTEP (17261)								
Durum	Tahmin	Çöl	Çok Kurak	Kurak	Kurakça	Nemlice	Nemli	Islak
		Çöl	202	3	8	0	0	0
Çok Kurak	7	23	0	0	0	0	0	
Kurak	4	0	17	2	0	0	0	
Kurakça	2	0	0	19	0	0	0	
Nemlice	0	0	0	0	24	31	0	
Nemli	0	0	0	0	1	67	27	
Islak	0	0	0	0	0	6	109	

Tablo 7'de 17265 No'lu istasyon için kuraklık sınıflarına denk gelen tahmin değerleri gösterilmektedir. 552 aydan 463 tanesi doğru tahmin edilmiştir. Bu da, %83.88 başarı ile doğru tahmin edildiği anlamına gelmektedir.

Tablo 7. 17265 No'lu istasyonun kuraklık sınıflarına göre tahmin değerleri

ADIYAMAN (17265)								
Durum	Tahmin	Çöl	Çok Kurak	Kurak	Kurakça	Nemlice	Nemli	Islak
		Çöl	229	1	0	0	0	0
Çok Kurak	8	16	2	0	0	0	0	
Kurak	0	6	18	1	0	0	0	
Kurakça	0	0	1	12	7	0	0	
Nemlice	0	0	0	4	24	14	0	
Nemli	0	0	0	0	3	64	24	
Islak	0	0	0	0	0	18	100	

Tablo 8’de ise 17270 No’lu istasyon için durum ve tahmin değerleri gösterilmektedir. 648 ayın 567’si doğru tahmin edilmiştir. Doğru tahmin yüzdesi %87.5’tir. Tablolardan anlaşılacağı üzere en yüksek doğru tahmin yüzdesine 17270 No’lu istasyon sahiptir. 3 istasyonun da RMSE değerleri Tablo 9’da verilmektedir.

Tablo 8. 17270 No’lu istasyonun kuraklık sınıflarına göre tahmin değerleri

ŞANLIURFA (17270)								
Durum	Tahmin	Çöl	Çok Kurak	Kurak	Kurakça	Nemlice	Nemli	Islak
		Çöl	289	6	11	0	0	0
Çok Kurak	7	24	0	0	0	0	0	
Kurak	0	0	32	4	0	0	0	
Kurakça	0	0	1	37	1	0	0	
Nemlice	0	0	0	0	47	11	2	
Nemli	0	0	0	0	1	63	28	
Islak	0	0	0	0	0	9	75	

Tablo 9. İstasyonların RMSE ve doğru tahmin yüzdeleri

17261	RMSE = 2.0476
	Doğru Tahmin = 461
	Toplam Tahmin = 552
	Doğru Tahmin = %83.51
17265	RMSE = 2.5737
	Doğru Tahmin = 463
	Toplam Tahmin = 552
	Doğru Tahmin = %83.88
17270	RMSE = 1.6379
	Doğru Tahmin = 567
	Toplam Tahmin = 648
	Doğru Tahmin = %87.5

4. Sonuç

Kuraklık yaşamsal faaliyetleri suya dayalı bütün varlıklar için endişe verici bir durumdur. İster iklim koşulları gereği ister küresel ısınmanın bozduğu iklim parametreleri sebebiyle oluşsun, doğru tahmin ve analiz, kuraklığın etkilerinin en aza indirilmesinde çok önemli bir husustur. Bu çalışmada Türkiye’nin Orta Fırat Bölümü’nde bulunan üç meteoroloji istasyonunda kuraklık analizi yapılmıştır. Bu bölgenin analiz için seçilmesinde en büyük etken, ikliminin hali hazırda çöl iklimi olarak yaşanmasıdır. Gerek insan kaynaklı gerekse doğal hadiselerle meydana gelen küresel ısınma sebebiyle bölgede kuraklığın daha da şiddetleneceği düşüncesi, çalışmada, analizi bu coğrafi bölümde yapmaya yönlendirmiştir.

Çalışmada Aylık Aydeniz Metodu ve Bulanık Mantık Yaklaşımı tercih edilmiştir. Aydeniz metodu, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından da kuraklığın tespiti amacıyla güncel olarak kullanılmaktadır. Bulanık Mantık Yaklaşımı’nda da Mamdani çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çalışma bölgesi bütün olarak daha çok çöl ikliminin tecrübe edildiği bir yerdir. Aydeniz Metodu ve 85 kural tabanı oluşturularak kullanılan Bulanık Mantık yöntemleri karşılaştırıldığında birbirini doğrulama konusunda en yüksek oranın 17270 No’lu Şanlıurfa istasyonunda olduğu ortaya çıkmıştır. Bölgede kuraklık çoğunlukla yaz aylarında görülmektedir, ancak diğer mevsimlerde de görülebilmektedir.

Geçmişe yönelik yapılan bu kuraklık analizi çalışmasında bölgenin çok kurak bir bölge olduğu hatta çöl iklimine sahip olduğu bir kez daha ortaya konulmuştur. Bölgenin iklimsel doğası nedeniyle az olan su kaynaklarının varlığının devam edebilmesinin; nüfus planlaması, tarımsal reform, insanların eğitilmesi, su kaynaklarının bilinçli kullanılması ve yönetilmesi gibi konuların gündeme getirilmesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan yöntemlerin bölge için uygun olduğu kanısına varılmıştır. Bu çalışmada kullanılan bulanık mantık yöntemi için sınırlı sayıda kural tabanı oluşturulabilmiştir. Ancak, Orta Fırat Bölümü ya da herhangi bir bölge için yapılması planlanan gelecekteki kuraklık çalışmalarında daha kapsamlı bulanık mantık kural tabanları oluşturulabilir. İleri yıllardaki kentsel veya tarımsal projeksiyonlar için su kaynaklarının kullanılması konusunda bu çalışmanın planlamacılar için fikir vermesi umulmaktadır.

Kaynakça

- Abbasnia, M., Tavousi, T., Khosravi, M., Toros, H. (2016). Investigation of interactive effects between temperature trend and urban climate during the last decades: a case study of Isfahan-Iran. *European Journal of Science and Technology*, Vol 4, No 7, pp 74-81.
- Akçimen, C. & Antmen, F. (2019). Kısıtlar Teorisinde Kapasite Kısıtı ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 618-626.
- Aksoy, S. (2003). İnşaat Mühendisliğinde Çok Amaçlı Değerlendirme ve Karar Vermede Fuzzy Yaklaşımı 179 s., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Antmen, F. Z., & Miç, P., (2018). Çocuk Yoğun Bakım Ünitesinde Çok Kriterli Karar Verme ile Mekanik Ventilator Seçimi ve Bir Uygulama Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), ss. 17-30.
- Aydeniz, A. (1973). Tarımda verimliliğin sağlanmasında önemli etken olan su ve sulama durumumuz. *Verimlilik Dergisi*, 3/1: 177-199.
- Aydeniz, A. (1985). Toprak Amenajmanı-I. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 928, Ders Kitabı: 263.
- Çakaroz, D., Özelkan, E. & Karaman, M. (2020). Sulak Alanlarda Uzaktan Algılama ile Belirlenen Zamansal Değişime Kuraklığın Etkisinin İncelenmesi: Umurbey Deltası (Çanakkale) Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 898-916.
- Çeribaşı, G., & Doğan, E. (2016). Aşağı Sakarya Nehrindeki Askı Maddesi Miktarının Esnek Yöntemler ile Tahmini. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2):351-358.
- De Martonne, E. (1942). Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. *Annales de Géographie* 51: 242-250.
- Demir, F., Gençoğlu, M. & Güler, K. (2004). Çelik Tel Takviyeli Betonların Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı için Bir Bulanık Mantık Yaklaşımı. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi*, 15-16-17 Nisan 2004, İstanbul.
- Elmas, Ç. (2003). Bulanık Mantık Denetleyiciler. Seçkin Yayınevi, ISBN 975 347 613 2, Ankara.
- Eriñç, S. (1984). Klimatoloji ve Metotları, İ.T.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
- Gibbs, J. W., & Maher, V. J. (1967). Rainfall Deciles as Drought Indicators. *Bureau of Meteorology. Australia*, 48, 33s.
- Keyantash, A. J., & Dracup, A. J. (2004). An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resources Research*, Vol 40, W09304.
- Mamdani, E. H. & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *Int. Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J. & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Reprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 179-184 p.
- Miç, P. & Antmen, Z. F. (2019). A Healthcare Facility Location Selection Problem with Fuzzy TOPSIS Method for a Regional Hospital. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 750-757.
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a Hydrological Drought Index. *European Water Publications*, 23/24:67-77.
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought, U.S. weather Bureau, Research Paper No.45.
- Sevgili, A. & Antmen, Z. F. (2019). Yalın Üretim Tekniklerinden Değer Akış Haritalandırmanın Bir Metal İşleme Fabrikasında Süreç İyileştirme Amacıyla Uygulanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 219-228.
- Tsakiris, G., & Vangelis, H. (2005). Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. *European Water Publications*, 9/10:3-11.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1987). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. In: *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability*. Westview Press, Boulder, Colorado, pp 11-30.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets, *Information and Control*. Academic Press, New York, Vol. 8, pp 338-353.



Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinin Agromorfolojik Özellikleri Bakımından Biplot, Kümeleme ve Path Analizi Yöntemleri ile Değerlendirilmesi

Fatih Demirel^{1*}, Ahmet Metin Kumlay², Bünyamin Yıldırım³

^{1*} Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6846-8422), drfdemirel@gmail.com

² Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9765-8674), akumlay@hotmail.com

³ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2463-6989), byildirim71@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 26 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 28 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.868789)

ATIF/REFERENCE: Demirel, F., Kumlay, A. M. & Yıldırım, B. (2021). Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinin Agromorfolojik Özellikleri Bakımından Biplot, Kümeleme ve Path Analizi Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 304-311.

Öz

Bu çalışmada materyal olarak 21 adet ekmeklik buğday (*T. aestivum* L.) genotipi ile tescilli 2 adet ekmeklik buğday çeşidi (Ahmetağa ve Cemre) kullanılmıştır. Yazlık olarak ekilen 23 adet genotipin başakta dane sayısı (DS), başakta dane verimi (TV), biyolojik verim (BV), hasat indeksi (Hİ), bitki boyu (BB) ve başak uzunluğu (BU) özellikleri incelenmiştir. İrdelenen tarımsal karakterler arasındaki ilişkiler path, biplot ve korelasyon analizleriyle değerlendirilmiştir. Genotipler arası ilişkiyi belirlemek için kümeleme (Aglomeratif hiyerarşik kümeleme) analizi uygulanmıştır. Path analizi sonucunda TV'ne doğrudan etki gösteren BU'nun katkı oranının %42.63 olduğu saptanmıştır. Biplot analizi sonucunda F1 ve F2'nin toplam varyasyonu açıklama oranının %73.32 olduğu belirlenmiştir. Dane verimi yönünden seleksiyon için P13, P14 ve P19 numaralı genotiplerin öne çıktığı tespit edilmiştir. İncelenen genotiplerin ıslah materyali olarak kullanılabilme etkinlikleri ortaya konulmuştur. Olumlu yönde etkili olan karakterlerin seleksiyon kriteri olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Buğday, Genotip, Biplot analizi, Kümeleme analizi, Path analizi.

Evaluation of Agromorphological Characteristics of Some Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes by Biplot, Clustering and Path Analysis Methods

Abstract

In this study, 21 bread wheat (*T. aestivum* L.) genotypes and 2 registered bread varieties (Ahmetağa and Cemre) were used as material. The characteristics of 23 genotypes planted as summer cottage number of grain (DS), grain yield (TV), biological yield (BV), harvest index (HI), plant height (BB) and spike length (BU) were investigated. The relationships between the discussed agricultural characters were evaluated by path, biplot and correlation analysis. Cluster analysis was applied to determine the relationship between genotypes. As a result of the path analysis, it was determined that the contribution rate of BU which has a direct effect on TV was 42.63%. As a result of the biplot analysis, it was determined that the approval of disclosing the total variation of F1 and F2 was 73.32%. In terms of grain yield, it was determined that the genotypes P13, P14 and P19 stand out for selection. The efficiency of the analyzed genotypes as breeding material has been revealed. It was concluded that the characters that are positively effective can be used as selection criteria.

Keywords: Wheat, Genotype, Biplot analysis, Clustering analysis, Path analysis.

* Sorumlu Yazar: drfdemirel@gmail.com

1. Giriş

Buğdayın orijininin Güneybatı Asya olduğu ve Türkiye, Irak, Suriye ve Kafkasya’da yabancı türlerinin bulunduğu ve buraların buğdayın gen merkezi olarak kabul edildiği bildirilmiştir (Kırtok, 1997). Buğday’ın ilk kez Türkiye’nin de yer aldığı “verimli hilal” olarak adlandırılan alanda kültüre alındığı birçok araştırmacı tarafından kabul görmüştür (Heun ve ark., 1997; Lev-Yadun ve ark., 2000). Buğday, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de önemli besin kaynağı konumunda olan bir tahıl bitkisidir.

Buğdayın dane verimi karmaşık bir özelliktir ve katkıda bulunan birkaç bileşenin ürünüdür (Dağüstü, 2008). Buğdayda dane verimi, gelişimi sırasında meydana gelen bazı önemli fizyolojik özelliklerin (başakçık sayısı, başak ağırlığı ve başakta dane sayısı) etkisi altındadır. Bu verim özelliklerinin buğday dane verimi üzerinde doğrudan ve dolaylı etkileri, çoğunlukla bitki gelişme evresine ve yetiştirme türüne bağlıdır (Okuyama ve ark., 2004). Korelasyon katsayıları, genotiplerin farklı özellikleri üzerindeki etkilerinin bilgisi ile verime katkıda bulunan özelliklerin dane verimi ile ilişki derecesini belirlemede önemli rol oynamaktadır. Bu analiz, farklı özellikler arasındaki ilişkileri ölçmek ve etkinin verime yansıtılıp yansıtılmadığını göstermek için bir araç sağlayan güvenilir bir istatistiksel yöntemdir (Sabaghnia ve Janmohammadi, 2014).

Yetiştirme programlarına ilişkin verilerin etkili bir şekilde yorumlanması, bitki ıslahının tüm aşamalarında, özellikle sadece verim bileşenlerinin seçilmesinin mümkün olduğu durumlarda önemlidir. Veri yapısının anlaşılması için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler genel uygunluk açısından farklılık gösterebilir; farklı yöntemler genellikle belirli bir veri kümesi için benzer sonuçlara götürür. Biplot, çeşitlerin ve çevrenin etkilerini eşzamanlı olarak gösteren bir çizimdir. GGE biplot (genotip “G” ve genotip-çevre etkileşimi “GE”), birden çok özelliğe sahip genotiplerin her tür iki yönlü veri kümesi için de kullanılabilir (Sabaghnia ve Janmohammadi, 2014).

İkiden farklı değişkenin ilişkisini açıklamada path analizi kullanılmaktadır. Path katsayıları incelenen değişkenler arasındaki ilişkiyi doğrudan ve dolaylı etkileri ile birlikte inceleme fırsatı vermektedir. Path katsayıları sayesinde sonucu etkileyen bağımsız değişkenlerin doğrudan ve dolaylı etki miktarlarının oranları belirlenebilmektedir (Orhan ve Kaşıkçı, 2002).

Bu çalışmada, 23 adet buğday genotipinde dane verimine etki edebilecek özellikler arası (DS: Başakta dane sayısı, TV: Dane verimi, BV: Biyolojik verim, Hİ: Hasat indeksi, BB: Bitki boyu, BU: Başak uzunluğu) ilişkilerin saptanması ve dane veriminde etkili değişkenlerin Iğdır ili koşullarında yetiştirilen buğdaylarda belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Araştırmada materyal olarak 21 ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotipi ve 2 tescilli ekmeklik buğday çeşidi (Ahmetağa ve Cemre) olmak üzere toplamda 23 ekmeklik buğday genotipi kullanılmıştır. 21 genotip Kahramanmaraş, Konya, Aksaray, Kayseri, Kastamonu, Yozgat, Sivas ve Adıyaman illerinden toplanmış olup Iğdır ilinde 2017 yılında ekimleri yapılmıştır.

2.2. Araştırma Alanı İklim Özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü Iğdır iline ait Mart-Ağustos aylarının ilişkin Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre toplam yağış miktarı 95.7 mm olmuştur. Iğdır ilinde 2017 yılında uzun yıllar ortalamasına (165.9 mm) göre daha düşük yağış gerçekleşmiştir. Denemenin yürütüldüğü yetiştirme sezonunda uzun yıllar ortalama sıcaklığı 18.6 °C iken 2017 yılı ortalama sıcaklığı 19.8 °C olarak kaydedilmiştir. Nispi nem oranı verilerine göre 2017 yetiştirme dönemi nispi nem oranı (%48.4) ile uzun yıllar ortalamasında (%48.8) benzerlik olduğu görülmüştür (Çizelge 1).

Çizelge 1. Denemenin yürütüldüğü 2017 yılı ile uzun yıllar ortalamasına (UYO) ait bazı iklim verileri.

İklim faktörleri	Yıl	Aylar						Toplam/Ortalama
		Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	
Yağış (mm)	2017	8.5	14.5	51.7	6.9	6.1	8.0	95.7
	UYO	21.9	37.4	49.4	33.1	14.5	9.6	165.9
Sıcaklık (°C)	2017	6.7	13.4	18.6	24.2	28	27.8	19.8
	UYO	6.9	13.4	17.5	22.3	26.2	25.6	18.6
Nispi nem (%)	2017	59.9	47.2	54.0	42.9	41.9	44.3	48.4
	UYO	52.2	49.9	51.5	47.3	45.3	47.1	48.8

2.3. Araştırma Alanı Toprak Özellikleri

Araştırma alanının farklı konumlarından alınan 0-20 cm derinliğindeki toprağın killi-tınlı bünyeye sahip olduğu, toprak pH’sının 8.6 (şiddetli alkali) olduğu, kireç (CaCO₃) miktarının %22.25, organik madde miktarının %1.2, azot miktarının (N) %0.06, fosfor miktarının 51.5 ppm, potasyum miktarının (K₂O) 851.5 ppm ve elektriksel iletkenlik değerinin 1.37 dS m⁻¹ olduğu belirlenmiştir.

2.4. Metot

Araştırmanın tarla denemesi Iğdır Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma arazisinde 2017 vejetasyon döneminde yürütülmüştür. Araştırmada buğday genotiplerinin, Mart ayında tesadüf blokları deneme desenine göre 3 blok (her blok 68.5x2 m) olarak 2.5x2 m’lik parsellere ekimi yapılmıştır. Ekimle birlikte 3 kg da⁻¹ saf azot (N) ve 6 kg da⁻¹ saf fosfor (P₂O₅), kardeşlenme döneminde ise 3 kg da⁻¹ saf azot (N) olacak şekilde gübreleme işlemleri yapılmıştır. Araştırmada ele alınan Başakta dane sayısı (DS), başakta dane verimi (TV), biyolojik verim

(BV), hasat indeksi (Hİ), bitki boyu (BB), başak uzunluğu (BU) gibi verilerin elde edilmesinde; Tosun ve Yurtman (1973) ve Tugay (1978)'in belirttikleri yöntemlerden yararlanılmıştır. Elde edilen veriler XLSTAT paket programı kullanılarak analiz edilmiştir (Addinsoft, 2015).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Buğday genotiplerinde incelenen özelliklerin ortalama değerleri ve Duncan gruplaması Çizelge 2'de gösterilmiştir. Ayrıca çizelgede, incelenen buğday genotipleri arasında bitki boyu, başak uzunluğu, başakta dane sayısı, başakta dane verimi, biyolojik verim ve hasat indeksi yönünden değişim gösteren verilerin istatistiksel olarak çok önemli $*p<0.0001$ olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Buğday genotiplerinde incelenen özelliklerin ortalama değerleri.

	Bitki boyu (cm)	Başak uzunluğu (cm)	Dane sayısı (adet)	Tane verimi (g)	Biyolojik verim (g)	Hasat indeksi (%)
P1	61.33 h	9.61 d	18.50 de	0.39 f	2.42 hi	15.72 ij
P2	54.50 i	7.38 j	17.77 def	0.57 def	2.18 i	26.11 bc
P3	52.16 i	8.33 gh	17.33 ef	0.68 cd	2.32 i	29.27 ab
P4	92.83 ab	7.80 i	15.66 efg	0.66 cde	3.78 f	17.36 hij
P5	82.66 def	4.66 k	16.11 ef	0.47 ef	2.55 hi	19.60 efg
P6	94.33 ab	8.80 f	22.66 bc	0.73 cd	3.55 fg	20.89 efg
P7	81.83 def	4.66 k	16.16 ef	0.54 def	2.57 hi	21.57 efg
P8	83.50 de	8.63 fg	17.83 def	0.65 cde	7.09 b	9.21 kl
P9	90.00 bc	4.90 k	11.33 h	0.19 g	3.28 fgh	6.23 l
P10	86.00 cd	9.38 de	20.33 cd	0.68 cd	4.03 ef	17.71 hij
P11	95.16 ab	7.66 ij	15.00 fg	0.72 cd	3.79 f	18.96 fghi
P12	76.33 fg	7.76 i	17.83 def	0.63 de	3.41 fg	18.44 ghi
P13	57.50 hi	10.08 c	31.33 a	1.25 a	5.09 d	25.27 cd
P14	73.50 g	9.25 e	29.11 a	0.93 b	6.34 c	14.71 j
P15	82.16 def	4.71 k	16.33 ef	0.57 def	2.59 hi	22.38 def
P16	81.16 def	4.70 k	16.22 ef	0.58 def	2.57 hi	23.07 cde
P17	79.00 efg	8.20 h	15.33 fg	0.73 cd	7.90 a	9.22 kl
P18	76.33 fg	11.90 a	23.50 b	0.85 bc	2.84 ghi	30.25 a
P19	96.66 a	8.85 f	24.33 b	1.15 a	6.04 c	19.09 fghi
P20	81.50 def	4.70 k	17.33 ef	0.55 def	2.56 hi	21.69 defg
P21	83.33 de	4.65 k	16.83 ef	0.56 def	2.58 hi	21.92 defg
Ahmetağa	54.50 i	7.38 j	17.77 def	0.57 def	2.18 i	26.11 bc
Cemre	61.33 h	11.38 b	13.11 gh	0.45 ef	4.69 de	10.02 k
Ortalama	77.29±13.96	7.62±2.23	18.59±4.83	0.66±0.24	3.75±1.68	19.34±6.48
F	48.23*	376.67*	30.77*	13.84*	40.88*	31.22*

3.1. Bitki Boyu

İncelenen buğday genotiplerinde ortalama bitki boyunun 52.16 ile 96.66 cm arasında değiştiği ve ortalama bitki boyunun ise 77.29 cm olduğu saptanmıştır. En kısa bitki boyu P3 numaralı genotipte gözlenirken en uzun bitki boyu ise P19 numaralı genotipte gözlemlenmiştir. Ahmetağa ve Cemre çeşitlerinin ortalama bitki boyunun bütün genotiplerin bitki boyu ortalamalarına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Çalışmadaki bitki boyu bulgularının, Aydın ve ark. (2005)'nin Samsun ve Amasya bölgelerinde yürüttükleri çalışmaya ait ortalama bitki boyu (68.1-95.6 cm) değerleriyle, Aydoğan ve Soylu (2017)'nin 14 ekmeçlik çeşidini araştırdıkları çalışmadaki bitki boyu (79.5-108.2 cm) değerleriyle ve Çağlar ve ark. (2005)'nin 25 ekmeçlik çeşidini inceledikleri çalışmadaki bitki boyu (72.5-99.3 cm) değerleri ile kısmen uyumlu olduğu, bazı genotiplere ait bitki boylarının ise düşük olduğu belirlenmiştir.

3.2. Başak Uzunluğu

İncelenen buğday genotiplerinin ortalama başak uzunluğu değerleri 4.65 ile 11.9 cm arasında değişmiş olup ortalama başak uzunluğunun ise 7.62 cm olduğu saptanmıştır. En kısa başak

uzunluğu P21 numaralı genotipte gözlenirken en uzun başak uzunluğunun ise P18 numaralı genotipe ait olduğu gözlemlenmiştir. Ahmetağa çeşidinin ortalama başak uzunluğunun bütün genotiplerin başak uzunluğu ortalamasına yakın değerde olduğu, fakat Cemre çeşidinin başak uzunluğunun ise diğer genotiplere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Çalışmadaki başak uzunluğu bulgularının, Özen ve Akman (2015)'in 14 buğday çeşidini inceledikleri çalışmadaki ortalama başak uzunluğu (8.3-10.4 cm) değerleriyle, Aydoğan ve Soylu (2017)'nin 14 ekmeçlik çeşidini araştırdıkları çalışmadaki başak uzunluğu (8.87-11.10 cm) değerleriyle ve Naneli ve ark. (2015)'nin 25 ekmeçlik buğday çeşidini inceledikleri çalışmadaki başak uzunluğu (8-9.87 cm) değerleri ile kısmen uyumlu olduğu, bazı genotiplere ait başak uzunluklarının ise literatürdeki değerlerden düşük olduğu tespit edilmiştir.

3.3. Başakta Dane Sayısı

İncelenen buğday genotiplerinde ortalama dane sayısı 11.33 ile 31.33 adet arasında değişmiş olup genotiplerin ortalama dane sayısının ise 18.54 adet olduğu saptanmıştır. En az dane sayısı P9 numaralı genotipte gözlenirken en çok dane sayısının ise P13 numaralı genotipe ait olduğu gözlemlenmiştir. Ahmetağa çeşidinin ortalama dane sayısı, bütün genotiplere ait dane sayısı

ortalamasına göre yakın değerlerde, Cemre çeşidinin ortalama dane sayısının ise daha az değerlerde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Çalışmadaki bulguların, Bayram ve ark. (2017)'nin 64 buğday çeşidini inceledikleri çalışmadaki ortalama dane sayısı (13.7-26.6 adet) değerleriyle ve Çağlar ve ark. (2005)'nin 25 ekmeçlik çeşidini araştırdıkları çalışmadaki dane sayısı (19.9-30.4 adet) değerleriyle kısmen uyumlu olduğu belirlenmiştir. Özen ve Akman (2015)'in 14 ekmeçlik çeşidini inceledikleri çalışmadaki dane sayısı (21.9-45.9 adet) değerleri ile kısmen uyumlu olduğu, bazı genotiplere ait dane sayısının ise düşük olduğu saptanmıştır.

3.4. Başakta Dane Verimi

İncelenen buğday genotiplerinin başakta dane verimlerinin 0.19 ile 1.25 g arasında değiştiğı, ortalama dane veriminin ise 0.66 g olduğu saptanmıştır. En düşük dane verimi P9 numaralı genotipte gözlenirken en yüksek dane veriminin ise P13 numaralı genotipe ait olduğu gözlemlenmiştir. Ahmetağa ve Cemre çeşitlerinin ortalama dane verimlerinin bütün genotiplerin dane verimi ortalamalarına göre düşük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Çalışmadaki bulguların, Özen ve Akman (2015)'in 14 ekmeçlik buğday çeşidini inceledikleri çalışmadaki ortalama başakta dane verimi (0.9-1.9 g) değerleriyle, Aydoğan ve Soylu (2017)'nin 14 ekmeçlik çeşidini araştırdıkları çalışmadaki ortalama başakta dane verimi (1.33-2.07 g) değerleriyle ve Naneli ve ark. (2015)'nin 25 ekmeçlik buğday çeşidini inceledikleri çalışmadaki ortalama başakta dane verimi (1.23-1.97 g) değerleri ile kısmen uyumlu olduğu, bazı genotiplerin dane veriminin ise düşük olduğu belirlenmiştir.

3.5. Biyolojik Verim

İncelenen buğday genotiplerinde ortalama biyolojik verim 2.18 ile 7.90 g arasında değişmiş olup genotiplerin ortalama biyolojik veriminin ise 3.75 g olduğu saptanmıştır. En düşük biyolojik verim P2 numaralı genotipte gözlenirken en yüksek biyolojik verim ise P17 genotipinde gözlemlenmiştir. Ahmetağa çeşidinin ortalama biyolojik veriminin bütün genotiplerin biyolojik verim ortalamasına göre düşük değerlerde olduğu, Cemre çeşidinin biyolojik veriminin ise yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Çalışmadaki bulguların Demirel ve ark. (2019)'nin çalışmalarında kullandıkları 5 buğday çeşidine ait ortalama biyolojik verim (3.36 g) değeriyle benzer olduğu tespit edilmiştir.

3.6. Hasat İndeksi

İncelenen buğdayların ortalama hasat indeksi oranı %6.23 ile %30.25 arasında değişmiş olup genotiplerin ortalama hasat

indeksi oranının ise %19.34 olduğu saptanmıştır. En düşük hasat indeksi oranı P9 numaralı genotipte gözlenirken en yüksek hasat indeksi oranının ise P18 genotipine ait olduğu gözlemlenmiştir. Ahmetağa çeşidinin ortalama hasat indeksi oranı bütün genotiplerin hasat indeksi oranına göre çok yüksek değerlerde, Cemre çeşidinin hasat indeksi oranı ise çok düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Çalışmadaki bulguların, Özen ve Akman (2015)'in 14 ekmeçlik buğday çeşidini inceledikleri çalışmadaki ortalama hasat indeksi değerleriyle (%29.5-%38) ve Naneli ve ark. (2015)'nin 25 ekmeçlik çeşidini inceledikleri çalışmadaki hasat indeksi değerleriyle (%27.5-%40.5) kısmen uyumlu olduğu, bazı genotiplerin hasat indeksi oranının ise düşük olduğu belirlenmiştir.

3.7. Korelasyon Analizi

Buğday genotiplerinde incelenen özellikler arasındaki ikili ilişkiler için korelasyon analizi sonuçları ve belirlenen korelasyon katsayıları Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere bitki boyu ile başak uzunluğu arasında önemli ve olumsuz yönde ilişki, bitki boyu ile hasat indeksi arasında çok önemli ve olumsuz yönde ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Başak uzunluğu ile dane sayısı, dane verimi ve biyolojik verim arasında çok önemli ve olumlu yönde ilişki olduğu saptanmıştır. Dane sayısı ile dane verimi ve biyolojik verim arasında çok önemli ve olumlu yönde ilişki olduğu, ayrıca dane sayısı ve hasat indeksi arasında önemli ve olumlu ilişki olduğu belirlenmiştir. Dane verimi ile biyolojik verim ve hasat indeksi arasında çok önemli ve olumlu yönde ilişki olduğu belirlenmiştir. Biyolojik verim ile hasat indeksi arasında ise çok önemli ve olumsuz yönde ilişki olduğu saptanmıştır (Çizelge 3). Mevcut çalışmanın özellikler arası ikili ilişki sonuçları, Aydoğan ve Soylu (2017)'nin başakta dane sayısı ile dane verimi arasındaki ilişkiyi önemli ve olumlu yönde olduğunu bildirdikleri çalışmayla, Demirel ve ark. (2019)'nin başakta dane verimi ile biyolojik verim arasındaki ilişkiyi ve başakta dane verimi ile hasat indeksi arasındaki ilişkiyi önemli ve olumlu yönde olduğunu bildirdikleri çalışmayla ve Yağmur ve Kaydan (2008)'in başak uzunluğu ile başakta dane sayısı arasındaki ilişkiyi önemli ve olumlu yönde olduğunu bildirdikleri çalışmayla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Boru ve ark. (2019)'nin dane verimi ile dane sayısı arasındaki ilişkiyi önemli ve olumlu yönde tespit ettikleri çalışmayla uyumlu olduğu saptanmıştır. Dane verimine, başakta dane sayısı ve ağırlığının katkısının yüksek olduğu ve bu özelliklerin uygun bir seviyede olması gerektiğı bildirilmektedir (Yağmur ve Kaydan, 2008). Bhutta (2006) dane sayısının, sürgün sayısının ve başak uzunluğunun başakta dane verimi (TV) ile ilişkili olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 3. İncelenen özellikler arasındaki korelasyon katsayıları.

	Bitki boyu	Başak uzunluğu	Dane sayısı	Tane verimi	Biyolojik verim	Hasat indeksi
Bitki boyu	1					
Başak uzunluğu	-0.289*	1				
Dane sayısı	-0.152	0.474**	1			
Tane verimi	0.010	0.452**	0.787**	1		
Biyolojik verim	0.208	0.410**	0.325**	0.505**	1	
Hasat indeksi	-0.325**	-0.023	0.298*	0.341**	-0.561**	1

* P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01

3.8. Path Analizi

İncelenen bitki boyu, başak uzunluğu, dane sayısı, biyolojik verim ve hasat indeksi özelliklerinin dane verimine doğrudan ve dolaylı yönden etkilerinin belirlendiği path analizi sonuçları ve path katsayıları ile oranları Çizelge 4’de verilmiştir. Bitki boyunun dane verimi üzerine doğrudan etkisi ($p=0.17$) olumlu yönde ancak etki payı düşük (%2.14) olarak hesaplanmıştır. Bitki boyu üzerinden dane verimine en yüksek dolaylı etkiyi dane sayısı ($p=-5.65$, %71.67) olumsuz yönde oluşturmuştur. Başak uzunluğunun dane verimi üzerine doğrudan etkisi ($p=5.54$) olumlu yönde ve etki payı yüksek (%42.63) olarak hesaplanmıştır. Başak uzunluğu üzerinden dane verimine en yüksek dolaylı etkiyi bitki boyu ($p=-5.65$, %39.02) olumsuz

yönde gerçekleştirmiştir. Dane sayısının başakta dane verimi üzerine doğrudan etkisi ($p=0.38$) olumlu yönde ve etki payı orta seviye (%6.27) olarak hesaplanmıştır. Dane sayısı üzerinden dane verimine en yüksek dolaylı etkiyi başak uzunluğu ($p=2.73$, %44.93) olumlu yönde oluşturmuştur. Biyolojik verimin başakta dane verimi üzerine doğrudan etkisi ($p=0.73$) olumlu yönde ve etki payı yüksek (%10.09) olarak hesaplanmıştır. Biyolojik verim üzerinden dane verimine en yüksek dolaylı etkiyi bitki boyu ($p=3.66$, %50.36) olumlu yönde gerçekleştirmiştir. Hasat indeksinin dane verimi üzerine doğrudan etkisi ($p=0.69$) olumlu yönde ve etki payı yüksek (%8.08) olarak hesaplanmıştır. Hasat indeksi üzerinden dane verimine en yüksek dolaylı etkiyi bitki boyu ($p=-5.82$, %67.77) olumsuz yönde oluşturmuştur.

Çizelge 4. İncelenen özelliklerin dane verimine doğrudan ve dolaylı etkileri.

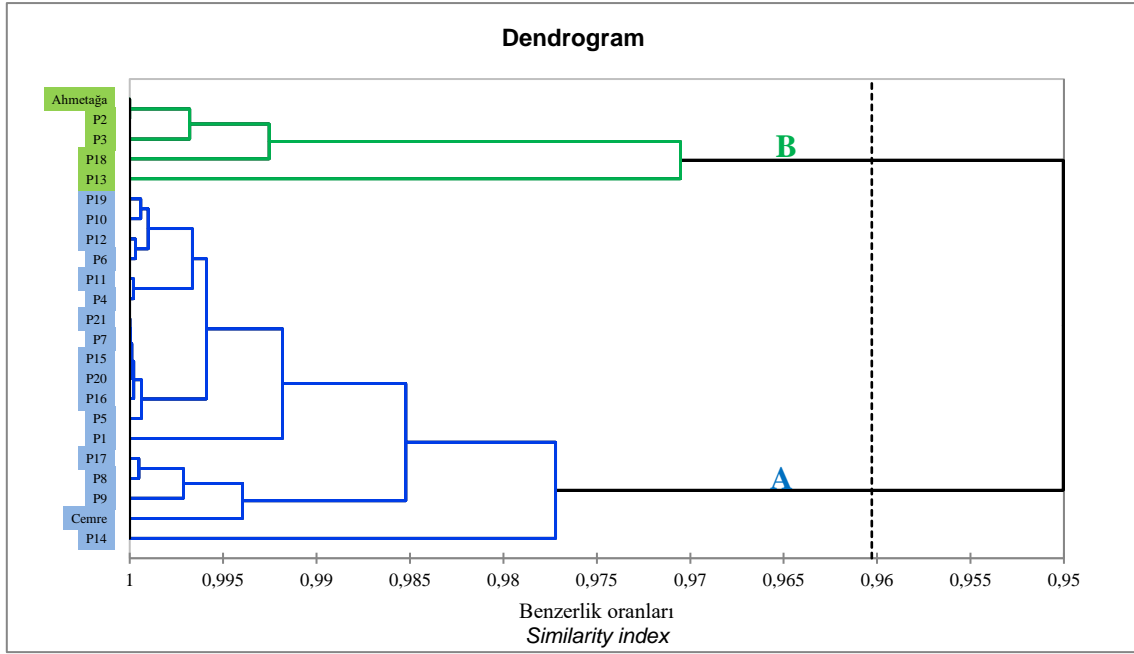
	Doğrudan etki		Dolaylı etkiler			
	Tane verimi	Bitki boyu	Başak uzunluğu	Dane sayısı	Biyolojik verim	Hasat indeksi
Bitki boyu	0.17		-1.67	-5.65	0.16	-0.24
Oran (%)	2.14		21.13	71.67	2.02	3.04
Başak uzunluğu	5.54	-5.07		0.19	0.31	-1.89
Oran (%)	42.63	39.02		1.44	2.38	14.51
Dane sayısı	0.38	-2.50	2.73		0.23	0.23
Oran (%)	6.27	41.20	44.93		3.75	3.86
Biyolojik verim	0.73	3.66	2.34	0.12		-0.42
Oran (%)	10.09	50.36	32.18	1.62		5.74
Hasat indeksi	0.69	-5.82	-1.50	0.13	-0.44	
Oran (%)	8.08	67.77	17.52	1.50	5.14	

Mohsin ve ark. (2009), dane verimine en yüksek doğrudan etkiyi başakta dane sayısı ve başak uzunluğu karakterlerinin yaptığını vurgulamışlardır. Suleiman ve ark. (2014), bin dane ağırlığı ve başakta dane sayısı karakterlerinin dane verimi üzerine path sonucunun önemli ve doğrudan etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Özlem Kurt Polat ve ark. (2015), dane verimine en yüksek doğrudan etkiyi başakta dane ağırlığı ve başakta dane sayısı karakterlerinin yaptığını ve bitki boyu, başak boyu ve bin dane ağırlığı karakterlerinin dane verimini olumlu yönde etkilemede seleksiyon kriteri olarak alınabileceğini belirtmişlerdir. Başak boyu özelliklerinin seleksiyon kriteri olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Ahmad ve ark., 2018). Boru ve ark. (2019), dane verimine olumlu yönde ve en yüksek doğrudan etkiye sahip karakterleri sırasıyla başakta dane ağırlığı ve başakta dane sayısı olduğunu belirtmişlerdir.

3.9. Kümeleme ve Biplot Analizleri

Her bir genotipin incelenen özelliklerine göre dahil oldukları grupları belirleyebilmek için hiyerarşik kümeleme yapılmıştır (Şekil 1). Kümeleme analizi sonucuna göre genotipler iki kümeye (A ve B) ayrılmıştır. Cemre çeşidinin de dahil olduğu A kümesinde, Cemre çeşidine yakın özellikler gösteren genotiplerin P8, P9 ve P17 olduğu saptanmıştır. Ahmetağa çeşidinin de dahil olduğu B kümesinde P2, P3, P13 ve P18 numaralı genotiplerin bulunduğu belirlenmiştir. Ahmetağa çeşidine özellikler yönünden en yakın benzerlik gösteren genotiplerin P2 ve P3 olduğu tespit edilmiştir. İncelenen özellikler yönünden irdelenen genotiplerin kümeleme analizi yöntemiyle benzerlik oranlarının ve oluşturdukları grupların

belirlenmesi sayesinde, genotiplerin birbirine olan yakınlığı ve uzaklığı tespit edilebilmektedir. Buğday genotipleri agronomik ve kalite özellikleri yönünden kümeleme analizi ile değerlendirilebilmektedir (Kahrıman ve Egesel, 2011; Demirel ve ark., 2019).

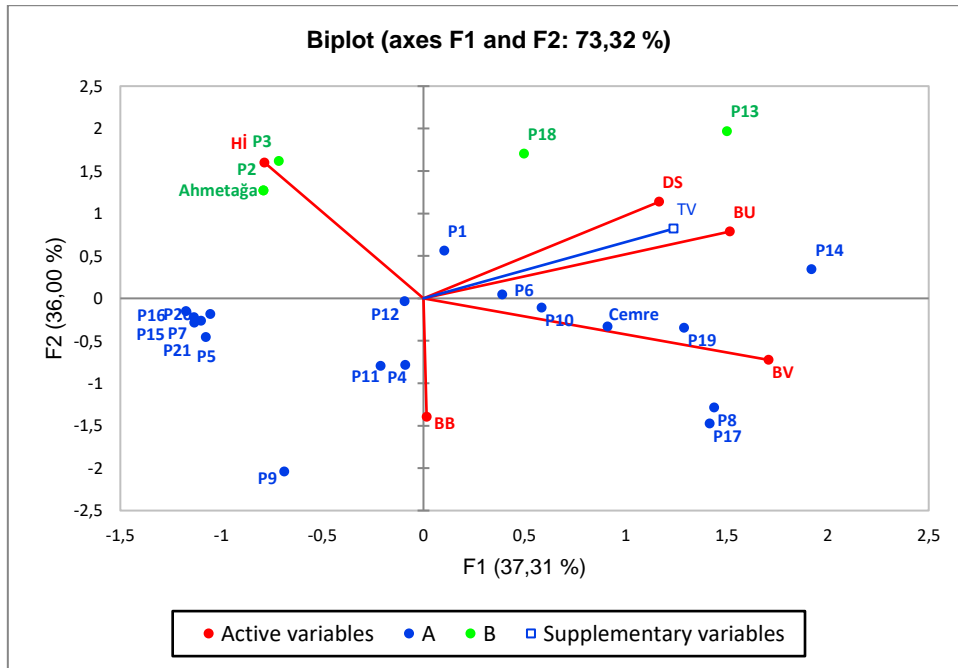


Şekil 1. İncelenen özelliklerden yararlanılarak oluşturulan kümeleme sonucu.

Genotipler ile özelliklerin ilişkisini görsel olarak gösteren biplot analizi sonucu Şekil 2’de verilmiştir. Biplot analizi sonucuna göre F1 toplam varyasyonun %37.31’ini açıklarken, F2’de ise toplam varyasyonun %36’sınının açıklandığı görülmekte olup F1 ve F2 toplam varyasyonun %73.32’sini açıklamaktadır. Araştırmacılar tarafından kullanılan Biplot analizi yöntemi, özellikler arası ilişkileri görsel olarak daha net ortaya koymakta ve analiz sonuçlarının kolay değerlendirilmesini sağlamaktadır (Akçura ve Topal, 2008; Demirel ve ark., 2019). Çalışmadaki bulguların, F1 ve F2’nin toplam varyasyonun %70.31’ini açıkladığını bildiren Aktaş ve ark. (2017)’nin sonuçlarıyla ve F1 ve F2’nin toplam varyasyonun %72.08’inin açıklandığını rapor eden Demirel ve

ark. (2019)’nin bildirişleriyle uyumlu olduğu saptanmıştır. Toplam varyasyonun %65.48’inin açıklandığını ortaya koyan Tekdal ve ark. (2014)’nin ve toplam varyasyonun %51’ini açıkladığını bildiren Kılıç ve ark. (2012)’nin sonuçlarından ise yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 1’de A kümesinde gruplanan Ahmetağa, P2 ve P3 genotipleri hasat indeksi bakımından diğer genotiplerden üstün bulunmuştur (Şekil 2). Diğer genotiplere göre P4 ve P11 numaralı genotiplerin bitki boyu yönünden öne çıkmış oldukları saptanmıştır. Biyolojik verim yönünden öne çıkan genotiplerin ise P8 ve P17 numaralı genotipler olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. İncelenen özellikler ile genotiplerin konumlarını gösteren biplot grafiği.

4. Sonuç

Genotiplerin önemli düzeyde geniş varyasyon gösterdiği bu çalışma sonucunda, incelenen genotiplerde dane verimini olumlu yönde ve doğrudan etkileyen en önemli özelliğin başak uzunluğu olduğu ve dane verimi ile başak uzunluğu arasında olumlu bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Dane verimine başak uzunluğu üzerinden en yüksek dolaylı etkiyi ise bitki boyu özelliğinin verdiği, bitki boyu ile başak uzunluğu arasında önemli seviyede olumsuz yönde korelasyon olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak bitki boyunun kısa ve başak uzunluğunun yüksek olduğu genotiplerde dane veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dane verimi yönünden seleksiyon için P13, P14 ve P19 numaralı genotiplerin öne çıktığı belirlenmiş olup, bu genotipler üzerinden çalışmaların devam edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, genotipler üzerinde incelenen özelliklerin sonraki yıllarda da devam ettirilmesinin daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

5. Teşekkür

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır. FD, AMK ve BY çalışmayı tasarlayarak denemeleri kurmuş, FD çalışmayı yürütmüş ve verileri analiz etmiş, FD ve BY makaleyi yazmıştır. Bu araştırma Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün desteği ile (2017-FBE-D01) gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz. Bu makale Fatih DEMİREL'in Doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

Kaynakça

- Addinsoft, S. X. V. (2015). 01: Data Analysis and Statistics Software for Microsoft Excel. Addinsoft: Paris, France.
- Ahmad, T., Kumar, A., Pandey, D., & Prasad, B. (2018). Correlation and path coefficient analysis for yield and its attributing traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell). *Journal of Applied and Natural Science*, 10(4), 1078-1084.
- Akçura, M., & Topal, A. (2008). İç Anadolu Bölgesi yerel ekmeklik buğday populasyonlarından seçilen saf hatların dane verimi ve kalite özellikleri yönünden bazı tescilli çeşitlerle karşılaştırılması. Ülkesel Tahıl Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Konya.
- Akgün, İ., Kaya, M., & Altındal, D. (2007). Isparta ekolojik koşullarında bazı tritikale hat/çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2), 171-182.
- Aktaş, H., Erdemci, İ., Karaman, M., Kendal, E., & Tekdal, S. (2017). Bazı kışlık ekmeklik buğday genotiplerinin dane verimi ve bazı kalite özellikleri bakımından GGE biplot analiz yöntemi ile değerlendirilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 6(1), 43-51.
- Aydın, N., Bayramoğlu, H. O., Mut, Z., & Özcan, H. (2005). Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşit ve hatlarının karadeniz koşullarında verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(3), 257-262.
- Aydoğan, S., & Soyly, S. (2017). Ekmeklik buğday çeşitlerinin verim ve verim öğeleri ile bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 24-30.

- Bayram, S., Öztürk, A., & Aydın, M. (2017). Ekmeklik buğday genotiplerinin Erzurum koşullarında dane verimi ve verim unsurları yönünden değerlendirilmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(4), 569-579.
- Bhutta, W. M. (2006). Role of some agronomic traits for grain yield production in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought conditions. *Revista UDO Agrícola*, 6(1), 11-19.
- Boru, K., Yıldırım, S., & Çifci, E. A. (2019). Ekmeklik buğday genotiplerinde verim ve verim öğelerinin korelasyon ve path analizi ile incelenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3), 379-387.
- Çağlar, Ö., Öztürk, A., & Bulut, S. (2006). Bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin Erzurum ovası koşullarına adaptasyonu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 1-7.
- Dağüstü, N. (2008). Genetic analysis of grain yield per spike and some agronomic traits in diallel crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(4), 249-258.
- Demirel, F., Gurcan, K., & Akar, T. (2019). Clustering analysis of morphological and phenological data in einkorn and emmer wheats collected from Kastamonu region. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5(11), 25-36.
- Heun, M., Schäfer-Pregl, R., Klawan, D., Castagna, R., Accerbi, M., Borghi, B., & Salamini, F. (1997). Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science*, 278(5341), 1312-1314.
- Kahriman, F., & Egesel, C. Ö. (2011). Farklı ekmeklik buğday çeşitlerinin agronomik ve kalite özellikleri bakımından değerlendirilmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 22-35.
- Kılıç, H., Aktaş, H., Kendal, E., & Tekdal, S. (2012). İleri kademe ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin biplot analiz yöntemi ile değerlendirilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 1(2), 132-139.
- Kırtok, Y. (1997). Genel Tarla Bitkileri. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Ders Kitabı No: 30, Adana.
- Lev-Yadun, S., Gopher, A., & Abbo, S. (2000). The cradle of agriculture. *Science*, 288(5471), 1602-1603.
- Mohsin, T., Khan, N., & Naqvi, F. N. (2009). Heritability, phenotypic correlation and path coefficient studies for some agronomic characters in synthetic elite lines of wheat. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7(3/4), 278-282.
- Naneli, İ., Sakin, M. A., & Kıral, A. S. (2015). Tokat-Kazova şartlarında bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(1), 91-103.
- Okuyama, L. A., Federizzi, L. C., & Barbosa Neto, J. F. (2004). Correlation and path analysis of yield and its components and plant traits in wheat. *Ciência Rural*, 34(6), 1701-1708.
- Orhan, H., & Kaşıkçı, D. (2002). Path, korelasyon ve kısmi regresyon katsayılarının karşılaştırılması olarak incelenmesi. *Hayvansal Üretim*, 43(2), 68-78.
- Özen, S., & Akman, Z. (2015). Yozgat ekolojik koşullarında bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(1), 35-43.
- Özlem Kurt Polat, P., Aydoğan Çifci, E., & Yağdı, K. (2015). Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.)'da dane verimi ile

- bazı verim öğeleri arasındaki ilişkilerin saptanması. Journal of Agricultural Sciences, 21(3), 355-362.
- Sabaghnia, N., & Janmohammadi, M. (2014). Interrelationships among some morphological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using biplot. Botanica, 20(1), 19-26.
- Suleiman, A. A., Nganya, J. F., & Ashraf, A. (2014). Correlation and path analysis of yield and yield components in some 221 cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Khartoum state, Sudan. Journal of forest products & industries, 3(4), 198-203.
- 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.
- Tosun, O., & Yurtman, N. (1973). Ekmeklik buğdaylarda verime etkili başlıca morfolojik ve fizyolojik karakterler arasındaki ilişkiler. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı, 23, 434-441.
- Tugay, M. E. (1978). Dört Ekmeklik Buğday Çeşidinde Ekim Sıklığı ve Azotun Verim, Verim Komponentleri ve Diğer Bazı Özellikler Üzerine Etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 316.
- Yağmur, M., & Kaydan, D. (2008). Kışlık buğday dane verimi, verim öğeleri ve fenolojik dönemler arasındaki ilişkiler. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 12(4), 9-18.



Approaches of Clients, Consultants and Contractors to Causes of Delays in Construction Projects

Mehmedali Egemen

European University of Lefke, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Lefke, Turkish Republic of Northern Cyprus, TR-10, Turkey (ORCID: 0000-0003-1186-1968), megemen@eul.edu.tr

(First received 29 January 2020 and in final form 28 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.870763)

ATIF/REFERENCE: Egemen, M. (2021). Approaches of Clients, Consultants and Contractors to Causes of Delays in Construction Projects. *European Journal of Science and Technology*, (23), 312-321.

Abstract

In construction projects, delays are common problems often encountered with possible vital financial effects on the overall construction industry. In an effort to uncover the main attributes characterizing construction delays, this integrated study proposed a comprehensive framework dealing with both causes and the effects of delays by presenting survey findings of clients, consultants and contractors in Palestine construction market. In addition to providing a detailed analysis of the delay causes according to frequency of occurrence and degree of severity, this study also differentiated among approaches of clients, contractors and consultants. The findings revealed that clients, contractors and consultants have remarkably different approaches regarding delay causes considering both the frequency of occurrence and degree of severity. Although numerous delay causes that are apparently under the responsibility of different parties exist, this study revealed that each party is holding the others responsible for the causes of delays. Hence, it may not be possible for any of the three specified major parties to solve this problem separately and the findings suggest that an effective coordination and communication network should exist among all three of these parties throughout the whole project. The clients, consultants and the contractors in the relevant sectors will be able to use the framework provided within this research to recognize the approaches of other parties in a more detailed and accurate manner, to identify the areas to focus for effective coordination, to improve performance and to minimize both the causes and the effects of delays.

Keywords: Delay Causes, Delay Effects, Frequency of Occurrence, Degree of Severity, Construction Industry.

Müşteri, Danışman ve Yüklenicilerin İnşaat Projelerindeki Gecikme Sebeplerine Yaklaşımları

Öz

İnşaat projelerinde gecikmeler, genel inşaat sektörü üzerinde olası hayati finansal etkiler gösterebilen ve sıklıkla karşılaşılan yaygın sorunlardır. İnşaat gecikmelerini karakterize eden ana özellikleri ortaya çıkarmak amacıyla, bu entegre çalışma, Filistin inşaat pazarındaki müşteriler, danışmanlar ve müteahhitlerin anket bulgularını sunarak gecikmelerin hem nedenlerini hem de etkilerini ele alan kapsamlı bir çerçeve önermiştir. Ortaya çıkma sıklığına ve ciddiyet derecesine göre gecikme nedenlerinin ayrıntılı bir analizini sağlamanın yanı sıra, bu çalışma müşteriler, yükleniciler ve danışmanların yaklaşımları arasındaki farklılaşmayı da analiz etmiştir. Bulgular, müşterilerin, yüklenicilerin ve danışmanların hem meydana gelme sıklığı hem de ciddiyet derecesi göz önüne alındığında gecikme nedenleri konusunda oldukça farklı yaklaşımlara sahip olduğunu ortaya koymuştur. Farklı tarafların sorumluluğunda olan çok sayıda gecikme sebebi bulunsa da, bu çalışma her bir tarafın gecikmelerin nedenlerinden diğerlerini sorumlu tuttuğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, belirtilen üç taraftan herhangi birinin bu sorunu ayrı ayrı çözmesi mümkün olmayabilir. Araştırma bulguları tüm proje boyunca bu üç taraf arasında etkili bir koordinasyon ve iletişim ağının olması gerektiğini göstermektedir. İlgili sektörlerdeki müşteriler, danışmanlar ve yükleniciler, diğer tarafların yaklaşımlarını daha detaylı ve doğru bir şekilde tanımak, etkili koordinasyon için odaklanılacak alanları belirlemek, performansını artırmak ve gecikmelerin hem nedenleri hem de etkilerini en aza indirmek için bu araştırmada sağlanan çerçeveyi kullanabileceklerdir.

Anahtar Kelimeler: Gecikme Sebepleri, Gecikme Etkileri, Meydana Geliş Sıklığı, Ciddiyet Derecesi, İnşaat Endüstrisi.

Corresponding Author: megemen@eul.edu.tr

1. Introduction

The course of the construction process within pre-determined duration is shaped and affected by many factors predicted already in the planning stage well before construction stage started. Construction delay is simply the time overrun beyond the date the parties agreed regarding the delivery of the project. The problem of encountering delays in projects is a common and global phenomenon, which may sometimes lead to disputes and litigation. Despite today's advanced technology and project management techniques, many construction projects continue to suffer delays. Delay in a construction project has severe consequences on many project goals (Enshassi et al., 2010, Kazaz et al., 2012). Over the years, many researchers have investigated various aspects of delay causes and their contribution to disputes. Despite being a popular area of research, the problem of construction delays continues and this fact keeps on harming the construction industries and hence overall economies. Especially in developing countries, the problem stands as a major barrier having vital negative effects to both companies and clients the industry. Studying this phenomenon actually deserves attention since it imposes very crucial economical and financial consequences in general and on the construction industries in particular. The causes for this phenomenon are shared between stakeholders that is the owner, consultant, contractor and external bodies. Given the persistence of the problem and the fact that delay is usually 'costly', this topic has been given a great deal of attention and investigated by many researchers in an effort to determine the real causes and hence minimize delays in construction projects.

Considering the importance of the effects of construction delays, numerous researchers have been conducting research regarding delays in construction industry. Empirical studies regarding causes of delays under varying circumstances for different types of construction projects have been analyzed throughout the world. In Palestine, construction industry is one of the main factors contributing to economic growth of the country that helps in providing job opportunities for the workforce as well as its social role in providing the houses, general facilities and infrastructure for the economic institutions (Mahamid, 2012). The project delay is one of the major and most common problems encountered in the governmental construction projects in Palestine. Considering the vital negative financial effect of construction project delays on all the parties included and hence on the general construction industry, a study to investigate this crucial issue thoroughly and creating a framework to clarify this complex and important process is needed.

Mahamid et al. (2012) focused on causes of delays in road construction projects and aimed to determine the main causes that lead to the delay and the degree of severity of the causes that leading to this delay. The study concluded that five main reasons leading to the delay in road construction projects were the political conditions, fragmentation of the West Bank, choosing the contractor with the least price, late funding and payment by the owner and the shortage in equipment. Kazaz et al. (2012) conducted a study about identifying the main factors that lead to the delay in completing the construction projects in Turkey from the contractor's point of view and compared the results with the findings in other countries that are neighbors to Turkey. 'Design and material changes' was found to be the most predominant factor, followed by 'delay of payments' and 'cash flow problems'.

The study concluded that managerial causes of time extensions are encountered in developed and developing countries, while financial causes are important in developing countries only. Sweis et al. (2008) carried out a study to determine the main causes leading to delay in the construction projects in Jordan and found that the financial problems with the contractor and the repeated change orders from the owner affected delays significantly, whereas severe weather conditions and changes in government regulations were the factors having the lowest degree of importance from the point of view of all the parties of the project. Alaghbari et al. (2007) conducted a study about building construction projects in Malaysia using a questionnaire including 31 factors and concluded that the financial problems emerged as the most important factor affecting delays, followed by problems in coordination and problems regarding materials. The study also proposed possible improvements that could be made in order to reduce delays in the construction industry. Assaf and Al-Hejji (2006) carried out a research in Saudi Arabia about causes of delays specifically in large construction projects and found 'change orders' as a very common factor affecting delays in the industry. Odeh and Battaineh (2002) conducted a research in order to identify the main causes that lead to the delay in the big private and public construction projects in Jordan, from the point of view of two parties of the construction project (the contractor and the consultant). The findings revealed that main causes of delay in public projects relate to designers, user changes, weather, site conditions, late deliveries, economic conditions and increase in quantity. Aziz and Abdel-Hakam (2016) carried out a study in Egypt about delay causes of road projects and proposed a model for predicting road construction actual project duration. Marzouk and Rasas (2014) discusses that delays are common in construction projects in Egypt and carried out a study by distributing a questionnaire survey to 33 construction experts including owners, consultants and contractors. The findings revealed that good correlation existed among the different groups whereas significant differences existed in their approaches for some specific delay causes only. Sambasivan and Soon (2007) carried out an integrated study with the aim of identifying delay factors and their impact on project completion and identified 10 most important causes of delay and 6 different effects of delay from a list of 28 different causes. The most important cause for delay was found as 'contractor's improper planning' while the most important effect of delay was found as 'time overrun'. Gluszak and Lesniak (2015) discusses that in spite of the fact that many tools exist for supporting management of construction projects, delays keep occurring in construction project and hence presented findings aimed at determining the major causes of delays in Poland from the clients' perspective. Arditi et al. (2017) conducted a study in US and India to explore the relationship between firm's organizational culture and delay in construction industry and concluded that there was a significant relationship between the two. Alsuliman (2019) categorized the causes of delay according to the different stages of construction project and identified 20 top causes of delay in their study carried out in Saudi Arabia. The study proposed a formula to calculate the effects of these factors on delay. Doloi et al. (2012) identified the major factors affecting delay in Indian construction industry. The factor analysis carried out revealed the most important factors as lack of commitment, inefficient site management, poor site coordination, improper planning, lack of clarity in project scope, lack of communication and substandard contract. Yap et al. (2021) employed a field survey to determine the approaches of 148 construction practitioners in Malaysia. A factor analysis was

carried out and five main managerial capabilities affecting delays were identified as competency management, communication and coordination management, financial management, risk management and site management.

Although the existing studies provide very valuable findings about such a crucial topic, an integrated and extensive study dealing specifically with public projects, providing an enhanced insight into both causes and the effects of delays from the perspectives of clients, consultants and contractors is needed for public projects. Considering the significant effect of the delays in all the parties of construction project, a comprehensive and detailed study was conducted to create an overall framework.

Hence, the main objective of this research was to provide an insight into both causes and the effects of delays in the governmental construction projects in South West Bank, Palestine. In an effort to uncover the main attributes characterizing construction delays, this integrated study proposed a comprehensive framework dealing with both causes and the effects of delays. In addition to providing a detailed analysis of the delay causes according to frequency of occurrence and degree of severity, this comprehensive study also differentiated among approaches of clients, contractors and consultants as well.

In summary, this research would elicit responses from the clients, contractors and consultants on their perceptions of a set of delay causes considering the frequency of occurrence and degree of severity of the causes. The findings of this study will provide a comprehensive framework for clients, contractors and consultants in the relevant sectors for recognizing the approaches of other parties in a detailed and accurate manner, identifying the areas to focus for effective coordination, improving performance and minimizing both the causes and the effects of delays.

2. Material and Method

A questionnaire-based survey was employed and the research sample has been drawn from the parties involved in construction works of municipalities in Palestine. The contracting institutions that completed governmental construction projects and were registered to Palestinian Contractors Union, the consultants that were hired by the municipalities for such projects and the administrative staff of municipalities who were involved in such projects on behalf of the municipalities were the three different respondent groups included in the survey. In order to ensure that they have the proper knowledge to answer the questions in the survey accurately, the survey was limited to parties involved in projects that were completed in the last 4 years.

The sampling method used included 2 stages, which were selection of the municipalities followed by selection of the construction projects carried out by the selected municipalities. The study was conducted in the Westbank region of Palestine. A random selection of municipalities and a random selection of projects of municipalities was carried out. 19 of the 28 municipalities existing in the specified region were selected randomly and included within the study. Then, 96 different types of construction projects carried out by the selected municipalities were selected randomly.

Although it was not possible to list all of the attributes regarding such an extensive process, a comprehensive list of factors was included. The preliminary consultation with experts in the market and the previous studies formed the basis of the questionnaire. Furthermore, a pilot study was carried out to allow

the respondents evaluate each factor for clarity and representativeness. According to the recommendations of the respondents in the pilot study, necessary changes were made to finalize the questionnaire. The anonymity of the respondents participating in the survey was assured in order to make sure that respondents are not withholding information.

Before interpreting the research findings, the consideration of general characteristics of the respondents is vital. The sample of respondents consisted of 3 different parties, namely clients, consultants and contractors for 96 public construction projects already completed by the municipalities selected. Hence the survey was carried out with clients who were administrative staff on behalf of the municipalities, consultants who were hired by the specified municipalities and contractors who carried out these 96 projects. The contractors included in the study were all registered in Palestinian Contractors Union. Considering that the total number of municipalities in the specified region is 28, 19 municipalities corresponded to 71% of the total number, which can be considered fairly high.

The questionnaire included three main sections. Section 1 of the questionnaire requested information about the respondents, whereas Sections 2 and 3 were used to define the approaches of the respondents to causes of delay and degree of severity of delays respectively. The total number of 56 factors listed in Sections 2 and 3 of the questionnaire included delay causes grouped into 4 main categories, namely client related, consultant related, contractor related and external related which were unrelated to any of the three specified parties of the project.

Data in Sections 2 and 3 of the survey was analyzed by considering the frequency of occurrence and degree of severity of each specified delay cause to overall project delays. The first part will measure the extent these delay causes occur during the implementation of the project, whereas the second part will measure the level of effect the specified delay cause on the total project time.

Data from the questionnaires were extracted and the delay causes were then rank ordered. For each one of the delay causes, the frequency of occurrence (FOO) and the degree of the severity (DOS) of the delay cause were calculated by using the formulas:

$$FOO = \frac{\sum W_f}{N} \dots\dots\dots(1)$$

$$DOS = \frac{\sum W_s}{N} \dots\dots\dots(2)$$

Where FOO= frequency of occurrence value of the delay cause; W_f = weighting assigned to each delay cause by respondents considering the frequency of occurrence (ranging from 1 to 5) and N = total no of respondents. Applying this formula yielded a FOO value range from 1 to 5, where 1 represented “the specified delay cause extremely rarely occurs” and 5 represented “the specified delay cause almost always occurs”. On the other hand, DOS= degree of severity value of the delay cause on the overall project delay; W_s = weighting assigned to each delay cause by the respondents considering degree of severity of the delay cause (ranging from 1 to 5) and N = total no of respondents. Applying this formula yielded a DOS value range from 1 to 5, where 1 represented “the specified delay cause has extremely low effect on the overall project delay” and 5 represented “the specified delay cause has extremely high effect on the overall project delay”. In order to cross-compare the relative importance of the factors as perceived by different parties,

the calculated FOO and DOS values were used to rank the factors for each different category of respondents.

In order to be able to differentiate among the possible behavior variations of different parties involved in the projects, a number of categories within the surveyed sample were defined and analyzed. Furthermore, Spearman Rank Correlation Coefficient (S.R.C.C.) test was performed on the pairs of ranks, obtained for different categories of respondents to determine the possible correlation in behavior of varying types of respondents. Spearman's Correlation Coefficient does not require the assumption of normality. Hence, S.R.C.C test was chosen to show the degree of agreement between the rankings. Spearman's coefficient ρ was calculated by using the formula:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum di^2}{n(n^2-1)} \dots\dots\dots(3)$$

where d_i = difference between the ranks of corresponding pairs of values; n = the total number of pairs of rank. The formula for Spearman's coefficient returns a value between -1 and 1; where a value of 1 means that the two variables have an extremely strong positive relation, a value of -1 means that the two variables have an extremely strong negative relation and a value of zero means that the variables possess no correlation.

3. Results and Discussion

3.1 Delay Causes According to Frequency of Occurrence

The first part of the analysis was about investigating how the respondents prioritize the delay causes in the construction projects according to frequency of occurrence of the causes. The respondents were asked for assigning weight to each delay cause considering the frequency of occurrence of the delay cause in the specified construction projects. A list of 'Frequency of Occurrence (FOO)' values and 'Ranks' determined from the survey results is presented in Table 1. The average FOO values of 2.847, 2.904 and 2.823 are found for clients, consultants and contractors respectively. These values are remarkably high, indicating the high emphasis assigned to the listed delay causes by the respondents.

The findings in Table 1 confirm that there is an extremely significant variation of FOO values and ranks among different respondent types. S.R.C.C. test revealed correlation only between 'consultants' and 'contractors', which was a negative correlation with an S.R.C.C value of -0.363. These findings apparently indicate that these three major parties have no parallel approaches to delay causes at all. Considering the vital importance of the effects of project delays on the overall construction industry, this finding actually reveals a major problem that should be analyzed.

A crucially high score was assigned to 'the estimated project time being short' by the contractors and the consultants demonstrating the vital emphasis of this specific factor that is determined before the project even started. Without a carefully and realistically determined project duration, it seems that project delays are inevitable. However, clients assigned a very low value to the same factor. The 2nd and the 4th factors were both related to payments and 'late payments to the supplier' and 'delay in funding the project by the owner' were assigned very high scores by different types of respondents. Financial issues has been traditionally known as a common factor causing delays and these findings are actually not surprising. 'Weather effect' on the construction site emerged as a very important external factor for contractors, which was outside the control of the parties involved.

The delay causes from 5th to 8th, namely 'changes in government regulations', "fragmentation of the West Bank and barriers", "problems with neighbors around the construction site" and the "changing of banking policy for loans" were all external factors. As displayed in Table 1, these factors were assigned high ranks and importance values by different types of respondents. 'Delay of consultants in giving approvals at certain stages' and 'design errors or lack of clarity of design or tender documents' emerged as major delay causes that can be prevented by consultant firms involved in the projects by applying a carefully planned working schedule.

According to clients, top three delay causes are 'the poor management of workers', 'the difficulties in financing the project from the contractor's side' and 'shortage of skilled labor' which are all contractor related factors. On the other hand, three highest ranked factors according to contractors are 'the estimated time for the projects being short', 'changes in the government regulations' and the 'weather effect on the construction activities'. These findings actually reveal that contractors consider 'client related' or 'external' factors as the most important causes of delays, unlike clients. When the three highest ranked factors of consulting organizations are observed, it is apparent that first two factors are contractor related while the third one is an external factor. 'Late payments to the supplier', "difficulties in financing the project from the contractor's side" and "the fragmentation of the West Bank and the barriers" emerged as the three leading delay causes according to consultants. The fact that all three major parties do not agree on major delay causes at all and keep the other parties responsible for delays, emerged as a major and vital problem from these findings.

Of specific interest, when the highest ranked twenty factors are considered, it can be observed that clients and consultants have 10 common factors out of the top 20 causes. 'Poor management of working crews' was ranked first by the clients and 13th by the consultants while the 'difficulties in financing the project from the contractor's side' was ranked 2nd by both of these two parties. However, 'late payments to the supplier' was ranked first by consultants while it was ranked 25.5th by the clients. The other factors that were perceived important and ranked in the top 20 criteria by both parties are found as; 'fragmentation of the West Bank and barriers', 'the contractor's responsible person being unexperienced', 'lack of effective planning and coordination of the project', 'absence of coordination within the project parties', 'low productivity of the crews', 'lack of required materials' and 'delays in the supply of materials to the workplace'. The fact that there exist two different factors regarding coordination is important and should be given enough emphasis by all three contributing parties. The only delay cause, that was ranked in the top 20 by all three types of respondents was 'fragmentation of the West Bank and barriers' that was an external factor not related to any of the three parties.

When the analysis of the results of the clients and the contractors are compared, the two parties agreed on seven common causes in the top twenty although their ranks varied remarkably. 'Lack of monitoring and follow-up by supervision', 'delay of consultant in giving approvals at certain stages', 'delays in the approval of the design documents', 'problems with neighbors around the construction site' and 'weather effect on construction activities' were among the major delay causes identified by both of these specified parties. These findings apparently indicate that both the contractors and the clients agree on the delay causes that are related to the consultant or the external factors while they disagree on factors regarding themselves. The

comparison of the results of the consultant and the contractors reveals that there are only three common causes between the consultant and the contractors in the 20 highest ranked factors. These three causes are “fragmentation of the West Bank and barriers”, “the estimated project time being short” and the “hesitation in the decision-making process”. Interestingly, clients and contractors have more common factors than consultants and contractors which was surprising. Considering the fact that clients are not experts in construction, consultants and contractors were expected to have more common causes. When the three specified delay causes are observed, it is apparent that they are client-related or external factors.

3.2 Delay Causes According to Degree of Severity

The second part of the analysis was about investigating how the overall respondents prioritize the delay causes in the construction projects according to degree of severity of the causes. In addition to frequency of occurrence of any delay cause, the extent of the effect it will have on the overall delay of the project is vitally important. A list of ‘Degree of Severity (DOS)’ values and Ranks determined from survey results is presented in Table 2. The average DOS values of 2.761, 2.713 and 2.916 are found for clients, consultants and contractors respectively. These values are remarkably high, indicating the high emphasis assigned to the listed delay causes by the respondents.

The findings in Table 2 reveal that there is a very significant variation of DOS values and ranks among different respondent types. S.R.C.C. test revealed no correlation between any of the groups. These findings clearly indicate that the approaches of the specified three major parties to the delay causes according to degree of severity are not parallel. Considering the vital importance of the degree of severity of the delay factors on the overall construction industry, this issue needs to be investigated thoroughly.

A remarkably high score was assigned to ‘unexpected subsurface and ground conditions’ demonstrating the vital emphasis to this specific factor that has very major effect to the overall project duration when encountered during any construction project. Considering the major effects it might have on the overall project duration, precautions should be taken before construction stage with proper ground investigation, surveys and analysis in order not to run into a surprise after the construction started. The 2nd and the 3rd factors were both related to financial issues. ‘Delay in funding the project by the owner’ and ‘late payments to the supplier’ were assigned very high importance by consultants and contractors. Financial issues have been traditionally known for being major delay causes with severe effects on the project outcome and these results are actually expected. ‘Lack in the experience of the contractor firm in general’, ‘failure in the administrative stability of the owner’s side’ and ‘lack of monitoring and follow-up by supervision’ were assigned very high DOS scores, by different parties. Actually, it seems that the causes with major effects on the overall duration of the project are related to all of the three parties involved. This finding indicates the need for them to accept their responsibility, coordinate effectively and aim to reach a common goal, which is minimizing project delays due to any possible reason. ‘Ineffective communication and coordination’ emerged as another major delay cause having high severity emphasizing the importance of coordination among the different parties in construction projects. ‘The requirement of using materials that are not easy to obtain’ is found as a delay cause with severe effects while this can be

minimized by using standard materials that are available in the market. Considering the negative effect of the delay of any project, every effort should be made to minimize it before the construction started.

According to clients, the delay causes with the highest degree of severity are ‘unexpected subsurface and ground conditions’, ‘the difficulties in financing the project from the contractor’s side’ and ‘fragmentation of the West Bank and barriers’ and ‘low productivity of the crews’. The specified causes are all contractor and consultant related or external factors but not related to clients. On the other hand, the highest ranked 3 factors according to contractors are ‘lack of monitoring and follow-up by supervision’, ‘ineffective communication and coordination’ and the ‘unexpected subsurface and ground conditions’. These findings actually reveal that contractors consider ‘client related’, ‘consultant related’ or ‘external’ factors as the most important causes of delays, unlike clients. ‘Lack in the experience of the contractor firm in general’, ‘the requirement of using materials that are not easy to obtain’ and ‘lack of effective planning and coordination of the project’ emerged as the three leading delay causes possessing the highest degree of severity according to consultants. The fact that each of the major parties keeps the other parties responsible for delays also exists in the second part of the analysis about degree of severity of delay causes.

When the highest ranked twenty factors are considered, it can be observed that clients and consultants have 9 common causes out of the twenty. ‘Unexpected subsurface and ground conditions’ is ranked first by the client and 17th by the consultant while the “lack in the experience of the contractor firm in general” was ranked 1st by the consultant and 5th by the client. The other factors that were perceived important by both clients and consultants are ‘late payments to the supplier’, ‘failure in the administrative stability of the owner’s side’, ‘the requirement of using materials that are not easy to obtain’, ‘misunderstanding of owner needs by the consultant’, ‘difficulties in financing the project from the contractor side’, ‘poor management of workers’ and ‘the estimated project time being short’. Out of these 9 factors, first 6 were also perceived important by the contractors. Compared to ‘frequency of occurrence’ results, the ‘degree of severity’ results of three different categories of the respondents were more similar.

When the analysis of the results of the owners and the contractors are compared, in addition to previously mentioned factors, the two parties agreed on four more common causes in the top twenty although their ranks varied remarkably. ‘Lack of monitoring and follow-up by supervision’, ‘Ineffective communication and coordination’, ‘fragmentation of the West Bank and barriers’ and ‘design errors or lack of clarity of design or tender documents’ were among the major delay causes identified by both of these two parties. These findings apparently indicate that both the contractors and the clients agree on the delay causes that are related to the consultant or the external factors but not themselves except for ineffective communication which may be considered as related to all of the parties.

The comparison of the results of the consultants and the contractors revealed that there are four common causes between the consultant and the contractors in the top 20 factors in addition to the ones previously mentioned as common to all three categories. These four causes were ‘delay in funding the project by the owner’, ‘problems with neighbors around the construction site’, ‘weather effect on construction activities’ and the “lack of required materials” and they were either client related or external.

Table 1. The causes of delay according to their frequency of occurrence by the type of the respondent ^a

No	Delay Cause	Client		Consultant		Contractor	
		FOO	Rank	FOO	Rank	FOO	Rank
1	The estimated project time being short	1.737	52	3.811	7	4.208	1
2	Late payments to the supplier	3.000	25.5	4.030	1	3.687	7
3	Weather effect on construction activities	3.170	12	2.541	42	3.919	3
4	Delay in funding the project by the owner.	1.526	54	3.223	25	3.859	4
5	Changes in government regulations.	2.053	47	2.595	41	3.929	2
6	Fragmentation of the West Bank and barriers.	3.142	15	3.935	3	3.152	15
7	Problems with neighbors around the construction site.	3.267	8	3.243	22.5	3.232	11
8	Changing of banking policy for loans.	2.925	30	2.838	38	3.364	8
9	Delay of consultant in giving approvals at certain	3.316	7	1.487	50	3.737	6
10	The contractor's responsible person being unexperienced	3.842	6	3.568	11	2.778	26
11	Design errors or lack of clarity of design or tender	2.737	38	1.541	47.5	3.748	5
12	Change requests to the project by the owner	1.474	55	3.919	5	3.020	16.5
13	Currency exchange rate fluctuations	2.684	39.5	2.189	46	3.333	9
14	Owner not having enough experience	1.421	56	3.108	29.5	3.202	12
15	Changes in the prices of materials	3.103	19	2.297	45	3.172	13.5
16	Hesitation in the decision-making process	1.684	53	3.541	12	2.960	19.5
17	Lack of effective planning and coordination of the project	3.211	11	3.920	4	2.485	38.5
18	Accident during construction	2.842	35.5	2.865	36.5	2.960	19.5
19	Absence of coordination within the project parties	3.094	20	3.865	6	2.505	37
20	Poor management of workers	4.211	1	3.514	13	2.354	47.5
21	Conflicts between joint-ownership of the project	2.579	44	3.054	32	2.838	24
22	Low productivity of the crews	3.216	10	3.297	20	2.616	31.5
23	Misunderstanding of owner needs by the consultant	1.790	51	3.233	24	2.899	21
24	The requirement of using materials not easy to obtain	2.917	31	2.865	36.5	2.798	25
25	Unexpected subsurface and ground conditions	2.632	41.5	2.351	43.5	3.020	16.5
26	Delays in the approval of the design documents	3.263	9	1.324	55	3.273	10
27	Shortage of skilled labor.	4.053	3	3.273	21	2.364	46
28	Delay due to searching for a sub-contractor.	3.077	21	3.800	8	2.333	50.5
29	The personal conflict between labor and management	3.158	13.5	3.135	28	2.566	33
30	Equipment failure in work at the workplace	2.977	27	3.460	14	2.475	40
31	Difficulties in financing the project from the contractor	4.105	2	4.027	2	2.030	56
32	Poor communication with the other parties	1.842	49	3.405	15	2.707	29.5
33	Lack of required equipment	2.895	32.5	3.784	9.5	2.333	50.5
34	Lack in the experience of the contractor firm in general	2.947	28.5	3.216	26.5	2.515	36
35	Late payments to the sub-contractor	3.133	16	3.243	22.5	2.465	41
36	Weakness of contractor's supervision to subcontractor	2.947	28.5	3.081	31	2.556	34.5
37	Contractor's teams not understanding the role of	3.053	22.5	3.324	19	2.424	42
38	Low penalty (or no penalty) for late completion	3.947	4.5	2.919	34.5	2.384	43.5
39	Lack of monitoring and follow-up by supervision	3.947	4.5	1.378	52	2.970	18
40	Lack of required materials	3.158	13.5	3.378	16.5	2.343	49
41	Delays in the supply of materials to the workplace	3.105	17.5	3.784	9.5	2.192	53
42	Shortage in the total number of labor in workplace	3.053	22.5	3.351	18	2.354	47.5
43	Redesign many times during design phase	2.842	35.5	1.270	56	3.172	13.5
44	The contractor not following the consultant's instructions	2.895	32.5	3.108	29.5	2.384	43.5
45	Rises of conflicts between contractors and the other	3.000	25.5	3.378	16.5	2.242	52
46	Failure in the administrative stability of the owner's side	1.842	50	2.730	40	2.707	29.5
47	Shortages of administrative staff in contractor company	2.790	37	2.790	39	2.485	38.5
48	Delay in performing final inspection and certification	1.947	48	2.946	33	2.556	34.5
49	Consultant experience not suitable for the project	3.022	24	1.541	47.5	2.849	23
50	Choosing inappropriate equipment	2.875	34	3.216	26.5	2.152	54
51	Ineffective communication and coordination	3.105	17.5	1.457	51	2.748	27.5
52	Delay in approval of samples submitted by the contractor	2.526	45	1.351	53.5	2.859	22
53	Not having complete documents during project	2.632	41.5	1.496	49	2.748	27.5
54	Poor management of project machinery	2.602	43	2.919	34.5	2.121	55
55	The inability to resolve conflicts and judicial disputes	2.421	46	2.351	43.5	2.374	45
56	Lack of commitment of consultant to working hours	2.684	39.5	1.351	53.5	2.616	31.5
Average		2.847		2.904		2.823	

^a Spearman Rank Correlation Coefficient (r_s) between the groups 1&2= no correlation; 1&3=no correlation; 2&3=-0.363 correlation is significant at 1% level.

Table 2. The causes of delay according to their degree of severity by the type of the respondent ^a

No	Delay Cause	Client		Consultant		Contractor	
		DOS	Rank	DOS	Rank	DOS	Rank
1	Unexpected subsurface and ground conditions	4.158	1	2.892	17	3.886	3
2	Delay in funding the project by the owner.	2.263	48.5	3.838	4	3.768	4
3	Late payments to the supplier.	2.790	18	3.568	6	3.707	5
4	Lack in the experience of the contractor firm in general.	3.947	5	3.973	1	3.273	8
5	Failure in the administrative stability of the owner's side	2.842	16.5	3.649	5	3.566	6
6	Lack of monitoring and follow-up by supervision	3.211	10	2.054	50.5	4.020	1
7	Ineffective communication and coordination	3.000	12	2.297	44	3.939	2
8	The requirement of using materials that are not easy to	3.474	8.5	3.892	2	3.192	13
9	Problems with neighbors around the construction site	2.220	50	2.892	18	3.505	7
10	Fragmentation of the West Bank and barriers	4.000	3.5	2.460	39.5	3.263	9
11	Lack of effective planning and coordination of the project	2.476	38	3.865	3	2.990	21.5
12	Misunderstanding of owner needs by the consultant	3.474	8.5	2.965	12	3.020	19
13	Difficulties in financing the project from the contractor side	4.053	2	2.865	19.5	2.930	28
14	Weather effect on construction activities	2.158	53	3.027	9.5	3.141	14
15	Conflicts between joint-ownership of the project	2.211	51.5	2.703	28	3.253	10
16	Lack of required materials	2.316	46.5	2.913	16	3.081	15.5
17	The contractor's responsible person being unexperienced	2.684	23.5	2.856	21	3.020	19
18	Poor management of workers	3.850	6	3.243	7	2.606	44
19	The estimated project time being short	2.895	14.5	3.081	8	2.818	35.5
20	The contractor not following the consultant's instructions	2.421	43.5	2.578	35	3.081	15.5
21	Not having complete documents during project scheduling	3.842	7	2.135	47.5	2.970	23.5
22	Rises of conflicts between contractors and the other parties	2.679	26	2.730	27	2.950	25.5
23	Hesitation in the decision-making process	2.444	41	2.955	13.5	2.889	32
24	Poor communication with the other parties	2.790	19.5	2.838	22.5	2.828	34
25	Delay in approval of samples submitted by the contractor	2.526	36.5	2.000	53.5	3.202	12
26	Changes in government regulations	2.474	39	2.000	53.5	3.212	11
27	Weakness of contractor's supervision to subcontractor	2.533	35	2.541	38	2.990	21.5
28	Delay due to searching for a sub-contractor	2.450	40	2.676	29.5	2.939	27
29	Contractor's teams not understanding the role of consultant	2.211	51.5	2.676	29.5	2.929	29.5
30	Change requests to the project by the owner	1.895	56	2.784	26	2.950	25.5
31	Low productivity of the crews	4.000	3.5	2.568	36.5	2.616	43
32	Equipment failure in work at the workplace	2.681	25	2.955	13.5	2.717	40
33	Owner not having enough experience	1.947	54.5	2.405	42.5	3.051	17
34	Delays in the approval of the design documents	3.053	11	2.135	47.5	2.929	29.5
35	Poor management of project machinery	2.526	36.5	3.027	9.5	2.687	41
36	Accident during construction	2.263	48.5	2.811	24.5	2.818	35.5
37	Delay of consultant in giving approvals at certain stages	2.895	14.5	2.081	49	2.970	23.5
38	Design errors or lack of clarity of design or tender	2.947	13	1.865	55	3.020	19
39	Choosing inappropriate equipment	2.579	31.5	2.595	34	2.727	39
40	Changes in the prices of materials	2.579	31.5	2.973	11	2.576	45.5
41	Consultant experience not suitable for the project	2.660	27	2.243	45.5	2.838	33
42	Delay in performing final inspection and certification	2.737	21	2.568	36.5	2.677	42
43	Redesign many times during design phase	2.543	34	2.027	52	2.919	31
44	Absence of coordination within the project parties	2.636	28	2.054	50.5	2.818	37
45	Lack of required equipment	2.550	33	2.838	22.5	2.495	49
46	Currency exchange rate fluctuations	2.439	42	2.622	32.5	2.576	45.5
47	Shortages of administrative staff in contractor company	2.842	16.5	2.432	41	2.566	47
48	The personal conflict between labor and management team	2.330	45	2.626	31	2.556	48
49	Lack of commitment of consultant to working hours	2.421	43.5	1.811	56	2.798	38
50	Delays in the supply of materials to the workplace	2.684	23.5	2.934	15	2.182	53
51	Shortage in the total number of labor in workplace	2.790	19.5	2.243	45.5	2.394	51
52	Shortage of skilled labor	1.947	54.5	2.405	42.5	2.475	50
53	The inability to resolve conflicts and judicial disputes	2.632	29.5	2.622	32.5	2.212	52
54	Changing of banking policy for loans	2.632	29.5	2.865	19.5	2.091	55
55	Late payments to the sub-contractor	2.316	46.5	2.811	24.5	2.162	54
56	Low penalty (or no penalty) for late completion	2.694	22	2.460	39.5	1.505	56
Average		2.761		2.713		2.916	

^a Spearman Rank Correlation Analysis showed no correlation between the groups

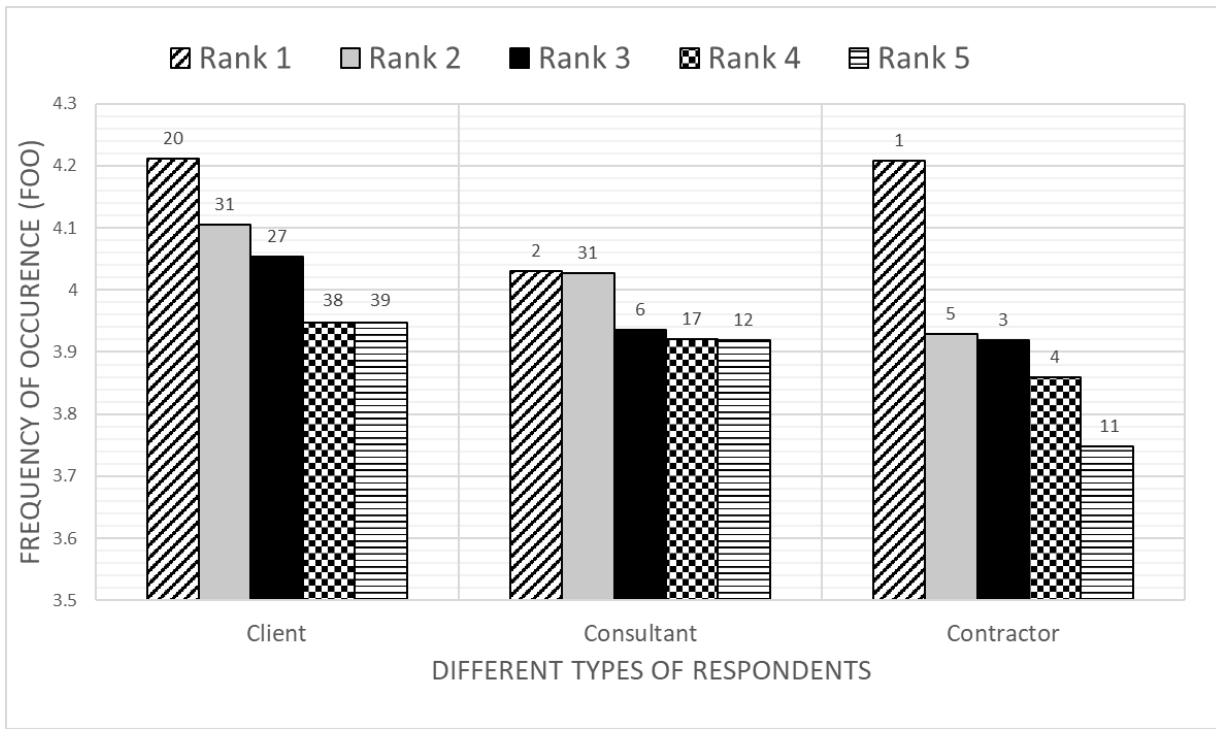


Figure 1. Five highest ranked causes of delay according to frequency of occurrence for different categories of respondents

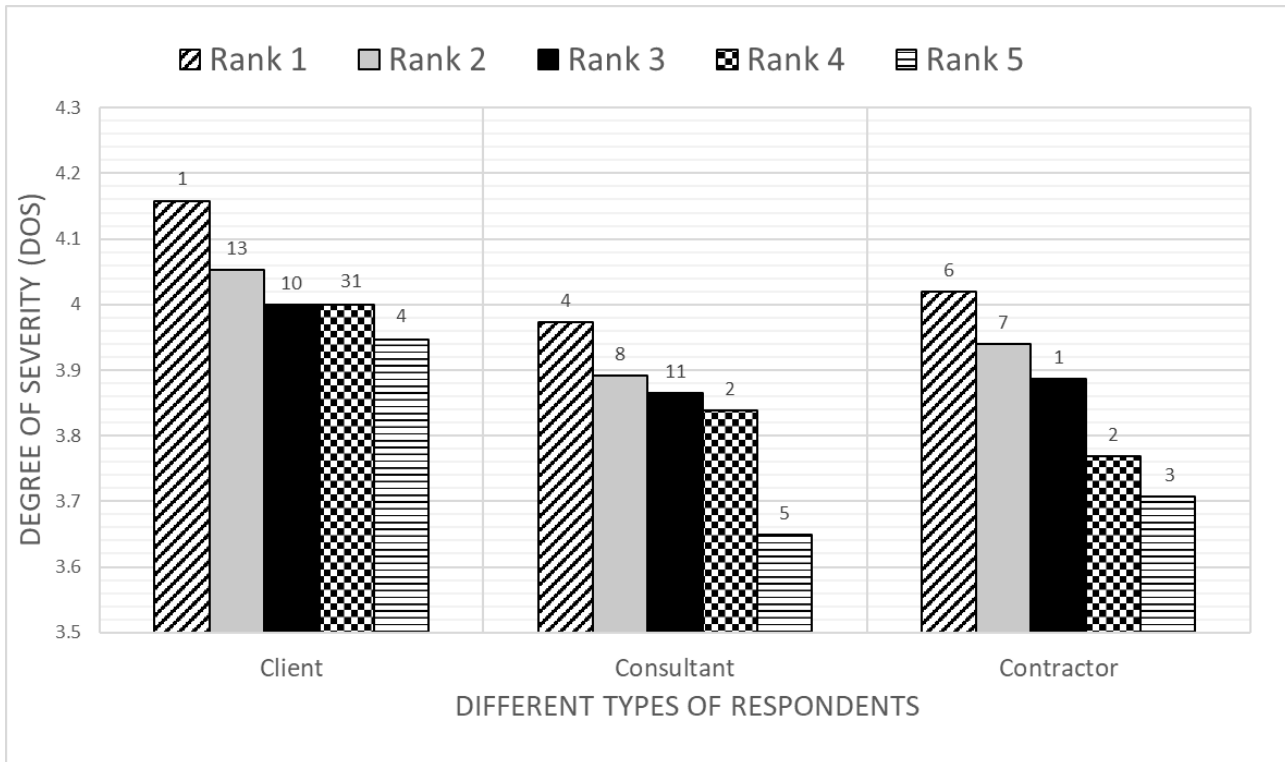


Figure 2. Five highest ranked causes of delay according to degree of severity for different categories of respondents

Five highest ranked causes of delay according to frequency of occurrence and degree of severity are displayed in Figures 1 and 2 respectively for different types of respondents. FOO and DOS values for each delay cause is displayed on y-axis while delay cause's ID numbers are shown on top of the columns and the ranks for different types of respondents are presented in different shaded columns.

4. Conclusions and Recommendations

Project delays are common problems encountered in construction industries, which may sometimes lead to disputes and litigation. Considering the vital negative financial effects of construction project delays on all the parties included and hence on the general construction industry, a study investigating this crucial issue thoroughly and creating a framework to clarify this complex and important process is needed. In order to uncover the main attributes that characterize construction delays, this integrated study proposed a comprehensive framework dealing with both causes and the effects of delays. In addition to providing an enhanced insight into the factors causing delay according to frequency of occurrence and degree of severity, this comprehensive study also differentiated among various types of respondents' behaviors in each of the specified stages in public projects to contribute to the related literature.

The findings in this study showed that there are many causes of delays according to frequency of occurrence and numerous different causes according to degree of severity. Although several factors that are apparently under the responsibility of each of the three main parties exist, the results of this study revealed that each party is holding the other parties responsible for the causes of delays. When the scores and ranks assigned by the clients, consultants and contractors are analyzed separately, it is obvious that respondents belonging to different categories have remarkably different approaches regarding delay causes considering both the frequency of occurrence and degree of severity. The distinct approach difference of clients and contractors apparently exist in the findings however even clients and their consultants have remarkably different approaches. This is actually an indication that it may not be possible for any of the three specified major parties to solve or minimize this problem separately. Therefore, these results suggest that an effective coordination and communication network should exist among all three of these parties, that can be organized by regular and frequent meetings among the three parties throughout the project. This will help them in understanding the approaches of the other parties, so that common solutions may be found for minimizing delays. The main aim should be being open minded about the causes of delays, coordinating and communicating effectively with the other parties and minimize delays to prevent their overall negative financial effects that will affect all the parties included.

When the delay causes according to frequency of occurrence are analyzed, the top delay cause was 'the poor management of workers' for clients while it was 'the estimated time for the projects being short' for contractors and 'late payments to the supplier' for consultants. On the other hand, the analysis of delay causes according to severity of delays revealed that the top delay causes were 'unexpected subsurface and ground conditions' for clients, 'lack of monitoring and follow-up by supervision' for contractors and 'lack in the experience of the contractor firm in general' for consultants. The fact that all three major parties do not agree on major delay causes at all and hold the other parties primarily responsible for delays, emerged as a major and vital problem from these findings.

In summary; despite many tools regarding management of construction projects, delays in projects keep occurring and the findings of this research suggest that clients, consultants and contractors have remarkably different approaches to delay causes. Hence, an overall comprehensive framework combining different parties' approaches to causes of delay considering both the frequency of occurrence and degree of severity is proposed. The

clients, consultants and the contractors in the relevant sectors will be able to use the framework provided within this research in recognizing the approaches of other parties in a more detailed and accurate manner, identifying the areas to focus for effective coordination, improving performance and minimizing both the causes and the effects of delays. In spite of the fact that this study was based on data provided by municipality projects in Palestine construction market, the approach and the overall comprehensive framework developed are valuable to clients, consultants and contractors working with similar projects in other construction markets all over the world.

5. Acknowledge

I would like to thank to Assoc. Prof. Dr. Ertuğ Aydın and Civil Engineer Laith Hasasneh for their help during data collection process.

References

- Alaghbari, W., Kadir, M. R. A., & Ernavati, A.S. (2007). The significant factors causing delay of building construction projects in Malaysia. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 14(2), 192-206. <https://doi.org/10.1108/09699980710731308>
- Alsuliman, J. A. (2019). Causes of delay in Saudi public construction projects. *Alexandria Engineering Journal*, 58, 801-808. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.07.002>
- Arditi, D., Nayak, S., & Damci, A. (2017). Effect of organizational culture on delay in construction. *International Journal of Project Management*, 35, 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.10.01>
- Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of Delay in Large Construction Projects. *International Journal of Project Management*, 24(4), 349-357. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.11.010>
- Aziz, R. F., & Abdel-Hakam A. A. (2016). Exploring delay causes of road construction projects in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 55(2), 1515-1539. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.03.006>
- Doloi, H., Sawhney, A., Iyer, K. C., & Rentala, S. (2012). Analysing factors affecting delays in Indian construction projects. *International Journal of Project Management*, 30, 479-489. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.10.004>
- Enshassi, A., Arain, F., & Al-Raei, S. (2010). Causes of variation orders in construction projects in the Gaza Strip. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(4), 540-551. <https://doi.org/10.3846/jcem.2010.60>
- Gluszek, M., & Lesniak, A. (2015). Construction delays in clients opinion – multivariate statistical analysis. *Procedia Engineering*, 123, 182-189. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.075>
- Kazaz A., Ulubeyli, S., and Tuncbilekli, N. A. (2012). Causes of delays in construction projects in Turkey. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(3), 426-435. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.698913>
- Mahamid, I., Bruland, A., & Dmaid, N. (2012). Causes of delay in road construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 28(3), 300-310. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000096](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000096)

- Marzouk, M. M., & El-Rasas T. I. (2014). Analyzing delay causes in Egyptian construction projects. *Journal of Advanced Research*, 5, 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2012.11.005>
- Odeh, A. M., & Battaineh, H. T. (2002). Causes of Construction Delay: Traditional Contracts. *International Journal of Project Management*, 20(1), 67-73. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(00\)00037-5](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(00)00037-5)
- Sambasivan, M. & Soon, Y. W. (2007). Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of Project Management*, 25, 517-526. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.007>
- Sweis, G., Sweis, R., Hammad, A. A., & Shboul, A. (2008). Delays in construction projects: The case of Jordan. *International Journal of Project Management*, 26, 665-674. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.09.009>
- Yap, J. B. H., Goay, P. L., Woon, Y. B., & Skitmore, M. (2021). Revisiting critical delay factors for construction: Analysing projects in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*, 60, 1717-1729. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.11.021>



Tam Sayılı Doğrusal Programlama ile Araba Terminallerinde Kapasite Analizi: Bir Araba Terminalinde Uygulama

Güldem Elmas^{1*}

^{1*} İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2585-9650), gelmas@istanbul.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 30 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 28 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.871295)

ATIF/REFERENCE: Elmas, G., (2021) Tam Sayılı Doğrusal Programlama ile Araba Terminallerinde Kapasite Analizi: Bir Araba Terminalinde Uygulama. *Xxxx Xxxx Xxxx. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 322-329.

Öz

Otomotiv fabrikaları iç lojistik süreçlerde sağladıkları optimizasyonu, dış lojistik süreçlerde de sağlamak istemektedirler. Otomotiv sektöründe, limanlarda yaşanan sıkışıklık, limanlardaki yetersiz kapasiteler, gemi gecikmeleri, gemilerin limanlar için ayırdıkları düşük kapasiteler, ana taşıma modu denizyolunda yaşanan en büyük sorunlar olarak yer almaktadır. Araba terminallerinin kapasitelerinin ihracat-ithalat rakamlarına uyumlu olacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Uygulama çalışmasının yapıldığı araba terminali, araba ihracat ve ithalatının yoğun olarak yapıldığı ülkemiz limanlarından biridir. Araba Gemilerinin limanlara yaptıkları sefer sayısı çok önemli bir faktördür. Akış ihracat araçları için firmadan araç park sahasına, araç park sahasından gemiye şeklinde olmaktadır. İthal araçlar için ise akış gemiden araç park sahasına oradan da firmalara olacak şekildedir. Bu çift taraflı akış göz önünde bulundurularak kurulan tam sayılı doğrusal programlama modelinde kapasite analizi problemi, limandaki kapasite kısıtları dikkate alınarak ve yüklenen ihracat araçlarının en büyüklenmesi yapılarak ele alınmıştır. Kurulan matematiksel model GAMS yazılımı CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Mevcut kapasite ile beraber, aylık gelen gemi sayısı, gemi kapasitesi, araç park sahası kapasiteleri artırılarak model tekrar tekrar çözülmüştür. Amaç, kısıtların değiştirilmesi ile araç terminalinin en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: Araç Terminali, Tam Sayılı Doğrusal Programlama, Kapasite Analizi, Otomotiv Lojistiği

Capacity Analysis with Integer Linear Programming: Application in a Auto Terminal

Abstract

Automotive factories aim to provide the optimization not only in internal logistics processes but also in external logistics processes. In the automotive sector, congestion in ports, insufficient capacities at ports, ship delays, low capacities reserved by ships for ports, can be considered the crucial problems experienced in maritime transport. The capacities of car terminals should be arranged in relation with line with export-import outcomes. The car terminal, where the implementation work is carried out, is one of the main port of our country where car exports and imports are made intensely. The number of voyages made by Pure Car Carriers to ports is a very important factor. For export vehicles, the flow is from the company to the vehicle parking area, from the vehicle parking area to the ship. The transportation flow of the exported cars should be applied as carrying from the factory to vehicle parking area and then transfer to the ships. On the other hand the imported cars should be transferred from the ships to vehicle area and they must be moved to companies. In the integer linear programming model established by considering this double-sided flow, the problem of capacity analysis was addressed by taking the capacity constraints at the port and maximizing the loaded export vehicles into account. This established mathematical model was solved using GAMS software CPLEX solver. Along with the current capacity, the model has been solved over and over again by increasing the monthly incoming ships, vessel capacity, and vehicle parking area capacities. The purpose of this model is to change the constraints and to ensure the most efficient use of the vehicle terminal.

Keywords: Auto Terminal, Integer Linear Programming, Capacity Analysis, Automotive Logistics.

* Sorumlu Yazar: gelmas@istanbul.edu.tr

1. Giriş

Ülkemizin en önemli ihracat kalemlerinden biri olan otomotiv sektörü her geçen gün üretim ve ihracat kapasitesini daha da arttırmaktadır. Otomotiv sektörü çok büyük bir dağıtım zincirine sahiptir. Dağıtım zincirini oluşturan tüm halkaların en düzgün şekilde çalışması gerekmektedir. (Elmas, 2011) Ülkemizin otomotiv sektöründeki rekabet gücü ancak bu şekilde arttırılabilecektir. Zaman, kapasite ve kalite problemleri müşteri kaybına yol açmaktadır. Otomotiv lojistiğinin doğru planlanması ile daha düşük maliyetler elde edilebilecektir. Böylece rekabet ve gelişim için ortak projeler üretilebilecektir. (Elmas, 2014)

Otomotiv sanayicileri bakımından esas rekabet ana firmalarının diğer ülkelerdeki fabrikaları ile olmaktadır. Bu rekabette fiyat dolayısı ile lojistik maliyetler önemli bir yer tutmaktadır. (Ergin 2011) Üretimi ülkemize kazandırılan markalar için lojistik rekabet edebilirliğimiz önemli bir unsur olarak belirlenmektedir. Bunun aksi durumlarda model üretimlerinin rakip fabrikalara gitmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bu esastan düşündüğümüzde lojistik oyuncularını ile işbirliğinin önemi çok ciddi boyutlara ulaşmaktadır. (Elmas,2011)

Otomotiv sektörünün hedefleri arasında dış lojistik süreçlerinden olan taşıma, liman, gümrükleme gibi aşamaların optimizasyonunu sağlamaktır. Limanlardaki yetersiz kapasite, gemi gecikmelerinden kaynaklanan senkronizasyon problemi ciddi sorunlar oluşturmaktadır. (Ergin and Eker, 2019). Bu sıkıntılar hem depolamada hem de stevedoring hizmetlerinde ciddi aksamalara ve maliyet artışlarına yol açmaktadır. Bu durumda takip eden işlerde de aksamalar ve darboğazlar oluşmaktadır. Gemi taşımacılığı zincirinin en zayıf halkası konumuna doğru gitmektedir. (Elmas, 2011)

Araba Terminallerinde yüklenen/boşaltılan gemilerin periyodik ziyaretlerle servis verdiği ve kara tarafındaki alıcıların talep ettikleri hizmet göz önüne alındığında, araba terminallerinin depolama kapasitesi çok önemli bir sorun arz etmektedir. Dolayısıyla araba terminallerinin, yükleme boşaltma için terminale yaşanan gemilerin kapasitelerinin çok değişken oluşuna ve kara tarafı taşımacılık şekillerine ayak uydurabiliyor olması gerekmektedir. Araba terminallerindeki etkin kapasite kullanımı çok önemli bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. (Büyükozer 2006)

Literatürde, otomotiv lojistiğinde araba terminallerinin önemini, Dias ve arkadaşları (2010), Holweg ve Miemczyk (2003) yaptıkları çalışmalarda vurgulamışlardır. Mattfeld ve Kopfer (2003) çalışmalarında araba terminallerinde gerçekleştirilen terminal operasyonlarından araçların gemiye aktarılması probleminin optimum düzeyde planlanmasını modellemişlerdir.

Gamberdalla ve arkadaşları (1998) çalışmalarında, örnek olay çalışması yaparak, Akdeniz’de yer alan Contship La Spezia Konteyner Terminal’inin kapasite analizini tam sayılı doğrusal programlama yöntemini kullanarak yapmışlardır. Beskovnik ve Twrdy (2010) tarafından yapılan çalışmada konteyner terminallerinde gerçekleşen tüm operasyonların optimize edilerek terminal planlaması yapmışlardır. Pau ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmada ilerleyen günlerde limanlarda sayı olarak artacak olan araba gemilerinin terminalerde trafik artışına neden olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle trafik artışı ile başa çıkabilmek için terminal yöneticileri terminal operasyonlarında bir değişiklik, genişleme veya verilen hizmet düzeyi göz önünde

alındığında yeni bir terminal inşaatının gerekli olup olmadığına karar verdikleri belirtilmektedir.

Literatürde daha sıklık ile Ro-Ro terminaleri ile ilgili çalışmalar görülmektedir. Ro-Ro terminalerinde kapasite analizi kapsamında, Mangan ve arkadaşlarının (2002) çalışmasında araçların araç terminallerindeki hareketlerinin ve depolanmalarının optimizasyonu modellenmiştir. Özkan ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada Simülasyon modelleme yöntemi ile oluşturulan senaryolar ile üç değişkenin “ Terminallere gelen kamyon sayısı”, “Terminaller arası mesafe “, ve “ Ro-Ro gemi kapasitesi” nin Ro-Ro terminal kapasitesine olan etkilerini belirlemişlerdir. Sonuçlar, terminal kapasitesini en çok etkileyen değişkenin 'terminallere gelen kamyon sayısı' olduğunu göstermektedir.

Cordeau ve arkadaşları (2011) çalışmalarında araba terminalinde tamsayı programlama ile operasyon süresinin minimizasyonunu hedeflemiştir. Roll-on / roll-off (Ro-Ro) taşımacılığı, ticari araçların büyük ölçekli aktarımı için verimli ve rekabetçi bir yöntemdir. Ancak, Ro-Ro terminallerinin düşük verimli operasyonları ve yetersiz depolama kaynakları, Ro-Ro taşımacılığının gelişimini sınırlandırmıştır. Chen ve arkadaşları (2021) çalışmalarında arabaların sahaya gelmesi için depolama yeri belirleme problemini araştırmış, gemi yükleme verimliliğini artırmayı ve Ro-Ro terminalerinde verimli depolamaya katkıda bulunmayı amaçlamıştır. Iannone ve arkadaşları (2016) Ro-Ro terminalerindeki operasyonları tanımlamışlar, operasyon kararlarını analiz edip terminal süreçlerinde yer alan maliyetlerin lojistik maliyetler üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

Yalçın ve Can (2019) Tam sayılı programlama tekniği kullanarak raf alanı optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Şahin ve arkadaşlarının (2020) yaptığı çalışmada bir makine fabrikasında yarı mamul depolama sistemi için etkin raf alanı yerleşimi problemi için tam sayılı matematiksel modellerden yararlanmışlardır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma, yapılan gözlemler sonucunda limanda darboğaz oluşturduğu tespit edilen araba terminalinde gerçekleştirilmiştir. Limanın bulunmuş olduğu hinterlandta ülkemizin en büyük otomobil fabrikaları bulunmaktadır. Liman içerisinde yer alan araba terminali kapasitesini etkin kullanmadığı için fabrikaların taleplerine karşılık verememektedir. Araba Terminalinin kapasite sorunu yüzünden sevkiyatını yapamadığı araçlar fabrikadan daha uzak illerdeki limanlara sevk edilmektedir. Bu durum lojistik maliyetlerin artmasına neden olmaktadır.

Araba terminalinin araç park sahasında meydana gelen çift taraflı akış gözünde bulundurularak kurulan tam sayılı doğrusal programlama modelinde kapasite analizi problemi, limandaki kapasite kısıtları dikkate alınarak ve yüklenen araçların en büyüklüğüne yapılarak ele alınmıştır. Kurulan matematiksel model GAMS yazılımı CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Mevcut durum ile beraber, aylık gelen gemi sayısı, gemi kapasitesi, araç park sahası kapasitesi arttırılarak oluşturulan senaryolar çözdürülmüştür. Neticesinde elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2.1. Tam Sayılı Doğrusal Programlama

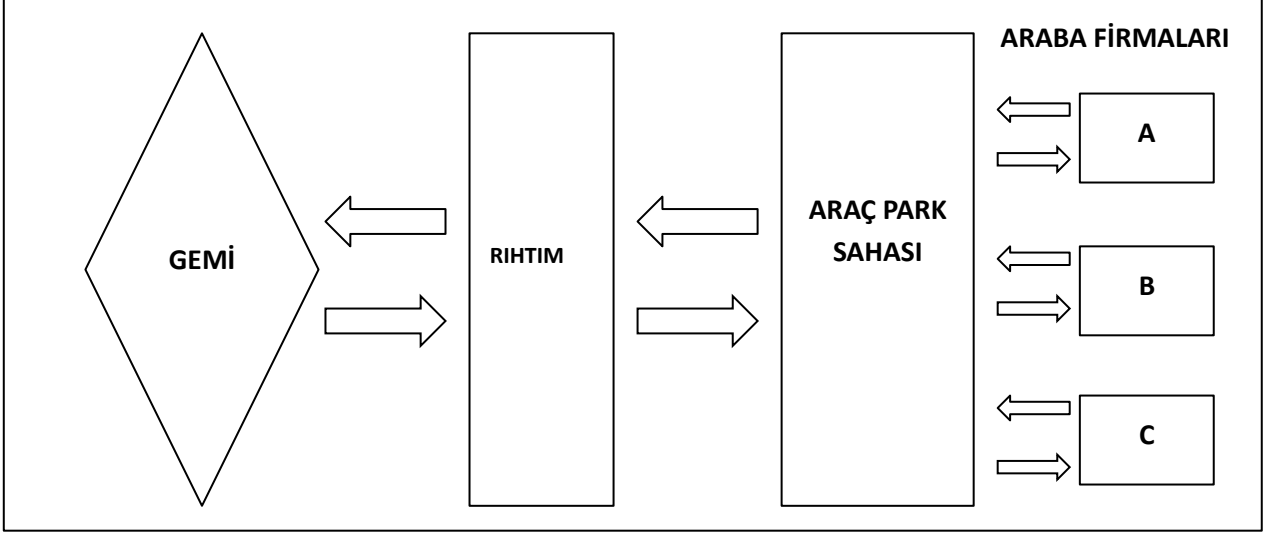
Çalışma kapsamında ele alınan Araba Terminalinin bulunduğu limanda kapasiteyi etkileyen tüm kısıtlar ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında incelenen problemin çözümüne yönelik olarak Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli geliştirilmiştir.

Model kapasite analizi ile sınırlı değildir. Ayrıca araçların gemilere yüklenme tarihini belirleyen bir program belirler.

2.2. Araba Terminalindeki Mevcut Durum

İthal araçlar belirli aralıklar ile büyük partiler halinde araç park sahasına ulaşmaktadırlar. İthalatçı firmalar belli bir süre araç park sahasında bekleyen araçları teslim almaktadırlar. İhracat olacak olan araçlar için düzenleme ters yönde çalışmaktadır.

Belirli bir tarihte gemiye yüklenecek ihracat araçları fabrikalar tarafından limandaki depo süresi boyunca araç park sahasında yer kaplamaktadırlar. İthal araçları getiren gemi, araç park alanı ve araç park alanı akışları tanımlanmaktadır. İhracat araçları için önce fabrikalar araçları araç park alanına getirmektedir. Ardından araçlar gemiye yüklenmektedir. Araç park sahası kapasitesi 5500 araçtır. Araba Terminalindeki Akış Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Araba Terminalindeki Akış

2.2.1. Varsayımlar

- Planlama periyodu 12 ay olarak belirlenmektedir ve dönem başlangıcı 1 Ocak olarak kabul edilmektedir.
- Üreticiden terminale teslim edilen araç sayısı için bir üst ve alt sınır kullanılmaktadır.
- Araç park sahasında bir önceki planlama periyodundan 1000 araç kalmış olduğu kabul edilmektedir.
- Önceki yükleme planından kalan ithal araç yoktur.
- İthal araç sayısı, geminin kapasitesine göre önemsizdir. Bu nedenle, aylık ithalat tahmini her seferinde karşılanmaktadır.
- 1 yılda gerçekleştirilen yükleme boşaltma süreleri için ortalama bir değer bulunmaktadır. Bu değer hem yükleme hem de boşaltma için 5 dakikadır.
- Limana gelen ithal araçların limanda kalma sürelerinin sabit oranda azaldığı ve 5 günde tamamının gönderilmiş olduğu kabul edilmektedir.
- İthal ve ihracat araçlarının gönderilebilmesi için bir gün önceden araç park sahasına yerleştirilmiş olması gerekmektedir.
- Gemi kapasiteleri bilinmektedir.
- Şekil 1'de görüldüğü gibi rıhtım ile araç park alanı arasında bir akış vardır. Bu sistemde rıhtım bir aktarma düğümü olduğundan, rıhtım dikkate alınmaz.

2.2.2 Modele İlişkin İndisler ve Parametreler

Modele ilişkin tanımlarda bazı simge ve indislerden yararlanılmaktadır.

e-ISSN: 2148-2683

İndisler

- i Aylar, $I = \{i: 1, \dots, 12\}$
 j Günler, $J = \{j: 1, \dots, 30\}$

Parametreler

- D_i^{exp} i^{th} ayda ihracatı yapılacak olan araç sayısı
 D_i^{im} i^{th} ayda ithalatı yapılacak olan araç sayısı.
 S_i i^{th} ayda kullanabileceği gemi sayısı için üst limit
 $S_i = 16 \quad i \in I.$
 C^{VPA} Araç park sahası kapasitesi, $C^{VPA} = 100$ araç.
 T Araçların yüklenmesi için üst sınır, $T = 1440$ dakika
 C^S Gemi kapasitesi, $C^S = 2000$ araç
 θ Operasyon süresince çıkan atıl zaman, $\theta = 60$ dakika
 L Firmalardan 1 günde gelebilecek araç sayısı için alt limit, $U = 200$ araç/gün.
 U Firmalardan 1 günde gelebilecek araç sayısı için üst limit, $U = 1300$ araç/gün.

Q Bir önceki planlama periyodundan kaldığı kabul edilen araç sayısı $Q = 1000$ araç

φ Bir aracın gemiden yükleme boşaltma süresi, $\varphi = 5$ dakika/araç

α İthal edilen araçlar α günde araç park alanından transfer edilir.

2.2.3 Karar Değişkenleri

Tam sayılı doğrusal programlama modelinde ayın belirli günlerinde gemiye yüklenecek, gemiden incek, araç park sahasında bekleyecek olan araç sayılarını belirlemek hedeflenmiştir. Aşağıda karar değişkenleri yer almaktadır.

Tam Sayılı Değişkenler

x_{ij} i^{th} ayda j^{th} günde gemiye yüklenecek (ihracat) araç sayısı

z_{ij} i^{th} ayda j^{th} günde gemiden boşaltılacak (ithal) araç sayısı

v_{ij} i^{th} ayda j^{th} günde fabrikadan araç park sahasına gelecek araç sayısı

İkili (Binary) Değişkenler

$y_{ij} = \begin{cases} 1 & i^{th} \text{ ayda } j^{th} \text{ günde gemi gelirse} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$

$\pi_{ij} = \begin{cases} 1 & i^{th} \text{ ayda } j^{th} \text{ günde araç park sahasına araç gelirse} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$

Negatif olmayan Değişkenler

t_{ij} i^{th} ayda j^{th} günde gönderilmeye hazır araç sayısı

μ_{ij} i^{th} ayda j^{th} günde geminin yükleme boşaltma süresi

h_{ij} i^{th} ayda j^{th} günde ihracat araçlarının yüklenmesinden sonra gemideki atıl kapasite

f_{ij} i^{th} ayda j^{th} günde ithalattan kalan araçların toplam sayısı

2.2.4 Modelin Formüle Edilmesi

Bu bölümde problemin kısıtları ifade edilmektedir. Çalışmada ele aldığımız Araba terminalinde işleyen sistemden ötürü bazı kısıtlar bulunmaktadır. Modelde amaç Araba Terminalinde yüklenecek ihracat araç sayısının en yüklenmesidir.

Araba Terminalinin mevcut kapasitesi talebi karşılayamadığından ihracat araçlarını maksimize etmek anlamlı olmaktadır. Araç park alanı kapasitesi C^{VPA} olarak tanımlanmaktadır. Planlanan operasyon günü için toplam ihracat ve ithal edilen araç sayısı araç park alanı kapasitesini (C^{VPA}) aşmamaktadır.

Herhangi bir gemi 1 günden fazla kalmaz. Operasyonların toplam süresi (araçların gemiden indirilmesi-araçların gemiye yüklenmesi) olarak belirlenen 24 saat kısıtı çok ağır bir kısıt olduğu için diğer kısıtlar gereksiz kısıtlar haline gelmektedir. Bu yüzden 24 saat kısıtı gevşetilerek üst sınır 1600 dakikaya çıkartılmaktadır. Amaç fonksiyonu aynı zamanda ihracat araç sayısını maksimum yaparken gelen gemi sayısını da limandaki trafiği azaltmak ve operasyon maliyetlerini düşürmek amacıyla minimum yapmaktadır.

Bunu sağlayabilmek için amaç fonksiyonuna gemideki atıl kapasiteyi minimum etmesini sağlayacak bir kısıt eklenmektedir. Amaç fonksiyonunun matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (1).

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \frac{T - \mu_{ij}}{\varphi} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (h_{ij} - C^S) \quad (1)$$

Amaç fonksiyonu aynı anda 3 kriteri birden barındırmaktadır (1). İlk kısım (2)'de verilmektedir. İhracat edilen araç sayısının en yüklenmesidir.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \quad (2)$$

Amaç fonksiyonunda 2. kısım (3)'te verilmektedir. Sonucun T 'yi aşmayacağını ifade etmektedir. Süreyi φ bölerek araç sayısına çevirmektedir

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \frac{T - \mu_{ij}}{\varphi} \quad (3)$$

Amaç fonksiyonunun 3. Kısmı (4)'te verilmektedir. Gemideki atıl kapasite en küçüklenmesidir.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (h_{ij} - C^S) \quad (4)$$

Kısıtların matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

Kısıt (5), toplam ihraç edilen araç sayısının ihracat tahmininden az veya eşit olmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq D_i^{exp} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

Kısıt (6), ithal gelen araç sayısı o ayki ithalat tahmini kadar olmaktadır.

$$\sum_{j \in J} z_{ij} \leq D_i^{im} \quad \forall i \in I \quad (6)$$

Kısıt (7), ithal araçları araç park sahasına ihraç araçları gemiye yüklemek için geçen süreyi belirlemektedir.

$$\mu_{ij} \geq \varphi(x_{ij} + z_{ij}) + \theta \quad \forall i \in I, j \in J \quad (7)$$

Modelin çalışabilmesi için Toplam operasyon süresinin. $T' = 1600$ dakikaya yükseletilmesi gerekmektedir.

$$\mu_{ij} \leq T' \quad \forall i \in I, j \in J \quad (8)$$

Kısıt (9) 1 ay içinde terminale gelen gemi sayısının üst sınırını belirlemektedir.

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \leq S_i \quad \forall i \in I \quad (9)$$

Kısıt (10) Eğer gemi gelmişse ($y_{ij} = 1$) $x_{ij} \leq C^S$ aksi takdirde $x_{ij} = 0$.

$$x_{ij} \leq C^S \cdot y_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (10)$$

Kısıt (11) Geminin terminale gelmesi durumunda ithal araç boşaltılmaktadır. Gemi gelmediyse ithal araç da gelmemektedir.

$z_{ij} \leq C^S$ gemi gelirse ($y_{ij} = 1$), aksi takdirde $z_{ij} = 0$.

$$z_{ij} \leq C^S \cdot y_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (11)$$

Kısıt (12), (13) ve (14) İhraç edilecek araç sayısını belirlemektedir. Kısıt (14), $|J|$, J kümesinin eleman sayısını ifade etmektedir.

$$t_{11} = Q - x_{11} + v_{11} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (12)$$

$$t_{ij} = t_{i,j-1} - x_{ij} + v_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \text{ and } j \geq 2 \quad (13)$$

$$t_{ij} = t_{i-1,|J|} - x_{ij} + v_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \text{ and } i \geq 2 \quad (14)$$

İthal araç sayısının doğrusal olarak azaldığı α günde bittiği kabul edilmektedir. (15) ve (16)'da , Araç park sahasında kalan ithal araç sayısı hesaplanmaktadır.

$$f_{ij} \geq \sum_{k=|j|-\alpha+j+1}^{|j|} \left(\frac{\alpha - (j + |j| - k)}{\alpha} \cdot z_{i-1,k} \right) + \sum_{k=1}^j \left(\frac{\alpha - (j - k)}{\alpha} \cdot z_{ik} \right) \forall i \in I, j \in J \text{ and } i \geq 2, j \leq \alpha - 1 \quad (15)$$

$$f_{ij} \geq \sum_{k=j-(\alpha-1)}^j \left(\frac{\alpha - (j - k)}{\alpha} \cdot z_{ik} \right) \forall i \in I, j \in J \text{ and } j \geq \alpha \quad (16)$$

Kısıt (17) Araç park alanındaki toplam araç sayısının C^{VPA} değerinden az veya eşit olmasını sağlamaktadır.

$$f_{ij} + t_{ij} \leq C^{VPA} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (17)$$

x_{ij} 'in gönderilmeye hazır araç sayısından az veya eşit olduğu durumlardagemiye x_{ij} kadar ihraç araç yüklemek mümkün olmaktadır. Kısıt (18), (19) ve (20) Yüklenen ihraç araç sayısının araç park alanındaki mevcut araç sayısı ile sınırlandırılmasını sağlamaktır.

$$x_{11} \leq Q \quad (18)$$

$$x_{ij} \leq t_{i,j-1} \quad \forall i \in I, j \in J \text{ ve } j \geq 2 \quad (19)$$

$$x_{i1} \leq t_{i-1,|j|} \quad \forall i \in I \text{ ve } i \geq 2 \quad (20)$$

Kısıt (21) İhracatçının ihracat araçlarını araç park sahasına getirmesi durumunda, teslim edilen miktarın alt ve üst limitler arasında olması gerekmektedir.

$$L \cdot \pi_{ij} \leq v_{ij} \leq U \cdot \pi_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (21)$$

Kısıt (22) Geminin atıl kapasitesini hesaplamaktadır.

$$h_{ij} = C^S \cdot (1 - y_{ij}) + x_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (22)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Oluşturulan model GAMS yazılımı ile çözülmüştür. Liman yönetimi tarafından beklenen ihracat değeri olan 301.000 araç mevcut kısıtlar ile yüklenemeyeceği görülmüştür. Model 162 gemi çağırması, buna karşılık 299.289 adet araç yükleyebilmiştir.

3.1 Kurulan Modelin STS Değişimine Göre Analizi

Gemi kapasitesinin, aylık gelen gemi sayısının ve araç park sahası kapasitesinin artırılması durumunda modelin sonuçlarının nasıl değişeceği tespit edilmiştir.

3.1.1 Gemi Kapasitesinin Artırılmasının Modelin Çözümüne Etkisi

Diğer kısıtlar değiştirilmeden model gemi kapasitesinin 2300, 2400 ve 2500'e çıkartılması durumlarında tekrar tekrar

çözülmüştür. En iyi sonuç gemi kapasitesinin 2300'e çıkartılması durumunda elde edilmiştir. Modelin çözülmesi ile 158 gemi ile 301.182 araç yüklenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

3.1.2 Aylık Gelen Gemi Sayısının Artırılmasının Modelin Çözümüne Etkisi

Diğer kısıtlar değiştirilmeden aylık gelen gemi sayısının 16'dan sırasıyla artırılarak tekrar modelin çözülmesi neticesinde gelen gemi sayısının 20'e çıkarılması durumunda beklenen talebin karşılanacağı görülmüştür. Modelin çözülmesi ile 168 gemi ile 304.200 araç yüklenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

3.1.3 Araç Park Sahası Kapasitesinin Artırılmasının Modelin Çözümüne Etkisi

Diğer kısıtlar değiştirilmeden araç park sahası kapasitesi 5500'den 6500'e çıkartılmıştır. Modelin çözülmesi ile 162 gemi ile 299.304 araç yüklenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Beklenen Talebe Göre Değerlendirme	Mevcut Durum	Gemi Kapasitesinin Arttırılması	Aylık Gelen Gemi Sayısının Arttırılması	Araç Park Sahası Kapasitesinin Arttırılması
Aylık Gelen Gemi Sayısı	16	16	20	16
Araç Park Sahası Kapasitesi	5500	5500	5500	6500
Gemi Kapasitesi	2000	2300	2000	2000
Sonuç	162 gemi 299.289 araç	158 gemi 301.182 araç	168 gemi 304.200 araç	162 gemi 299.304 araç

Tablo 1: Modelin sabit sayıların ayrı ayrı değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar

Tablo 1’de GAMS yazılımı ile çözülen modelin sonuçları yer almaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, modelin çözümü ile ülkemizin en çok araç ihracatının gerçekleştiği limanlardan birinin araba terminalinde, beklenen ihracat ve ithalat rakkamlarına göre elleçleme kapasitenin yeterli olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Model de mevcut kısıtlar ile çağırılabilir gemi sayısı, yüklenebilecek ihracat adetleri, en iyi (optimal) çözümü veren karar değişkenlerinin değerleri hesaplanmıştır. Modelin çözümü sonucunda beklenen ihracat talebinin mevcut kısıtlar ile yüklenemeyeceği görülmektedir. Modeldeki sağ taraf sabitleri değiştirilerek sonuçlar tekrar ele alınmıştır. Gemi kapasitesinin, aylık gelen gemi sayısının ve araç park sahası kapasitesinin arttırılması sonucunda modelin sonuçlarının nasıl değişeceği araştırılmıştır. Beklenen talebin karşılanabilmesi için Araba Terminalinin bulunduğu limanın yeni bir yatırım yapıp araç park sahasını arttırması gerekmemektedir. Limanın içinde bulunduğu hinterlandtaki araba fabrikalarının taleplerini karşılayabilmesi için araba taşıyıcı gemilerin limana yaptıkları sefer frekanslarını arttırmak ya da gelen gemilerin araba terminali için ayırdığı kapasitesini arttırmak gerekmektedir. Ayda gelen gemi sayısı 20’ye çıkarıldığında ya da araba gemilerinin araba terminali için ayırdıkları kapasiteyi 2300’e çıkardıklarında araba terminalindeki dar boğaz ortadan kalkmış olacaktır. Çalışma otomotiv terminallerinde kapasite analizini hesaplayabilen genel bir modeldir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda ele alınacak terminallerin özelliklerine göre ilgili kısıtların modele eklenmesi gerekmektedir.

Kaynakça

- Beskovnik, B., & Tvrđy, E., (2010), Planing Organization and Productivity Simulation Tool for Maritime Container Terminals, *Transport* 2010., 25(3):293-299
- Büyüközer, A.(2006). Konteyner Planlaması ve Kapasite Analizi.Y.Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Chen, X., Li, F., Jia.B., Wu, J., Gao, Z., Liu, R., (2021), Optimazing storage location assignment in an automotive Ro-Ro Terminal, *Transportaion Research Part B* 143 (2021), 249-281, <https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.10.009>
- Cordeau, F., Laporte, G., Moccia, L., Sorreantino, G., (2011), Optimazing yard assignment in an automotive transshipment terminal, *European Journal of Transshipment*, 215 (1), 149-160, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.06.008>
- Dias, Q., Calado,J., & Mendonça, M., (2010) , The Role of European Ro-Ro 4 Port Terminals in The Automotive Supply Chain Management. *Transport Geography*, 18, 116-12
- Elmas,G., (2011), Bursa Bölgesi’nde Otomotiv Lojistiği ve Otomotiv Terminallerinde Kapasite Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Elmas, G., (2014) An AHP Model for Choosing Value Creation Factors in Logistics Service for the Logistics Customer, *International Conference on Education and Social Sciences*, 165-172
- Ergin, A. (2011) Tedarik Zinciri Yönetiminde Konteyner Taşıyıcı Firma Seçimi ve Türkiye’deki Uygulaması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.

- Ergin, A. & Eker, I. (2019.) Application of Fuzzy Topsis Model for Container Port Selection Considering Environmental Factors. *International Journal of Maritime Engineering*, vol.161.pp.293-301
<https://doi.org/10.3940/rina.ijme.2019.a3.546>
- Gambardella, M., Rizolli, A., & Zaffolan, M., (1998), Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal, *Simulation Harbour and Maritime Simulation*, 10-98
- Holweg, M., & Miemczyk, J., (2003), Delivering the “3-day car” The Strategic Implications for Automotive Logistics Operations, *Journal of Purchasing & Supply Management*, 9, 63-71
- Iannone, R., Miranda, S., Prisco, L., Riemma, S., & Samo, D., (2016), Proposal for a flexible discrete event simulation model for assessing the daily operation decision in a Ro-Ro Terminal,(61),28-46.
<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.11.005>
- Mattfeld, D., & Kopfer, H.,(2003), Terminal Operations Management in Vehicle Transshipment, *Transportation Research Part A*, 37,435-452
- Mangan, J., Lalwani, C., & Gardner, B., (2002), Modelling port/ferry choice in Ro-Ro freight transportation, *International Journal of Transportation*, 1 (1), 15-28
- Pau, B., & Sauri, S., (2005) Performance Indicators for Roll-on-Roll-off Terminals: A Planning Assessment Tool, *Technical University of Catalonia*.
- Özkan, E., Nas, S., & Güler, N., (2016), Capacity Analysis of Ro Ro Terminals by Using Simulation Modeling Method, *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 32(3), 139-147,
<https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2016.09.002>
- Şahin, Y.B., Ekmekçi, S. & Yürekli, M. (2020). Bir makine Fabrikasında Yarı Mamul Depolama Sistemi için Etkin Raf Yerleşimi Önerisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (18), 664-674
- Yalçın, A.Y. & Can, B. (2019). Tam Sayılı Programlama ve Simülasyon ile Raf Alanı Optimizasyonu: Bir Ambalaj Firmasında Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (Özel Sayı), 375-388



Atıksularda Koronavirüslerin Varlığı, Akıbeti ve Giderimi: COVID-19 Üzerine Bir Derleme

Şeyma Akkurt¹, Merve Oğuz²

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0135-1975), sakkurt@adiyaman.edu.tr

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8388-1477), moguz@erciyes.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 24 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 2 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.867432)

ATIF/REFERENCE: Akkurt, Ş., Oğuz, M., (2021). Atıksularda Koronavirüslerin Varlığı, Akıbeti ve Giderimi: COVID-19 Üzerine Bir Derleme. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 330-340.

Öz

Solum hastalığına neden olan koronavirüs COVID-19 (SARS-CoV-2) ilk olarak 12 Aralık 2019'da Çin'in Wuhan şehrinde neden olduğu salgın hastalık sırasında tespit edilmiştir ve dünyaya yayılmıştır. Sağlık uzmanları tarafından COVID-19 üzerine yapılan araştırmalar, virüsün doğrudan yayılmasını önlemeye ve enfekte hastaları tedavi etmeye odaklanmıştır. Fakat, bazı çalışmalarda insanların dışkısında, atıksu örneklerinde virüs tespit edilmiş ve atıksu yoluyla olası bulaşma vakaları bildirilmiştir. Bu bağlamda, virüs içeren artılmış veya ham atıksular, arıtma çamurları, suyun tekrar kullanımı ve alıcı su ortamlarına deşarj edilmesi ikincil bulaşmaya neden olabileceği göz ardı edilmemelidir. Atıksu arıtma tesislerinin deşarj suları ve geri kazanılmış atıksular yoluyla virüsün yayılmasını engellemek için etkili bir dezenfeksiyon uygulanması bu nedenle önem arz etmektedir. Virüsün çevreye yayılmasını önlemek için atıksudan virüs giderme yöntemleri uygulanmalıdır. Bu nedenle bu çalışmada, virüsün atıksularda bulunabilirliği ve artımına yönelik yöntemler ele alınarak mevcut durumu hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Koronavirüs, COVID-19, Atıksu, Dezenfeksiyon, Kanalizasyon, Giderim.

The Existence, Fate and Removal of Coronaviruses in Wastewaters: A Review on COVID-19

Abstract

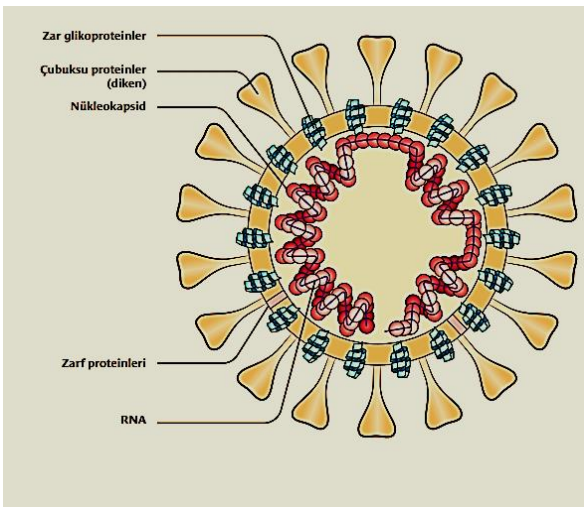
The coronavirus COVID-19 (SARS-CoV-2), which causes respiratory disease, was first detected on December 12, 2019, during the epidemic caused by the city of Wuhan, China, and spread to the world. Studies conducted by healthcare professionals on COVID-19 have focused on preventing the direct spread of the virus and treating infected patients. However, in some studies, viruses were detected in human feces, wastewater samples, and possible cases of contamination through wastewater were reported. In this context, it should not be ignored that treated or raw wastewater containing viruses, sewage sludge, reuse of water and discharge to receiving water environments may cause secondary contamination. Therefore, it is important to apply an effective disinfection to prevent the spread of the virus through the discharge waters and recycled wastewater of wastewater treatment plants. To prevent the virus from spreading to the environment, virus removal methods from wastewater should be applied. Therefore, this research offered details about the current situation by taking into account the availability and treatment of the virus in wastewater.

Keywords: Coronavirus, COVID-19, Wastewater, Disinfection, Sewage, Removal.

1. Giriş

Solunum yolu rahatsızlığına yol açan COVID-19 virüsü (SARS-CoV-2), ilk kez Çin'in Wuhan kentinde yol açtığı salgın hastalık sırasında 12 Aralık 2019 tarihinde tespit edilmiş olup ardından tüm dünyaya yayılmıştır (TOBSYGM, 2020). Koronavirüsler (CoVs) hayvanları ve insanları enfekte edebilen büyük bir virüs ailesinin bir parçasıdır. Zarf adı verilen yağlı bir protein tabakası ile çevrili olan koronavirüsler, büyük, pozitif polariteli, yüzeyinde protein çıkıntıları olan tek iplikli RNA virüsleridir (Ak, 2020). Koronavirüs genotipik ve serolojik özelliklerine göre Alfa, Beta, Gama ve Deltakoronavirüs olmak üzere dört farklı gruba ayrılmaktadır (Lu ve ark., 2015). Alfa ve beta koronavirüs insanları enfekte edebilirken, gama ve delta koronavirüs sadece hayvanları enfekte edebilmektedir (Ak, 2020; Lu ve ark., 2015). Kaynağı yarasalar olan, ciddi akut solunum sendromu (SARS CoV) ve Orta Doğu solunum sendromu (MERS CoV) virüslerinin ara konakçıları ise çöl deve ve misk kedileridir (Petrossillo ve ark., 2020). COVID-19 virüsü ise 2019 yılı Aralık ayından bu yana küresel bir salgına neden olan daha önce insanda rastlanmayan bir koronavirüstür (Ak, 2020).

COVID-19 virüsü tespit edilen 41 vakanın üçte ikisinin Huanan (Wuhan, Çin) deniz ürünleri pazarında aynı zamanlarda bulunduğu ve virüsün pazardan başladığı tespit edilmiştir (Chen, 2020). Huanan deniz ürünleri pazarında çeşitli canlı yabani hayvanlar satılmaktadır (Shereen ve ark., 2020). COVID-19 virüsünün gen dizilimi, virüs gen dizilim veri bankasındakilerle karşılaştırılması sonucunda en çok benzeyen gen dizilimlerinin %88 oranında yarasalardan kaynaklanan iki koronavirüse ait olduğu belirlenmiştir. Bunun üzerine bilim insanları koronavirüsün yarasalardan kaynaklanabileceğini düşünmüştür. Ancak COVID-19 virüsünün başladığı Huanan deniz ürünleri pazarında yarasalar satılmıyordu. Yarasalar satılmadığından dolayı, virüsün insanlara iletilmesinde henüz tanımlanmamış başka bir hayvanın bir tür ara taşıyıcı olduğu kanısına varılmıştır (Ak, 2020). Şekil 1'de koronavirüsün yapısı gösterilmiştir (Aka Biyoteknoloji, 2020).



Şekil 1. Koronavirüsün yapısı (Aka Biyoteknoloji, 2020).

Yapılan araştırmalar sonucunda COVID-19 virüsü tespit edilen vakalardan bazılarının Huanan (Wuhan, Çin) deniz ürünleri pazarına gitmeyen kişiler olduğu tespit edilmiştir. Bu durum virüsün insandan insana bulaştığını göstermiştir.

WHO tarafından 11 Mart 2020 tarihinde küresel salgın ilan edilmiştir (Ağdıç vd., 2020). Virüsün insandan insana aktarıldığı bilinmektedir. COVID-19 virüsünün ana bulaşma yolları solunum damlacıkları ve doğrudan temastır. Enfekte bir kişiyle yakın temasta olan herkes potansiyel olarak enfektif solunum damlacıklarına maruz kalma riski altındadır. Damlacıklar ayrıca virüsün yaşayabileceği yüzeylere de inebilir; böylece enfekte olmuş bir bireyin yakın çevresi bulaşma kaynağı olarak kullanılabilir (WHO, 2020). Yani kontamine yüzeyler ve nesnelere ile temas sonucunda da virüs başka insanlara da bulaşabilmektedir (TOBSYGM, 2020). Fakat, enfekte bir kişinin dışkılarından COVID-19 virüsünün bulaşma riskinin düşük olduğu düşünülmektedir (CDC, 2020). Mevcut kanıtlar, enfeksiyöz COVID-19 virüsüne yakalanan hastalarda görülen semptomların; ateş, kuru öksürük, kas ağrısı, yorgunluk ve ishal gibi hastanın yaşına göre değişiklik göstermektedir (Zhang ve ark., 2020). Virüsün ishal veya bağırsak enfeksiyonu belirtilerine bakılmaksızın dışkıyla atılabileceği düşünülmektedir (WHO, 2020). Enfekte olan bazı hastalarda, enfeksiyonun erken evrelerinde ishal görülmesi üzerine hasta dışkılarında yapılan ölçümlerde COVID-19 tespit edilmiştir. Bunun üzerine Su Çevre Federasyonu (WEF) tarafından, COVID-19 virüsünün fekal-oral yoldan bulaşabileceği ifade edilmiştir (WEF, 2020).

Bu çalışmada, atıksuda koronavirüslerin varlığı, virüslerin atıksudaki akıbeti, atıksu arıtımı sırasında hayatta kalmaları ve giderimleri tartışılmıştır. Virüsün bulaşma riski geri kazanılmış suların yeniden kullanılması (park, bahçe sulama ve proses suyu) perspektifinden de değerlendirilmiştir. Ayrıca atıksu arıtma tesisleri (AAT) çalışanları ve halk sağlığı açısından potansiyel enfeksiyon riskleri de incelenmiştir. Alt başlıklarda COVID-19 virüsünün atıksulardaki durumu hakkında detaylı bilgiye yer verilmiştir.

2. Atıksularda Koronavirüslerin Varlığı

Atıksuda virüs oluşumuna ilişkin çalışmaların çoğu, adenovirüsler, çocuk felci virüsleri, enterovirüsler, norovirüsler ve rotavirüsler gibi gelişmemiş enterik virüslere odaklanmıştır (Ye ve ark., 2016; Fumian ve ark., 2010; Katayama ve ark., 2008). Bunun temel nedeni, bunların esas olarak fekal-oral yoldan iletilmesidir (Ye ve ark., 2016). Bununla birlikte, atıksuda koronavirüsler gibi zarflı virüslerin varlığı, suda hayatta kalma ve dağılım davranışlarındaki farklılıklar nedeniyle büyük ölçüde değişiklik gösterebilmektedir (Arbely ve ark., 2006; Ye ve ark., 2016). Atıksulardan alınan numunelerde koronavirüsün doğru ölçümü oldukça zor olup, bu konuda çok az araştırma yapılmıştır (Amoah ve ark., 2020). Önceki araştırmalar, standart virüs konsantrasyon yöntemlerinin, çevresel su örneklerinden zarflanmış virüsleri geri kazanmada yetersiz olduğunu göstermiştir (Haramoto ve ark., 2009). Atıksudaki koronavirüslerin ilk tespitlerinden biri 2013 yılında gerçekleştirilmiştir (Wong ve ark., 2013).

Bir çalışmada zarflanmamış enterik virüsler üzerine araştırma yapılmıştır. ABD'de 12 aylık boyunca DNA ve RNA virüslerinin tespiti üzerine rapor edilmiştir ve mikrodiziler kullanan 12 numunenin birinde koronavirüsler atıksuda bulunmuştur. Aynı yıl, viral metagenomik bir araştırmada, atıksudaki koronavirüs varlığına kanıt sağlayan CoV HKU1 genomunu (soğuk algınlığı CoV) tespit edilmiştir (Bibby ve Peccia, 2013). Daha yakın tarihli bir çalışmada ise, Suudi Arabistan'da yüzey suyunda Alphacoronavirus cinsine ait hayvan koronavirüsünün moleküler tespiti yapılmıştır (Blanco ve ark., 2019). Koronavirüsün özellikle insan dışkısı ile

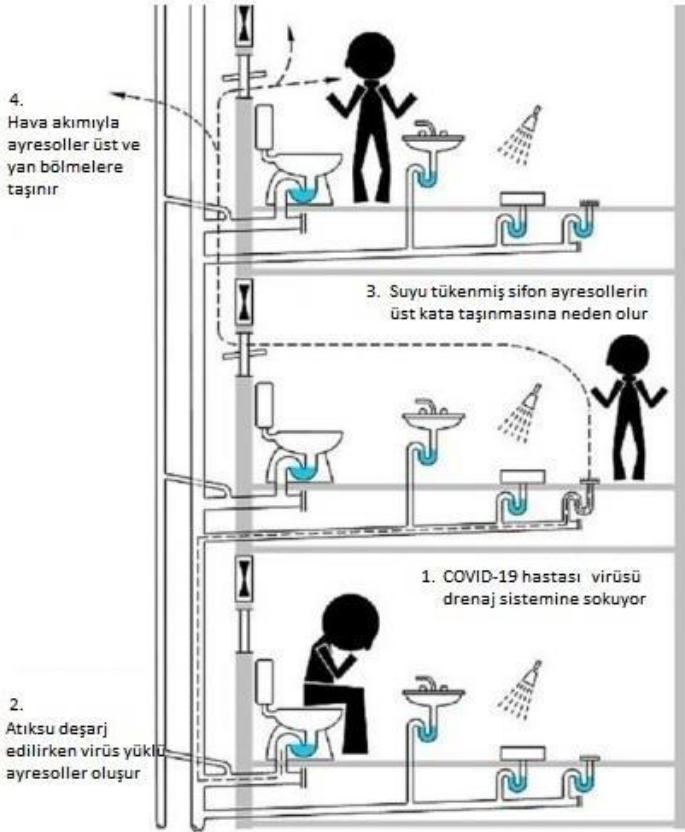
kanalizasyon sistemine karıştığı bilinmektedir (Amoah ve ark., 2020). COVID-19 teşhisi konan bazı hastaların dışkılarında COVID-19 virüsü bulunmuştur ancak yalnızca viral-RNA'nın saptanması, canlı virüsün varlığını ve Covid-19'un fekal-oral yolla bulaştığına dair doğrulanmış bir rapor bulunmamaktadır. Ancak, SARS koronavirüsünün dışkı ile bulaştığına dair bir kanıt bulunmaktadır (CDC, 2020). 2003 yılında, Hong-Kong'da 50 katlı bir binada sıhhi tesisattaki ve havalandırma sistemindeki sorunlar nedeniyle SARS koronavirüsü başka dairelere taşınarak bina içinde yayılmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Binada virüsün yayılması, 342 kişinin enfekte olmasına ve 42 kişinin de ölümüne yol açmıştır. Virüsün diğer dairelere yayılmasının nedeni olarak banyolarda suyu boşalmış sifonlar ve doğru projelendirilmemiş havalandırma sistemlerinin neden olabileceği belirtilmiştir. Ancak virüsün oral yolla mı veya aerosolların solunması yoluyla mı yayıldığı bilinmemektedir (WHO ve FAO, 2020). Bu nedenle COVID-19 virüsünün apartmanlarda yayılmasında arızalı tuvaletlerin ve havalandırma sistemi hatalarının olası risklerden olabileceği belirtilmiştir. Şekil 2'de virüsün sıhhi tesisat ve havalandırma hataları nedeniyle başka dairelere taşınımı gösterilmiştir (Medema ve ark., 2020).

enfeksiyonun varlığını ve ölçeğini anlamak için atık suyun bir gösterge olarak kullanılabilen bir kavram olup, yasa dışı alkol, uyuşturucu, tütün tüketimi, ilaç kullanımı/kötüye kullanımı, su kirliliği vb. belirlenmesi için kullanılmaktadır. Böylece belirli biyobelirteçler izlenerek nüfusun alışkanlıkları tespit edilerek erken müdahale edilebilmektedir (Mao ve ark., 2020). Covid-19 vakaları bildirilmeden önce kanalizasyon örneklerinde tespit edilerek, vakaların sağlık kuruluşlarında belgelenmeden önce virüsün atıksuda sürekli izlenerek tespit edilebileceği belirlenmiştir (Medema ve ark., 2020). Viral RNA, hastalığın başlangıcından haftalar önce dışkıda ve ardından atıksuda tespit edilebildiğinden, bu kavram hastalık salgını için erken uyarı sistemi olarak kullanılabilir (Xagoraki ve O'Brien, 2020). SARS-CoV-2'nin WHO tarafından 11 Mart 2020'de dünya çapında yayılan salgının duyurulmasının ardından, atıksu bazı epidemiyoloji birçok ülkede büyük ilgi görmüştür: Hollanda (Medema ve ark., 2020), ABD (Wu ve ark., 2020), Avustralya (Ahmed ve ark., 2020), Fransa (Wurtzer ve ark., 2020), Çin (Wang ve ark., 2020), İspanya (Randazzo ve ark., 2020), İtalya (La Rosa ve ark., 2020; Rimoldi ve ark., 2020) ve İsrail (Bar Or ve ark., 2020), atıksularda farklı virüs konsantrasyon teknikleri kullanarak analizler gerçekleştirmiştir. Aşağıda bu çalışmalara bazı örnekler verilmiştir.

Medema ve ark.'nın (2020) yaptığı çalışmada, Hollanda'nın yedi şehrindeki iki kanalizasyon sisteminden alınan numunelerde COVID-19 virüsü tespit edilmiştir.

Balboa ve ark. (2020) çalışmalarında, birincil ve ikincil arıtılmış atıksu ve çamur örnekleri İspanya'nın kentsel AAT'den alınmıştır. Gerçek zamanlı RT-PCR ile SARS-CoV-2 varlığı araştırılmıştır. Çalışmada, SARS-CoV-2 partikülleri çamur tarafından tutulması nedeniyle atıksu içinde tespit edilememiştir. Sonuç olarak, çamur yoğunlaştırıcı daha yüksek katı konsantrasyonu (daha fazla virüs parçacığı) ve daha uzun bekleme süresi sayesinde SARS-CoV-2 parçacıklarını tespit etmek için uygun bir ünite olduğu görülmüştür.

Kocameci ve ark.'nın (2020) çalışmasında, Türkiye'deki COVID-19 vakalarının yaklaşık %65'ine sahip olan İstanbul'un AAT'lerindeki virüs konsantrasyonunu tespit etmek için çalışmalar yapılmıştır. İstanbul'un yedi büyük belediyesinin AAT girişinden, birincil ve atık aktif çamurdan numuneler alınarak SARS-CoV-2 seviyelerini araştırmışlardır. ABD tarafından doğrulanmış gerçek zamanlı RT-PCR teşhis paneli ile yapılan analizde tüm numunelerin sonucu pozitif çıkmıştır. SARS-CoV-2, litre başına $1,17 \times 10^4$ ila $4,02 \times 10^4$ arasında değişen kopyalar tespit edilmiştir. Çamurdaki SARS-CoV-2 hakkındaki bilgiler, çamur susuzlaştırma, stabilize etme ve bertaraf işlemlerinin uygulanmasında faydalı olacağı ifade edilmiştir. Su ortamlarındaki koronavirüslerin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar Tablo 1'de gösterilmiştir. Koronavirüslerin doğada hayatta kalmaları, atıksuda oluşumlarını etkileyen önemli faktör olabileceği düşünülmektedir. Bilim insanları arasındaki yaygın görüş, koronavirüslerin doğada sadece birkaç gün yaşayabileceği yönündedir, ancak bazı çalışmalarda bu düşüncüyü çürüten bulgular elde edilmiştir (Amoah ve ark., 2020; Kampf ve ark., 2020). Laboratuvar ortamında yapılmış olan bir çalışmada, koronavirüslerin insan dışkısı ile kontamine olmuş sulara yaklaşık dört hafta boyunca enfekte edici özelliklerini sürdürdüğü belirlenmiştir (Casanova ve ark., 2009). Bu durumun nedeni olarak, virüsün insan bağırsak sisteminde tekrar çoğalmasının bir sonucu olabileceği düşünülmüştür (ÇMO,2020).



Şekil 2. Virüsün sıhhi tesisat ve havalandırma hataları nedeniyle başka bölmelere taşınımı

Virüsün sıhhi tesisat ve havalandırma sistemlerindeki zayıflık nedeniyle yayılmasını engellemek için WHO, standart atıksu arıtma ile birlikte kapalı banyo drenajları, havalandırma sistemine aerosol haline gelmiş dışkının kaçmasını engelleyen geri akış vanaları bulunan bakımlı sistemlerin kullanılmasını önermektedir (WHO, 2020). Bu çalışma ile koronavirüslerin atıksulardaki varlığının saptanmasına olan ilgi artmıştır. Atıksuda koronavirüs oluşumuna olan ilginin artmasının bir başka nedeni ise; atıksu bazlı epidemiyolojidir (WBE). WBE,

Tablo 1. Su ortamlarındaki koronavirüs tespit çalışmaları

Virüs	Örnek	Tespit Metodu	Ülke	Referans
Şiddetli akut solunum sendromu koronavirüs (SARS-CoV)	SARS hastaları alan iki hastaneden gelen kanalizasyon suyu	RT-qPCR	Beijing, China	(Wang ve ark., 2005)
Alfakoronavirüs Betakoronavirüs	Yüzey suyu	RT-qPCR	Suudi Arabistan	(Blanco ve ark., 2019)
SARS-CoV-2	Atıksu	RT-qPCR	ABD	(Wu ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Kanalizasyon	RT-qPCR	Hollanda	(Medema ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Atıksu	RT-qPCR	Avustralya	(Ahmed ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Arıtılmamış ve arıtılmış atıksu	RT-qPCR	Fransa	(Wurtzer ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Atıksu	RT-qPCR	Hollanda	(Lodder ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Atıksu	RT-qPCR	İspanya	(Randazzo ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Atıksu	RT-qPCR	ABD	(Nemudryi ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Atıksu	RT-qPCR	ABD	(Green ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Atıksu	RT-qPCR	İsrail	(Bar Or ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Birincil ve ikincil arıtılmış atıksu ve çamur örnekleri	RT-qPCR	İspanya	(Balboa ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Birincil çamur	RT-qPCR	ABD	(Peccia ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Atıksu ve nehir	RT-qPCR ve tüm genom dizileme	İtalya	(Rimoldi ve ark., 2020)
SARS-CoV-2	Birincil ve atık aktif çamur	RT-qPCR	Türkiye	(Alpaslan Kocamemi ve ark., 2020)

2.1. Koronavirüslerin Atıksudaki Akıbeti ve Hayata Kalması

Son zamanlarda yapılmış olan çalışmalara göre, SARS-CoV ve MERS-CoV'in farklı çevresel koşullar altında hayatta kaldığını gösteren kanıtlar bulunmaktadır. Atıksudaki SARS-CoV RNA'sının ilk raporları, 2003 salgını sırasında Pekin'de SARS hastalarını kabul etmek için belirlenmiş hastaneler olan Xiao Tang Shan hastanesi ve PLA'nın 309. hastanesinde yürütülen çalışmalarda elde edilmiştir. Koronavirüs atıksularda, sıcaklığa ve katı madde miktarına bağlı olarak canlılığını birkaç saatten birkaç güne kadar sürdürebilmektedir. Yapılan incelemelerde, koronavirüsün ham atıksuda 20 °C'de 2 gün, 4 °C'de ise 14 gün varlığını koruduğu belirlenmiştir. Klasik Aktif Çamur Prosesinden oluşan biyolojik arıtma sistemi çıkış suyunda SARS korona virüsüne rastlanmamıştır. Ancak atıksuda bulunan askıda katı maddelerin (AKM) virüse koruma sağladığı tespit edilmiştir. Bu nedenle koronavirüsün; ham atıksuda varlığını ön arıtmadan geçmiş atıksuya göre, daha fazla koruyabildiği saptanmıştır (Wang ve ark., 2005).

Gundy ve ark.'nın (2009) yapmış oldukları çalışmada, atıksudaki koronavirüsün 20 °C'de %99,9 oranında azalmasının 2-3 gün süreceğini bildirmiştir.

Ye ve ark.'nın (2016) çalışmasında, fare hepatit virüsü (MHV) pastörize edilmemiş atıksularda %90 inaktivasyonun 13 (±1) saat sürdüğünü gözlemlemiştir.

Diğer taraftan Casanova ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada ise bulaşıcı gastroenterit virüsünün (TGEV) atıksudaki %99 oranında gideriminin bir hafta sürdüğü ileri sürülmüştür. Deneyler, atıksudaki diğer mikropların olası etkilerini ortadan kaldırmak için pastörize su kullanılarak yapılmıştır (Amoah ve ark., 2020).

Rimoldi ve ark (2020), yapmış oldukları çalışmada, hücre kültürlerine dayalı olarak atıksuda canlı SARS-CoV-2 olmadığını tespit etmiştir. Başka bir çalışmada ise, virüsün dışkı ile atılmasından atıksu örnekleme noktasına ulaşmasının 6-8 saat sürdüğü ifade edilmiştir. Bu nedenle virüsün bu süre içinde inaktive olmuş olabileceği ileri sürmüştür (Zhang ve ark., 2020; Chan ve ark., 2004).

Sonuç olarak; diğer koronavirüslerden elde edilen verilere ve dışkıda canlı SARS-CoV-2 viral partiküllerinin oluşumuna dayanarak, arıtılmamış atıksu bazı canlı ve bulaşıcı insan koronavirüslerini içerebileceği ifade edilmiştir (Zhang ve ark., 2020; Chan ve ark., 2004; Xu ve ark., 2005).

2.1.1. Atıksuda Koronavirüsün Hayatta Kalmasını Etkileyen Faktörler

Atıksu ortamlarında koronavirüslerin hayatta kalmasını virüs yapısı, sıcaklık, atıksu karakteristiği ve pH gibi fiziko-kimyasal faktörler etkilemektedir (Amoah ve ark., 2020). WHO tarafından yapılan açıklamada, SARSCoV-2'nin atıksu veya içme suyunda hayatta kaldığına dair hiçbir kanıt olmadığını ileri sürülmüştür. Muhtemelen zarflı koronavirüslerin çevresel koşullara (klor, pH ve sıcaklık vb.) daha duyarlı olduğu tahmin edilmektedir (WHO, 2020). Bu nedenle, konvansiyonel atıksu arıtma prosesleri SARS-CoV-2'yi inaktive etmelidir ve içme suyu arıtma tesislerinde kullanılan çoklu bariyerler SARS-CoV-2'yi tespit edilemeyen ve düşük risk seviyelerine (<4-10 yıllık risk) indirmek için yeterli hale getirilmelidir.

Casanova ark.'nın (2009) yaptıkları çalışmada, reaktif sınıfı suda TGEV'de 4 log (%99,99) azalma için 44 gün ve 25 °C'de MHV için 35 gün süreceğini bildirmişlerdir. Pastörize atıksuda, aynı koşullarda aynı inaktivasyonu TGEV için 19 gün ve MHV için 14 gün süreceği bulunmuştur.

Ayrıca atıksuda yaygın olan çözünmüş maddelerin yüksek moleküler ağırlığının virüslerin hayatta kalmalarını etkileyebileceği ileri sürülmüştür (Noble ve Fuhrman, 1997). Wang ve ark. (2005) yaptığı çalışma da bu görüşü desteklemektedir.

2.1.2. Kullanılmış Suların Tekrar Kullanımında COVID-19 Virüsünün Bulaşma Riski

Kullanılmış sular; birçok alanda tarım ve yeşil alanları sulama, proses suyu olarak endüstriyel amaçlı kullanım, rekreasyonel ve çevresel amaçlarla kullanım, içme suyu amaçlı olmayan kentsel kullanım, yeraltı suyu besleme, doğrudan ve dolaylı olarak içme suyu amacıyla kullanılmaktadır (Duman, 2017). Kullanılmış suların yeniden kullanımı sayesinde su kaynaklarının korunması, kıyasal kirliliğin önlenmesi, tarım arazilerinin artırmış atıksu ile sulanmasıyla; tarımda kullanılan su ve gübre miktarının azalmasını ve içme suyu olarak kullanılacak yüksek kalitedeki suların kullanımını engelleyerek içme suyu arıtma tesisine ve şebekeye olan yükün azalmasını sağlamaktadır (Duman, 2017).

Dünyadaki atıksuların %80'inin artılmadan su kaynaklarına ulaştığı düşünülürse, içme suyu amacıyla dolaylı kullanım da dahil olmak üzere plansız yeniden kullanımların bilinenden çok daha yaygın olduğu anlaşılmaktadır. WHO'nun 1989 yılında yayınladığı rehber doküman, kullanılmış suların yeniden kullanılması konusundaki pek çok mevzuatın oluşturulmasında referans olarak kullanılmaktadır (TOBSYGM, 2020). WHO tarafından bu konuda hazırlanan dokümanlar, suyun farklı yeniden kullanım amaçlarına odaklanmıştır ancak, ortak noktaları halk sağlığını ilgilendiren konularda güvenli bir yaklaşım getirmeyi hedeflemeleridir. Risk değerlendirmesi, epidemiyolojik çalışmalar, sudan kaynaklanan salgın hastalıklarla ilgili veriler gibi pek çok çalışma neticesinde genel bir çerçeve çizilebilmiş böylece etkili, uygulanabilir, güvenilir standartlar ve rehber dokümanlar geliştirilebilmiştir. WHO'nun ürettiği rehber dokümanlardaki temel yaklaşım mikrobiyolojik kontaminasyonun ve buna bağlı olarak gerçekleşebilecek hastalıkların önüne geçmektir. Bu anlamda atıksuların doğru şekilde arıtıldığından, dezenfekte edildiğinden ve bu sular ile temas riski bulunan kişilerin hijyen ile ilgili önlemleri aldıklarından emin olunması durumunda ayrıca koronavirüs ile ilgili önlemlerin alınmasına ihtiyaç bulunmadığı düşünülmektedir (TOBSYGM, 2020). Kullanılmış sular, yaygın olarak tarımsal sulama ve peyzaj sulama faaliyetlerinde yeniden kullanılmaktadır. İnsanların arıtılmış kullanılmış suya maruz kalma riski tercih edilen sulama tekniğine göre farklılık göstermektedir. Yağmurlama sulama, yapıldığında kullanılmış sularda bulunan kirlenici toprağa, sulanan ürünlerin yüzeyine ve zararlı patojenleri taşıyan aerosoller yoluyla yerleşim yerlerine kadar taşınabilmektedir (CDC, 2021).

WHO tarafından yayınlanan 23 Nisan 2020 ara rehberinde atıksuyun güvenli bir şekilde yönetilmesinin önemi üzerinde durulmuştur. COVID-19'un çevreye yayılmasının sınırlandırılması, hali hazırda birkaç hayvanın potansiyel konakçı olarak tanımlandığı ve geri kazanılan suyun sulamada kullanılabileceği düşünüldüğünde büyük önem taşıdığı ifade edilmiştir (WHO, 2020). Gerba ve ark. (2017), AAT'lerden geri kazanılmış suyun kullanımına bağlı olarak sağlaması gereken virüs azaltma faktörünün olması gerektiğini bildirmişlerdir. Yenilebilir mahsullerin sulanması için, 6 log gideriminin yeterli olduğunu gösterirken, suyu içilebilir hale getirmek için 12 log

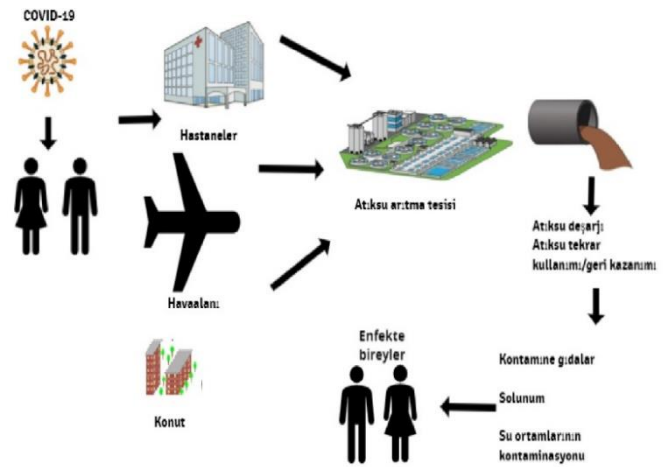
gideriminin gerekli olduğu ifade edilmiştir. Aynı giderim hedefleri Ahmed ve ark. (2020) tarafından da bildirilmiştir.

Bir çalışmada, çiğ olarak tüketilen marul ve çilekte bazı koronavirüs türlerinin varlığı araştırılmıştır. Virüsler çilekteki numunelerden çoğaltılamazken maruldan alınan numunelerde çoğalmıştır. Bu nedenle, ikincil bulaşma riskini önlemek için, hükümetler tarafından gerekli önlemler alınmalıdır (Gawlik ve ark., 2020).

Türkiye'de atıksular; park, bahçe sulama ve proses suyu olarak tekrar kullanılmaktadır (Duman, 2017). İstanbul'da AAT çıkış sularının bir kısmı peyzaj amaçlı bitkilerin sulanmasında kullanılmaktadır. Anadolu'da ise bazı yerleşim yerlerinde, kanalizasyondan doğrudan alınan atıksular sulama amaçlı kullanılmaktadır (ÇMO, 2020). Özellikle herhangi bir arıtım işlemine tabi tutulmayan veya verimli olarak arıtımı yapılmamış AAT çıkış suları virüslerin insana taşınmasında önemli risk oluşturmaktadır. Özellikle sulama işleminin fizikiyeller ile yapılması nedeni ile sulama suyuyla bulunan virüsler kolaylıkla ortama yayılabilmektedir. Bu durum halk sağlığı için tehlike oluşturmaktadır (Medema ve ark., 2020).

3. Atıksuların Arıtımı Sırasında Koronavirüslerin Giderimi

Konvansiyonel AAT prosesleri esas olarak organik madde ve AKM uzaklaştırılması için tasarlanmıştır (Droste ve Gehr, 2017). Bununla birlikte, her bir processte belli bir seviyeye kadar patojen giderimi elde edilmektedir, ancak bu prosesler esas olarak virüslere göre bakteriler üzerinde daha etkilidir (Dias ve ark., 2018; Sinton ve ark., 2002). Buna ek olarak, konvansiyonel AAT'ler genellikle virüsleri tamamen ortadan kaldırmaz ve pandemiler sırasında yüksek düzeyde etkili viral yükler, deşarj öncesinde virüslerin yeteri kadar giderilmemesine neden olabilir. Tatlı su kaynaklarının azalması nedeniyle; artırmış atık sular, yeraltı suyunun doldurulması, gıda mahsullerinin rekreasyonu ve sulanması, kentsel kullanım (park, bahçe sulanması, proses suyu vb.) gibi farklı amaçlarla tekrar kullanılmaktadır. Bu durum Covid-19'un iletimi için başka potansiyel yollar oluşturmaktadır (Bogler ve ark., 2020). Şekil 3'te Covid-19'un atıksu kaynaklı olası bulaşma yolları verilmiştir (Bhatt ve ark., 2020).



Şekil 3. Covid-19'un atıksu kaynaklı olası bulaşma yolları (Bhatt ve ark., 2020).

Aktif çamur sistemleri, dünya genelinde yaygın olarak kullanılan atıksu arıtma prosesidir (Kitajima ve ark., 2014; Nordgren ve ark., 2009). Bu arıtma süreci; birincil çökeltme, biyolojik bozunma ve ikincil arıtmayı içermektedir (Sidhu ve ark., 2018; Keegan ve ark., 2013). Genel olarak, ikincil atıksu arıtımı, 1-log (%90) virüsleri ortalama olarak yok etme kapasitesine sahiptir, ancak virüs giderme seviyesi oldukça değişkendir, ihmal edilebilir seviyeden 2-log'dan fazlasına kadar (%99) değişiklik göstermektedir (McLennan ve ark., 2009). Bu değişkenlik nedeniyle, atıksu arıtmada virüslerin inaktivasyonu için birincil süreç kimyasal veya radyasyon dezenfeksiyonu olması gerektiği yapılan çalışmalarda ifade edilmiştir (Kataki ve ark., 2021).

Atıksuda koronavirüsle mücadeleye acil bir yanıt olarak çoğu ülkede, mevcut uygulamalara göre arıtılmış atıksuyun dezenfekte edilmesine devam etmeleri için atıksu yönetimi kurumları tarafından yönergeler yayınlanmaktadır. ABD Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA) tarafından Şubat 2020'de yayınlanan atıksu işçi rehberinde, AAT'lerde kullanılan mevcut dezenfeksiyon yöntemlerinin (hipokloröz asit veya perasetik asit oksidasyonu ve ultraviyole ışınlama) koronavirüsü tam olarak etkisiz hale getiremediği bildirilmiştir (Kataki ve ark., 2021). Çin'de, COVID-19 sırasında hastane atıksuları için acil arıtma planında, hastanelerden gelen atıksuyun tam olarak dezenfekte edilmesi talimatı verilmiştir ve kalıntı klor seviyesi 6,5 ppm'in üzerine çıkarılmıştır (> 6,5 ppm klor dozu için temas süresi 90 dakikadan daha fazla belirlenirken; >10 ppm klor uygulandığında temas süresi 90 dakikadan az olarak belirlenmiştir) (Kataki ve ark., 2021). Çin Ekoloji ve Çevre Bakanlığı, tüm sektörlerin tarafından yapılan yoğun dezenfeksiyon nedeniyle içme suyu kaynaklarında kalıntı klor tespit edildiği, ancak konsantrasyonların içme suyu kalite standardının (0,3 mg/L) altında olduğunu bildirmiştir (Kataki ve ark., 2021). Virüslerin giderimine ilişkin bilgiler, koronavirüslerin giderimi hakkında genel bir bilgi vermek için dikkatli bir şekilde kullanılabilir.

Bir çalışmada subtropikal koşullar altında aktif çamur arıtma prosesinin enterik virüslerin 3 log üzerinde giderim sağladığı gözlemlenmiştir (Sidhu ve ark., 2018).

Wurtzer ark.'nın (2020), Paris'teki arıtma öncesi ve arıtma sonrasında atıksularda SARS-CoV-2 RNA tespit edilmiştir. Arıtma sonrasında atıksudaki viral yükün, arıtma öncesindeki atıksuya kıyasla 100 kat daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak yapılan çalışmada, kullanılan atıksu arıtma proseslerinin türü veya bu viral partiküllerin durumu hakkında bilgi verilmemiştir. Arıtılmış atıksuda tespit edilen viral RNA'nın, viral partikülün parçaları da olabileceği ifade edilmiştir. Bu nedenle bu bilgi, atıksu arıtımı sırasında koronavirüslerin olası giderimini anlamaya yardımcı olmak için yetersizdir. Atıksudaki azalmanın iki ana nedeni olarak ise viral adsorpsiyon ve inaktivasyon verilmiştir (Bibby ve ark., 2015).

Ye ve ark.'nın (2016), yaptıkları çalışmada fare hepatit virüsünün (FHV) insan koronavirüslerinin bir temsilcisi olarak kullanıldığı çalışmada, dengedeki atıksuda katı maddelere daha hızlı adsorbe olduğunu gözlemlenmişlerdir. Ayrıca, FHV'nin %26'sının dengedeki atıksu katılarına adsorbe edileceğini ve %99'unun ise 0,4-2,9 saatte oluşacağını tahmin etmişlerdir. Bu nedenle, Aktif çamur prosesleri sırasında koronavirüslerin en yüksek oranda gideriminin birincil arıtmada meydana gelebileceği ileri sürülmüştür.

Garcia ve ark.'nın (2003) yapmış oldukları çalışmada, doyumluğa ulaşıncaya kadar artan hidrolik bekleme süresi (HBS) ile mikrobiyal inaktivasyonun arttığı bildirilmiştir.

Verbyla ve Mihelcic (2015), yaptıkları çalışmada bir atıksu sisteminde her 14,5-20,9 günlük bekleme süresi aralığında virüslerde ortalama 1 log azalma olduğunu bulmuşlardır. Bu nedenle, katılar üzerinde adsorpsiyona ek olarak, daha uzun bir HBS, atıksudaki koronavirüslerin inaktive edilmesinde de kritik olabileceği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, koronavirüsler katılara adsorbe edildiği için çamurda yüksek virüs konsantrasyonuna neden olacaktır. Ayrıca bu çalışmalardan yola çıkılarak, çamurdaki virüs birikiminin, bekleme süresi ile birlikte artacağı sonucuna varılabilir. Virüslerin gideriminin de kullanılan arıtma yöntemleri detaylı olarak bu bölümde verilmiştir.

3.1. Ozon Teknolojisi

Ozon, yüksek klor ihtiyacı ve dezenfektan yan ürünleri sorunu nedeniyle, mahsullerin sulanmasında kullanılan atıksuların dezenfeksiyonunda ve yüzey suyuna deşarjlarda dezenfektan olarak klor yerine tercih edilmektedir (White, 1978). Birçok virüsün etkisiz hale getirilmesinde, etkili olan arıtma yöntemlerinden biridir. Uluslararası Ozon Derneği (IOA) tarafından yapılan bir açıklamada, COVID-19 hakkında yapılan herhangi bir araştırma ve testten haberdar olmadıklarını, araştırmanın hakem değerlendirmesinin henüz tamamlanmamış olması nedeniyle COVID-19'un ozon ile inaktive olduğuna dair kesin sonuçlara varılamayacağı ifade edilmiştir (Lesimple ve ark., 2020).

Perez-Rey ve ark.'nın (1995) tarafından yapıldığı çalışmada; hayvanlar için aşı hazırlanmasında dört virüs, üç sporlanmamış bakteri, iki sporlanmış bakteri ve bir mantar içeren on farklı mikroorganizma türü kullanılmıştır. Çalışmada, virüslerin en kolay inaktive edilen mikroorganizmalar olduğu ve sporlanan bakteriler en dirençli suş olduğu bildirilmiştir. İnaktivasyonun, hem ozon hem de mikroorganizma konsantrasyonuna bağlı olarak ikinci derece bir kinetiğe uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışmada sonuç olarak, atıksudaki mikroorganizmaların tamamen inaktivasyonunun ozon uygulamasıyla mümkün olduğu ileri sürülmüştür.

3.2. Membran Teknolojisi

Membranları, gözenek boyutlarına ve dağılımlarına göre; ters ozmoz (TO), nanofiltrasyon (NF), ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) olmak üzere dört kategoriye ayrılır (Lesimple ve ark., 2020). Atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan membran teknolojileri; ultrafiltrasyon (0.005 \approx 10 μ m) ve mikrofiltrasyon (0.1-0.2 μ m) dur. Ortalama 120 nm (0,12 μ m) viral partikül çapı ve 80 nm (0,08 μ m) zarf çapına sahip olan koronavirüslerin UF membranları ya da daha düşük gözenek çaplı membranların (NF, TO) tercih edilmesi gerekmektedir (Neuman ve Buchmeier, 2016).

Goswani ve ark. (Goswami ve Pugazhenth, 2020) çalışmalarında, polimerik ve seramik membranların sudan virüs giderimindeki etkisini araştırmışlardır. Rapor edilen aralık, 0,2-7 olduğundan giderme etkinliklerinin oldukça değişken olduğu ileri sürülmüştür.

Chaudhry ve ark.'nın (Chaudhry ve ark., 2015) yaptıkları çalışmada, 0.04 μ m'lik bir membran tarafından tutulmanın, farklı virüs ve fajların %50'den fazla giderebileceğini

bildirmiştir. Membran biyoreaktör (MBR) ile arıtım sırasında virüs türlerine göre viral uzaklaştırmanın 2 ila 3 log arasında değişmektedir (Amoah ve ark., 2020). MBR'larda viral veya diğer patojenlerin gideriminde ana mekanizma, tutma veya dışarda bırakma olduğu tespit edilmiştir (Amoah ve ar., 2020).

3.3. UV İnaktivasyonu ve Klorlama

UV radyasyonu ve klorlama yaygın olarak kullanılan dezenfeksiyon işlemleri arasında yer almaktadır (Bhatt ve ark., 2020). Bu konuda yapılan çalışmalarda, üçüncül atıksu arıtma prosesleri, örneğin klorlama ve UV arıtımı ile atıksuda kalan koronavirüslerin uzaklaştırılmasını sağlayabileceği ileri sürülmüştür (Amoah ve ark., 2020). Wang ve ark.'nın (2005), SARS-CoV'un 20 mg/L klor ile 1 dakikada tamamen inaktive edilebileceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, klor dioksinin inaktivasyonda daha az etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. SARS-CoV, serbest klor ile karşılaştırıldığında, diğer virüsler içinde benzer sonuçlar rapor edildiği görülmüştür (Wati ve ark., 2018; Young ve ark., 2020). Klorun, virüslerin kapsid protein omurgasının bölünmesi yoluyla virüsleri inaktive ettiği, bu nedenle konakçı hücrelere viral genom enjeksiyonunu inhibe ettiği bildirilmiştir (Wigginton ve ark., 2012). Birkaç çalışma da UV ışınması kullanılarak koronavirüslerin inaktivasyonu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2005; Casanova ve ark., 2009). Koronavirüsler gibi zarflı virüslerin, zarfsız virüslere göre UV'ye karşı daha duyarlı olduğu bildirilmiştir (Pinon ve Vialette, 2018). UV'nin koronavirüsleri inaktive ettiği ana mekanizmanın ise, nükleik asite zarar veren pirimidin dimerlerinin üretilmesinin olabileceği ifade edilmiştir (Smith ve Denison, 2013).

Qiu ve ark.'nın (2018), iki tam ölçekli belediye AAT'de insan bulaşıcı enterik virüslerinin UV ile arıtma öncesi ve sonrası virüs türlerindeki değişimini qPCR kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, sonuç olarak enfeksiyöz reovirüs için ortalama log azalma tahminleri, iki AAT için 1,2 ve 1,8 log olarak bulunmuştur. Kolifaj ve *E. coli* üzerinde 2,5-3'e kadar log azalma tespit edilmiştir (Qiu vd., 2018).

Simhon ve ark.'nın (2019), UV ışığının ve klorun farklı virüslerin dezenfeksiyonunda kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Kolifaj ve *E. coli* azalmasının normalde 0,3 ila 1,3 log aralığında iken UV ve klorun kullanılması sonucunda 2,5-3 log azalma elde edildiği görülmüştür. Üstelik kum filtre uygulanan numunelere göre sonuçların daha iyi olduğunu gözlemlenmiştir. Ancak UV inaktivasyonu ve hipoklorit ile muamelede virüsler inaktif hale getirilirken, oksidasyon süreçleri yoluyla makinelere zarar verilebilir.

Christensen ve Myrnel (2018) çalışmalarında, üç farklı koagülant (zirkonyum, kitosan ve polialüminyum klorür) kullanarak koagülasyon-filtrasyon sisteminin virüs giderimindeki (Hepatis A virüs, bovine norovirüs ve MS2) etkinliğini test etmişlerdir. Flokülasyon ve filtrasyonun kombinasyonunun; virüs türüne, yumak oluşumuna ve doğal organik maddenin varlığına bağlı olarak viral mevcudiyette giderimin %10'dan %70'e çıktığı belirlenmiştir. Bovine norovirüste, üç koagülantın hepsinde seyreltilmemiş suda, seyreltilmiş suya göre daha fazla azaldığı tespit edilmiştir (ortalama 4 log). Bu son örnekte, kitosan en etkili koagülant olarak belirlenmiştir.

Bir diğer çalışmada; SARS-CoV ve faj f2'nin farklı klor çözeltilerine karşı direncini belirlemek için 100 ml evsel atıksuya bu virüsler aşılanmıştır. 30 dakikalık bir dezenfeksiyon

deneyi sırasında, SARS-CoV 10 mg/L klor veya 20 mg/L klor dioksit ile tamamen inaktive edildiği görülmüştür. Ancak faj f2 40 mg/L klor konsantrasyonu uygulanmasına rağmen tamamen inaktive edilmediği saptanmıştır (Wang ve ark., 2005).

Zhang ve ark.'nın (2020) yaptıkları çalışmada, Çin'de bulunan Wuchang Fangcang Hastanesinde 5 Şubat-10 Mart 2020 arasında, 1124 COVID-19 hastasının kullanması için 8 ayrı tuvalet ve duşlardan gelen atıksu kanalizasyonda birleştirilmiş olup 4 farklı ön dezenfeksiyon tankında dezenfekte edilmiştir. 26 Şubat-1 Mart 2020 tarihleri arasında atıksu >0,5 mg/L sodyum hipoklorit 1,5 saatlik dezenfeksiyondan sonra SARS-CoV-2 viral RNA varlığı tespit edilmiş ve 800 g/m³'ün tamamen giderilmesi için etkili olmadığı belirlenmiştir. Ancak, 6-10 Mart 2020 tarihinde sodyum hipoklorit dozu 6700 g/m³'e çıkarıldığında SARS-CoV-2'nin tamamen deaktivasyonunun sağlandığı görülmüştür. Bu dezenfeksiyon işleminin sonunda yüksek bir dezenfeksiyon yan ürün kalıntısı oluşmaktadır. Sonuç olarak, ekolojik riskleri daha iyi değerlendirmek için daha fazla çalışma yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

4. Türkiye'deki Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumu

Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından içme suyu, atıksu ve kanalizasyon şebekesinde ortaya çıkabilecek yeni tip koronavirüs COVID-19 riskine karşı bir rapor hazırlanmıştır. Rapora göre Türkiye'de debisi 2.000 m³/gün'ün üzerinde olan 603 evsel AAT olduğu ve bu tesislerin toplam debisinin 16,7 milyon m³/gün olduğu belirtilmiştir. 603 evsel AAT'nin 221'inden çıkan arıtılmış kullanılmış suların fiili olarak tarımsal sulamada kullanıldığı ve AAT toplam debisi 6,7 milyon m³/gün olarak verilmiştir. Bu AAT'lerden çıkan fiilen kullanılmış sularla; tahıl, sebze, meyve, narenciye, pamuk, zeytin, susam, mısır vb. pek çok ürünün sulandığı belirtilmiştir. Ayrıca 92 AAT çıkış suları ile çiğ tüketilen sebzelerin de olduğu belirtilmiştir (TOBSYGM, 2020).

Ülkemizde 50 AAT çıkış sularını barajlara deşarj etmektedir. Bu barajlar genel olarak sulama suyu amaçlı kullanılmaktadır. Raporda, 603 AAT'nin sadece 53'ünde dezenfeksiyon ünitesi bulunduğu, fiilen sulamada kullanılan 221 tesisinden, 42'sinde dezenfeksiyon ünitesi olduğu ve 42 dezenfeksiyon ünitesinden de sadece 13'ünün çalıştırıldığı vurgulanmıştır. Ayrıca dezenfeksiyon ünitesi çalıştırılan 4 tesisin çıkış sularından alınan numunelere yapılan analizler sonucunda mikrobiyolojik olarak sulama suyu kalite kriterlerini sağlamadığı tespit edilmiştir (TOBSYGM, 2020). İyi bir şekilde dezenfekte edilmemiş kullanılmış (arıtılmış) sular, çiğ olarak tüketilen sebzelerin sulanmasında kullanılması durumunda bakteriler ve virüsler gibi patojenik mikroorganizmalarla bu gıdaları kontamine edebilmektedir (Bağcı ve ark., 2008). Kontamine olan çiğ sebzelerde bulunan bazı patojen mikroorganizmaların ishal, dizanteri yersiniozis ve listeriozis gibi sağlık sorunlarına hatta önemli hastalıklara neden olabilir. Bu nedenle tesislerin dezenfeksiyon üniteleri aktif hale getirilmeli ve çıkış sularının analizleri yapılarak sulama suyu kriterlerine mikrobiyolojik açıdan uygun hale getirilmelidir (Pingulkar ve ark., 2001).

5. Sonuç

COVID-19 hastalığı solunum ve temas yoluyla insanların SARS CoV 2 ile enfekte olması sonucunda oluşan bir hastalıktır. Bu virüs dünyada yapılan araştırmalar sonunda bazı şehirlerin atıksularında tespit edilmiştir. Ancak, virüsün su ya da atıksu

yoluyla bulaştığına dair bir kanıt yoktur. Fakat laboratuvar testlerinde, 10 güne kadar musluk suyunda ve 100 güne kadar atıksuda canlı kalabildiği bulunmuştur. Koronavirüsler, suyla bulaşan hastalıklara yol açan virüslerle karşılaştırıldığında sucul ortamda etkinliğini çok daha hızlı kaybederler. Ayrıca koronavirüsler klor, ozon, UV vb. dezenfektanlar ile yapısı bozularak inhibe olmaktadır. Bu nedenle mevcut AAT'lerden virüslerin giderilmesinde dezenfeksiyon ünitelerinin rolü büyüktür.

Dünyada, küresel COVID-19 salgını bağlamında, halk ve çevre için sağlık risklerini azaltmak büyük önem taşımaktadır. Atıkların ve atıksuların uygun arıtımı yapılmaz ise halk enfeksiyon tehlikesine maruz kalabilir. Bu bağlamda, virüs içeren arıtılmış veya ham atıksular, arıtma çamurları, suyun tekrar kullanımı ve alıcı su ortamlarına deşarj edilmesi ikincil bulaşmaya neden olabileceği göz ardı edilmemelidir. Koronavirüs vaka sayısının yoğun olduğu şehirlerde virüsün ikincil yayılımını önlemek için atıksuyun sulama ve temizlik gibi yeniden kullanımının azaltılması veya yasaklaması hükümetler tarafından yapılabilir. Entegre halk sağlığı politikasının bir parçası olarak, kanalizasyon sistemlerinde taşınan atıksular iyi tasarlanmış ve iyi yönetilen merkezi AAT'lerde arıtılmalıdır. AAT'lerin her bir ünitesi virüslerin ve diğer zararlı mikroorganizmaların kademeli olarak giderimi yapılmaktadır. Ancak sadece AAT'lerin tam verimde ve projelendirildiği şekilde çalıştığı durum da virüslerin de giderimi sağlanabilir. Çıkış sularına yapılacak analizler ile çıkış suyu kalitesi düzenli olarak takip edilmelidir. Mevcut AAT çıkış sularının, AKM dolayısıyla virüs içerebileceği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, ikincil arıtım yapılmadan kullanılmamalıdır.

Atıksudaki koronavirüslerin varlığı hakkındaki bilgi, koronavirüslere odaklanan önceki çevresel araştırmaların eksikliğinden dolayı büyük ölçüde sınırlıdır. Koronavirüsler, fekal-oral yoldan ziyade kişiden kişiye temasla yayıldığı düşünülen zarflı bir virüs olduğu için dışkıdaki varlığı daha detaylı araştırma gerektirmektedir. Virüsün çevreye yayılımını azaltmakta oldukça önemlidir. Bu nedenle, insanlara yapılan koronavirüs testinde olduğu gibi, koronavirüs yüzey sularında, yeraltı sularında, musluk suyunda, atıksularda, kanalizasyon çamurunda, ayrıca balık ve suda yaşayan kabuklu deniz ürünleri içinde analizler yapılmalıdır (Medema ve ark., 2020).

AAT'lerde, Atıksu Bazlı Epidemiyoloji planının geliştirilmesi yoluyla atıksudaki viral RNA'nın varlığı belirlenerek bir bölgedeki hastalığın erken teşhisi için bir çözüm olabilir. COVID-19 virüsünün su ve atıksulardan yüksek verimde giderimi için; birincil, ikincil ve ileri (ozon, UV gibi) arıtma yöntemleri birlikte kullanılabilir. Ancak bu konuda yapılan çalışma sayısı azdır. Bu nedenle, koronavirüslerin atıksulardan ve sulardan giderimi için daha fazla araştırma yapılmalı, ekonomik, yüksek arıtma verimine sahip, ikincil kirliliğe neden olmayan ve çevre dostu arıtma yöntemleri geliştirilmelidir.

Kaynakça

Ağdıç, O., Kayacan, S., Dertli, E., Arıcı, M., (2020). Gıda Güvenliği Açısından COVID-19 Etmeni SARS-CoV-2'nin Değerlendirilmesi ve Korunma Yöntemleri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 927–933.

Ahmed, W., Angel, N., Edson, J., Bibby, K., Bivins, A., O'Brien, J.W., Choi, P.M., Kitajima, M., Simpson, S.L., Li, J.,

Tscharke, B., Verhagen, R., Smith, W.J.M., Zaugg, J., Dierens, L., Hugenholtz, P., Thomas, K.V., Mueller, J.F. (2020). First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Science of The Total Environment*, 728(August).

Ak, Ö. (2020). Küresel Kabus, *Bilim Teknik Dergisi*, Mart sayısı.

Aka Biyoteknoloji. Koronavirüsün yapısı. <https://akabiotech.com/sars-cov-2-yapisi-ve-enfeksiyon-mekanizmasi-hakkinda/>. (Erişim tarihi: 20.09. 2020).

Alpaslan Kocamemi, B., Kurt, H., Sait, A., Sarac, F., Saatci, A. M., Pakdemirli, B. (2020). SARS-CoV-2 Detection in Istanbul Wastewater Treatment Plant Sludges. *medRxiv.org - the preprint server for Health Sciences*, January.

Amoah, I. D., Kumari, S., Bux, F. (2020). Coronaviruses in wastewater processes: Source, fate and potential risks. *Environment International*, 143(May).

Arbely, E., Granot, Z., Kass, I., Orly, J., Arkin, I. T. (2006). A trimerizing GxxxG Motif is uniquely inserted in the severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus spike protein transmembrane domain. *Biochemistry*, 45(38), 11349–11356.

Bağcı, A., Özmen, Toğay, U., Temiz, S. (2008). Çiğ Tüketilen Sebzelere Uygulanan Yüzey Dekontaminasyon Yöntemleri. Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum-Türkiye, 173-176, 21-23 Mayıs.

Balboa, S., Mauricio-Iglesias, M., Rodriguez, S., Martínez-Lamas, L., Vasallo, F.J., Regueiro, B., Lema, J.M. (2020). The fate of SARS-CoV-2 in wastewater treatment plants points out the sludge line as a suitable spot for incidence monitoring. *medRxiv.org-the preprint server for Health Sciences*, January.

Bhatt, A., Arora, P., Prajapati, S. K. (2020). Occurrence, fates and potential treatment approaches for removal of viruses from wastewater: A review with emphasis on SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104429, October.

Bibby, K., Fischer, R. J., Casson, L. W., Stachler, E., Haas, C. N., Munster, V. J. (2015). Persistence of Ebola Virus in Sterilized Wastewater. *Environmental Science & Technology Letters*, 2(9), 245–249.

Bibby, K., Peccia, J. (2013). Identification of Viral Pathogen Diversity in Sewage Sludge by Metagenome Analysis. *Environmental Science & Technology*, 47(4), 1945–1951.

Blanco, A., Abid, I., Al-Otaibi, N., Pérez-Rodríguez, F. J. (2019). Glass Wool Concentration Optimization for the Detection of Enveloped and Non-enveloped Waterborne Viruses. *Food and Environmental Virology*, 11(2), 184–192.

Bogler, A., Packman, A., Furman, A., Gross, A., Kushmaro, A., Ronen, A., Dagot, C., Hill, C., Vaizel-Ohayon, D., Morgenroth, E., Bertuzzo, E., Wells, G., Kiperwas, H. R., Horn, H., Negev, I., Zucker, I., Bar-Or, I., Moran-Gilad, J., Balcazar, J. L., Bar-Zeev, E. (2020). Rethinking wastewater risks and monitoring in light of the COVID-19 pandemic. *In Nature Sustainability*, 3(12), 1-10.

Chen, J. (2020). Pathogenicity and transmissibility of 2019-nCoV—A quick overview and comparison with other emerging viruses. *Microbes Infection*, 22 (2), 69–71.

CDC (Centers of Disease Control and Prevention). (2020). How Coronavirus Spreads. <https://www.cdc.gov/coronavirus>. (Erişim tarihi: 5.09.2020).

- Casanova, L., Rutala, W. A., Weber, D. J., Sobsey, M. D. (2009). Survival of surrogate coronaviruses in water. *Water Research*, 43(7), 1893–1898.
- Chan, K.H., Poon, L.L., Cheng, V.C.C., Guan, Y., Hung, I.F.N., Kong, J., Yam, L.Y., Seto, W.H., Yuen, K.Y., Peiris, J.S.M. (2004). Detection of SARS Coronavirus in Patients with Suspected SARS. *Emerging Infectious Diseases*, 10(2), 294.
- Chaudhry, R. M., Nelson, K. L., Drewes, J. E. (2015). Mechanisms of Pathogenic Virus Removal in a Full-Scale Membrane Bioreactor. *Environmental Science & Technology*, 49(5), 2815–2822.
- Christensen, E., Myrmel, M. (2018). Coagulant residues influence on virus enumeration as shown in a study on virus removal using aluminium, zirconium and chitosan. *Journal of Water Health*, 16(4), 600–613.
- Council Environment Protection and Heritage (CDC). (2020). National Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks. <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details> (Erişim tarihi: 20.09.2020).
- Çevre Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi (ÇMO). (2020). Su ve Atıksu Yönetiminde Covid-19 Etkisi Değerlendirilmesi. http://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/9e9b26cc1a4d919_ek.pdf?tipi=78&туру=H&sube=2. (Erişim tarihi: 11.12.2020).
- Duman, H. (2017). Arıtılmış Kentsel Atıksuların Sulamada Yeniden Kullanımı: Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Örneği. *Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara*.
- Dias, E., Ebdon, J., Taylor, H., (2018). The application of bacteriophages as novel indicators of viral pathogens in wastewater treatment systems. *Water Research*, 129, 172–179.
- Droste, R. L., Gehr, R. L. (2018). Theory and practice of water and wastewater treatment, John Wiley & Sons.
- Fumian, T. M., Leite, J. P. G., Castello, A. A., Gaggero, A., Caillou, M. S. L. d., Miagostovich, M. P. (2010). Detection of rotavirus A in sewage samples using multiplex qPCR and an evaluation of the ultracentrifugation and adsorption-elution methods for virus concentration. *Journal of Virological Methods*, 170(1–2), 42–46.
- Garcia, J., Vivar, J., Aromir, M., Mujeriego, R. (2003). Role of hydraulic retention time and granular medium in microbial removal in tertiary treatment reed beds. *Water Research*, 37(11), 2645–2653.
- Gawlik, H. f. f., Martinsohn, B. M. H., de Santi, G. (2020). Supply security for critical chemicals needed for water supply and sanitation during COVID-19-Crisis. https://www.envir.ee/sites/default/files/Vesi/uhisveevark_kanalisation/jrc_report_critical_chemicals_for_water_supply_and_sanitation.pdf. (Erişim tarihi: 28.08.2020).
- Gerba, C. P., Betancourt, W. Q., Kitajima, M. (2017). How much reduction of virus is needed for recycled water: A continuous changing need for assessment?. *Water Research*, 108(January), 25–31.
- Gundy, P. M., Gerba, C. P., Pepper, I. L. (2009). Survival of Coronaviruses in Water and Wastewater. *Food and Environmental Virology*, 1(1), 10.
- Goswami, K. P., Pugazhenth, G. (2020). Credibility of polymeric and ceramic membrane filtration in the removal of bacteria and virus from water: A review. *Journal of Environmental Management*, 268.
- Green, H., Wilder, M., Middleton, F.A., Collins, M., Fenty, A., Gentile, K., Kmush, B., Zeng, T., Larsen, D.A. (2020). Quantification of SARS-CoV-2 and cross-assembly phage (crAssphage) from wastewater to monitor coronavirus transmission within communities. *medRxiv.org-the preprint server for Health Sciences*, January.
- Haramoto, E., Kitajima, M., Katayama, H., Ito, T., Ohgaki, S. (2009). Development of virus concentration methods for detection of koi herpesvirus in water, *Journal of Fish Diseases*. 32(3), 297–300.
- Kampf, G., Todt, D., Pfaender, S., Steinmann, E. (2020). Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection*, 104(3), 246–251.
- Kataki, S., Chatterjee, S., Vairale, M. G., Sharma, S., Dwivedi, S. K. (2021). Concerns and strategies for wastewater treatment during COVID-19 pandemic to stop plausible transmission. *Resources, Conservation & Recycling*, 164.
- Katayama, H., Haramoto, E., Oguma, K., Yamashita, H., Tajima, A., Nakajima, H., Ohgaki, S. (2008). One-year monthly quantitative survey of noroviruses, enteroviruses, and adenoviruses in wastewater collected from six plants in Japan. *Water Research*, 42(6–7), 1441–1448.
- Kitajima, M., Iker, B. C., Pepper, I. L., Gerba, C. P. (2014). Relative abundance and treatment reduction of viruses during wastewater treatment processes — Identification of potential viral indicators. *Science of The Total Environment*, 488–489, 290–296.
- Keegan, A. R., Robinson, B., Monis, P., Biebrick, M., Liston, C. (2013). Validation of activated sludge plant performance for virus and protozoan reduction. *Journal Water Reuse Desalination*, 3(2), 140–147.
- La Rosa G. ve ark., 2020. First Detection of SARS-COV-2 in Untreated Wastewaters in Italy, *medRxiv.org - the preprint server for Health Sciences*, January.
- Lesimple, A., Jasim, S. Y., Johnson, D. J., Hilal, N. (2020). The role of wastewater treatment plants as tools for SARS-CoV-2 early detection and removal. *Journal of Water Process Engineering*, 38.
- Lodder, W., de Roda Husman, A. M. (2020). SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source. *Lancet Gastroenterology Hepatology*. 5(6), 533–534.
- Lu, G., Wang, Q., Gao, G. F. (2015). Bat-to-human: spike features determining ‘host jump’ of coronaviruses SARS-CoV, MERS-CoV, and beyond. *Trends Microbiology*, 23(8), 468–478.
- Medema, G., Heijnen, L., Elsinga, G., Italiaander, R., Brouwer, A. (2020). Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage. *Environmental Science and Technology Letters*, 7(7), 511–516.
- McLennan, S. D., Peterson, L. A., Rose, J. B. (2009). Comparison of Point-of-Use Technologies for Emergency Disinfection of Sewage-Contaminated Drinking Water. *Applied Environmental Microbiology*, 75(22), 7283 LP – 7286.
- Neuman, B. W., Buchmeier, M. J. (2016). Supramolecular Architecture of the Coronavirus Particle. *Advances in Virus Research*, 96, 1–27.
- Nemudryi, A., Nemudraia, A., Surya, K., Wiegand, T., Buyukyoruk, M., Wilkinson, R., Wiedenheft, B. (2020). Temporal detection and phylogenetic assessment of SARS-CoV-2 in municipal wastewater. *medRxiv.org-the preprint server for Health Sciences*, January.

- Noble, R. T., Fuhrman, J. A. (1997). Virus decay and its causes in coastal waters, *Applied and Environmental Microbiology*, 63(1), 77–83.
- Nordgren, J., Matussek, A., Mattsson, A., Svensson, L., Lindgren, P.-E., (2009). Prevalence of norovirus and factors influencing virus concentrations during one year in a full-scale wastewater treatment plant. *Water Research*, 43(4), 1117–1122.
- Or, I.B., Yaniv, K., Shagan, M., Ozer, E., Erster, O., Mendelson, E., Mannasse, B., Shirazi, R., Kramarsky-Winter, E., Nir, O., Abu-Ali, H. (2020). Regressing SARS-CoV-2 sewage measurements onto COVID-19 burden in the population: a proof-of-concept for quantitative environmental surveillance. medRxiv.org-the preprint server for Health Sciences, January.
- Peccia, J., Zulli, A., Brackney, D.E., Grubaugh, N.D., Kaplan, E.H., Casanovas-Massana, A., Ko, A.I., Malik, A.A., Wang, D., Wang, M., Weinberger, D.M., J. (2020). SARS-CoV-2 RNA concentrations in primary municipal sewage sludge as a leading indicator of COVID-19 outbreak Dynamics. medRxiv.org-the preprint server for Health Sciences, January.
- Perez-Rey, C. B. R., Chaez, H. (1995). Ozone inactivation of biologically-risky wastewaters. *Ozone: Science & Engineering*, 17(5), 499–509.
- Petrosillo, N., Viceconte, G., Ergonul, O., Ippolito, G., Petersen, E. (2020). COVID-19, SARS and MERS: are they closely related?. *Clinical Microbiology and Infection*, 26(6), 729–734.
- Pingulkar, K., Kamat, A., Bongirwar, D. (2001). Microbiological quality of fresh leafy vegetables, salad components and ready-to-eat salads: an evidence of inhibition of *Listeria monocytogenes* in tomatoes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 52(1), 15–23, January.
- Pinon, A., Vialette, M. (2018). Survival of Viruses in Water. *Intervirology*, 61(5), 214–222.
- Qiu, Y., Li, Q., Lee, B., Ruecker, N., Neumann, N., Ashbolt, N., Pang, X. (2018). UV inactivation of human infectious viruses at two full-scale wastewater treatment plants in Canada. *Water Research*, 147, 73–81.
- Randazzo, W., Truchado, P., Cuevas-Ferrando, E., Simón, P., Allende, A., Sánchez, G. (2020). SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area. *Water Research*, 181, 115942, August.
- Rimoldi, S.G., Stefani, F., Gigantiello, A., Polesello, S., Comandatore, F., Mileto, D., Maresca, M., Longobardi, C., Mancon, A., Romeri, F., Pagani, C. (2020). Presence and vitality of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers. medRxiv.org-the preprint server for Health Sciences, January.
- Shereen, M. A., Khan, S., Kazmi, A., Bashir, N., Siddique, R., (2020). COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses. *Journal of Advanced Research*, 24, 91–98.
- Sidhu, J. P. S., Sena, K., Hodgers, L., Palmer, A., Toze, S. (2018). Comparative enteric viruses and coliphage removal during wastewater treatment processes in a sub-tropical environment. *Science of The Total Environment*, 616–617, 669–677.
- Simhon, A., Pileggi, V., Flemming, C. A., Bicudo, J. R., Lai, G., Manoharan, M. (2019). Enteric viruses in municipal wastewater effluent before and after disinfection with chlorine and ultraviolet light. *Journal of Water Health*, 17(5), 670–682.
- Sinton, L. W., Hall, C. H., Lynch, P. A., Davies-Colley, R. J. (2002). Sunlight Inactivation of Fecal Indicator Bacteria and Bacteriophages from Waste Stabilization Pond Effluent in Fresh and Saline Waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(3), 1122 – 1131.
- Smith, E. C., Denison, M. R. (2013). Coronaviruses as DNA Wannabes: A New Model for the Regulation of RNA Virus Replication Fidelity. *PLOS Pathology*, 9(12), December, e1003760.
- Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (TOBSYGM). (2020). Kovid-19 (SARS-CoV-2) Virüsünün Bulaşma Riskinin Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Perspektifinden Değerlendirilmesi Raporu. Ankara. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/covid%20-19%20arde%20duyuru/KS_Covid_19_Raporu.pdf
- Verbyla, M. E., Mihelcic, J. R. (2015). A review of virus removal in wastewater treatment pond systems. *Water Research*, 71, 107–124.
- Wang, X.W., Li, J., Guo, T., Zhen, B., Kong, Q., Yi, B., Li, Z., Song, N., Jin, M., Xiao, W., Zhu, X. (2005). Concentration and detection of SARS coronavirus in sewage from Xiao Tang Shan Hospital and the 309th Hospital. *Journal of Virology Methods*, 128(1), 156–161.
- Wang, X.W.1, Li, J.S., Guo, T.K., Zhen, B., Kong, Q.X., Yi, B., Li, Z., Song, N., Jin, M., Wu, X.M., Xiao, W.J., Zhu, X.M., Gu, C.Q., Yin, J., Wei, W., Yao, W., Liu, C., Li, J.F., Ou, G.R., Wang, M.N., Fang, T.Y., Wang, G.J., Qiu, Y.H., Wu, H.H., Chao, F.H., Li, J.W. (2005). Excretion and detection of SARS coronavirus and its nucleic acid from digestive system. *World Journal of Gastroenterology*, 11(28), 4390–4395.
- Wang, D., Hu, B., Hu, C., Zhu, F., Liu, X., Zhang, J., Wang, B., Xiang, H., Cheng, Z., Xiong, Y., Zhao, Y. (2020). Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*, 323(11), 1061–1069.
- Wati, S., Robinson, B. S., Mieog, J., Blackbeard, J., Keegan, A. R. (2018). Chlorine inactivation of coxsackievirus B5 in recycled water destined for non-potable reuse. *Journal of Water and Health*, 17(1), 124–136.
- WEF (Water and Environment Federation). (2020). Current Priority: Coronavirus. <https://www.wef.org/news-hub/current-priorities/coronavirus/>. (Erişim tarihi: 18.09.2020).
- White, G.C. (1978). *Disinfection of Wastewater and Water for Reuse*, Van Nostra.
- WHO (World Health World Health Organization), FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations). (2020). Viruses in food:scientific advice to support risk management activities: meeting report. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44030>. (Erişim tarihi: 18.12.2020).
- WHO (World Health World Health Organization). (2020). Water, sanitation, hygiene, and waste management for SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19 Interim guidance Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus: interim guidance. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331846/WHO-2019-nCoV-IPC_WASH-2020.3-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (Erişim tarihi: 29.07.2020).

- Wigginton, K. R., Pecson, B. M., Sigstam, T., Bosshard, F., Kohn, T. (2012). Virus Inactivation Mechanisms: Impact of Disinfectants on Virus Function and Structural Integrity. *Environmental Science & Technology*, 46(21), 12069–12078.
- Wu, F., Xiao, A., Zhang, J., Gu, X., Lee, W.L., Kauffman, K., Hanage, W., Matus, M., Ghaeli, N., Endo, N., Duvalet, C., Moniz, K., Erickson, T., Chai, P. (2020). SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases. *Applied and Environmental Science*, 5(4), 1-9.
- Wong, M. V. M., Hashsham, S. A., Gulari, E., Rouillard, J.-M., Aw, T. G., Rose, J. B. (2013). Detection and characterization of human pathogenic viruses circulating in community wastewater using multi target microarrays and polymerase chain reaction. *Journal Water Health*, 11(4), 659–670.
- Wurtzer, S., Marechal, V., Mouchel, J.-M., Moulin, L. (2020). Time course quantitative detection of SARS-CoV-2 in Parisian wastewaters correlates with COVID-19 confirmed cases. *medRxiv.org - the preprint server for Health Sciences*, January.
- Xagorarakis, I., Brien, E. O. (2020.) *Wastewater-Based Epidemiology for Early Detection of Viral Outbreaks*, in *Women in Water Quality: Investigations by Prominent Female Engineers*. Springer International Publishing, 75–97.
- Xu, D., Zhang, Z., Jin, L., Chu, F., Mao, Y., Wang, H., Liu, M., Wang, M., Zhang, L., Gao, G.F., Wang, F.S. (2005). Persistent shedding of viable SARS-CoV in urine and stool of SARS patients during the convalescent phase. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 24(3), 165–171.
- Ye, Y., Ellenberg, R. M., Graham, K. E., Wigginton, K. R. (2016). Survivability, Partitioning, and Recovery of Enveloped Viruses in Untreated Municipal Wastewater. *Environmental Science Technology*, 50(10), 5077–5085.
- Young, S., Torrey, J., Bachmann, V., Kohn, T. (2020). Relationship Between Inactivation and Genome Damage of Human Enteroviruses Upon Treatment by UV254, Free Chlorine, and Ozone. *Food and Environmental Virology*, 12(1), 20–27.
- Zhang, Y., Chen, C., Zhu, S., Shu, C., Wang, D., Song, J., Song, Y., Zhen, W., Zijian, F., Wu, I.D. Amoah, Y. (2020). Isolation of 2019-nCoV from a Stool Specimen of a Laboratory-Confirmed Case of the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *China CDC Weekly*, 2(8), 123–124.
- Zhang, D., Ling, H., Huang, X., Li, J. (2020). Potential spreading risks and disinfection challenges of medical wastewater by the presence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) viral RNA in septic tanks of fangcang hospital. *Science of the Total Environment*, (741), November.



İnsansız Gemilerin Güncel Statüleri*

Fırat Bolat¹, Özgün Koşaner²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9807-7089)
bolatf@itu.edu.tr

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Dilbilim Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1609-3291) ozgun.kosaner@deu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 29 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 04.04.2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.870875)

ATIF/REFERENCE: Bolat, F. & Koşaner, Ö. (2021). İnsansız Gemilerin Güncel Statüleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 341-358.

Öz

Tarihsel açıdan bakıldığında belki de ilk geliştirilen insansız araçlar olan insansız deniz araçlarının sivil alanda kullanımı büyük oranda bilimsel araştırmalar için kullanılan araçlarla sınırlı kalmış, ticari alanda kullanımları ise yeni yeni başlamıştır. Dolayısıyla bu araçların statüsü, insansız hava araçlarında ve insansız kara araçlarında olduğundan daha yeni bir konudur. Bu bağlamda bu çalışmanın amacı insansız deniz araçlarının, özellikle de insansız gemilerin nasıl sınıflandırıldığına ve bunların tarihsel gelişimine değinmek, bu araçların otonomi düzeylerini belirleyen ölçekleri derlemek ve söz konusu araçların uluslararası sözleşme, kod, karar, sirküler ve rehberler ve ulusal mevzuatlar bağlamında nasıl ele alınabileceğini inceleyen çalışmaların bulgularını sunmaktır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Deniz Aracı, İnsansız Gemi, Gemi Tanımı, BMDHS.

Current Status of Unmanned Vessels

Abstract

Civilian use of unmanned marine vehicles, probably the first vehicles to be developed historically, had been limited to scientific research, and their commercial use has recently started. Therefore, the statuses of these vehicles are a novel subject, considering the statuses of unmanned aerial and land vehicles. In this context, this study aims at presenting how unmanned marine vehicles are classified and how they have developed through history, with particular emphasis on unmanned vessels; gathering the scales determining the autonomy levels of these vehicles and presenting the findings of studies investigating how these vehicles are considered regarding international conventions, codes, resolutions, circulars and guidelines and national legislations.

Keywords: Unmanned Marine Vehicle, Unmanned Vessel, Vessel Definition, UNCLOS

* Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Denizcilik Çalışmaları Tezsiz Yüksek Lisans Programında hazırlanan “İnsansız Gemilerin Güncel Statüleri” adlı dönem projesinden üretilmiştir.

1. Giriş

İnsanlık ortaya çıkışından bu yana işini kolaylaştıracak aletler, araçlar ve düzenekler geliştirme peşinde olmuştur. İlk başlarda şekil verilmiş taşlarla başlayan bu süreç, ağaç parçalarıyla taşların birleştirilerek balta ya da mızrak gibi avcılıkta kullanılan araçların ortaya çıkmasıyla devam etmiştir. Toplu yaşam ve tarım uygarlıklarının gelişmesiyle birlikte bu aletler, araçlar ve düzenekler karmaşıklaşmaya başlamıştır. İnsanın alet yapmaya olan tutkusu insansız araçlar ve düzenekler geliştirme tutkusuna doğru evrilmiştir. İnsansız düzenekler ya da sistemler üzerlerinde ya da içlerinde operatör olarak bir insan gerektirmeyen, otonom ya da uzaktan kumandayla işletilebilen ve türlerine göre (hava, deniz ve kara) belli yükleri taşıyabilen tahrikli araçlar olarak tanımlanmaktadır (Valavanis ve Vachtsevanos, 2015). İnsansız araç fikri yüzyıllardır insanların hayal gücünü süslemiş ve birçok edebi esere konu olmuştur. Üzerinde insan olsa bile yekesi belli bir rotayı takip etmesi için bağlanmış bir tekne ya da belli ölçümler yapmak için üzerinde bir insan olmadan kendisine bağlı bir iple yönlendirilen sıcak hava balonları da insansız araçların ilk örneklerinden sayılabilir.

Genelde insansız araçların özelde ise insansız deniz araçlarının uzun bir tarihçesi vardır. Modern zamanlara kadar insansız araçlar hem sık kullanılmamaları hem de boyutlarının nispeten ufak olması nedeniyle pek önemsenmemiştir. Ancak özellikle son 30 yılda insansız araçların (insansız yer araçları, insansız hava araçları ve insansız deniz araçları) hem kullanım alanları ve sıklıkları artmış hem de boyutları büyümüştür. İnsansız araçların ilk örnekleri genellikle askeri kullanım için tasarlanmış araçlar olduğundan sivil hayata yansımaları kısıtlı olmuştur. Ancak, bu araçların sivil kullanımları yavaş yavaş gelişmeye başlamış ve statülerinin değerlendirilmesini gerektiren olaylar ortaya çıkmaya başlamıştır (Takemura, 2014).

Tarihsel açıdan bakıldığında belki de ilk geliştirilen insansız araçlar olan insansız deniz araçlarının sivil alanda kullanımı büyük oranda bilimsel araştırmalar için kullanılan araçlarla sınırlı kalmış, ticari alanda kullanımları ise yeni yeni başlamıştır. Dolayısıyla bu araçların statüsü, insansız hava araçlarında ve insansız kara araçlarında olduğundan daha yeni bir konudur.

İnsansız deniz araçlarının statüsüne ilişkin alanyazında özellikle son yıllarda çok sayıda çalışma bulunmaktadır; ancak Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gibi düzenleyici kuruluşların henüz kapsamlı bir çalışması yoktur. İnsansız deniz araçlarının hukuki durumuna ilişkin yapılan çalışmalar genellikle bu araçların uluslararası sözleşme, kod, karar, sirküler ve rehberlerdeki tanımlarda ve ilgili maddelerde ne kadar kapsandığı yönündedir. Genelde insansız deniz araçlarının, özelde insansız gemilerin ulusal mevzuatlardaki durumuna değinen çalışmalar ise çok kısıtlıdır. Bu nedenle bu çalışmanın amacını şu şekilde belirleyebiliriz: insansız deniz araçlarının, özellikle de insansız gemilerin nasıl sınıflandırıldığına ve tarihsel gelişimine değinmek, bu araçların otonomi düzeylerini belirleyen ölçekleri incelemek ve bu araçların uluslararası sözleşme, kod, karar, sirküler ve rehberler ve ulusal mevzuatlar bağlamında nasıl ele alınabileceğini inceleyen çalışmaların bulgularını sunmak. Bu doğrultuda çalışmada ilk olarak insansız deniz araçlarının tarihsel gelişimi sunulmadan önce genelde insansız düzeneklerin özelde de insansız deniz araçlarının nasıl sınıflandırıldığına kısaca değinilecektir. Daha sonra insansız deniz araçlarının otonomi düzeylerini belirlemek için kullanılan ölçeklere değinilecek ve bunların ortak yönleri ortaya

konacaktır. Son olarak insansız deniz araçlarının uluslararası düzenlemelerde ve ulusal mevzuatlarda nasıl ele alındığını ya da alınabileceğini inceleyen çalışmaların bulguları sunulacaktır.

2. İnsansız Deniz Araçları Üzerine

2.1. İnsansız Araçların Sınıflandırılması

İnsansız sistemlere ve bu sistemlerin altında yer alan olan insansız araçlara ilişkin farklı tanımlar bulmak mümkündür. En geniş tanımıyla insansız sistemler kara, hava ya da denizde işleyen, insan müdahalesi olmadan belli görevlerin yerine getirilmesini sağlayan ve gerekli veri işleme ve uzaktan ölçüm birimleri, sensörler ve otomatik kontrol birimleriyle donatılmış aygıt ya da makinalardan oluşan sistemlerdir (Mobilicom, 2020). İnsansız sistemlerin hemen altında ele alabileceğimiz İnsansız Araçları ise bir insanla doğrudan temas gerektirmeden işleyen araçlar olarak tanımlayabiliriz (Gogarty ve Robinson, 2011). İnsansız Araçların teknik konuda bilgisi olmayan insanlar tarafından bile bilinen en yaygın türü İnsansız Hava Araçları (İHA; İng. Unmanned Aerial Vehicle, UAV), ve bunların savunma ya da saldırı teçhizatı taşıyan sürümleri olan Silahlı İnsansız Hava Araçlarıdır (SİHA; İng. Unmanned Combat Aerial Vehicle,UCAV).

Çalışmamızın konusunu da içeren insansız deniz araçları (İDA; İng. Unmanned Maritime/Marine Vehicles, UMV) hem sualtı hem de suüstü araçlarını kapsamaktadır. İnsansız deniz araçları genellikle Otonom Sualtı Aracı (OSA; İng. Autonomous Underwater Vehicles, AUV), Uzaktan Kumandalı Araç (UKA; İng. Remotely Operated Vehicles, ROV) ve İnsansız Suüstü Aracı (İSA; İng. Unmanned Surface Vehicles, USV) olmak üzere üç alt türde ele alınmaktadır (Tanakitkorn, 2019). Çalışmamızın konusu olan insansız gemileri de kapsayan İSA'lar insansız işleme izin veren deniz taşıtlarıdır ve uzaktan kumandayla işletilebildiği gibi, asgari insan müdahalesiyle kendi kararlarını kendi veren otonom araçlar olarak da işleyebilmektedir (Tanakitkorn, 2019). Deketelaere (2017) insansız gemileri, A noktasından B noktasına üzerindeki personelden destek almadan seyredilebilen gemi olarak tanımlamıştır. Ancak bu tanımlar ticari gemiler yeni yeni insansızlaşmaya ve otonom özellikler kazanmaya başladığından, dolayısıyla insansız ticari gemi gemileri kapsamadığından eksiktir.

Bu noktada terim ve kısaltma karmaşasını ortadan kaldırmak ve bulanıklığı gidermek için aşağıdaki gibi bir sınıflandırma şeması oluşturulmuştur. Şemada araştırma konumuz olan insansız deniz araçlarının dışında kalan insansız araçlar ayrıntılı olarak ele alınmamıştır.

İnsansız deniz araçları, İnsansız Suüstü Tekneleri ve İnsansız Gemiler olarak iki alt sınıfa ayrılmıştır. İnsansız Suüstü Tekneleri, ticari amaçlar dışında askeri ya da bilimsel amaçlarla kullanılan ve boyutları ticari gemilere göre küçük olan suüstü araçlarını kapsamaktadır. İnsansız gemiler ise ticari olarak yük taşımacılığında kullanılacak ve uzaktan kumanda yoluyla ya da otonom olarak seyredilebilen gemilerdir. Comité Maritime International İnsansız Gemileri güvertesinde hiçbir gemi personelinin bulunmadığı ve suda kontrollü hareket yeteneği olan gemiler olarak tanımlanmaktadır (CMI, 2018).

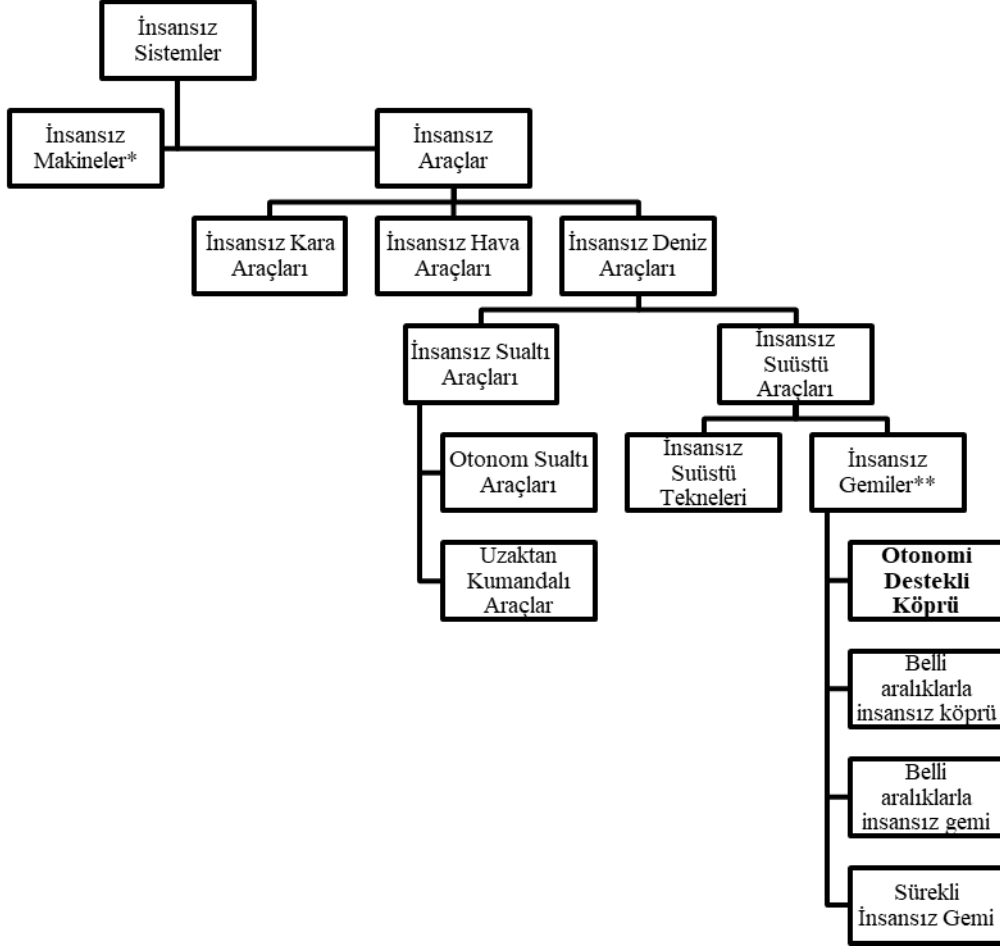
Buraya kadar özetlediğimiz tanımlardan yola çıkarak İnsansız Deniz Aracını kıyıdaki ya da başka bir gemideki operatörün uzaktan kumandası altında ya da üzerindeki sistemler

aracılığıyla otonom olarak su üstünde seyredilen, askeri, bilimsel ya da ticari işlevleri yerine getirebilen her boyut ve mimarideki (hidrofoyl, şişme bot, jetski, tekne) deniz aracı olarak tanımlayabiliriz. İnsansız Gemiler ise ticari fayda sağlayabilecek etkinlikleri gerçekleştirmek için uygun boyutta olan ve kıyıdaki ya da başka bir gemideki operatörün uzaktan kumandası altında ya da üzerindeki sistemler aracılığıyla otonom olarak su üstünde seyredilen deniz araçları olarak tanımlanabilir.

İnsansız Gemilerin altında ele aldığımız otonomi destekli köprüye sahip gemilerde köprüde her zaman insan

bulunmaktadır ve tayfa geminin işleyişine her anında müdahale edebilmektedir (Rodseth ve Nordahl, 2017).

Belli aralıklarla insansız köprüye sahip gemiler ise açık deniz ve elverişli hava gibi belirli koşullar altında belli bir süreliğine köprüde hiçbir personel bulunmadan seyredilen gemilerdir; ancak gemide personel bulunmakta ve acil durumlarda köprüye çağrılabilir (Rodseth ve Nordahl, 2017).



Şekil 1. İnsansız Araç Sınıflandırması

(*Robotik üretim bantları, vs.; **İnsansız Ticari Gemi, Otomatikleştirilmiş Ticari Gemi, İnsansız Yük Gemisi, Suüstü Otonom Gemi) (Sınıflandırmanın bir bölümü Rodseth ve Nordahl'dan (2017) alınmıştır)

Belli aralıklarla insansız gemiler köprü personelinin uzun süre gemide bulunmadan, sözgelimi derin deniz geçişlerinde, seyredilen gemilerdir; köprü personeli limana yaklaşma aşaması ya da denetleme gibi durumlarda gemiye çıkmaktadır (Rodseth ve Nordahl, 2017).

Sürekli insansız gemi ise, köprünün özel acil durumlar hariç her durumda insansız olması için tasarlanmış olduğu, gemiyi kumanda etmek için gemide hiç kimsenin bulunmadığı, ancak yolcu ya da bakım personeli gibi insanların bulunabileceği gemilerdir (Rodseth ve Nordahl, 2017).

İnsansız deniz araçlarına ilişkin alanyazındaki tanımları özetledikten ve kendi tanımlarımızı yaptıktan sonra ilk olarak

insansız deniz araçlarının tarihçesini sunmak, daha sonra da bu insansız deniz araçlarının uluslararası düzenleyici kuruluşlar tarafından belirlenen otonomi düzeylerini, yani ne kadar insansız olduklarını ele almak uygun olacaktır.

2.2. İnsansız Araçların Tarihçesi

İnsansız araçlar, zayıfatı azaltması ve görünmeden keşif yapmayı kolaylaştırması gibi nedenlerle genellikle savaşıl amaçlar doğrultusunda gelişmiştir, ancak bugün ticari ve bilimsel amaçlarla kullanılan insansız deniz araçları da bulunmaktadır. Günümüzde insansız araç dendiğinde genellikle askeri birliklerin kullandığı, ancak özellikle küçük kargo taşımacılığı gibi ticari kullanımı da giderek yaygınlaşan İHA ve

SIHA'lar gelmektedir. Ancak, insansız araçların gelişiminin tarihine bakıldığında ilk örneklerin genellikle denizcilik alanından geldiği söylenebilir. M.Ö. 333 yılında Lübnan'daki Sur kentini kuşatan Büyük İskender bir mendirek yaptırmıştır. Surlular ise bu mendireği kükürt ve diğer yanıcı maddelerle doldurdıkları kundak gemilerini mendireğin üzerine salarak yakmışlardır (Arrian, 1893). M.Ö. 190 yılında Roma İmparatorluğu'yla Seleukos İmparatorluğu arasındaki Myonessus savaşlarında kundak gemileri kullanmışlardır (Appian, 1899).

Kundak gemilerinin modern kullanımı 1584'teki Anvers kuşatması ve 1588'deki Gravelines Muharebesi sırasında da gerçekleşmiştir. 1584 yılındaki Anvers kuşatmasında İspanyol donanmasının kurduğu barikatı yıkmak üzere İtalyan askeri mühendis Federigo Giambelli, iki gemiye barut yüklemiş ve barutun etrafına tuğlalar, metal parçaları ve hatta mezar taşları döşemiş, daha sonra saat kontrollü bir fitile bağlı gemileri İspanyolların tuttuğu şehir girişine doğru akıntıya bırakan Hollandalılar hem barikatta bir gedik açmışlar hem de geminin patladığı noktadan bir mil çapında bir alanda hasara yol açmışlardır (Kelly, 2004). 1588'de Fransa'nın Calais kıyılarında İspanyol Armadası tarafından sıkıştırılan İngiliz donanması, İspanyol donanmasının demir almasını sağlamak ve aralarındaki bağı koparmak, onların tekrar aynı yerde demir atmasını engellemek ve mümkünse gemileri yakmak için akıntı ve rüzgâr üstünlüğünü de kundak gemilerini kullanmaya karar vermiştir (Coggeshall, 1997, ss. 7-9).

1776'da Bushnell'in donanma operasyonlarında kullanılmak üzere tasarlayıp ürettiği denizaltı Birleşik Krallık donanmasının Amerikan Bağımsızlık Savaşındaki ablukasını kırmak için kullanılmıştır. İnsan gücüyle çalışan bu denizaltının saldırıları büyük ihtimalle yorgunluk ve karbondioksit düzeyinin artması nedeniyle başarısız olsa da insansız su altı araçlarının geliştirilmesi için bir çıktı noktası olduğu ileri sürülmüştür (Roberts ve Sutton, 2008, ss. 1-2).

Modern zamanların ilk insansız deniz aracının İngiliz mühendis Whitehead'in 1868'de geliştirdiği ve kendinden tahrikli olup yaklaşık 18 kg pamuk barutu taşıyan torpido olduğunu söyleyebiliriz (Roberts ve Sutton, 2008, s. 1-2). 1870'te Werner Siemens adındaki Prusya'lı bir subayın tasarladığı uzaktan kumanda edilen insansız yüzey aracı modern insansız yüzey araçlarının ilk örneği olarak kabul edilebilir. Bu araç su altında bir torpidoyu taşıyan ve karadan ya da başka bir gemiden kablo aracılığıyla kontrol edilebilen küçük bir yelkenliydi (Everett, 2015, s. 80). Siemens 1872'de buharlı bir gemiyi uzaktan kumandayla işletmiş, 1874'te tasarımını geliştirmiştir (Everett, 2015, s.80). 1883'e gelindiğinde Thomas Edison'un da ortağı olduğu Sims-Edison firması uzun bir kablo aracılığıyla karadan kontrol edilebilen bir torpido geliştirmiştir (Gray, 2004). 1898'de ise Nikola Tesla New York'ta radyo dalgalarıyla uzaktan kumanda edilen bir tekne gösterisi yapmıştır (Marincic ve Budimir, 2008; Breivik, 2010). Bu bilinen ilk radyo kontrollü insansız sistemdir (Everett, 2015, s. 83).

1903 yılında İspanyol mühendis Leonardo Torres-Quevedo karadan kablosuz olarak kumanda edilebilen ve "telekino" adını verdiği bir sistemi ilk kez Paris Bilimler Akademisi'ne sunmuştur (Everett, 2015, s. 91). 1904 yılında İngiliz mucit John Kitchen buharlı bir tekneyi Windermere Gölü'nde radyo dalgalarıyla uzaktan kumanda etmeyi başarmıştır (Everett, 2015, s. 95). 1910 yılında ise, Alman ilkökul öğretmeni Christoph

Wirth elektrik motorlu bir tekneyi radyo dalgalarıyla bir gölde yüzdürmeyi başarmıştır (Everett, 2015, s. 95). 1911'de John Hays Hammond Jr. 12 metre uzunluğunda 8 ton ağırlığında bir yüzer evi uzaktan kumandayla işletmeyi başarmıştır ((Everett, 2015, s. 100). Daha sonra Birinci Dünya Savaş'ında Almanlar 20 km uzunluğundaki kablolar yoluyla uzaktan kumanda edilebilen ve 800 kg patlayıcı taşıyabilen FL-boot (Fernlenkboot) adlı gemileri kundak gemisine benzer bir şekilde düşman gemilerine zarar vermek ya da onları batırmak için kullanmıştır. Savaş sırasında bu gemilerin teknik özellikleri gelişmeye devam etmiştir. 1917'de bir uçaktan kumanda edilen bir FL-7 gemisi İngiliz gözcü gemilerine saldırmak için kullanılmıştır (Everett, 2015, s. 114). 1918'de İngilizler kıyıları korumak için sahil güvenlik botlarını uzaktan kumanda edilebilen gemilere dönüştürmüşler ve bunlardan bir filo oluşturmuşlardır (Everett, 2015, s. 116).

Birinci Dünya Savaşı'nın bitişinden İkinci Dünya Savaşı'nın başlangıcına kadar geçen dönemde insansız gemiler deniz kuvvetlerinin tahrip gücünü ve isabet oranını arttırmak için tatbikatlarda hareketli hedefler olarak kullanılmıştır. ABD, İngiltere, Almanya, İtalya, Japonya gibi birçok ülke eskimekte olan savaş gemilerini ya da ticari gemileri uzaktan kumanda edilen hedef gemiler haline getirip tatbikatlarda kullanmıştır (USS Iowa, HMS Agamemnon, SMS Zähringen, San Marco, IJN Settsu, vb.) (Doğan, 2019).

İkinci Dünya Savaşı sırasında çıkarmalarda sis donanımı olarak kullanılacak hidrofolyo botlar geliştirilmiştir (COMOX) (Breivik, 2008; Doğan 2019). Amerikan Donanmasının İkinci dünya savaşı sırasında ve sonrasında mayın ve engel temizleme amacıyla insansız gemileri kullandığı bilinmektedir (Doğan, 2019).

Savaşlardan sonra ise insansız deniz araçlarının askeri kullanımlarının yanı sıra bilimsel ve sivil kullanımları yaygınlaşmaya başlamıştır. 1946'da Operation Crossroads adlı atom bombası denemelerinde insansız yüzey araçları radyoaktif kalıntı örnekleri toplamak için kullanılmışlardır (United States Joint Task Force One, 1946; Breivik, 2008; Doğan, 2019). 1950'lerde savaştan arta kalan mayınların temizlenmesi için insansız deniz araçları kullanılmış, bu araçların kullanımına özellikle Vietnam savaşı sırasında da devam edilmiştir (Bertram, t.y.). Bu tarihten sonra günümüze kadar askeri ve sivil alanda kullanılan insansız deniz araçları geliştirilmeye devam etmiştir. 1970'lerde birçok ülkenin deniz kuvvetleri deniz mayınlarına karşı önlem olarak, bir insanlı kumanda gemisinin önünde seyreden birkaç insansız deniz aracından oluşan sistemler geliştirmeye başlamış ve kullanıma alınmıştır (Alman Troika sistemi 1980'de, Danimarka SAV sınıfı dronlar 1991'de kullanılmaya başlamıştır) (Corfield ve Young, 2006; Roberts ve Sutton, 2006; Doğan, 2019).

1990'lar insansız deniz araçlarının, özellikle de insansız yüzey araçlarının yaygınlaşmaya başladığı yıllar olarak kabul edilebilir. Özellikle 1990'ların sonundan itibaren ABD donanması liman bölgelerinin gözlenmesi ve korunması için OWL ve ROBOSKI programlarıyla yaklaşık 3m boyunda küçük insansız deniz araçları kullanmaya başlamıştır (Corfield ve Young, 2006, s. 311; National Research Council, 2005, s. 121; Breivik, 2008; Doğan, 2019). ABD donanmasının SPARTAN programı daha büyük insansız araçları (7m ve 11m boyutlarında) antiterörizm, korunma, denizaltılara karşı savaş, sığ sularda mayın önlemleri, gizli gölem ve saldırı amaçları için kullanmayı hedeflemektedir (Corfield ve Young, 2006; Doğan, 2019). Buna

benzer biçimde İsrail de PROTECTOR platformuyla saldırı konseptini insansız deniz araçlarına kullanmaya başlamıştır (Corfield, 2006; Doğan 2019).

Amerika Birleşik Devletlerinde İnsansız Deniz Araçlarının ve özellikle Otonom Deniz Araçlarının geliştirilmesi 1993'te Massachussets Teknoloji Enstitüsünün (MIT) ARTEMIS adlı aracıyla yepyeni bir ivme kazanmıştır. ARTEMIS bir nehir üstünde batisferik araştırmalar yapmak için geliştirilmiştir ve birçok başka araştırma projesine ilham olmuştur (Vallejo, 2015; Schiaretta, Chen ve Negenborn, 2017; Doğan, 2019). ARTEMIS'in boyutları arttırılmak ve nehirlere çok sert deniz koşullarına dayanıklı bir platform geliştirilmek istenmiştir. Bu çabalar sonucunda 1996'da ACES (Autonomous Coastal Exploration System) geliştirilmiş ve oşinografik araştırmalarda kullanılmıştır (Manley, 1997; Caccia, 2006; Manley, 2008; Zhixiang ve diğ., 2016). Bu platformlar üzerindeki testler ve geliştirmeler devam etmiş ve 2000 yılında yeni bir platform olan AutoCat ortaya çıkmıştır (Manley, 2008, Caccia, 2006; Doğan 2019). Bu platformları 2004 yılında insansız deniz araçlarının birlikte işleyişini/kontrolünü test etmek için tasarlanan ve dört insansız deniz aracından oluşan SCOUT adlı platform takip etmiştir (Caccia 2006; Curcio ve Patrikalakis, 2005). ABD'de günümüze kadar başka birçok platform geliştirilmiştir. Bunlardan bazılarını şöyle sıralayabiliriz: farklı sensörleri ve manevra unsurlarını çekmek için kullanılan USSV-HTF, çatışmadan kaçınma ve otonom toparlanma için test platformu olan Seadoo Challenger, çevre gözleme için kullanılan SeaWASP ve gözetleme ve keşif için kullanılan MUSCL (Zhixiang ve diğ., 2016).

Avrupa'daki gelişmelere baktığımızda ise ilk büyük projelerin Almanya tarafından başlatıldığını görmekteyiz. 1999'da hayata geçirilen MESSIN projesi yüksek doğrulukta konumlama ve sığ sularda ölçüm araçlarının taşınması için bir prototip geliştirme ve test etme çalışmalarına başlamıştır (Caccia, 2006; Zhixiang ve diğ., 2016). 1997-2000 yılları arasında Avrupa Birliği ASIMOV projesine sponsor olmuş ve bu proje kapsamında Portekiz akustik transdüserler taşıyan DELFIM adlı 3,5 metrelik bir katamaran platformu geliştirmiştir (Caccia, 2006; Zhixiang ve diğ., 2016). İtalya Antartika'daki oşinografik araştırmalara destek vermek için katamaran tipinde bir insansız deniz aracı olan SESAMO'yu geliştirmiştir (Manley, 2008; Caccia, 2006; Zhixiang ve diğ., 2016). İtalya 2005'te SESAMO'nun daha gelişmiş bir sürümü olan uzun menzilli otonom katamaran Charlie'yi kullanmaya başlamıştır (Caccia, 2006; Zhixiang ve diğ., 2016).

Japonya da 2003 yılında 40 knot hıza çıkabilen yüksek süratli bir deniz aracı (UMV-H) ve oşinografik veri toplama amaçlı okyanus tipi insansız deniz aracını (UMV-O) geliştirmiştir (Doğan, 2019).

Türk Silahlı Kuvvetleri de son yıllarda geliştirmeye başladığı ALBATROS ve LEVENT adlı insansız deniz araçlarıyla dünyadaki gelişmelere ayak uydurmaya çalışmaktadır (Doğan, 2019). Ayrıca Doğuş Üniversitesinin maddi ve bilimsel destek sağladığı DOĞUŞ-USV insansız deniz aracı Türk kıyılarının gözlenmesi için platform geliştirilmesi ve test edilmesini sağlamıştır (Batı ve diğ., 2013).

Buraya kadar kısaca özetlemeye çalıştığımız insansız deniz araçlarının tarihçesi daha çok askeri ve bir miktar da bilimsel kullanımını kapsamaktadır. Askeri araçların karıştığı ya da karışması olası deniz olaylarında askeri hukuk geçerli olacaktır.

İnsansız deniz araçlarının ya da daha özdele insansız gemilerin evrimi bu araçların ticari kullanımda yer almasıyla başlamıştır. Bu bağlamda özellikle üç proje öne çıkmaktadır: MUNIN, AAWA ve Yara Birkeland.

MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks) projesi, bütçesinin büyük bölümü Avrupa Birliği tarafından sağlanan ve Ağustos 2015'te tamamlanana bir projedir. Projenin amacı, yakıt tasarrufu sağlamak için uygulanan düşük hızda seyirin neden olduğu personel masraflarından kaçınmak için insansız bir ticari geminin işletilebilmesi için teknik konseptin geliştirilmesi ve böyle bir geminin teknik, ekonomik ve yasal fizibilitesinin gerçekleştirilmesidir (MUNIN, 2020). Proje kapsamında incelenen platform kıtalar arası taşımacılıkta kullanılan bir kuru dökme yük gemisidir. Dünyanın bazı bölgelerinde uydu üzerindeki bant genişliklerinin kısıtlı olması ve iletişim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle ele alınan platformun gemi üzerindeki yeni sistemlerle tamamen otonom olarak işlemesi planlanmıştır (MUNIN, 2020). MUNIN projesinin önemi otonom ticari gemiler için Gelişmiş Sensör Modülü, Otonom Seyir Sistemi, Otonom Makine ve İzleme Denetleme Sistemi, Kıyı Kontrol Merkezi, Kıyı Kontrol Merkezi İşletmeni, Kıyı Kontrol Merkezi Mühendisi ve Kıyı Kontrol Merkezi Durum Odası Takımı gibi bir dizi sistem ve bileşen standardı belirlemesidir (MUNIN, 2020). Proje kapsamında bir maliyet-fayda analizi de yapılmış ve insansız kuru yük gemisinin ancak belli koşullar altında insanlı gemilere göre uygun olacağı, ancak yine de şirketlerin karlılığını artırma potansiyeli olduğu bulunmuştur (MUNIN, 2020). Projede emniyet ve güvenlik analizleri de yapılmıştır. Deniz kazalarında insan unsurunun önemli olduğu göz önünde bulundurulduğunda, insansız gemilerin, yorgunluk ve dalgınlık gibi etmenler ortadan kalktığı için, çatışma ve batma riskini en az on kat azaltacağı belirtilmiştir. Makine ya da diğer sistemlerdeki aksaklıklar ve yangın gibi daha az görülen deniz olaylarının da düzenli bakım ve insansız alanlarda gelişmiş yangın söndürme sistemlerinin kullanımıyla daha az risk yaratacağı öngörülmüştür (MUNIN, 2020).

2015-2017 yılları arasında Finlandiya hükümetinin desteği ile Rolls Royce ve FinFerries firmalarının katkılarıyla sürdürülen AAWA (Advanced Autonomous Waterborne Applications) projesi gelecek nesil gelişmiş gemilerin teknik özelliklerini belirlemek ve başlangıç tasarımlarını yapmayı amaçlamaktadır (Joikoinen, 2016). Proje sonlandığında Rolls Royce firması insansız ticari gemileri uzaktan kumandayla işletmenin fizibil olduğunu göstermiş ve Türkiye'de inşa edilmiş 28 metre uzunluğundaki Svitzer Hermod adlı römorkörü Kopenhag limanında uzaktan kumandayla yönetmiştir (Allen, 2018). Ayrıca, FinFerries şirketi 2018 yılında 53,8 metre boyundaki dünyanın ilk tam otonom arabalı varpuru olan Falco'yu Turku şehrinin güneyindeki takımadalarda başarıyla işletmiştir. Falco Parainen ve Nauvo limanları arasındaki yaklaşık 1,6 kilometrelik rotada geliş yolculuğunda tamamen otonom, dönüş yolculuğunda ise uzaktan kumandalı olarak işletilmiştir (Rolls Royce, 2018).

2017'de Yara denizcilik firmasıyla Kongsberg teknoloji firması dünyanın ilk otonom ve tamamen elektrikli konteyner gemisini yapmak üzere ortaklık kurduklarını açıklamışlardır (Skredderberget, 2018)). 80 metre uzunluğunda 15 metre genişliğindeki gemiye Yara Birkeland adı verilmiştir. Geminin dolu su çekimi 6,3 metre, ekonomi modundaki hızı 6 ila 7 knot, azami hızı ise 13 knot olarak belirlenmiştir (Yara, 2020). 3200

ton detveyt ve 120 TEU kapasiteli geminin 7Mwh bataryalarla işletilmesi düşünülmektedir. Gemi Şubat 2020’de Romanya’da denize indirilmiş ve kontrol ve seyir sistemlerinin donatılması için insanlı gemi olarak Norveç’e doğru yola çıkmıştır (Yara, 2020).

Yine 2017 yılında Finlandiya’nın Wärtsilä firması İskoçya açıklarındaki 80 metre boyundaki Highland Chief adlı offshore gemisini California’daki kumanda merkezinden kumanda etmiştir (Allen, 2018).

Günümüzde, özel bir uzay şirketi olan SpaceX uzaya gönderilen itici roketlerin tekrar kullanılabilmesi için bu roketlerin üzerine iniş yapabileceği uzay üssü olarak kullanılan tamamen otonom gemiler geliştirmiş ve başarıyla kullanmıştır (Allen, 2018).

Yunzhou teknoloji şirketi, Çin sınıflandırma ajansı CCS ve Wuhan Teknoloji Üniversitesi ortaklığıyla 2017 yılında başlatılan Çin’in ilk otonom kargo gemisi Jin Dou Yun projesi Kasım 2019’da denize indirilmiş ve ilk seferini Guangdong bölgesinde gerçekleştirmiştir (Si, 2019)..

2.3. İnsansız Gemilerin Otonomi Düzeyleri

İnsansız gemilerin ne kadar insansız olduğu yani ne dereceye kadar otonomiye sahip olduklarına ilişkin hem insansız gemi hem de otonom otomobil alanyazınında birçok çalışma ve birçok ölçek bulunmaktadır. Biz çalışmamızda yalnızca denizcilikle ilgili olan otonomi ölçeklerini ele alacağız.

Otonomi sözlük anlamı olarak kendi kendini yöneten anlamına gelmektedir (Hoem, Fjortoft ve Rodseth, 2019). Bu tanımda önemli olan kısım “yönetim” kısmıdır, çünkü personeli tarafından terk edilen ama seyir halindeki bir gemi de üzerinde insan olmayan bir gemidir ancak kendi kendini yönetme becerisine sahip değildir. Bu nedenle insansız gemi dendiğinde 2.1’de belirttiğimiz gibi kıyıda ya da başka bir gemideki operatörün uzaktan kumandası altında ya da üzerindeki sistemler aracılığıyla seyreden gemiler kastedilmektedir.

İnsansız ya da otonom gemilerin otonomi düzeyini belirlemek için Lloyd’s Register da yedi düzeye sahip bir otonomi ölçeği önermiştir (Lloyd’s Register, 2016):

Tablo 1. Lloyd’s Register Otonomi Düzeyleri

Otonom Düzeyi	Karar Verme	Eyleme Geçme	İstisnalar
Otonomi Düzeyi 0	Manuel	Manuel	Manuel
Otonomi Düzeyi 1	İnsan Müdahalesi (taşıt üzeri veri)	Manuel	Manuel
Otonomi Düzeyi 2	İnsan Müdahalesi (taşıt üzeri veri, harici veri)	Manuel	Manuel
Otonomi Düzeyi 3	İnsan Süpervizyonu (Gemi düzeyinde)	İnsan Süpervizyonu (Gemi düzeyinde)	İnsan Süpervizyonu (Gemi düzeyinde)
Otonomi Düzeyi 4	İnsan Süpervizyonu (Geniş kapsamlı)	İnsan Süpervizyonu (Geniş kapsamlı)	İnsan Süpervizyonu (Geniş kapsamlı)
Otonomi Düzeyi 5	Nadiren insan süpervizyonu	Nadiren insan süpervizyonu	Nadiren insan süpervizyonu
Otonomi Düzeyi 6	İnsan süpervizyonu yok	İnsan süpervizyonu yok	İnsan süpervizyonu yok

Schiaretti, Chen ve Negenborn (2017) yukarıdaki ölçeklere benzer şekilde otonom suüstü araçlarının temel otonomi düzeylerini aşağıdaki gibi bir ölçekle belirtmişlerdir (Tablo 2).

Buraya kadar olan ölçekler otonomi düzeylerinde yer alan insan faktörünün gemide mi yoksa kıyı kontrol merkezinde mi yer aldığı konusunda bir bilgi içermediğinden uzaktan kumanda edilebilen insansız gemileri kapsayıp kapsamadıkları belirsizdir.

Tablo 2. Otonom Suüstü Gemiler için Otonomi Düzeyleri

Otonom Düzeyi	Açıklama
0	İnsan yalnızdır
1	Sistemler insana yardım eder
2	Sistemler ve diğer birimler insana yardım eder
3	Otonom rota izleyen gemi
4	Otonom güzergâh izleyen gemi
5	Sistemde insan yetkisi var
6	İnsan karar verme sistemini denetliyor
7	İnsan eyleme geçme sistemini denetliyor
8	İnsan istisnai durumları işleme sistemini denetliyor
9	İnsan eylemleri, kararları ve istisnaları denetliyor
10	Tamamen otonom

Bu bağlamda alanyazında daha kapsamlı ve daha anlaşılır ölçekler de geliştirilmiştir. Gogarty ve Robinson (2011) özellikle askeri insansız araçlar için iki otonomi düzeyi tanımlamıştır:

- yarı-otonom araçlar (denetimli otonomi): operatörler tarafından belli parametreler çerçevesinde daha serbest yönergeler verilen ancak kritik kararların insanlara bırakıldığı araçlardır.
- tam otonom araçlar: bir insan müdahalesine gerek duymadan, genel direktifler verildikten sonra kendi programlama yönergeleri ve yapay zekaları doğrultusunda direktifleri yerine getiren araçlardır.

ABD donanması otonomi düzeylerini aşağıdaki gibi tanımlamıştır (Vallejo, 2015; Allen, 2018):

- Manuel: sürekli ya da neredeyse sürekli olarak insan müdahalesi
- Yarı-otonom: bazı araç davranışları tamamen otonom (hedefe gidiş, sensörlerin etkinleştirilmesi). Araç operatör tarafından yönlendirildiğinde ya da kendi

durumsal farkındalığı yoluyla operatörüne sinyal gönderir (sözgelimi, ateş açma izni)

- Otonom ya da tam-otonom: Araç başlangıçtan bitişe kadar kendi kararlarını verir.

Deketelaere (2017) yalnızca insansız gemileri ele almış ve otomasyon bakımından ikiye ayrılacaklarını ileri sürmüştür:

- Uzaktan kumandalı gemiler: Bu gemiler kıyıdaki bir Kıyı Kontrol Merkezindeki (KKM) operatörler tarafından işletilen gemilerdir; KKM bütün verilerin toplandığı yerdir ve KKM'deki operatörler bu verileri işleyerek emirlerini gemiye iletirler; bu emirler gemideki elektronik sistemler tarafından yerine getirilir.
- Tamamen otonom gemiler: Bu gemilerde operatörler yalnızca varış limanını ya da limanlarını belirlemek için sisteme müdahil olurlar ve gemi herhangi bir insan müdahalesine gerek duymadan bu limanlara seyrederek. Otonom gemi, acil durumlar ya da bakım işlemleri için müdahale edilebilmesi için bir KKM tarafından izlenebilir.

Tablo 3. IMO Otonomi Düzeyleri

Otonom Düzeyi	Açıklama
<i>Otomatikleştirilmiş süreç ve karar destek sistemi olan gemiler</i>	Gemi adamları gemideki bazı sistemleri işletmek ve kontrol etmek için gemidedir
<i>Gemide deniz adamları bulunmak koşuluyla uzaktan kumanda edilen gemiler</i>	Gemi başka bir konumdan işletilir ve kontrol edilir ancak gemide gemi adamları bulunmaktadır
<i>Gemide deniz adamları bulunmadan uzaktan kumanda edilen gemiler</i>	Gemi başka bir konumdan işletilir ve kontrol edilir ancak gemide hiçbir gemiadamı bulunmamaktadır
<i>Tam otonom gemiler</i>	Geminin işletim sistemi karar verme ve eyleme geçme yetisine sahiptir

Tablo 4. Ticari Gemiler için Otonomi Düzeyleri

Otonom Düzeyi	Açıklama
<i>Doğrudan Kontrol</i>	Gemi doğrudan kontrol edilmektedir, asgari otomasyon ve kara desteği vardır
<i>Karar Desteği</i>	Köprü personeline karar desteği ve öneriler sunulur, personel karar verir
<i>Otomatik Köprü</i>	İşlemler otomatiktir ancak köprü personelinin sürekli gözetimi altındadır
<i>Düzenli aralıklarla insansız köprü</i>	Kıyı kontrol merkezinin gözetimindedir, gereken durumlarda personel göreve çağrılabilir
<i>Uzaktan kumanda</i>	İnsansızdır, sürekli olarak kıyı kontrol merkezinden izlenir ve doğrudan kumanda edilir
<i>Otomatik kontrol</i>	Otomatik kontrol altında insansız gemi, kıyı kontrol merkezinden izlenir
<i>Kısıtlı Otonom</i>	İnsansızdır, kısmi otonomi vardır ve kıyı kontrol merkezi tarafından denetlenir
<i>Tam Otonom</i>	İnsansızdır ve denetleme yoktur

Katsivela (2018) Uluslararası düzenlemeler bağlamında insansız gemilerin otonomi düzeylerini aşağıdaki gibi özetlemektedir:

- M (Manuel): otomatikleştirilmiş süreçler ve karar destek sistemiyle birlikte kaptan ve tayfanın bulunduğu ve köprünün insansız bırakıldığı durumlarda bir zabitanın nöbette ve kontrolü ele almaya hazır olduğu gemiler.
- R (Uzaktan kumanda): Tayfanın bulunduğu ve otonomi düzeyinin M'ye geçmesi halinde hazır bulunan eğitilmiş bir personelin olduğu uzaktan kumanda edilen gemiler.
- RU (Uzaktan kumanda-insansız): Gemide tayfanın bulunmadığı ve uzaktan kumanda edildiği gemiler. Bu durumda gemideki elektronik sensörler gemide bulunmayan bir operatöre bilgi sağlamakta ve bu operatör de bu verileri değerlendirerek gemideki elektronik sistemlerin yerine getirmesi için komut göndermektedir.
- A (Otonom): Geminin işletim sisteminin mevcut riskleri değerlendirdiği ve buna göre tepki verdiği gemilerdir. Sistemin hata vermesi ya da insan müdahalesi gerektirmesi durumunda gemideki tayfa müdahale edecek ve geminin otonomi gemide tayfa olup olmasına göre düzeyi R ya da RU'ya geçecektir.

Yukarıdaki tanımlardan da anlaşılabilir gibi insansız gemiler her zaman personel bulundurmayan gemiler değildir. Yalnızca RU ve A sınıftaki gemilerde personel bulunmamaktadır (Katsivela, 2018).

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) insansız suüstü gemiler için dört otonomi düzeyi tanımlamıştır ve bunlardan üçünde insan faktörü için içinde olmaya devam etmektedir (Allen, 2018; Ringbom, 2019) (Tablo 3).

Buraya kadar ele aldığımız ölçeklerde genelde farklı otonomi düzeyleri belirlenmiş olsa da bunlardan bazıları geminin uzaktan kumanda edilip edilmediğini, bazıları gemide insan bulunup bulunmadığını, bazıları da gemide insan bulunuyorsa bu insanların sisteme müdahale edip edemeyeceğini dikkate almamaktadır. Bu noktada Rodseth ve Nordahl'ın (2017) özellikle ticari gemiler için önerdikleri otonomi düzeyi daha kapsamlı bir sunum sağlamaktadır (Tablo 4).

2.4. İnsansız Gemilerin Güncel Statüleri

İnsansız deniz araçları ve çalışmalarının temel inceleme alanı olan insansız gemiler üzerine yapılan çalışmalar baktığımızda, bunların büyük bir bölümünün insansız deniz araçlarının tasarımı, donatılması, kontrol edilmesi gibi teknik konularla ilgili olduğunu görürüz.

Bu araçların statüsüne ilişkin çalışmalar, uzun tarihçelerine bakıldığında nispeten çok yenidir. Bunun nedeninin insansız deniz araçlarının genellikle askeri alanda kullanıldıkları için sivil hukukun ve siyasetin alanına girmemeleri olduğunu söyleyebiliriz. Bilimsel ve az da olsa ticari alanda kullanılan insansız sualtı araçları ve insansız suüstü araçlarının ise boyutlarının küçük olduğu için hukuki durum gerektirecek hasarlara yol açmaması, bir çatışma durumunun kendilerinin zarar görmesi ya da tamamen imha olmaları nedeniyle hukuki sorunlara yol açmadıkları söylenebilir. Ancak denizcilik sektöründeki büyük firmaların insansız gemi olarak tanımladığımız ticari fayda sağlama potansiyeli olan gemilere yönelik ilgisi ve projeleri bu gemilerin uluslararası ve ulusal denizcilik mevzuatında ne gibi sorunlara yol açacağı inceleme konusu olmaya başlamıştır. Çalışmamızın bu kısmında insansız/otonom gemilerin sivil mevzuatta ve özellikle denizcilikle ilgili sözleşme, kod, sirküler, karar ve rehberlerde nasıl ele alındığına ilişkin bir alanyazın taraması sunulacaktır.

3. İnsansız gemilerin statüsüne ilişkin değerlendirmeler

3.1. İnsansız gemilerin statüsüne ilişkin çalışmalar

İnsansız deniz araçları ve çalışmalarının temel inceleme alanı olan insansız gemiler üzerine yapılan çalışmalar baktığımızda, bunların büyük bir bölümünün insansız deniz araçlarının tasarımı, donatılması, kontrol edilmesi gibi teknik konularla ilgili olduğunu görürüz.

Çalışmamızın bu kısmında insansız/otonom ticari gemilerin mevzuat ve özellikle denizcilik mevzuatı alanında nasıl ele alındığına ilişkin bir alanyazın taraması sunulacaktır. Bu kısımda özetlenen çalışmalara genel olarak baktığımızda büyük bir bölümünün denizcilikle ilgili uluslararası sözleşme, kod, karar, sirküler ve yönetmelikleri göz önünde bulundurduğunu, insansız gemilerin ulusal mevzuatlarda ne gibi durumlar doğuracağını ele alan çalışmaların çok kısıtlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, çalışmaların çoğunun uluslararası ve ulusal hukuki düzenlemelerde geminin tanımı, personelle donatma ve denize elverişlilik gibi konulara odaklandığı görülmektedir.

Tablo 5. İnsansız gemilerin statüsünü değerlendiren çalışmalar

Çalışma	Belgeler	Konular
<i>Gogarty ve Hagger 2008</i>	UNCLOS, COLREGs, SAR, SALVAGE	Denize Elverişlilik, Personelle Donatma
<i>Allen 2012</i>	UNCLOS, COLREGs	Gemi Tanımı
<i>Vallejo 2015</i>	COLREGs, STCW,	Gemi tanımı, haksız fiil sorumluluğu, özen yükümlülüğü, ihmal, seyir, istikamet ve sefer kuralları, ses ve ışık sinyalleri
<i>Van Hooydonk</i>	UNCLOS, MARPOL, SALVAGE, Bunker Sözleşmesi, Birleşik Krallık Kanunları,	Gemi tanımı, Bayrak devlet bağı, gemi personelinin durumu, Kıyı kontrol personelinin durumu, sözleşme hukuku,
<i>Pritchett 2015</i>	IMO, SOLAS, COGSA, SALVAGE	Personelle Donatma, vardiya, çatışmayı önleme ve seyir, Denizde Arama ve Kurtarma, Haydutluk, Yük hasarı, Denizden mal taşıma,
<i>Carey 2017</i>	UNCLOS, SOLAS, STCW, COLREGs, Salvage Convention, Lahey Kuralları, Birleşik Krallık, Singapur kanunları	Kaptanın tanımı ve görevleri, Yardım Etme Şartı, Geminin Personelle Donatımı, Denize Elverişlilik, Kılavuzluk
<i>Chircop 2017</i>	UNCLOS, SOLAS, STCW, COLREGs, MARPOL, BWM, uluslararası hukuk	Gemi Tanımı, Bayrak devletleri, Kıyı devletleri, Liman Devletleri, Deniz Emniyeti, mürettebat eğitimi ve sertifikalandırma, Çevre koruma
<i>Deketelaere 2017</i>	UNCLOS, STCW, SOLAS, COLREGs, ABD Kanunları, Birleşik Krallık, Hollanda, İspanya, Belçika Kanunları	Gemi tanımı, personelle donatma, gemi işletme, sorumluluk hukuku, deniz haydutluğu
<i>Allen 2018</i>	UNCLOS, SOLAS, MARPOL, COLREGs	Gemi tanımı
<i>Katsivela 2018</i>	Kanada Hukuku	Gemi tanımı, Kaptanın tanımı ve görevleri, Kılavuzluk, Denize Elverişlilik
<i>Rodriguez Delgado 2018</i>	Özel deniz hukuku, UNCLOS, SOLAS, COLREGs, STCW, SAR, MARPOL, SUA, SALVAGE, BUNKERS, Çatışma Konvansiyonu, Alikoyma Konvansiyonu,	Gemi tanımı, denize elverişlilik, denizden mal taşıma, sözleşme hukuku, kiralama (chartering) ve deniz sigortası, sorumluluğun tahdidi, çatışma, kirlilik, gemi kurtarma, seferden men, haciz, ipotek
<i>Ferreira, Alves, Bertolini ve Bargelli 2018</i>	Avrupa Parlemtosu Kararları ve Yönetmelikleri,	COLREGs Uyumlu Gemiler, Sorumluluk
<i>Ringbom 2019</i>	SOLAS, STCW, COLREGs	Geminin personelle donatımı, personelin bulunduğu yer
<i>Coşkun, Egemen ve Bolat 2019</i>	UNCLOS, COLREGs, STCW, SOLAS, Türk Ticaret Kanunu, ABD yasaları, İngiltere Deniz Ticareti Kanunu	Bayrak devletlerinin sorumlulukları, personelle donatma, seyir planlama, köprüüstü görüş, denizde yardım
<i>Var Türk 2019</i>	UNCLOS, SUA	Deniz haydutluğu, siber güvenlik
<i>Gonzalez, 2019</i>	1910 Brüksel Sözleşmesi, Norveç Kanunları	Denizde Çatışma, Sorumluluk,
<i>Petrig 2020</i>	UNCLOS	Deniz Suçları, Deniz Haydutluğu

3. İnsansız gemilerin statüsüne ilişkin değerlendirmeler

İnsansız gemilerin statüsüne ilişkin değerlendirme yapılabilmesi için öncelikle geminin tanımı, denize elverişlilik koşulları, personelle donatma ve seyir kurallarının insansız gemilere uygulanıp uygulanamayacağı konuları ele alınmalıdır.

İnsansız gemilerin statüsünü değerlendirebilmek öncelikle bu araçların denizcilik sektörünü ilgilendiren uluslararası

düzenlemelerdeki gemi tanımlarına uyup uymadığını ele almak yerinde olacaktır.

Denizcilik sektörünü emniyet, güvenlik, çalışma koşulları, çevre kirliliği, deniz suçları gibi konularda düzenleyen pek çok sözleşme, kod, düzenleme ve benzeri belge bulunmaktadır. Gogarty ve Hagger (2008) de, açık denizlerde seyreden insansız deniz araçlarının çok sayıda uluslararası düzenlemeye tabi olacağından söz ederek bunların çoğunda gemi tanımının “açık denizlerde seyreden gemilerin insan kontrolünde olduğu” varsayımını içerdiğini ileri sürmektedir. Vallejo (2015) da bu görüşü desteklemekte ve denizcilikle ilgili birçok uluslararası

düzenlemedeki tanımların “tekne” ya da “gemi” olarak adlandırılan araçların bir insan tarafından kontrol edildiği varsayımına dayandığını belirtmektedir. Sözü edilen bu düzenlemelerden en önemlisi denizciliğin anayasası olarak da adlandırılan 1982 Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi’dir (İng. United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS). UNCLOS’un İngilizce sürümünde ship ve vessel sözcükleri eşanlamlı olarak kullanılırken Fransızca (navire) sürümünde ve İspanyolca (buque) sürümlerinde tek bir sözcük kullanılmaktadır. Sözleşmenin Türkçe sürümünde ise gemi sözcüğü kullanılmış, yalnızca balıkçılıkla ilgili bölümlerde tekne terimi geçmiştir. Ancak UNCLOS’ta açık bir gemi tanımı bulunmamaktadır. Ayrıca, UNCLOS geminin vazgeçilmez bir bileşeni olarak bir mürettebatın varlığını da belirtmemektedir (Deketelaere, 2017, s. 11). Ancak, UNCLOS’un 94. Maddesinin (4b) ve (4c) bentleri bayrak devletlerine bayrakları altında seyreden gemilerin uygun vasıfta ve sayıda personelle donatılmaları yükümlülüğünü getirmektedir.

UNCLOS’un öncülleri sayılabilecek 1954 Denizlerde Petrol Kirliliğinin Önlenmesine İlişkin Uluslararası Sözleşme (İng. International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil, OILPOL) ve 1973/78 Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine İlişkin Uluslararası Sözleşme (İng. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL) ise gemi tanımı içermektedir. Bu sözleşmelere göre gemi, “hidrofoil botlar, hava yastıklı araçlar, denizaltılar, yüzer vasıtalar ve sabit veya yüzer platformlar dâhil, deniz çevresinde faaliyette bulunan her türlü tekne” anlamına gelmektedir.

Denizcilikle ilgili bir diğer önemli uluslararası sözleşme de “seyir kuralları” da diyebileceğimiz Denizde Çatışmaların Önlenmesi İçin Uluslararası Kurallar Hakkında Sözleşme’dir (İng. Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, COLREGs). COLREGs Türkiye Cumhuriyeti tarafından Denizde Çatışmaları Önleme Tüzüğü olarak 29 Nisan 1978’de resmî gazetede yayımlanarak yürürlüğe sokulmuştur. COLREGs’in İngilizce sürümü tekne (İng. vessel) terimini kullanmakta ve “su üstünde kalkarak seyreden ve deniz uçakları dâhil, su üzerinde taşıma aracı olarak kullanılmakta olan veya kullanılmaya elverişli bulunan her türlü deniz aracını içine alır” tanımını yapmaktadır. COLREGs’teki tanımın diğer belgelerdeki tanımlamalardan farkı teknelerin ya da gemilerin “taşıma aracı” olarak kullanılmasını gerektirir. Daha önce sunduğumuz tarihçe kısmında görüldüğü gibi insansız deniz araçlarının büyük bölümü “taşıma aracı” olarak kullanılmayan askeri ve bilimsel amaçlı araçlardır. Ancak, yine ikinci bölümde belirttiğimiz gibi yük taşımacılığında kullanılacak insansız deniz araçları yani insansız gemiler artık ortaya çıkmıştır ve dolayısıyla bu araçlar COLREGs Kural 3’teki “tekne” tanımına uymaktadır. Benzer biçimde McLaughlin (2011) de insansız suüstü araçlarının COLREGs’teki gemi tanımına dâhil edilmesi için herhangi bir değişikliğe gerek olmadığını, çünkü COLREGs’teki tanımın mümkün olan en geniş gemi tanımı olduğunu ileri sürmüştür.

Denizden mal taşımada belirleyici uluslararası kurallar bütünü olan Lahey-Visby Kuralları gemiyi “denizden mal taşımada kullanılan her türlü tekne” olarak tanımlamaktadır.

Ulusal mevzuatlara bakıldığında da benzer bir durum görülmektedir. ABD’de tekne su üstünde taşımacılık için kullanılan ya da kullanılmaya elverişli olan her türlü su aracı ya da diğer yapay tertibat olarak tanımlanmaktadır (Deketelaere, 2017, s. 28). Kanada Denizcilik Kanunu’nun ikinci maddesi

tekneyi “tahrik yönteminden ya da tahrikli olup olmamasından bağımsız olarak, su üstünde, su boyunca ve suyun hemen üstünde yalnızca ya da kısmen seyir için tasarlanan ve kullanılan ya da kullanılmaya elverişli olan her türlü bot, gemi ya da araç” olarak tanımlamaktadır (Canada Marine Act, S.C. 1998, c. 10). Birleşik Krallık’ta 1995 Deniz Ticareti Kanunu’na göre tekne “seyir amaçlı kullanılan her türlü gemi ya da bot ya da tekne olarak tanımlanabilecek herhangi bir araç” şeklinde tanımlanmaktadır (Merchant Shipping Act, 1995 c. 21). Fransa, Hollanda, İspanya, Belçika gibi önemli denizcilik geçmişine sahip ülkelerin kanunlarında da benzer tanımlar görülmektedir (Deketelaere, 2017). Türk hukukuna baktığımızda ise, Ticaret kanununun 5. Kitabında yer alan Deniz Ticaretiyle ilgili maddelerde “tahsis edildiği amaç, suda hareket etmesini gerektiren, yüzme özelliği bulunan ve pek küçük olmayan her araç, kendiliğinden hareket etmesi imkânı bulunmasa da bu kanun bakımından gemi” sayılır ifadesiyle gemi tanımı yapılmıştır (Türk Ticaret Kanunu, Madde 931).

Hem uluslararası sözleşmelerdeki hem de ulusal mevzuatta yer alan kanunlardaki tanımlar birbirine benzer tanımlardır. Bu tanımların ortak noktası ise, hiçbirinin gemiyi ya da tekneyi mürettebatı olan bir araç olarak tanımlamasıdır. Diğer bir deyişle, bir deniz aracının gemi ya da tekne sayılabilmesi için mürettebat bulundurması gerekmemektedir. Dolayısıyla insansız gemilerin tanım açısından uluslararası ve ulusal hukukta sorun yaratmayacağı aşikârdır. Benzer şekilde van Hooydonk (2014) da bazı hukuki doktrinlerin mürettebatın önemine vurgu yapmasına karşın, insansız gemilerin düzenlemelerde yer alan tanımların büyük bir bölümü tarafından kapsanacağını belirtmektedir. Sonuç olarak, deniz kazasına karışan ya da karışma ihtimalleri olan insansız gemilerin uluslararası hukukta gemi ya da tekne olarak kabul edilmeleri önünde herhangi bir engel bulunmamaktadır.

Deniz taşımacılığına ilişkin önemli belgelerden olan Lahey-Visby Kuralları “taşıyan seferden önce ve sefer başlangıcında gemiyi denize elverişli hale getirmek (ve elverişli halde tutmak) için gereken özeni göstermelidir” ifadesiyle taşıyana bir sorumluluk yüklemiştir. Lahey-Visby kurallarının yerini alması beklenen Rotterdam Kuralları ise denize elverişliliği yalnızca sefer öncesi ya da sefer başlangıcıyla sınırlandırmayıp, sefer süresince de denize elverişlilik gerektirmektedir. Geminin ya da geminin taşıdığı yükün bir deniz kazasında hasar görmesinden kaynaklanan yükümlülükler, geminin denize elverişli olmasına göre değerlendirilmektedir ve taşıyan gemiyi denize elverişli hale getirdiğini ya da buna gereken özeni gösterdiğini kanıtlayabilirse hasarın tazmininden muaf tutulabilmektedir.

UNCLOS, her devletin kendi bayrağını taşıyan gemilerin denize elverişliliğinden sorumlu olduğunu belirtmektedir. Uluslararası deniz taşımacılığını ilgilendiren Uluslararası Denizde Can Emniyeti Sözleşmesi (İng. International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS), MARPOL, COLREGs, Lahey-Visby Kuralları ve Rotterdam Kuralları gemilerin denize elverişli olmasının taşıyanın sorumluluğunda olduğunu belirtmektedir. Bu düzenlemelerin pek çoğunun içtihat hukukuna dayandığı göz önünde bulundurulduğunda, bu içtihatları oluşturan mahkeme kararlarına bakmak yerinde olacaktır. Kopitoff’a karşı Wilson davasında mahkeme taşıyanın “seyir sırasında denizin tehlikeleriyle ve diğer arızı risklerle karşılaşabilecek ve bunların altından kalkabilecek durumda” olan bir gemi sağlaması zorunluluğu olduğu kararına varmıştır (Kopitoff v Wilson (1876) 1 QBD 377, s. 380).

Birleşik Krallık 1906 Deniz Sigortası Kanunu (İng. Marine Insurance Act), bir seferin sigortalı olarak kabul edilebilmesi için “seferin başında ve eğer sefer farklı hazırlıklar gerektiren aşamalar içeriyorsa bu aşamalarda geminin her bakımdan denize elverişli olması” gerektiğini belirtmektedir. Kanunu hazırlayan Sir Mackenzie Chalmers’e göre “her bakımdan” ibaresi “personelle donatma, ekipman ve istiflemeyi” de içermekteydi ancak bu ek sözcükler Lordlar Kamarasında gereksiz ve muhtemelen kısıtlayıcı olacağı için metinden çıkarılmıştır (Chalmers ve Archibald 1922’den aktaran Soyer, 2001). Bu noktada Lordlar Kamarasının ileri görüşlülük yaparak kısıtlayıcı sözcükleri metinden çıkararak, kanunun kapsayıcılığını koruduğunu söylemek mümkündür.

İngiliz Milletler Topluluğunun bir üyesi olan Avustralya’da 2012 yılında kabul edilen Seyir Kanunu denize elverişli bir gemiyi “(a) gövdesi ve donatıları, (eğer varsa) kazanları ve makineleri, balast ya da yük istifleme, gemi adamlarının sayısı ve nitelikleri bakımından ve diğer her bakımdan (i) çıkılan seferin doğal tehlikeleriyle başa çıkma ve (ii) çevreye tehdit oluşturmama, (b) aşırı yüklü olmama, (c) gemideki yaşama koşullarının gemideki gemi adamlarının hayat, emniyet ve refahlarına tehdit olmama bakımından uygun olan” gemi olarak tanımlamaktadır. Avusturalya kanunlarında denize elverişlilik daha ayrıntılı olarak ele alınmış ve gemi adamlarını da içermek suretiyle daha kısıtlayıcı bir çerçeve çizilmiştir. Dolayısıyla, insansız gemilerin bu kanun çerçevesinde denize elverişliliğinden söz etmek mümkün olmayabilir. Personelle donatma bir sonraki kısımda ele alınacağı için bu tartışmayı ileriye bırakmak yerinde olacaktır.

Türk Ticaret Kanunu’nun deniz ticaretini düzenleyen Beşinci Kitabında gemiler “denize, yola ve yüke elverişli gemi” olarak ele alınmaktadır. Buna göre, “gövde, genel donatım, makine, kazan gibi esas kısımları bakımından, yolculuğun yapılacağı sudan ileri gelen (tamamıyla anormal tehlikeler hariç) tehlikelere karşı koyabilecek bir gemi “denize elverişli” kabul edilmektedir. Bu noktada insansız gemiler için herhangi bir hukuki engel görünmemektedir. Ancak, aynı kanun maddesi denize elverişli olan geminin “teşkilatı, yükleme durumu, yakıtı, kumanyası, gemi adamlarının yeterliği ve sayısı bakımından, (tamamıyla anormal tehlikeler hariç) yapacağı yolculuğun tehlikelerine karşı koyabilmek için gerekli niteliklere sahip bulunduğu takdirde yola elverişli” sayılacağı belirtilmektedir. Bu maddeye bakıldığında gemi adamlarının sayısı ve yeterliliğinden bahsedildiği görülmektedir. Dolayısıyla bu madde göz önünde bulundurularak yapılan bir değerlendirmede insansız geminin ‘yola elverişli’ sayılmama olasılığı bulunmaktadır.

Bayrak devletleri denize elverişlilik sorveyleri gerçekleştirmektedir. Türkiye Cumhuriyeti makamlarının verdiği denize elverişlilik belgesi için gemilerin sualtı ve kara sorveyleri yapılmakta, bu sorveylerde saç kalınlığı, pervane ve şaft bileşenleri, demir ve zincirler kontrol edilmekte, uluslararası sefer yapan gemiler için yükleme sınırı ve dedveyt tespit edilmektedir. Görüldüğü gibi bu belgede gemi adamlarına ya da mürettebata herhangi bir atıfta bulunulmamaktadır. Ancak, olası bir deniz olayında taşıyanın sorumluluğu ile ilgili durumlarda, Türk Ticaret Kanunu’nda yer alan elverişlilik bentlerine başvurulacağından, Türk kanunlarının denize elverişlilik, ya da genel anlamda elverişlilik bağlamında Avusturalya kanunları gibi personelle donatma ölçütü içerdiğini söyleyebiliriz.

Her ne kadar uluslararası belgeler denize elverişli gemi tanımı yapmasalar ya da geniş tanımlar içerseler de UNCLOS denize elverişliliğin denetimini bayrak devletlerine bırakmıştır. Dolayısıyla bayrak devletlerinin ilgili elverişlilikle ilgili düzenlemelerinde gemi adamlarına ya da mürettebata atıf yapması durumunda insansız gemilerin nasıl değerlendirileceği belirsizdir.

İngiliz Deniz Sigorta Kanunu, İngiliz Denizden Mal Taşıma Kanunu, Lahey-Visby Kuralları ve Rotterdam Kuralları gibi metinler taşıyana gemiyi denize elverişli kılma dışında, gemiyi belli sayıda ve nitelikte gemi adamıyla donatma sorumluluğu da yüklemektedir. Carey (2017) de birçok uluslararası ve ulusal belgenin denize elverişlilik açısından emniyetli ve yeterli personelle donatma düzeyleri gerektirdiğinden söz etmektedir (s. 3). Pritchett (2019) da IMO’nun asgari personelle donatma ilkelerinin bayrak devletleri ve liman devletleri için bağlayıcı olmasa da bir rehber olduğunu ileri sürmektedir (s. 202). Bu bağlamda insansız gemilerin düzenleyici rejimlere ve denize elverişlilik gerekliliklerine uygunluğunu sağlamaktaki en büyük zorluk gemideki insan varlığının ortadan kalkmasıdır (Carey, 2017, s. 2).

Denize elverişli olmama ve gerektiği gibi personelle donatılmama gemi sahiplerinin ya da donatanların yük hasarı talepleriyle karşı karşıya kalmasına, deniz sigorta poliçelerinin geçersiz olmasına neden olmaktadır; dolayısıyla denize elverişli bir gemi uygun bir şekilde personelle donatılmış olmalıdır. Burada insansız gemiler için önemli olan ‘uygun bir şekilde’ ifadesidir. IMO ilkelerine göre eğer bir gemiyi uygun bir şekilde donatırsanız asgari personelle donatma şartını sıfıra çekebilirsiniz, ama bayrak devletleri asgari personelle donatma için daha katı standartlar geliştirmişlerdir. Pritchett’a (2019) göre insanlı gemiler bağlamında asgari personelle donatma ilkeleri geminin emniyetli bir şekilde işletilmesi için gereken asgari personel miktarını belirleme gibi meşru bir nedene dayanırken, teknolojinin gelişmesiyle birlikte geminin emniyetli işletilmesi için insan yardımına ihtiyaç kalmadığında bu meşru neden de ortadan kalkacaktır (ss. 203-204). Bu görüşü destekler nitelikte Carey (2017) de uygun bir şekilde personelle donatmanın personel sayısı ile değil yetkinliğiyle ilgili olduğunu söylemektedir.

UNCLOS her bayrak devletinin denizde emniyeti sağlamakla ilgili olmak üzere bayraklarını taşıyan gemilerin personelle donatılması, bunların çalışma koşullarının ve eğitimlerinin düzenlenmesinden sorumlu olduğunu belirtmektedir. SOLAS, sözleşmeye taraf ülke hükümetlerinin bayraklarını taşıyan gemilerin “denizde can güvenliğinin sağlanması bakımından, bütün gemilerin, yeterli ve ehliyetli personelle donatılmış olmasının sağlanması bakımından gerekli önlemlerin alınmasını ve idame ettirilmesini” üstleneceklerini belirtmektedir. Hem UNCLOS hem de SOLAS (yeterli) personelle donatmadan söz etmekte ancak yeterli ya da uygun sayının ne olduğundan söz etmemektedir. Dolayısıyla emniyetli personelle donatma düzeyi göreceli bir kavramdır ve ulusal mahkemelerin takdir yetkisi vardır (Carey, 2017, s. 8). Birleşik Krallık’ta emniyetli personelle donatma düzeyleri geminin çıkacağı sefere göre belirlenirken, Singapur’da geminin türüne göre belirlenmektedir (Carey, 2017, ss. 8-9).

Birleşik Krallık gemisinin ya da Birleşik Krallık sularındaki diğer gemilerin otonom olmasına, yani personelle donatılmamış olmasına ilişkin önemli bir engel görünmemektedir. Buna karşın Singapur’da gemilerin taşınması gereken personel sayısı

düzenlemelerle belirlendiği için otonom gemiler Singapur mevzuatına uymamaktadır. Carey'e (2017) göre Avustralya, Kanada, Hong Kong ve Bermuda gibi devletler personelle donatma konusunda özel şartlar koyarak, mahkemelere takdir yetkisi vermiştir; ancak ABD, Yeni Zelanda ve Güney Afrika gibi devletlerde personelle donatma sayı ve nitelikleri belirlenmiştir ve dolayısıyla otonom gemilerin yasal olarak işletiminde engeller ortaya çıkması muhtemeldir.

Uluslararası düzenlemeler personelle donatma konusunda asgari bir sayı belirtmeyerek daha kapsamlı bir yoruma açıkken, ulusal mevzuatlardan bazıları farklı gemi türleri için farklı asgari personel sayısı belirleyerek yoruma yer bırakmayan daha katı bir tutum izlemişlerdir. Türk mevzuatındaki Gemilerin Gemiadamları ile Donatılmasına İlişkin Yönerge makine dairesinin insansız işletilebileceğini hesaba katarak personel sayılarında değişiklik yapma yetkisini idareye vermiştir. Yönergenin yayımlandığı 2007 yılında insansız gemi teknolojilerinin henüz yaygınlaşmadığı ama otomasyon uygulamalarının başladığı düşünüldüğünde yalnızca insansız makine dairesine ilişkin ifadelerin yer alması anlaşılabilir bir durumdur. İnsansız gemilerin işletilmeye başlamasıyla bu yönergede değişiklik yapılabileceği öngörülebilir.

Daha önce de belirtildiği gibi uluslararası düzenlemelerde asgari personel sayısının belirtilmemesi ve uygun bir şekilde ifadesi kullanılarak daha kapsamlı bir yoruma olanak tanınması insansız gemilerin, özellikle de uzaktan kumanda edilen gemilerin personelle donatma ilkelerini bir şekilde karşılamalarını sağlayabilir. Bir kıyı kumanda merkezindeki operatör ya da operatörler tarafından kumanda edilen bir gemi, kumanda eden operatörlerin sayısı ve yeterliğine bağlı olarak asgari personelle donatma ilkelerini sağlamış kabul edilebilir. Zabitlerin köprüde ve makine dairesinde bulunmaları gibi kıyı kumanda merkezindeki operatörler de geminin seyri ve makinelerin durumunu uzaktan izleyerek, gemideki sensörlerden gelen verileri yorumlayarak gerekli müdahalelerde bulunabilirler. Bu durumda asgari personelle donatma ilkeleri uzaktan kumanda edilen insansız gemiler için kıyı kumanda merkezi personelini kapsayacak şekilde yorumlanabilir ya da değiştirilebilir. Tam otonom seyirle ilerleyen gemilerin bu ilkelere hiç uymayacağı düşünülebilir, ancak bu gemiler tam otonom şekilde seyretmeler ve kararlarını yapay zekâ algoritmaları sayesinde kendileri alsalar da, bu gemileri işleten şirketlerin onları tamamen gözetimsiz bırakacağını düşünmek yanlış olur. Şirket merkezinde ya da dünyanın herhangi bir yerinde kurulacak olan kıyı kumanda ya da izleme merkezlerinde otonom gemilerin seyir güzergâhlarını, makine dairesini, yükün durumunu ve geminin etrafındaki olası tehlikeleri izleyen bir personel olacağı aşikârdır. Bu personel gerekli ya da acil durumlarda geminin otonom sistemlerini devre dışı bırakarak uzaktan kumanda edebilecek bir vardiya zabiti gibi sorumluluk alabilir ya da bu sorumluluğu alabilecek personeli görev başına çağırabilir. Dolayısıyla personelle donatma ilkeleri, Türkiye Cumhuriyeti Gemilerin Gemiadamları ile Donatılmasına İlişkin Yönerge'de de belirtildiği gibi gemilerin sahip oldukları teknik imkânların çeşitliliği göz önünde bulundurularak esnetilebilir. Buna benzer şekilde Carey (2017) de kıyı operatörlerinin yetkin olması durumunda bir geminin emniyetli seyri için gereken emniyetli personelle donatma düzeyinin teorik olarak sıfır olabileceğini ileri sürmektedir.

Deniz kazalarının ve denizde çatışmaların önlenmesi için başvuru ilk belge Denizde Çatışmaları Önleme Tüzüğü yani e-ISSN: 2148-2683

COLREGs'tir. COLREGs Kural 2 Sorumluluğu tanımlarken tekne ve gemi sahibinin dışında kaptan ve gemi adamlarını da sorumlu kılmakta dolayısıyla gemilerin insanlı olduğunu varsaymaktadır. Ancak COLREGs Kural 3'te verilen 'tekne' ve 'kuvvetle yürütülen tekne' tanımlarında mürettebata herhangi bir atıf yapılmadığından insansız gemilerin bu tanımlara uymama gibi bir durumu söz konusu değildir. Aynı Kural'da yer alan kumanda altında bulunmayan tekne ve manevra kabiliyeti sınırlı tekne tanımlarıyla ilgili alanyazında farklı yorumlar bulunmaktadır.

Gogarty ve Hagger (2008) COLREGs'in gemilerin kontrol düzeyiyle de ilişkili olduğunu ve COLREGs'in gemileri kumanda altında bulunmayan ve manevra yapma yeteneği sınırlı da dâhil olmak üzere ayrıntılı olarak sınıflandırdığını ileri sürmüştür. Yazarlar, insansız gemileri kumanda eden kıyı operatörünün birden fazla gemiyi kumanda etmesi durumunda, bu gemilerden bazılarının kumanda altında bulunmayan gemi sınıfına girip girmeyeceğinin hukuki sonuçları olacağını ileri sürmüştür. Ayrıca, bazı operasyonlar için sürü (İng. swarm) halinde kullanılan insansız gemilerin "manevra yapma yeteneği sınırlı" gemi olarak kabul edilip edilmeyeceği tartışmalıdır. Alanyazında sürü halinde kullanılan araçlar "basit görevleri topluca hareket ederek icra edebilen düşük enerji harcayan" araç topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Yaşar, 2020).

Gogarty ve Hagger'e göre, COLREGs mevcut durumuyla otonom gemilere doğrudan kumanda altında olan, yani insanlı gemiler karşısında öncelikli geçiş hakkı tanımaktadır. Bu durumda, insansız gemilerin kumanda altında olmadıklarını ya da manevra yapma yeteneklerinin sınırlı olduğunu bildirme yükümlülükleri vardır. Benzer biçimde, Allen (2012) de ABD Seyir Emniyeti Danışma Kurulu'nun (NAVSAC) COLREGs Kural-3(g) bendinde yer alan "Manevra Kabiliyeti Sınırlı Tekne" tanımına insansız olan ve otonom hareket eden kendinden tahrikli tekne ifadesinin eklenmesini önerdiğini ileri sürmüştür.

Ancak, McLaughlin (2011), operatöründen uzakta olan ya da tamamen otonom olarak seyreden insansız suüstü araçların aptal araçlar olmadığını; gerekli sensörlerle donatılmış olduğunu ve bu sensörlerden gelen verilere göre işletildiğini belirtmiştir. Dolayısıyla bu gemileri kumanda altında olmayan ya da manevra kabiliyeti sınırlı tekne sınıfına sokmak doğru olmayabilir. Kaldı ki Kural 3 (g) bendinde manevra kabiliyeti sınırlı tekneler ayrıntılı olarak tanımlanmıştır ve bu tanımlardan hiçbiri insansız gemilere uymamaktadır. Bu durumda insansız gemilerin tanım bakımından COLREGs'le çelişen bir durum ortaya çıkarmadığını söyleyebiliriz. Ayrıca, McLaughlin bir geminin 'kumanda altında olmayan gemi' statüsünde olması geminin özel durum nedeniyle çatışmadan kaçınma manevrası yapamamasıyla ilgili olduğunu, gemide onu idare edecek insan olup olmamasıyla ilgili olmadığını belirtmektedir. McLaughlin'e (2011) göre kumanda, gemide insan olup olmamasından çok bir geminin gemi idare komutlarına tepki vermesiyle ilgilidir.

İnsansız gemilerin COLREGs kapsamında ele alınmasını güçleştiren ilk durum Kural 5'te yer alan Gözcülük şartıdır. COLREGs'te yer alan gözcülük kuralı, geminin içinde bulunduğu durumun değerlendirilmesi için görme ve işitme gözcülüğü yapmasını gerektirmektedir. Gogarty ve Hagger'e (2008) göre bu durumun insansız gemilerde nasıl değerlendirileceği belirsizdir. NAVSAC insansız deniz araçlarını gözcülük şartından muaf kılmak için COLREGs Kural 5'teki tekne sözcüğünden önce insanlı ibaresinin eklenmesini önermiştir (Allen, 2012, s. 751). Kural 5 görme ve işitme

gözcülüğü yapılması şartını getirmektedir ancak bu gözcülüğün çıplak göz ve kulakla mı yoksa araçlar aracılığıyla mı yapılacağını belirtmemektedir. Pritchett (2015, s. 204-5) insansız ya da otonom bir geminin sistemlerinin bu gözcülük görevini yerine getirip getiremeyeceğinin henüz açıklığa kavuşmadığından söz etmektedir. Yürürlükteki sözleşmeler ve bu konudaki içtihat gözcülüğün bu iş için özel görevlendirilmiş insanlarca yapılması gerektiği yönündedir. Ancak, içtihatı oluşturan davalardan bu yana teknolojiye yaşanan gelişmeler gemideki sensörler yoluyla yapılan bir görme ve işleme gözcülüğünün COLREGs Kural 5'teki gözcülük şartını karşılayabileceğini düşündürmektedir. Benzer biçimde McLaughlin (2011) de gemisini radardan takip eden bir vardiya zabitiyle, aynı işi kıyı kontrol merkezinden yapan bir operatör arasında gözcülük şartı açısından pek fark bulunmadığını ileri sürmektedir (s. 111). Pritchett (2015) da insansız sistemlerin yorucu ve sıkıcı bir görev olan gözcülük işini yorulmadan ve dikkati dağılmadan yapabildiği ve aynı anda çok sayıda nesnenin konumunu ve olası hareket rotasını hesaplayabildiği dikkate alındığında sözleşmelerdeki gözcülük maddelerinin değişmesi gerektiğini ileri sürmektedir (s. 205). Vallejo (2015) da gözcülük şartlarına ilişkin kurala bakıldığında, gemilerin insansız olabileceğinin hiç düşünülmediğinin, gemilerin seyir ve idaresinin insanlara bırakıldığının hatta seyirin bile insan özelliklerine dayalı seyir ve emniyet hükümlerine uygun olması gerektiğinin görüldüğünü ileri sürmektedir. Vallejo'ya (2015) göre COLREGs insansız gemilerin denizdeki aktivitelerini düzenlemeye uygun bir sözleşme değildir ve [otonom] makineler farklı tedbirlere tabi olmalıdır.

COLREGs'ten bağımsız olarak gözcülük gerektiren bir diğer uluslararası belge de SOLAS'tır. SOLAS Bölüm IV, Telsiz Haberleşmesi için nöbetçi bulundurulmasına ilişkin hükümler içerirken, Bölüm V seyir güvenliğinin sağlanmasına yönelik hükümler içermektedir. Fonksiyonel gereksinimleri içeren Kural 4, gemilerin birbirleriyle ve kıyıyla iletişim kurabilmeleri için sahip olmaları gereken imkân ve ekipmanla ilgili düzenlemeleri içermektedir. Ancak bu Kural personele ilişkin herhangi bir ifade içermemektedir. Kural 12 telsiz haberleşmesi için nöbetleri düzenlemektedir. Kural 12'ye göre her gemi denizde buldukları sürece, belirtilen devrelerde sürekli nöbet idame ettirerek taşıdıkları telsiz teçhizatının özelliklerine göre belirli frekansları dinleyecektir. Mantık olarak izleme nöbetlerini telsiz personelinin yapacağı varsayılmıştır ancak sözleşmenin metinleştirilmesinde bir personelden söz edilmemiştir. Dolayısıyla, bu dinleme nöbetlerini gemide bulunan bir telsiz personelinin tutmasıyla, kıyı kumanda merkezinde bulunan bir personelin tutması arasında herhangi bir fark oluşmayacağı düşünülebilir. Otonom gemilerde ise durum karmaşıklaşmaktadır. Uzaktan kumanda edilen bir geminin telsiz haberleşmesini kıyı kumanda merkezine aktarabileceği düşünüldüğünde, telsiz izleme nöbeti kıyı personeli tarafından yerine getirilebilmektedir. Ancak, otonom gemilerin böyle bir özellik taşıyıp taşımadığı, taşısa bile telsiz haberleşmesini kime aktaracağı belirsizdir. Özellikle COLREGs Kısım II'de belirtilen birbirini gören gemilerin nasıl davranacağına ilişkin kuralların uygulanması sırasında gemiler arasında iletişim gerçekleşebilir. Bu durumda otonom gemilerin nasıl davranacağına ilişkin elde veri yoktur. Ancak, gemiler tamamen otonom hareket etse bile, gemiyi işleten şirketin bir gemi ya da filo izleme merkezi oluşturup acil durumlara müdahale etmek için bekleyen personel çalıştıracağını düşünmek mantıklıdır. Bu durumda telsiz iletişiminin kıyı personeline iletileceği düşünülebilir.

SOLAS Bölüm V güvenli seyirle ilgili düzenlemeleri içermektedir. Kural 4 seyir güvenliğini olumsuz etkileyen herhangi bir tehlike hakkında bilgi alınması durumunda bu bilginin ilgililere ulaştırılmasını düzenlemektedir. Kuralın başlığı denizcilere ilanlar olarak düzenlendiği için insan faktörünü gözeten bir yorumlama yapılabilir. Ancak kural bu denizcilerin gemide olmalarını zorunlu tutmamaktadır. Dolayısıyla, ilanlar kıyı personeline de yapılabilecek ve böylelikle gemiyi kumanda eden operatörlerin olası tehlikelerden haberdar olması sağlanabilecektir. Kural 5 meteorolojik uyarıların gemilere iletilmesiyle ilgili düzenlemeleri içermektedir. Kural 4'tekine benzer şekilde gemilere iletilmek istenen meteorolojik uyarılar kıyı personeline iletilebilir ve gerekli önlemlerin alınması sağlanabilir. Kural 5'in 9. bendi kaptanların geminin bulunduğu bölgede belli seviyenin üzerinde rüzgâr tespit etmeleri halinde civardaki gemileri ve sahil istasyonlarını bilgilendirmesi konusunda teşvik edilmesini içermektedir. Kaptanın bu görevi insansız gemilerde kıyı kumanda merkezindeki personele aktarılabilir. Ancak, kural metninin bu haliyle insansız ve özellikle de otonom gemilere uygulanması sorunlara yol açabilir.

SOLAS Bölüm V Kural 31 yine tehlike mesajlarının iletilmesine yönelik düzenlemeleri içermekte ve seyir açısından tehlike arz eden bir olayla (fırtına, dondurucu soğuk hava koşulları, terk edilmiş bir cisim) karşılaşan bütün gemilerin kaptanlarına durumla ilgili bütün bilgileri ellerindeki bütün imkânlarla civardaki gemilere ve uygun makamlara iletme görevi yüklemektedir. Bu kuralın da insansız gemilere uygulanması sorunlara yol açabilir. Ancak geminin sensörlerinden ve sistemlerinden aldıkları bilgiler doğrultusunda tehlikeli bir durum olduğunu değerlendiren kıyı kumanda merkezindeki operatörler, geminin civarındaki diğer gemileri ve yetkilileri uyarabilir.

COLREGs Kural 6 çatışmayı önlemek üzere ilerlenecek hızla ilgili düzenlemeleri içermektedir. Emniyetli hızın saptanmasında dikkate alınacak faktörler tüm tekneler için (i) görüş durumu, (ii) [...] trafik yoğunluğu, (iii) [...] teknenin manevra yapabilme yeteneği, (iv) [...] arka cephe ışıklarının varlığı, (v) rüzgâr, deniz ve akıntının durumu ve seyir tehlikelerinin yakınlığı, (vi) o yerde var olan su derinliği ile tekne su çekiminin ilişkisi olarak belirlenmiştir. Kural'ın (a) bendinde yer alan faktörler geminin personelle donatılmasıyla ilgili faktörler değildir. Uzaktan kumanda edilen ya da otonom bir gemi tüm bu faktörleri, üzerinde bulunan sensör ve kameralar ile algılama ve seyir sistemlerinin hesaplama gücü sayesinde belki de insanlı gemilerden daha iyi ve hızlı biçimde değerlendirebilecek ve emniyetli hızı belirleyerek ya kıyı operatörüne emniyetli hızı bildirecek ya da otonom seyirdeyse gemiyi kendi kendine emniyetli hıza getirecektir. Alanyazında insansız ve otonom gemilerin COLREGs kurallarına uygun seyretmeleri ve çatışmalardan kaçınmaları için farklı algoritmalar geliştiren ve bunları insansız deniz araçları üzerinde deneyen çalışmalar mevcuttur (Benjamin ve Curcio, 2004; Benjamin, Curcio, Leonard ve Newman, 2006; Lee, Kwon ve Joh, 2004).

Emniyetli hız kuralının (b) bendi çalışır radarı olan tekneler için ek olarak (i) Radar cihazının karakteri, yeterlilik ve sınırlılığı, (ii) kullanılmakta olan radar mesafe ayarının zorunlu kıldığı kısıtlamalar, (iii) denizin durumu, hava ve diğer müdahale kaynaklarının radar, alıcılığı üzerindeki etkisi, (iv) Küçük tekneler buz ve diğer yüzer maddelerin yeterli bir radar mesafesinde, radar tarafından alınmaması durumu, (v) Radarda görülen teknelerin sayısı, buldukları yer ve hareketleri, (vi)

Yakın çevrede bulunan tekneler ve diğer maddelerin radar kullanılarak mesafesi saptanırken görüşün daha kesin olarak saptanmasına olanak bulunacağı gibi faktörlerin de göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir. Kuralın (a) bendine ilişkin yorumumuza benzer şekilde (b) bendinde de geminin personelle donatılmasına yani insan faktörüne ilişkin bir durum söz konusu değildir. Daha önce de belirttiğimiz gibi köprüdeki vardiya zabitanın radarı değerlendirmesiyle, kıyı kumanda merkezindeki bir personelin radarı değerlendirmesi arasında fark görünmemektedir.

COLREGs Kural 7 çatışma tehlikesiyle ilgili düzenlemeleri içermektedir ve çatışma tehlikesinin nasıl saptanacağını belirtmektedir. Kural 7’de çatışma tehlikesinin saptanmasında gözle izlemeden çok radar cihazından gerekli şekilde faydalanmaya atıfta bulunulmuştur. İnsansız gemilerin radar sistemleri son teknoloji cihazlar olacağından ve ayrıca bu gemilerde yüksek çözünürlüklü kameralar ve sensörler bulunacağından, insansız gemilerin çatışma tehlikesini önceden saptamak için elde mevcut araçların tümünü eş zamanlı olarak kullanma ve bu araçlardan gelen verileri hızlı bir biçimde işleme kapasitesi vardır. Ayrıca, insansız gemilerde kullanılan yapay-zekâ benzeri sistemler yüksek görüntü ve örüntü tanıma kapasiteleriyle ve yüksek işlem güçleriyle, meydana çıkabilecek çatışma tehlikelerini daha önceden ve daha yüksek bir kesinlikle kestirebileceklerdir.

COLREGs Kural 8 çatışmayı önleme hareketlerinin neler olacağını ve nasıl gerçekleştirileceklerini düzenlemektedir. Kural’ın (d) ve (e) bentleri gemi personelinin müdahalesini gerektirir gibi görünmektedir. Ancak bu işlemler kıyı kumanda merkezindeki operatör ya da geminin otonom sistemleri tarafından gerçekleştirilebilecek işlemlerdir. Kural’ın (d) bendinde çatışmayı önleme hareketinin başarılı olup olmadığını diğer tekne tam olarak geçilinceye ve neta oluncaya kadar dikkatle kontrol edilmesi gerektiğinden bahsedilmektedir. Bu kontrol köprüde bulunan kaptan ya da vardiya zabiti tarafından gerçekleştirilebileceği gibi, kıyı kumanda merkezindeki bir operatör ya da geminin otonom sistemleri tarafından da gerçekleştirilebilir. Kural’ın (e) bendi “Çatışmayı önlemek veya durumu değerlendirmek için biraz daha zaman kazanmak üzere, bir tekne gerekiyorsa yürütücü kuvvetlerini durdurarak veya geri çalıştırarak hızını azaltacak veya ilerleyişini durduracaktır” ifadesi geçmektedir. İnsansız gemiler sensörlerinden gelen bilgileri işlemleyerek ya da kıyı kumanda merkezine ileterek durum değerlendirmesi yapabilir ve gereken durumda yürütücü kuvvetlerini durdurarak ya da geri çalıştırarak hızını azaltabilir ya da ilerleyişini durdurabilir.

Vallejo (2015, s. 427), insansız gemilerin yazılımlarının COLREGs’teki kuralları dikkate almadığı durumlarda Kural 6, 7 ve 8’in sorunlara yol açabileceğini belirtmektedir. Aynı yazar, insansız deniz araçlarının en azından şimdilik COLREGs’e uygun olarak üretilmemeleri gerektiğini, bunun yerine insansız deniz araçlarına sahip devletlerin bu araçların diğer insanlı teknelerle bir arada kullanılabilmesi için özel kurallar üzerinde mutabakata varmaları gerektiğini ileri sürmektedir. Böyle bir yaklaşımın işleri daha da karıştıracığı açıktır. İnsansız gemi teknolojilerinin en başında bu araçların COLREGs’e uygun hareket etmelerine yönelik düzenlemelerin yapılması ve standartların belirlenmesi her ülkenin kendine özgü kurallar belirleyip birbiriyle uyumlulaştırmaya çalışmasından daha kolay ve daha az maliyet gerektiren bir iş olacaktır.

COLREGs Kısım II birbirini gören teknelerin davranışlarını belirlemektedir. Kural 13 bir tekneye yetişen başka bir teknenin davranışlarını açıklamaktadır. Bu davranış kuralları bir tekneye yetişip onu geçen bir teknenin, insanlı ya da insansız farketmeksizin, izleyeceği hareket biçimini ve manevraları belirlemekte ve kısıtlamaktadır. Kural 14 pruva pruvaya gelen gemilerin birbirlerine yaklaşımları durumunda nasıl hareket edileceğini belirtmektedir. İnsansız gemilerin, COLREGs kurallarına uygun biçimde hareket etmeleri durumunda, Kural 13 ve Kural 14 açısından herhangi bir sorun doğurmayacağı söylenebilir.

SOLAS Bölüm V’teki Kural 34 güvenli seyir yapmak ve tehlikeli durumlardan kaçınmak için seyir öncesinde kaptanın yapması gerekenleri düzenlemektedir. Kural’ın 1. bendi denize çıkmadan önce kaptanın planlanmış seyrin notik haritalar ve yayınlar kullanılarak planlanmış olduğundan emin olması gerektiğini belirtmektedir. Bu kural ilk aşamada insansız gemilere uygulanamaz görünse de seyir öncesinde kıyı kumanda merkezindeki bir personel geminin ilerleyeceği seyir bölgesine uygun notik haritalar ve notik yayınlar kullanılarak bir seyir planı yapıldığını denetleyebilir. Kural 34’ün 3. bendi gemi kaptanının seyir güvenliği veya deniz çevresinin korunması için karar almasını ve bunu uygulamasını gemi sahibi, şirket, kiralayan ya da başka bir kişinin engellemesine izin verilmeyeceğini belirtmektedir. Bu durum denizcilik geleneğinde yüzyıllardan beri süregelen kaptanın gemideki tek otorite olması ve denize açıldıktan sonra ne şirketin ne gemi sahibinin kaptanın kararları üzerinde söz sahibi olmamasıyla ilişkilidir. Bunun bir nedeni de özellikle iletişim teknolojilerinin bulunmadığı dönemlerde, gemi denize açıldıktan sonra gemi sahibinin ya da işletenin gemiyle irtibatının kesilmesidir. Ancak, insansız gemilerde kaptanın yerini aldığı söyleyebileceğimiz kıyı kumanda merkezlerinin genellikle işleten şirketlerin bünyelerinde bulunacağı öngörülmektedir. Böyle bir durumda ise kıyı kumanda merkezi çalışanları gemi sahibi ya da işletenin müdahalelerine daha açık hale gelmektedir. Denizdeki olağanüstü durumlar nedeniyle kaptana atfedilen olağanüstü yetkilerin bu personele verilmesi beklenemeyeceğinden SOLAS Bölüm V’teki bu kuralın insansız ve otonom gemileri kapsayamayacağını söyleyebiliriz.

İnsansız gemilerin karşılaşacağı en çetin hukuki sorunlardan biri kılavuzluk hizmetinin zorunlu olduğu durumlardır. SOLAS Bölüm V’teki Kural 6 buzdaki tehlikesine karşı Buzdaki Devriyesi Hizmeti’ni düzenlemektedir. Kuzey Atlantik’teki bu hizmet buzlanma koşullarını ve tehlikeleri buzlanma bölgesinden geçen gemileri bilgilendirmeyi amaçlamaktadır. İnsanlı gemilerde ilgili telsiz operatörüne yapılan bu bildirimlerin, uzaktan kumandalı ve otonom gemilerde nasıl iletileceği ya da doğru iletilip iletilmediği sorun teşkil edebilir. İnsansız gemilerin, gelen telsiz iletişimini doğrudan kıyı kumanda merkezine iletebilecekleri düşünülebilir. Bu durumda herhangi bir sorun olmayacaktır; ancak iletişim sorunu özellikle üzerinde durulması gereken bir konudur.

SOLAS Bölüm V’teki Kural 23 Kılavuz alma-vermeyi düzenlemektedir. Bu kurallar kılavuzların gemilere güvenle girebilmelerine ve ayrılabilmelerine, gemiye girdikten sonra güvenli bir güzergâh üzerinden köprü üstüne kadar eskortlanmasını sağlayacak bir zabitan bulunmasına ilişkin yönergeler içermektedir. İnsansız gemilerde herhangi bir zabitan bulunmayacağı, hatta gemide personel olmayacağı için geçiş yollarının bulunmayabileceği, köprü üstünün alışılmış gemilerden küçük olabileceği düşünüldüğünde kılavuzluk

hizmeti gerektiren bölgelerde bu gemilerin kullanımının güçlük doğuracağı ve belki de sorunlara yol açabileceği düşünülebilir. Ancak, gerekli ya da acil durumlarda insansız gemilere personel

çıkartılıp manuel seyir sağlanabileceği alanyazında belirtildiğinden, bu sorunun da şirket personelinin gemiye gönderilmesiyle aşılabileceği söylenebilir.

4. Sonuç

İnsansız deniz araçlarının bir gemi olarak kabul edilip edilmeyeceği gemi tanımlarına göre belirlenebilir. Yaptığımız değerlendirmede denizcilikle ilgili uluslararası ve ulusal belge ve mevzuattaki gemi ya da tekne tanımlarının insansız gemileri de kapsayacak kadar esnek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla insansız gemiler tanım açısından hukuki bir zorluk doğurmamaktadır.

Ancak, özellikle personelle donatma konusunda hem uluslararası hem de ulusal mevzuatta sorunlarla karşılaşmak olasıdır. Her ne kadar UNCLOS gibi uluslararası belgeler asgari personelle donatma kısıtlaması getirmese de bayrak devletlerine bu konuda düzenleme yapma yetkisi vererek ülkelerin bu konudaki uygulamaları arasında farklılıklar oluşmasına neden olmaktadır. Bazı ülkeler her gemi türü için asgari personel sayısını belirleyerek katı bir yol izlerken, bazı ülkeler geminin türünden çok çıkılan seferin özelliklerine göre daha esnek bir yol izlemektedir. Dolayısıyla, personelle donatma açısından insansız gemilerin sorunsuz olduğunu söylemek güçtür.

Ayrıca, COLREGs ve SOLAS sözleşmelerinde yer alan gözcülük ve iletişim ve kılavuzluk gibi konularda insansız gemilerin sorun çıkarabileceği görülmüştür. Mevcut uluslararası düzenlemeler ve mevzuat denizciliğin bin yılları bulan tarihine dayandığı için bu düzenlemeler ve mevzuat gemilerin insanlar tarafından sevk ve idare edildiği varsayımına göre oluşturulmuşlardır. Bu metinlerde insan sözcüğü doğrudan geçmese de bazı maddelerin yazılış biçimi gemilerde insan olmazsa olmazmış gibi sezdirmektedir. Sözgelimi, COLREGs'in gözcülükle ilgili kuralında insana atıfta bulunulmasa bile, fiziksel görme ve işitme yoluyla gözcülük ifadesi, geminin belli noktalarında bulunan insanlar tarafından gözle ve kulakla yapılan gözcülüğü düşündürmektedir. Bu bakımdan bu maddeler sorun oluşturabilir.

İnsansız gemilerin COLREGs'te belirtilen çatışmayı önleme hareketleri ve birbirini gören gemilerin davranış biçimlerine uygun davranıp davranmayacağı henüz bilinmemektedir. Dolayısıyla, insansız gemiler COLREGs'in ikinci kısmındaki seyir kuralları bakımından zorluk doğurabilir. Alanyazında insansız deniz araçlarını COLREGs uyumlu yapma yönünde çalışmalar vardır ancak Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün bu konuda henüz bir girişimi yoktur.

Mevcut uluslararası ve ulusal çerçevenin insansız deniz araçlarının statülerini belirlemek için uygun olduğunu söylemek güçtür. Daha önce de belirttiğimiz gibi mevcut çerçeve denizciliğin insana dayalı bir sektör olduğu kabulüyle işlemektedir. Ayrıca, insansız gemilerin ticari kullanımı yeni bir olgu olduğu için, henüz yeterince içtihat oluşmamıştır. Her ne kadar UNCLOS gibi uluslararası sözleşmeler kısıtlayıcı olmaktan kaçınmak için daha esnek ifadeler kullansalar da olası bir deniz olayının yorumlanmasında, yorumlayan kişinin denizciliğe ve insansız gemilere bakış açısının önemli olduğu açıktır. Alanyazında da bunun örnekleri görülmektedir. Sözgelimi Gogarty ve Hagger (2008) insansız araçların güven vermeyen, kusur, hata ve kazalara açık araçlar olduğunu ileri sürmekte ve bu araçların sivil alanda kullanımının bazı sorunlara

yol açmasının doğal olduğunu ileri sürmüşlerdir. Buna karşın McLaughlin (2011), insansız gemilerin kazaların temel nedeni olan insan hatası unsurunu ortadan kaldırma potansiyeline sahip olduğunu, ayrıca tam otonom bir gemide bile izlenebilir bir sorumluluk zincirinin bulunduğunu belirtmiştir. Uluslararası ve ulusal mevzuatın insansız gemilerin statüsünü belirlemek için uygun olup olmadığı göreceli bir durumdur. Bu görecelilik hem yorumlayan kişinin insansız gemiler ve denizcilik sektörü hakkındaki görüş, düşünce ve deneyimlerine dayanmaktadır hem de hangi uluslararası belge ya da hangi ulusal mevzuat çerçevesinden baktığınıza dayanmaktadır. Eğer daha muhafazakâr bir yapıda ve yeniliğe kapalı bir yorumcu varsa insansız gemilerin mevcut mevzuata uymayacağı açıktır. Ancak yeniliğe açık bir yorumcu varsa, mevcut mevzuat en uç noktasına kadar esneterek insansız gemiler için, tamamen olmasa da büyük oranda uygun hale getirilebilir. Bu farklılık temel alınan belgelerde de görülmektedir. UNCLOS gibi daha kapsayıcı bir belgede gemilerin insanlı olmasına ilişkin herhangi bir ibare yoktur. Ancak SOLAS ya da STCW gibi doğrudan can emniyetini ya da gemiadamlarının eğitimi gibi konuları ilgilendiren sözleşmeler ele alınırsa insansız gemilerin karıştığı deniz olaylarını yorumlamada farklılık görülmesi kaçınılmaz olmaktadır.

İnsansız gemilerin karışmaları statülerinin daha kesin olarak belirlenebilmesi için, bazı uluslararası belgelerde ve ulusal mevzuatların çoğunda değişikliğe gidilmesi kaçınılmaz görünmektedir. Uluslararası deniz hukukunun tarihçesi yenilikçi teknolojik dönüm noktalarının neden olduğu sıçramalarla doludur. Sözgelimi modern yolcu gemilerinin ortaya çıkması ve bunların karıştığı kazalar SOLAS'ın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Buhar kazanlı gemilerin yaygınlaşmasıyla çatışmalar artmış, bu da beraberinde COLREGs sözleşmesini getirmiştir. İnsansız gemiler de benzer şekilde yeni düzenlemeler ya da mevcut düzenlemelerde değişiklikler gerektirecektir. Bunlardan en önemlisi geminin sevk ve idaresinde insan faktörünü ön plana koyan asgari personelle donatma şartlarıdır. Gemilerde uzun yıllardan beri var olan otomatikleşme süreci neredeyse insanlı ve insansız gemiler arasındaki ayrımı belirsizleştirmiştir, ancak mevzuat bu gelişimin gerisinde kalmıştır. Bazı ülkelerin, daha yeni kanunlarında bu otomatikleşme sürecinin gerektirdiği değişiklikler yer almaktadır. Sözgelimi, Türkiye Cumhuriyeti mevzuatında yer alan Gemilerin Gemiadamları ile Donatılmasına İlişkin Yönerge, makine dairesinin 24 saat insansız bırakılabileceğini öngören düzenlemeler içerirken, köprünün insansız bırakılabileceği olasılığı düşünülmemiştir. Ayrıca, her ülkenin mevzuatı bu tür yeni teknolojilerin etkilerini göz önünde bulundurmayabilir. Bu bağlamda uluslararası düzenlemelerin özellikle uzaktan kumanda edilen insansız gemilerin, aslında insanlı gemiler gibi kabul edilebileceğini çünkü gemi üzerinde bulunan personelin görevlerinin kıyı kumanda merkezindeki personele aktarıldığını kabul etmesi ve buna göre düzenlenmesi gerektiğini söyleyebiliriz. COLREGs ve SOLAS'taki gözcülük ve iletişim nöbeti gibi kuralların insanların gemideki fiziksel varlığını gerektirmediği anlayışıyla tekrar yazılması yerinde olacaktır. Ayrıca, deniz kazalarını özellikle ilgilendiren COLREGs'in insansız gemilere uygun hale, insansız gemilerin de COLREGs'e uygun hale getirilmesi

yapılacak değişikliklerin yükünü hafifletmek için kaçınılmaz görülmektedir.

Kaynakça

- Allen, C. H. (2012). The Seabots are Coming Here: Should they be Treated as 'Vessels'? *Journal of Navigation*, 65, 749-752. doi:10.1017/S0373463312000197
- Allen, C. H. (2018). Determining the Legal Status of Unmanned Maritime Vehicles: Formalism vs Functionalism. *SSRN Electronic Journal*, 49(4).
- Appian. (1899). *The Foreign Wars*. (H. White, Haz.) New York: The MacMillan Company.
- Arrian. (1893). *Arrian's Anabasis of Alexander; and, Indica*. (E. J. Chinnock, Çev.) London: G. Bell & Sons.
- Batı, S., Oğul, H. A., Karaçizmeli, C., & Tükel, D. (2013). Human-Computer Interface for Doğuş Unmanned Sea Vehicle. *Robotic Sailing 2012: Proceedings of the 5th International Robotic Sailing Conference* (s. 61-71). Berlin: Springer.
- Benjamin, M. R., & Curcio, J. A. (2004). COLREGS-based navigation of autonomous marine vehicles. 2004 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles (IEEE Cat. No.04CH37578) (s. 32-39). Sebasco: IEEE. doi:10.1109/AUV.2004.1431190
- Benjamin, M. R., Curcio, J. A., Leonard, J. J., & Newman, P. M. (2006). Navigation of unmanned marine vehicles in accordance with the rules of the road. *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (s. 3521-3587). Florida: IEEE. doi:10.1109/ROBOT.2006.1642249
- Bertram, V. (t.y.). *Unmanned Surface Vehicles – A Survey*. (Erişim tarihi: 21 Aralık 2020, http://www.skibstekniskelskab.dk/public/dokumenter/Skibs_teknisk/Download%20materiale/2008/10%20marts%2000)
- Breivik, M. (2010, Haziran). *Topics in Guided Motion Control of Marine Vehicles*. Norwegian University of Science and Technology.
- Caccia, M. (2006). *Autonomous Surface Craft: prototypes and basic research issues*. 14th Mediterranean Conference on Control and Automation, (s. 1-6). Ancona.
- Technology University. (2020, Nisan 12). *Are Robots Taking Our Jobs? Our Future with Unmanned Systems*. Capitol Technology University. (Erişim tarihi: 20 Aralık 2020, <https://www.capttechu.edu/blog/are-robots-taking-our-jobs-our-future-unmanned-systems>)
- Canada Marine Act, S.C. 1998, c. 10
- Carey, L. (2017). *All Hands off Deck? The Legal Barriers to Autonomous Ships*. NUS Centre for Maritime Law Working Paper, ss. 1-31. doi:http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3025882
- Casey, B. (2019). *Robot Ipsa Loquitur*. *Georgetown Law Journal*.
- Chircop, A. (2017). *Testing International Regimes: The Advent of Automated Commercial Vessels*. A. Arnould, K. Decken, & N. Matz-Lück içinde, *German Yearbook of International Law* (Cilt 60, s. 109-142). Berlin, Duncker & Humbold.
- CMI. (2018). *CMI Position Paper On Unmanned Ships*. Anvers: Comité Maritime International.
- Coggeshall, J. L. (1997). *The Fireship and Its role in the Royal Navy*. Texas: Yayınlanmamış yüksek lisans tezi.
- Corfield, S. J., & Young, M. J. (2006). *Unmanned surface vehicles - game changing technology for naval operations*. G. N. Roberts, & R. Sutton içinde, *Advances in Unmanned Marine Vehicles* (s. 311-328). London: The Institution of Engineering and Technology.
- Coşkun, İ., Egemen, Ü. G., & Bolat, F. (2019). *İnsansız Gemilerin Mevzuat Açısından İncelenmesi*. 3rd Global Conference on Innovation in Marine Technology and Future of Maritime Transportation (s. 396-405). İzmir: UCTEA.
- Curcio, J., Leonard, J., & Patrikalakis, A. (2005). *SCOUT - a low cost autonomous surface platform for research in cooperative autonomy*. *Proceedings of OCEANS 2005 MTS/IEEE*, (s. 725-729). Washington, DC.
- Danish Maritime Authority. (2017). *Analysis of Regulatory Barriers to the Use of Autonomous Ships Final Report*. Kopenhagen: Danish Maritime Authority.
- Davis, J. L. (2011). *The (Common) Law of Man Over (Civilian) Vehicles Unmanned*. *Journal of Law, Information and Science*, Vol. 21, No. 2, pp. 1-15.
- Deketelaere, P. (2017). *The Legal Challenges of Unmanned Vessels*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Belçika: Gent Üniversitesi, Deniz Bilimleri Yüksek Lisans Programı.
- Doğan, K. (2019). *İnsansız Suüstü Araçlarının Tarihsel Gelişimi*. *Mavi Vatan*, 1, 42-45.
- EASA. (2020). *Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and (EU) 2019/945)*.
- Eisenberg, K. C. (2005). *Development and Evaluation of USSV Recovery Mechanism*. ASNE Launch and Recovery Conference.
- etymonline. (2020). *Etymonline.com – çevrimiçi etimoloji sözlüğü*. "robot". (Erişim tarihi: 15 Ocak 2021, <https://www.etymonline.com/search?q=robot>)
- Everett, H. R. (2015). *Unmanned Systems of World Wars I and II*. Boston: MIT Press.
- Ferreira, F., Alves, J., Bertolini, A., & Bargelli, E. (2018). *Liability Issues of Unmanned Surface Vehicles*. *OCEANS 2018 MTS/IEEE* (s. 1-6). Charleston: IEEE.
- Gage, D. W. (1995). *UGV History 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts*. *Unmanned System Magazine*, 13(3), 1-10.
- Gogarty, B., & Hagger, M. (2008). *The Laws of Man over Vehicles Unmanned: The Legal Response to Robotic Revolution on Sea, Land and Air*. *Journal of Law, Information and Science*, 73-145.
- Gogarty, B., & Robinson, I. (2011/2012). *Unmanned Vehicles: A (Rebooted) History, Background and Current State of the Art*. *Journal of Law, Information and Science*, 21(2), 1-34.
- Gonzalez, N. (2019). *Legal challenges of liability in collisions arising from the development of autonomous and unmanned shipping- International and Norwegian perspective*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Oslo Üniversitesi.
- Gray, E. (2004). *Nineteenth Century Torpedoes and Their Inventors*. Maryland: Naval Institute Press.
- Grifford, D. G. (2018). *Technological Triggers to Tort Revolutions: Steam Locomotives, Autonomous Vehicles, and Accident Compensation*. *Journal of Tort Law*, 11(1), 71-143.
- Hanna, K. L. (2014). *Old Laws, New Tricks: Drunk Driving and Autonomous Vehicles*. *Jurimetrics*, 55, 275-289.
- Heo, J., Kim, J., & Kwon, Y. (2017). *Analysis of Design Directions for Unmanned Surface Vehicles (USVs)*. *Journal of Computer and Communications*, 5, 92-100.
- Hoem, A. S., Fjortoft, K. E., & Rodseth, O. J. (2019). *Addressing the Accidental Risks of Maritime Transportation: Could Autonomous Shipping Technology Improve the Statistics?*. *TransNav, the International Journal*

- on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 13(3), 487-494.
- Hogg, T., & Ghosh, S. (2016). Autonomous merchant vessels: examination of factors that impact the effective implementation of unmanned ships. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 8(3), 206-222.
- Jha, A. R. (2016). *Theory, design, and applications of unmanned aerial vehicles*. Boca Raton, FL: CRC Press / Taylor & Francis Group.
- Jokioinen, E. (2016). Remote and autonomous ships - the next steps. Whitepaper. (Erişim tarihi: 8 Ocak 2021, <http://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>)
- Katsivela, M. (2018). The Effect of Unmanned Vessels on Canadian Law: Some Basic. *Maritime Safety and Security Law Journal*, 4, 47-62.
- Kelly, J. (2004). *Gunpowder: alchemy, bombards, and pyrotechnics: the history of explosive that changed the world*. New York: Basic Books.
- Lee, S., Kwon, K., & Joh, J. (2004). A Fuzzy Logic for Autonomous Navigation of Marine Vehicles Satisfying COLREG Guidelines. *International Journal of Control Automation and Systems* (2), 171-181.
- Levush, R. (2016). *Regulation of Drones*. The Law Library of Congress, Global Legal Research Center.
- Lloyd's Register. (2016). *ShipRight Procedure - Autonomous Ships*. Lloyd's Register.
- Luzuriaga, M., Heras, A., & Kunze, O. (2019). Hurting others vs. hurting myself, a dilemma for our autonomous vehicle. *SSRN Electronic Journal*, March.
- Manley, J. E. (1997). Development of the autonomous surface craft "ACES". *Oceans '97. MTS/IEEE Conference Proceedings*, (s. 827-832). Halifax.
- Manley, J. E. (2008). *Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development*. OCEANS 2008 (s. 1-4). Quebec: IEEE.
- Marincic, A., & Budimir, D. (2008). Tesla's multi-frequency wireless radio controlled vessel. 2008 IEEE History of Telecommunications Conference, (s. 24-27). Paris.
- McLaughlin, R. (2011). Unmanned Naval Vehicles at Sea: USVs, UUVs and the Adequacy of the Law. *Journal Law, Information and Science*, 21(2), 100-115.
- Merchant Shipping Act, 1995 c. 21.
- Mobilicom. (2020, Nisan 27). *Robotics/Unmanned Vehicles*. Erişim: 02 Ocak 2021, <https://www.mobilicom.com/roboticsunmanned-vehicles>
- MUNIN. (2020). *Research in maritime autonomous systems project results and technology potentials*. (Erişim tarihi: 05 Ocak 2021, <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf>)
- Murphy, R. R., Tadokoro, S., & Kleiner, A. (2016). *Disaster robotics*. B. Sciliano, & O. Khatib (haz.), Springer Handbook of Robotics içinde (s. 137-162). Cham: Springer.
- National Research Council. (2005). *Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations*. Washington, DC.: The National Academies Press.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30(3), 286-297.
- Petrig, A. (2020). *The Commission of Maritime Crimes with Unmanned Systems: An Interpretive Challenge for UNCLOS*. M. D. Evans, & G. Sofia (haz.), *Maritime Security and the Law of the Sea: Help or Hindrance?* içinde (s. 104-130). Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Pritchett, P. W. (2015). *Ghost Ships: Why the Law Should Embrace Unmanned Vessel Technology*. *Tulane Maritime Law Journal*, 40(1), 197-225.
- Rapp, G. C. (2012). *Unmanned Aerial Exposure: Civil Liability Concerns Arising from Domestic Law Enforcement Employment of Unmanned Aerial Systems*. *North Dakota Law Review*, 85, 623-648.
- Ringbom, H. (2019). *Regulating Autonomous Ships—Concepts, Challenges and Precedents*. *Ocean Development & International Law*. doi:<https://doi.org/10.1080/00908320.2019.1582593>
- Roberts, G. N., & Sutton, R. (2008). Editorial: navigation, guidance and control of unmanned marine vehicles. G. N. Roberts, & R. Sutton (haz.), *Advances In Unmanned Marine Vehicles* içinde (s. 1-12). London: IET.
- Rodriguez Delgado, J. P. (2018). *The Legal Challenges of Unmanned Ships in the Private Maritime Law: What Laws Would You Change?* M. Musi (haz.) *Port, Maritime and Transport Law Between Legacies of the Past and Modernization (Cilt 5)* içinde (ss. 493-523). Bologna: Bonomo.
- Rodseth, O. J., & Nordahl, H. (2017). *Definition of autonomy levels for merchant ships*. Trondheim: Norwegian Forum for Autonomous Ships.
- Rolls Royce. (2018, Aralık 3). *Rolls-Royce and Finferries demonstrate world's first Fully Autonomous Ferry*. (Erişim tarihi: 12 Ocak 2021, <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx>)
- Schiaretti, M., Chen, L., & Negenborn, R. R. (2017). *Survey on Autonomous Surface Vessels: Part I - A New Detailed Definition of Autonomy Levels*. *Proceedings of 8th International Conference on Computational Logistics (ICCL 2017)*. (s. 219-233). Southampton: Springer.
- Sehrawat, V. (2018). *Liability Issue of Domestic Drones*. *Santa Clara High Technology Law Journal*, 35(1), 110-134.
- Si, K. (2019). *China's first autonomous cargo ship makes maiden voyage*. (Erişim tarihi: 18 Aralık 2020, <https://www.seatrade-maritime.com/technology/chinas-first-autonomous-cargo-ship-makes-maiden-voyage>)
- Skredderberget, A. (2018). *The first ever zero emission autonomous ship*. (Erişim tarihi: 17 Aralık 2020, <https://www.yara.com/knowledge-grows/game-changer-for-the-environment/>)
- Takemura, H. (2014). *Unmanned Aerial Vehicles: Humanization from International Humanitarian Law*. *Wis. Int'l LJ*(32), 521-546.
- Tanakitkorn, K. (2019). *A review of unmanned surface vehicle development*. *Maritime Technology and Research*, 1(1), 2-8.
- Termayne, M., & Clark, A. (2013). *New Perspectives from The Sky: Unmanned Aerial Vehicles and Journalism*. *Digital Journalism*, 2(2), 232-246.
- Tranter, K. (2016). *The challenges of autonomous*. *QUT Law Review*, 16(2), 59-81.
- Türk Ticaret Kanunu, Madde 931. RG, 14 Şubat 2011, Sayı 27846.
- U.S. Department of The Navy. (2004). *The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan*. State Department of The Navy.

- United States Joint Task Force One. (1946). Operation Crossroads, the official pictorial record. New York: W. H. Wise & Co.
- Valavanis, K. P., & Vachtsevanos, G. J. (2015). Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Dordrecht: Springer.
- Vallejo, D. (2015). Electric Currents: Programming Legal Status into Autonomous Unmanned Maritime Vehicles. Case Western Reserve Journal of International Law, 47(1), 405-428.
- van Hooydonk, E. (2014). The law of unmanned merchant shipping - an exploration. Journal of International Maritime Law (20), 403-423.
- Var Türk, K. (2019). Deniz Haydutluğu ve Siber Güvenlik Bakımından Uluslararası Deniz Hukuku Çerçevesinde bir Değerlendirme: İnsansız Gemiler. DEHUKAMDER, 2(2), 495-517.
- Yara. (2020). Yara Birkeland press kit. (Erişim tarihi: 11 Aralık 2020, <https://www.yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>)
- Yarkın, D. Ş., Baylan, S. B., & Yarkın, D. B. (t.y.). Yorum ve açıklamalarıyla denizde çatışmayı önleme tüzüğü.
- Yaşar, E. (2020). Sürü Robotların Hareket Planlamada Kullanılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (20), 24-29.
- Zhixiang, L., Youmin, Z., Xiang, Y., & Chi, Y. (2016). Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. Annual Reviews in Control, 41, 71-93.



Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter For High-Density Salt-and-Pepper Noise Removal in Grayscale Images

Samet Memiş^{1*}, Uğur Erkan²

¹ Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Çanakkale, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0958-5872), samettmemis@gmail.com

² Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Karaman, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2481-0230), uerkan80@gmail.com

(First received 2 February 2021 and in final form 4 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.873312)

ATIF/REFERENCE: Memiş, S., & Erkan, U., (2021). Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter For High-Density Salt-and-Pepper Noise Removal in Grayscale Images. *European Journal of Science and Technology*, (23), 359-367.

Abstract

This paper proposes a new filter, Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter (DAMRmF), for high-density salt-and-pepper noise (SPN) removal. DAMRmF operationalizes a pixel weight function and adaptivity condition of Adaptive Median Filter (AMF). In the simulation, the proposed filter is compared with Adaptive Frequency Median Filter (AFMF), Three-Values-Weighted Method (TVWM), Unbiased Weighted Mean Filter (UWMF), Different Applied Median Filter (DAMF), Adaptive Weighted Mean Filter (AWMF), Adaptive Cesáro Mean Filter (ACmF), Adaptive Riesz Mean Filter (ARmF), and Improved Adaptive Weighted Mean Filter (IAWMF) for 20 traditional test images with noise levels from 60% to 90%. The results show that DAMRmF outperforms the state-of-the-art filters in terms of Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity (SSIM) values. Moreover, DAMRmF also performs better than the state-of-the-art filters concerning mean PSNR and SSIM results. We finally discuss DAMRmF for further research.

Keywords: Salt-and-pepper noise, Non-linear functions, Noise removal, Matrix algebra, Image denoising, Riesz mean.

Gri Tonlamalı Görüntülerdeki Yüksek Yoğunluklu Tuz ve Biber Gürültüsünü Kaldırmak için Farklı Uyarlamalı Modifiye Riesz Ortalama Filtresi

Öz

Bu makale, yüksek yoğunluklu tuz ve biber gürültüsünün (SPN) giderilmesi için yeni bir Farklı Uyarlamalı Modifiye Riesz Ortalama Filtresi (DAMRmF) önermektedir. DAMRmF, bir piksel ağırlık fonksiyonu ve Uyarlamalı Medyan Filtresinin (AMF) uyarlanabilirlik koşulunu çalıştırır. Deneysel çalışmada önerilen filtre, %60 ve %90 kadar çeşitli gürültü yoğunluklarındaki 20 geleneksel test görüntüsü için Uyarlanabilir Frekans Medyan Filtresi (AFMF), Üç Değerli Ağırlıklı Yöntem (TVWM), Tarafsız Ağırlıklı Ortalama Filtresi (UWMF), Farklı Uygulanan Medyan Filtresi (DAMF), Uyarlamalı Ağırlıklı Ortalama Filtresi (AWMF), Uyarlamalı Cesáro Ortalama Filtresi (ACmF), Uyarlamalı Riesz Ortalama Filtresi (ARmF) ve Geliştirilmiş Uyarlamalı Ağırlıklı Ortalama Filtresi (IAWMF) karşılaştırılır. Sonuçlar, DAMRmF'nin Tepe Sinyal-Gürültü Oranı (PSNR) ve Yapısal Benzerlik (SSIM) değerleri açısından son teknoloji filtrelerden daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Ayrıca, ortalama PSNR ve SSIM sonuçlarına göre de DAMRmF son teknoloji filtrelerden daha iyi performansa sahiptir. Son olarak, gelecek çalışmalar için DAMRmF'yi tartışıyoruz.

Anahtar Kelimeler: Tuz ve biber gürültüsü, Lineer olmayan fonksiyonlar, Gürültü kaldırma, Matris cebiri, Gürültü giderme, Riesz ortalama.

* Corresponding Author: samettmemis@gmail.com

1. Introduction

A great variety of the images such as medical images (Öziç & Özşen, 2020), astronomical images (Hausen & Robertson, 2020), and satellite images (Zeren et al., 2020) can be acquired thanks to the development of technology. During the acquisition and transfer of these images, some corruption called noise may occur (Erkan & Gökrem, 2018). There are various noise types such as additive noise, Gaussian noise, impulse noise, and speckle noise affecting the images' quality. Random valued impulse noise (RVIN) and fixed valued impulse noise (or salt-and-pepper noise) (SPN) are two types of impulse noise. RVIN replaces the images' pixels with a random pixel value, while SPN does with a minimum or maximum pixel value (Gonzalez & Woods, 2018). The minimum and maximum pixel values are 0 and 255 for an 8-bit greyscale image, respectively. SPN results from reasons such as sensors, electrical conditions, and transmission errors. The SPN is observed as white (255) and black (0) dots in the images. Therefore, the term "Salt-and-pepper noise" comes from there.

Recently, various approaches have been proposed to remove SPN. Standard Median Filter (SMF) (Tukey, 1977; Pratt, 1975) and Adaptive Median Filter (Hwang & Haddad, 1995) are pioneer approaches and commonly employed for SPN removal. SMF utilizes fixed window size (3×3 , 5×5 , and 7×7 , etc.) and is applied to all pixels. Unlike SMF, AMF using adaptive window size determines the pixels as noisy or noise-free and is implemented to only noisy pixels. Adaptive Weighted Mean Filter (AWMF) (Zhang & Li, 2014) and Unbiased Weighted Mean Filter (UWMF) (Kandemir et al., 2015) are designed to remove high-density SPN. AWMF firstly specifies the adaptive window size by constantly augmenting the window size till consecutive windows' maximum and minimum values are equal. If the considered pixel equals the maximum or minimum values, it may be a noisy pixel. If not, it is regarded as a noise-free pixel. Afterwards, possible noisy pixel replaces with the weighted mean of noise-free pixels. Here, it must be noted that the weighted mean accepts the weight of noisy pixels as 0 and those of the noise-free pixels as 1. UWMF has three phases for image denoising: It determines noisy pixels, recalibrates the pixel weights, and likely noisy pixel is replaced by recalibrated weighted mean.

One of the other image denoising filters implementing weighted mean is Three-Values-Weighted Method (TVWM) (Lu et al., 2016). In the first phase, it uses a variable-size local window to analyze all extreme pixels. TVWM then classifies non-extreme pixels and locates them in the maximum, middle, or minimum groups. Using the weights obtained from distribution ratios of these groups, non-extreme pixels are weighted. The noisy pixel in the centre of the window is restored by employing these weighted values.

Different Applied Median Filter (DAMF) (Erkan et al. 2018) is one of the state-of-the-art SPN filters. It bases on the median function and an adaptive window according to whether all pixels in the considered window are zero or not. Thus, it outperforms many filters at low-density, middle-density, and high-density SPN. AWMF performs better than DAMF at high-density SPN while DAMF does not achieve. DAMF's this deficiency has been eliminated by operationalizing Cesáro mean (arithmetic mean) instead of median and increasing adaptive windows, and Adaptive Cesáro Mean Filter (ACmF) (Enginoğlu et al., 2020) has been suggested. ACmF accepts the weights of the noisy-free pixels as 1. To consider the weights of the noise-free pixels concerning the centre pixel in the window, a pixel similarity-based Adaptive

Riesz Mean Filter (ARmF) (Enginoğlu et al., 2019) has been introduced. ARmF avails of the pixel similarity that calculates the similarity between the considered pixel and centre pixel in the window. If the pixels' locations are close to each other, it produces a value close to 1. ARmF, firstly, constructs a binary matrix detecting the noisy pixels. It then produces a new pixel value for each noisy pixel thanks to the pixel similarity of noise-free pixels to the centre and adaptive windowing concerning whether the window is equal to a zero matrix or not. In this way, ARmF achieves better Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity (SSIM) (Wang et al., 2004) results than SMF, AMF, AWMF, and DAMF. Combining this filtering success of ARmF with the windowing advantage of AWMF, a novel high-density-SPN filter, namely Improved Adaptive Weighted Mean Filter (IAWMF) (Erkan et al., 2020b), has been offered. As distinct from ARmF, IAWMF employs Euclidean pixel similarity to weight the noise-free pixels. Integrating this weighting process into AWMF, IAWMF outperforms AWMF, DAMF, and ARmF at any noise densities. Utilizing a new median named frequency median, an Adaptive Frequency Median Filter (AFMF) (Erkan et al., 2020a), an improved version of AMF, has been developed. AFMF produces better PSNR and SSIM rates than SMF, AMF, and DAMF developed through standard median function.

In this study, we aim to avail of the adaptivity condition of AMF and pixel similarity of ARmF. We develop a high-density SPN filter, i.e., Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter (DAMRmF). DAMRmF generates better PSNR and SSIM values than AFMF, TVWM, UWMF, DAMF, AWMF, ACmF, ARmF, and IAWMF at noise levels ranging from 60% to 90% for 20 traditional test images (Weber, 1997).

The rest of the paper is organized as follows: In Section 2, the basic definitions and notations needed in the following sections are presented. In Section 3, a novel SPN filter, DAMRmF, is proposed. In Section 4, an experimental study is carried out to demonstrate the proposed filter outperforms the state-of-the-art filters. Finally, the discussions and concluding remarks related to DAMRmF are provided for further research.

2. Basic Definitions and Notations

Definition 2.1 Let $A := [a_{ij}]_{m \times n}$ be an image matrix (IM) such that a_{ij} is an unsigned integer number and $0 \leq a_{ij} \leq 255$. Then, a_{ij} is called a noisy entry of A if $a_{ij} = 0$ or $a_{ij} = 255$; otherwise, a_{ij} is called a regular entry of A .

Definition 2.2 Let A be an IM. Then, A is called a noise image matrix (NIM) if for some i and j , a_{ij} is a noisy entry of A .

Definition 2.3 Let $A := [a_{ij}]_{m \times n}$ and $t \in \{1, 2, \dots, \min\{m, n\}\}$. Then, the matrix $[\bar{a}_{rs}]_{(m+2t) \times (n+2t)}$ called t -symmetric pad matrix of A is denoted by \bar{A}_{t-sym} (or briefly \bar{A}_t) and is defined as follows:

$$\begin{bmatrix}
 a_{tt} & \dots & a_{t1} & a_{t1} & a_{t2} & \dots & a_{tn} & a_{tn} & \dots & a_{t(n-t+1)} \\
 \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_{1t} & \dots & a_{11} & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & a_{1n} & \dots & a_{1(n-t+1)} \\
 a_{1t} & \dots & a_{11} & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & a_{1n} & \dots & a_{1(n-t+1)} \\
 a_{2t} & \dots & a_{21} & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & a_{2n} & \dots & a_{2(n-t+1)} \\
 a_{3t} & \dots & a_{31} & a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3n} & a_{3n} & \dots & a_{3(n-t+1)} \\
 \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_{mt} & \dots & a_{m1} & a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} & a_{mn} & \dots & a_{m(n-t+1)} \\
 a_{mt} & \dots & a_{m1} & a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} & a_{mn} & \dots & a_{m(n-t+1)} \\
 \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_{(m-t+1)t} & \dots & a_{(m-t+1)1} & a_{(m-t+1)1} & a_{(m-t+1)2} & \dots & a_{(m-t+1)n} & a_{(m-t+1)n} & \dots & a_{(m-t+1)(n-t+1)}
 \end{bmatrix} \tag{1}$$

Definition 2.4 Let A be an NIM. Then, the matrix $B := [b_{ij}]_{m \times n}$ is called a binary matrix of A where

$$b_{ij} = \begin{cases} 0, & a_{ij} \text{ is a noisy entry of } A \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Example 2.1 Let $A := \begin{bmatrix} 255 & 87 & 89 \\ 45 & 255 & 0 \\ 100 & 22 & 63 \end{bmatrix}$. Then,

$$\bar{A}_2 = \begin{bmatrix} 255 & 45 & 45 & 255 & 0 & 0 & 255 \\ 87 & 255 & 255 & 87 & 89 & 89 & 87 \\ 87 & 255 & \mathbf{255} & \mathbf{87} & \mathbf{89} & 89 & 87 \\ 255 & 45 & \mathbf{45} & \mathbf{255} & \mathbf{0} & 0 & 255 \\ 22 & 100 & \mathbf{100} & \mathbf{22} & \mathbf{63} & 63 & 22 \\ 22 & 100 & 100 & 22 & 63 & 63 & 22 \\ 255 & 45 & 45 & 255 & 0 & 0 & 255 \end{bmatrix}_{7 \times 7}$$

Definition 2.5 Let $A := [a_{ij}]_{m \times n}$ and $k \in \{1, 2, \dots, t\}$. Then, the matrix

$$\begin{bmatrix} \bar{a}_{(i+t-k)(j+t-k)} & \dots & \bar{a}_{(i+t-k)(j+t+k)} \\ \vdots & \bar{a}_{(i+t)(j+t)} & \vdots \\ \bar{a}_{(i+t+k)(j+t-k)} & \dots & \bar{a}_{(i+t+k)(j+t+k)} \end{bmatrix}_{(2k+1) \times (2k+1)} \quad (3)$$

is called k -approximate matrix of a_{ij} in \bar{A}_t and is denoted by A_{ij}^k .

Example 2.2 Let's consider Example 2.1. Then,

$$A_{32}^1 = \begin{bmatrix} \bar{a}_{43} & \bar{a}_{44} & \bar{a}_{45} \\ \bar{a}_{53} & \bar{a}_{54} & \bar{a}_{55} \\ \bar{a}_{63} & \bar{a}_{64} & \bar{a}_{65} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 45 & 255 & 0 \\ 100 & 22 & 63 \\ 100 & 22 & 63 \end{bmatrix}$$

Definition 2.6 A matrix with all its entries being zero is called a zero or null matrix and is denoted by $[0]$.

Definition 2.7 Let $A := [a_{ij}]_{m \times n}$. The matrix $\tilde{A} := [\tilde{a}_{1u}]_{1 \times (m.n)}$ consists of all entries (elements) of A and being non-decreasing is called an entry matrix (EM) of A .

Example 2.3 Let us consider Example 2.2. Then, $\tilde{A}_{32}^1 = [0 \ 22 \ 22 \ 45 \ 63 \ 63 \ 100 \ 100 \ 255]$.

Definition 2.8 Let $\tilde{A} := [\tilde{a}_{1u}]_{1 \times (m.n)}$ be an EM of $A := [a_{ij}]_{m \times n}$. The value

$$\text{med}(\tilde{A}) := \begin{cases} \tilde{a}_{1(\frac{m.n+1}{2})}, & \frac{m.n+1}{2} \in \mathbb{Z} \\ \frac{1}{2}(\tilde{a}_{1(\frac{m.n}{2})} + \tilde{a}_{1(\frac{m.n+2}{2})}), & \frac{m.n}{2} \in \mathbb{Z} \end{cases} \quad (4)$$

is called a median of \tilde{A} .

Definition 2.9 Let A be an IM. Then, the value

$$\text{ps}(a_{ij}, a_{st}) := \left(\frac{1}{1 + |i - s| + |j - t|} \right)^2$$

is called pixel similarity between a_{ij} and a_{st}

Definition 2.10 Let A be an NIM. Then the value

$$\text{Rm}(A_{ij}^k) := \frac{\sum_{(s,t) \in I_{ij}^k} \text{ps}(a_{st}, a_{(k+1)(k+1)}) a_{st}}{\sum_{(s,t) \in I_{ij}^k} \text{ps}(a_{st}, a_{(k+1)(k+1)})} \quad (5)$$

is called Riesz mean of A_{ij}^k .

Here, $I_{ij}^k := \{(s, t): a_{st} \text{ is a regular entry of } A_{ij}^k\}$

3. Proposed Salt-and-Pepper Filter

In this section, firstly, we present pseudo-codes of AMF (Hwang & Haddad, 1995) (Algorithm 1) and ARmF (Enginoğlu et al., 2019) (Algorithm 2). AMF operates median filter and median-based adaptivity condition to remove SPN. ARmF utilizes pixel similarity-based Riesz mean of the considered window. Besides, it employs an adaptivity condition that relies on whether the k -approximate matrix equals a zero matrix or not.

Algorithm 1.

Adaptive Median Filter (AMF)

Input: NIM $A := [a_{ij}]_{m \times n}$

Output: Denoised $A := [a_{ij}]_{m \times n}$

Initialize $k_{max} = 9$

Compute $\bar{A}_{k_{max}}$

For all i and j

For k from 1 to k_{max}

If $(\min(\bar{A}_{ij}^k) < \text{med}(\bar{A}_{ij}^k) \text{ AND } \text{med}(\bar{A}_{ij}^k) < \max(\bar{A}_{ij}^k)) \text{ AND } (a_{ij} = \min(\bar{A}_{ij}^k) \text{ OR } a_{ij} = \max(\bar{A}_{ij}^k))$

$a_{ij} \leftarrow \text{med}(\bar{A}_{ij}^k)$

Break

End If

End For

End For

Algorithm 2.

Adaptive Riesz Mean Filter (ARmF)

Input: NIM $A := [a_{ij}]_{m \times n}$ such that $\min\{m, n\} \geq 5$

Output: Denoised $A := [a_{ij}]_{m \times n}$

Convert A from uint8 form to double form

For t from 5 to 1

 Compute the binary matrix $B := [b_{ij}]_{m \times n}$ of A

 Compute \bar{A}_t and \bar{B}_t

For all i and j

If $b_{ij} = 0$

For k from 1 to t

If $B_{ij}^k \neq [0]$

$a_{ij} \leftarrow \text{Rm}(A_{ij}^k)$

Break

End If

End For

End If

End For

End For

Secondly, we define modified Riesz mean (MRm) and propose Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter (DAMRMF) employing MRm and adaptivity condition of AMF. DAMRMF removes SPN operationalizing the weight of the considered pixel according to the centre pixel in the window. DAMRMF is designed to be outperformed at high-density SPN.

Definition 2.11 Let A be an NIM. Then the value

$$\text{MRm}(A_{ij}^k) := \frac{\sum_{(s,t) \in I_{ij}^k} \text{pw}(a_{st}, k) a_{st}}{\sum_{(s,t) \in I_{ij}^k} \text{pw}(a_{st}, k)} \quad (6)$$

is called Modified Riesz mean of A_{ij}^k . Here, $\text{pw}(a_{st}, k) := \left(\frac{1}{1 + (k+1-s)^2 + (k+1-t)^2} \right)^2$ and $I_{ij}^k := \{(s, t): a_{st} \text{ is a regular entry of } A_{ij}^k\}$ stand for the pixel weight of a_{st} in A_{ij}^k and the set of all indexes of the regular pixels in A_{ij}^k , respectively.

The pixel weight function to be employed with the adaptivity condition simultaneously is defined to deal with high-density SPN. It produces different weights and these weights more efficacious than those of pixel similarity in ARmF. Thus, DAMRmF using the pixel weight performs better than the state-of-the-art filters in high-density SPN for 20 traditional greyscale images.

Finally, we provide the pseudo-code of DAMRmF in Algorithm 3 and its flowchart in Figure 1.

Algorithm 3.
Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter (DAMRmF)

Input: Read an NIM $A := [a_{ij}]_{m \times n}$ such that $\min\{m, n\} \geq 3$

Output: Denoised $A := [a_{ij}]_{m \times n}$

Convert A from uint8 form to double form

For t from 5 to 1

 Compute the binary matrix $B := [b_{ij}]_{m \times n}$ of A

 Compute \bar{A}_t and \bar{B}_t

For all i and j

If $b_{ij} = 0$

For k from 1 to t

If $(0 < \text{med}(\bar{A}_{ij}^k) \text{ AND } \text{med}(\bar{A}_{ij}^k) < 255) \text{ AND } (a_{ij} = 0 \text{ OR } a_{ij} = 255)$

$a_{ij} \leftarrow \text{MRm}(A_{ij}^k)$

Break

End If

End For

End If

End For

End If

End For

End For

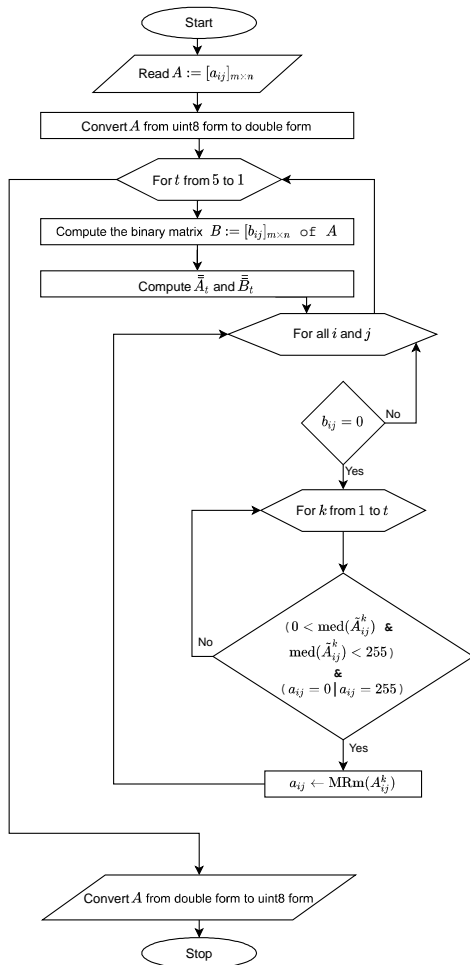


Figure 1. The flowchart of DAMRmF

4. Experimental Study

In this part of the study, we compare the proposed DAMRmF with AFMF (Erkan et al., 2020a), TVWA (Lu et al., 2016), UWMF (Kandemir et al., 2015), DAMF (Erkan et al., 2018), AWMF (Zang & Li, 2014), ACmF (Enginoğlu et al., 2020), ARmF (Enginoğlu et al., 2019), and IAWMF (Erkan et al., 2020b) in terms of PSNR and SSIM (Wang et al., 2004) results.

4.1. Image Quality Assessment Metrics

In this subsection, we present the mathematical notations of PSNR and SSIM. Let $X := [x_{ij}]$ and $Y := [y_{ij}]$ be the original image and restored image, respectively.

PSNR is defined by

$$\text{PSNR}(X, Y) := 10 \log \left(\frac{255^2}{\text{MSE}(X, Y)} \right) \quad (7)$$

where $\text{MSE}(X, Y)$ represents the Mean Square Error, and it is defined by

$$\text{MSE}(X, Y) := \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - y_{ij})^2 \quad (8)$$

SSIM is defined by

$$\text{SSIM}(X, Y) := \frac{(2\mu_X\mu_Y + C_1) + (2\sigma_{XY} + C_2)}{(\mu_X^2 + \mu_Y^2 + C_1) + (\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + C_2)} \quad (10)$$

where μ_X , μ_Y , σ_X , σ_Y , and σ_{XY} are the average intensities, standard deviations, and cross-covariance of images X and Y , respectively. Additionally, $C_1 := (K_1L)^2$ and $C_2 := (K_2L)^2$ are two constants such that $K_1 = 0.01$, $K_2 = 0.03$ and $L = 255$ for 8-bit grayscale images.

4.2. Simulation Results

In this subsection, we simulate DAMRmF, AFMF, TVWA, UWMF, DAMF, AWMF, ACmF, ARmF, and IAWMF using 20 traditional test images (Weber, 1997) with 512×512 (Lena, Cameraman, Barbara, Baboon, Peppers, Living Room, Lake, Plane, Hill, Pirate, Boat, House, Bridge, Elaine, Flintstones, Flower, Parrot, Dark-Haired Woman, Blonde Woman, and Einstein). We carry out the simulations by utilizing MATLAB R2020b and a laptop with I(R) Core(TM) CPU i5-4200H@2.8GHz and 8 GB RAM.

Table 1 presents the mean PSNR results of the filters for 20 traditional images with high-density SPN. The results show that DAMRmF performs better than the others in considered SPN ratios.

Table 1. Mean PSNR results for 20 traditional images with different SPN ratios ranging from 60% to 90%

Filters	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	Mean
AFMF	28.15	27.38	26.44	25.45	24.21	22.74	20.64	25.00
TVWA	30.09	29.38	28.62	27.79	26.73	24.46	19.01	26.58
UWMF	30.00	29.31	28.67	27.92	27.07	26.22	25.08	27.75
DAMF	29.74	29.07	28.38	27.62	26.76	25.80	24.43	27.40
AWMF	30.25	29.54	28.79	27.97	27.07	26.06	24.74	27.77
ACmF	30.36	29.61	28.83	27.99	27.08	26.07	24.75	27.81
ARmF	30.57	29.79	28.97	28.10	27.16	26.12	24.78	27.93
IAWMF	30.73	30.02	29.27	28.46	27.55	26.56	25.29	28.27
DAMRmF	30.74	30.04	29.32	28.50	27.64	26.68	25.41	28.33

Secondly, Table 2 offers the mean SSIM results of the filters for 20 traditional images with high-density SPN. The results manifest that DAMRmF outperforms the others in considered SPN ratios.

Thirdly, Table 3 and 4 are related to PSNR and SSIM results for several test images with various high SPN ratios, respectively. DAMRmF exhibits maximum performance concerning PSNR and SSIM values. Moreover, DAMRmF outperforms IAWMF being efficacious for high-density SPN.

Fourthly, Figure 2 offers the visual results of the methods concerning denoising of the “Lena” image with an SPN ratio of 90%. Moreover, Figure 3 presents the visual results of denoising of the proposed method for “Pepper” image with SPN ratios of 60%, 70%, 80%, and 90%. Although AFMF removes the noise to a great extent, the denoised image has blurring details, and AFMF has not preserved the edges in “Lena” image. The image denoised by TVWM has black speckle exceedingly as well as it has blurring

details. Denoising results of DAMRmF and the others efficacious. Moreover, DAMRmF has smooth details and display a better visual quality than the others.

Fifthly, the PSNR and SSIM graphs are provided in Figure 4 and 5 concerning “House”, “Elaine”, “Blonde Woman”, and “Lake” images, respectively.

Table 2. Mean SSIM results for 20 traditional images with different SPN ratios ranging from 60% to 90%

Filters	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	Mean
AFMF	0.8461	0.8259	0.8007	0.7694	0.7296	0.6784	0.6039	0.7506
TVWA	0.8882	0.8710	0.8511	0.8271	0.7972	0.7410	0.5671	0.7918
UWMF	0.8855	0.8687	0.8499	0.8278	0.8016	0.7696	0.7245	0.8182
DAMF	0.8804	0.8635	0.8438	0.8204	0.7926	0.7573	0.7045	0.8089
AWMF	0.8871	0.8703	0.8506	0.8267	0.7985	0.7629	0.7113	0.8153
ACmF	0.8893	0.8719	0.8518	0.8276	0.7991	0.7632	0.7115	0.8163
ARmF	0.8929	0.8756	0.8554	0.8311	0.8023	0.7660	0.7139	0.8196
IAWMF	0.8952	0.8794	0.8612	0.8390	0.8126	0.7791	0.7317	0.8283
DAMRmF	0.8959	0.8802	0.8621	0.8400	0.8142	0.7816	0.7348	0.8298

Table 3. PSNR results of the filters for several traditional images with different SPN ratios ranging from 60% to 90%

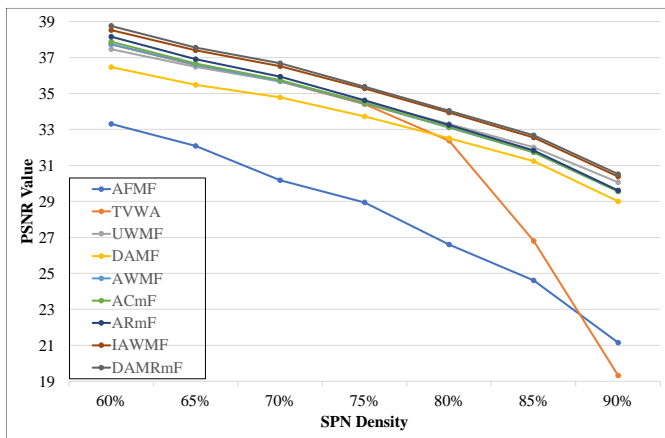
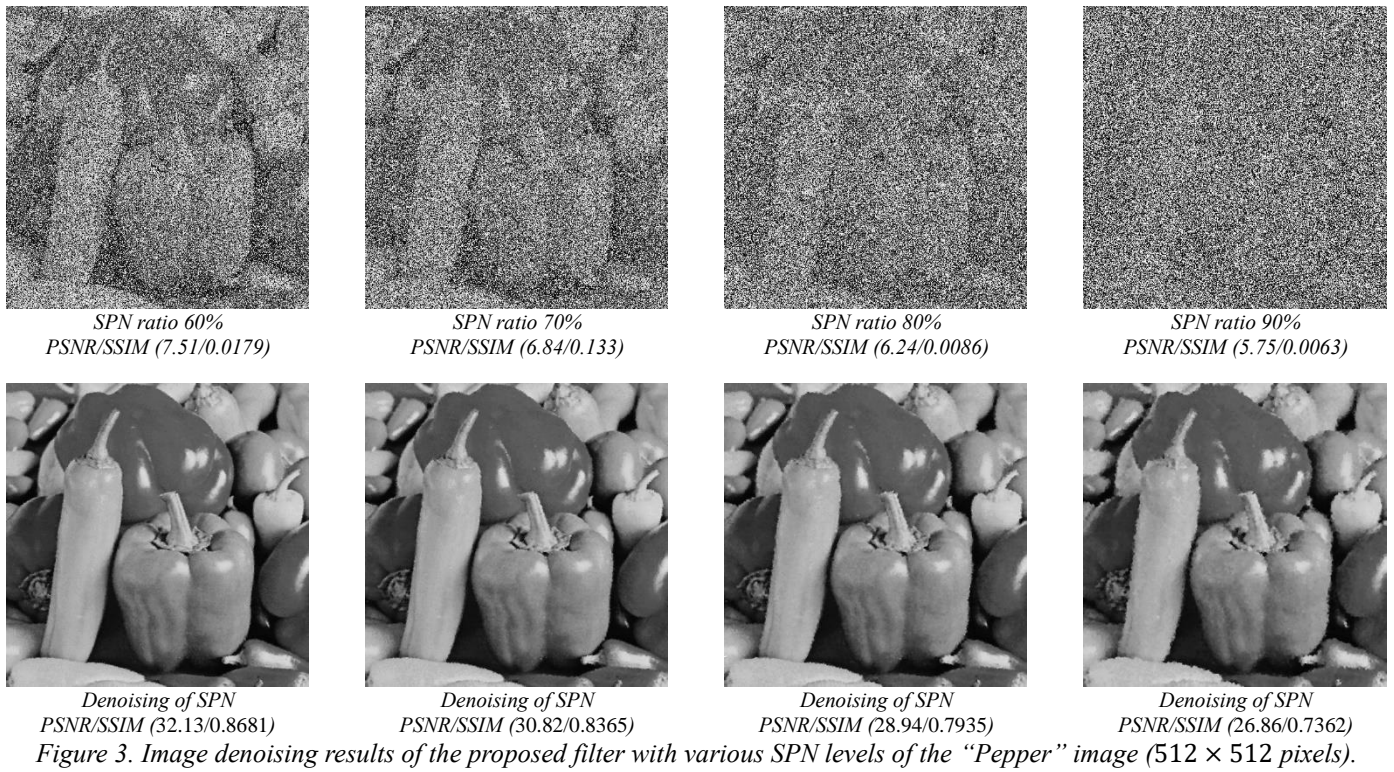
Images	Filters	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	Mean
Lena	AFMF	30.03	29.09	28.11	27.24	25.92	24.29	22.02	26.67
	TVWA	32.27	31.47	30.49	29.71	28.48	25.87	19.52	28.26
	UWMF	32.09	31.26	30.40	29.74	28.83	27.89	26.60	29.54
	DAMF	31.75	31.04	30.17	29.44	28.49	27.50	26.02	29.20
	AWMF	32.19	31.41	30.48	29.72	28.75	27.76	26.29	29.51
	ACmF	32.30	31.48	30.52	29.74	28.76	27.76	26.29	29.55
	ARmF	32.52	31.67	30.63	29.83	28.85	27.82	26.32	29.66
	IAWMF	32.69	31.87	30.98	30.23	29.28	28.25	26.85	30.02
	DAMRmF	32.72	31.91	31.03	30.29	29.37	28.34	26.95	30.09
Pepper	AFMF	29.20	28.61	27.74	26.46	24.98	23.16	20.69	25.83
	TVWA	31.73	30.99	30.25	29.54	28.24	26.15	20.02	28.13
	UWMF	31.31	30.67	30.06	29.44	28.40	27.66	26.51	29.15
	DAMF	31.13	30.53	29.89	29.17	28.07	27.24	25.85	28.84
	AWMF	31.71	30.96	30.28	29.53	28.36	27.46	26.13	29.20
	ACmF	31.78	31.02	30.30	29.54	28.36	27.46	26.14	29.23
	ARmF	31.85	31.09	30.35	29.60	28.39	27.49	26.16	29.28
	IAWMF	31.94	31.28	30.65	29.96	28.82	27.96	26.71	29.62
	DAMRmF	32.13	31.46	30.82	30.11	28.94	28.13	26.86	29.78
Lake	AFMF	26.60	25.83	24.68	23.61	22.30	20.99	18.91	23.27
	TVWA	28.85	28.13	27.22	26.39	25.44	23.74	18.40	25.45
	UWMF	28.77	28.10	27.29	26.52	25.63	24.77	23.55	26.38
	DAMF	28.36	27.69	26.86	26.06	25.21	24.30	22.89	25.91
	AWMF	28.78	28.10	27.21	26.36	25.47	24.54	23.11	26.22
	ACmF	28.92	28.19	27.27	26.39	25.49	24.54	23.11	26.28
	ARmF	29.13	28.36	27.42	26.51	25.58	24.61	23.16	26.40
	IAWMF	29.28	28.60	27.73	26.91	25.99	25.05	23.71	26.75
	DAMRmF	29.33	28.68	27.80	26.97	26.05	25.16	23.83	26.83
Dark-Haired Woman	AFMF	35.69	34.54	33.05	31.77	30.09	27.48	24.53	31.02
	TVWA	38.28	37.38	36.65	35.23	33.70	28.53	20.47	32.89
	UWMF	38.07	37.19	36.60	35.56	34.68	33.37	32.20	35.38
	DAMF	37.56	36.81	36.14	35.12	34.19	32.72	31.08	34.80
	AWMF	38.27	37.36	36.64	35.54	34.60	33.07	31.74	35.32
	ACmF	38.35	37.44	36.68	35.57	34.61	33.07	31.74	35.35
	ARmF	38.55	37.60	36.80	35.67	34.69	33.14	31.78	35.46
	IAWMF	38.81	37.93	37.21	36.14	35.21	33.71	32.46	35.92
	DAMRmF	38.99	38.08	37.41	36.30	35.41	33.91	32.61	36.10

Table 4. SSIM results of the filters for several traditional images with different SPN ratios ranging from 60% to 90%

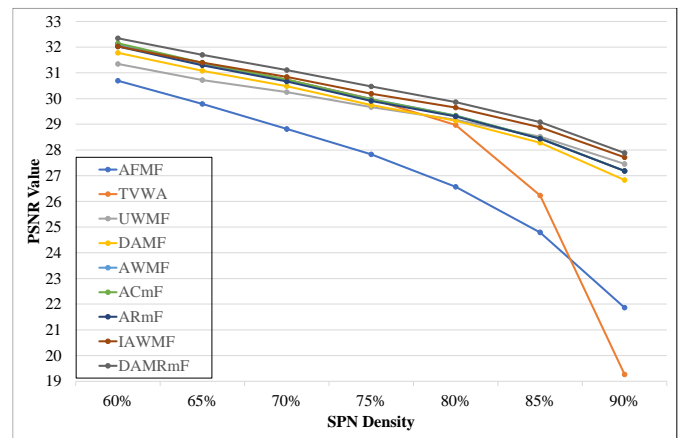
Images	Filters	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	Mean
Lena	AFMF	0.8857	0.8706	0.8526	0.8285	0.8007	0.7592	0.6946	0.8131
	TVWA	0.9140	0.9005	0.8837	0.8647	0.8392	0.7875	0.5970	0.8267
	UWMF	0.9108	0.8972	0.8813	0.8645	0.8443	0.8185	0.7812	0.8568
	DAMF	0.9079	0.8949	0.8784	0.8594	0.8375	0.8100	0.7663	0.8506
	AWMF	0.9131	0.8999	0.8835	0.8646	0.8426	0.8156	0.7731	0.8561
	ACmF	0.9144	0.9009	0.8841	0.8650	0.8429	0.8156	0.7731	0.8566
	ARmF	0.9173	0.9038	0.8866	0.8674	0.8453	0.8173	0.7745	0.8589
	IAWMF	0.9194	0.9071	0.8921	0.8750	0.8555	0.8295	0.7915	0.8671
	DAMRmF	0.9205	0.9085	0.8939	0.8771	0.8582	0.8334	0.7951	0.8695
Pepper	AFMF	0.8178	0.8039	0.7864	0.7613	0.7263	0.6827	0.6093	0.7411
	TVWA	0.8627	0.8439	0.8254	0.8037	0.7750	0.7309	0.5785	0.7743
	UWMF	0.8442	0.8268	0.8105	0.7922	0.7688	0.7463	0.7163	0.7864
	DAMF	0.8508	0.8332	0.8151	0.7938	0.7669	0.7396	0.7003	0.7857
	AWMF	0.8630	0.8441	0.8258	0.8034	0.7751	0.7466	0.7078	0.7951
	ACmF	0.8635	0.8445	0.8259	0.8035	0.7752	0.7464	0.7078	0.7952
	ARmF	0.8613	0.8424	0.8240	0.8021	0.7740	0.7458	0.7079	0.7939
	IAWMF	0.8611	0.8445	0.8286	0.8099	0.7851	0.7605	0.7279	0.8025
	DAMRmF	0.8681	0.8522	0.8365	0.8179	0.7935	0.7696	0.7362	0.8106
Lake	AFMF	0.8353	0.8137	0.7850	0.7491	0.7075	0.6516	0.5746	0.7310
	TVWA	0.8777	0.8596	0.8361	0.8108	0.7800	0.7256	0.5556	0.7779
	UWMF	0.8670	0.8496	0.8287	0.8064	0.7793	0.7470	0.7009	0.7970
	DAMF	0.8698	0.8520	0.8287	0.8039	0.7739	0.7362	0.6816	0.7923
	AWMF	0.8765	0.8587	0.8355	0.8103	0.7800	0.7425	0.6873	0.7987
	ACmF	0.8789	0.8606	0.8369	0.8112	0.7807	0.7429	0.6875	0.7998
	ARmF	0.8801	0.8620	0.8385	0.8130	0.7827	0.7449	0.6899	0.8016
	IAWMF	0.8808	0.8647	0.8437	0.8210	0.7933	0.7589	0.7094	0.8103
	DAMRmF	0.8840	0.8680	0.8473	0.8240	0.7963	0.7632	0.7135	0.8138
Dark-Haired Woman	AFMF	0.9392	0.9294	0.9164	0.9001	0.8790	0.8435	0.7858	0.8848
	TVWA	0.9567	0.9493	0.9410	0.9291	0.9163	0.8695	0.6797	0.8917
	UWMF	0.9543	0.9469	0.9394	0.9289	0.9193	0.9037	0.8832	0.9251
	DAMF	0.9524	0.9452	0.9367	0.9251	0.9140	0.8955	0.8660	0.9193
	AWMF	0.9566	0.9493	0.9409	0.9293	0.9184	0.8999	0.8741	0.9241
	ACmF	0.9572	0.9499	0.9413	0.9296	0.9186	0.9000	0.8742	0.9244
	ARmF	0.9584	0.9511	0.9425	0.9308	0.9197	0.9010	0.8751	0.9255
	IAWMF	0.9597	0.9533	0.9459	0.9360	0.9266	0.9104	0.8890	0.9315
	DAMRmF	0.9612	0.9548	0.9480	0.9381	0.9296	0.9142	0.8937	0.9342



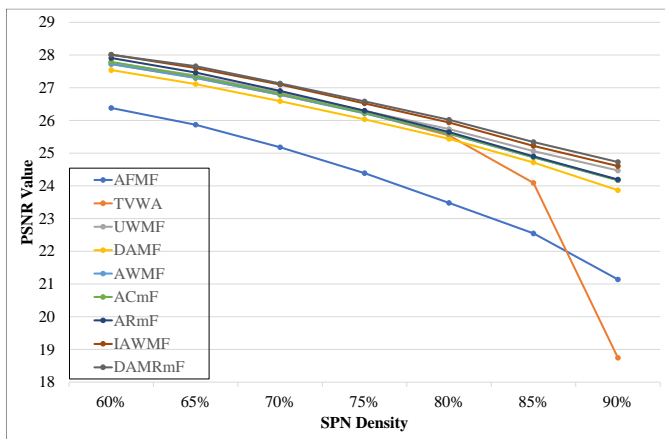
Figure 2. Image denoising results of the compared filters with SPN level of 90% of the "Lena" image (512 x 512 pixels).



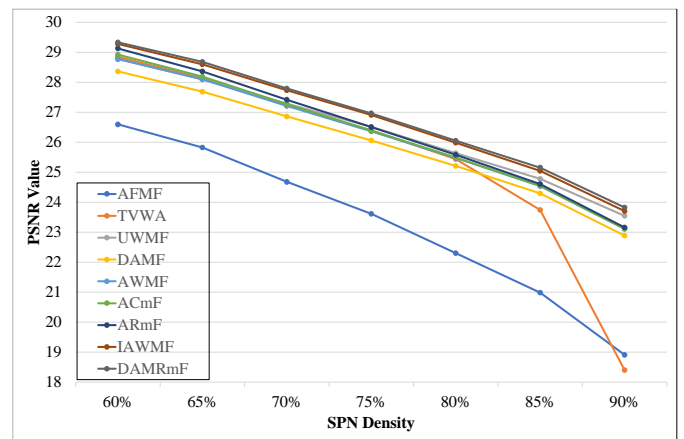
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4. PSNR Graphs of the several traditional images: (a) House, (b) Elaine, (c) Blonde Woman, and (d) Lake

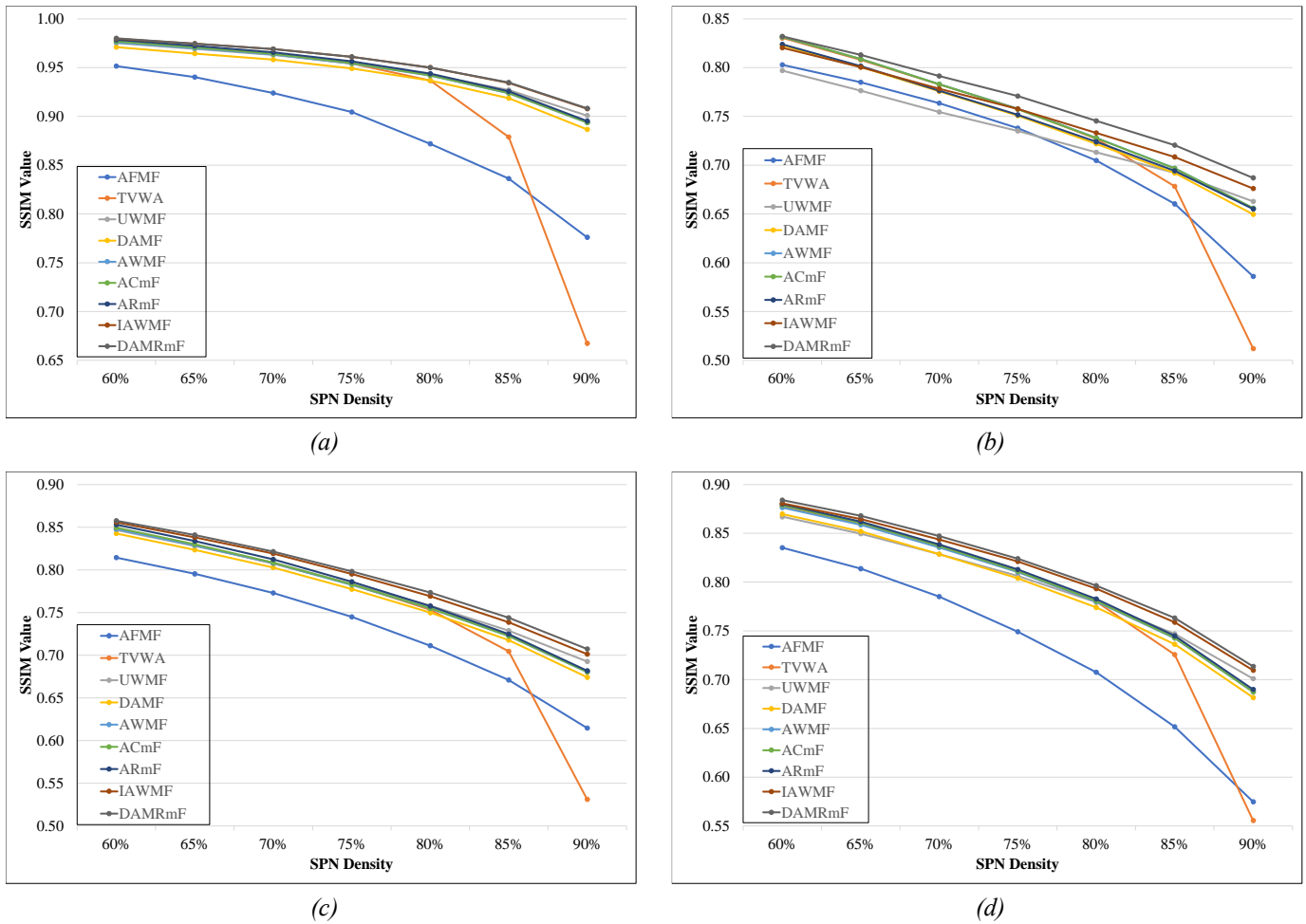


Figure 5. SSIM Graphs of the several traditional images: (a) House, (b) Elaine, (c) Blonde Woman, and (d) Lake

Finally, Table 5 shows the mean running times (seconds) of the methods obtained during the simulations. Even though IAWMF performs better than the other state-of-the-art filters, it operates slower than the others. On the other hand, DAMRmF has an advantage over IAWMF concerning denoising and running time.

Table 5. Mean running time for 20 traditional images with different SPN ratios ranging from 60% to 90% (in second)

Filters	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	Mean
AFMF	8.82	8.57	8.32	8.08	8.79	7.81	7.49	8.27
TVWA	4.22	4.03	3.88	3.82	3.54	3.28	3.19	3.71
UWMF	1.14	1.16	1.62	1.81	1.64	1.98	2.26	1.66
DAMF	0.84	0.87	0.92	1.01	1.12	1.25	1.40	1.06
AWMF	2.90	2.79	2.80	2.84	2.99	3.19	3.47	3.00
ACmF	1.18	1.23	1.34	1.46	1.62	1.86	2.06	1.54
ARmF	0.66	0.69	0.76	0.82	0.94	1.14	1.24	0.89
IAWMF	10.34	10.60	11.97	12.87	14.76	17.53	22.23	14.33
DAMRmF	3.35	3.82	4.48	5.90	6.50	7.78	10.31	6.02

5. Conclusions and Recommendations

In this study, we defined Modified Riesz Mean replacing the pixel similarity in Riesz mean with pixel weight function. We then employed the Modified Riesz Mean and the adaptivity condition of AMF (Hwang & Haddad, 1995) simultaneously, and developed an efficacious SPN filter, namely DAMRmF, for high-density SPN removal. To indicate the denoising success of the proposed filter, we carried out an experimental study. The simulation results

manifest that our DAMRmF outperforms AFMF (Erkan et al., 2020a), TVWA (Lu et al., 2016), UWMF (Kandemir et al., 2015), DAMF (Erkan et al., 2018), AWMF (Zang & Li, 2014), ACmF (Enginoğlu et al., 2020), ARmF (Enginoğlu et al., 2019), and IAWMF (Erkan et al., 2020b) according to PSNR and SSIM (Wang et al., 2004) results for SPN densities varying from 60% to 90%. Besides, visual results herein validated the numerical results provided in the Simulation Results Subsection. Though there is very little difference between PSNR and SSIM values of DAMRmF and IAWMF, DAMRmF runs faster than IAWMF. Therefore, DAMRmF outperforms IAWMF in terms of PSNR value, SSIM value, and running time, and it can be preferred instead of IAWMF. In the experimental study, due to widely using and knowing of the PSNR quality metric, we utilized this quality metric even though it may not generate reliable results.

Although DAMRmF produces better denoising results in high-density SPN removal than the others, it can be improved more through new adaptivity condition or pixel weight. On the other hand, this improvement can be achieved too by including the noise density of the image in the denoising process. Therefore, further research should be focused the defining a new pixel weight function or adaptivity condition.

6. Acknowledgement

The authors would like to thank the editors and reviewers who have contributed to improving this paper.

References

- Enginoğlu, S., Erkan, U., & Memiş, S., (2019). Pixel similarity-based adaptive Riesz mean filter for salt-and-pepper noise removal, *Multimedia Tools and Applications*, 78(24), 35401–35418.
- Enginoğlu, S., Erkan, U., & Memiş, S., (2020). Adaptive Cesáro mean filter for salt-and-pepper noise removal, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(1), 304–314.
- Erkan, U., Enginoğlu, S., Thanh, D. N. H., & Hieu, L. M., (2020a). Adaptive frequency median filter for the salt-and-pepper denoising problem, *IET Image Processing*, 14(7), 1291–1302.
- Erkan, U., & Gökrem, L., (2018). A new method based on pixel density in salt and pepper noise removal, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26(1), 162–171.
- Erkan, U., Gökrem, L., & Enginoğlu, S., (2018). Different applied median filter in salt and pepper noise, *Computer and Electrical Engineering*, 70, 789–798.
- Erkan, U., Thanh, D. N. H., Enginoğlu, S., & Memiş, S., (2020b). Improved adaptive weighted mean filter for salt-and-pepper noise removal, *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, Istanbul, Turkey, pp. 1–5.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E., (2018). *Digital image processing*. New York: Pearson.
- Hausen, R., & Robertson, B. E., (2020). Morpheus: A deep learning framework for the pixel-level analysis of astronomical image data. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 248(20), 1–37.
- Hwang, H., & Haddad, R. A., (1995) Adaptive Median Filters: New Algorithms and Results. *IEEE Transactions on Image Processing*, 4(4), 499–502.
- Kandemir, C., Kalyoncu, C., & Toygar, Ö., (2015). A weighted mean filter with spatial-bias elimination for impulse noise removal, *Digital Signal Processing*, 46, 164–174.
- Lu, C. T., Chen, Y. Y., Wang, L. L., & Chang, C. F., (2016). Removal of salt-and-pepper noise in corrupted image using three-values-weighted approach with variable-size window, *Pattern Recognition Letters*, 80, 188–199.
- Öziç, M. Ü., & Özşen, S., (2020). Comparison global brain volume ratios on Alzheimer’s disease using 3D T1 weighted MR images. *European Journal of Science and Technology*, (18), 599–606.
- Pratt, W. K. (1975) Semiannual Technical Report. *Image Processing Institute*, University of Southern California.
- Tukey, J. W. (1977) *Exploratory Data Analysis*, Reading, MA: Addison-Wesley.
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., Simoncelli, E. P., (2004) Image quality assessment: From error visibility to structural similarity, *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4), 600–612.
- Weber, A. G., (1997) The USC-SIPI image database version 5. *University of Southern California, Viterbi School of Engineering, Signal and Image Processing Institute*, Los Angeles, CA, USA: USC SIPI Technical Report 315, pp. 1–24.
- Zeren, M. T., Aytulun, S. K. & Kirelli, Y., (2020). Comparison of SSD and faster R-CNN algorithms to detect the airports with data set which obtained from unmanned aerial vehicles and satellite images. *European Journal of Science and Technology*, (19), 643–658.
- Zhang, P., & Li, F., (2014). A new adaptive weighted mean filter for removing salt-and-pepper noise, *IEEE Signal Processing Letters*, 21(10), 1280–1283.



Su Altı Görüntülerinden Nesne Tespiti

Ekrem Eşref Kılınç^{1*}, Sedat Metlek²

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Ağlasun Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojisi ve Programlama Bölümü, Burdur, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1806-4937), ekilinc@mehmetakif.edu.tr

²Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kontrol ve Otomasyon Bölümü, Burdur, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0393-9908), sedatmetlek@mehmetakif.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 4 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.873540)

ATIF/REFERENCE: Kılınç, E. E. & Metlek, S. (2021). Su Altı Görüntülerinden Nesne Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 368-375.

Öz

Yeryüzünün büyük bir kısmı sularla kaplıdır. Bu suların büyük bir çoğunluğunu da okyanuslar oluşturmaktadır. Bu kadar çok alanın sularla kaplı olmasına rağmen sualtı görüntüleme ilgili yapılan araştırmalar, yer üstü araştırmaları kadar çok değildir. Su altı araştırmaları ile ilgilenen araştırmacıların yeterli düzeyde görüntüleme yapabilmeleri için kullanmış oldukları görüntüleme cihazları son derece özel ve maliyetli cihazlardır. Bu cihazlarında özellikle maliyetli olması sualtı görüntülemesi ile ilgilenen araştırmacılar için önemli bir engel oluşturmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada bu durum göz önüne alınarak düşük kapasiteye sahip donanım ve ekipmanlar kullanılarak elde edilen sualtı görüntüleri üzerinden nesne tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda AQUALOC veri setinde ki düşük çözünürlüklü sualtı görüntüleri ve görüntü işleme algoritmaları kullanılarak, görüntüden nesne tespit işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda su altı görüntüleri üzerinden nesne tespiti yapabilecek masaüstü bir yazılım geliştirilmiş olup, tespit ettiği nesnelerin görüntüleri de çalışmada sunulmuştur. Geliştirilen yazılımda minimum hata değerleri olarak MSE, RMSE, MAE ve MAPE hata fonksiyonları için sırasıyla 0.08, 0.09, 0.28 ve %16 olarak elde edilmiştir. Çalışmanın gerçek zamanlı alınabilecek görüntüler üzerinde de uygulanabilir nitelikte olması sualtı araştırmaları ile ilgilenen araştırmacılar içinde oldukça önem arz etmektedir. Bununla birlikte çalışma deniz tabanından geçirilen petrol boru hattı gibi enerji hatları ile diğer iletişim hatlarının güvenliklerini sağlamak amacıyla kullanılan insansız sualtı araçlarında da kullanılabilir olacaktır. Çalışma bu yönü ile de önümüzdeki dönemlerde de geliştirilebilecek bir yapıya sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme, nesne tespiti, sualtı görüntüleme

Object Detection From Underwater Images

Abstract

A large part of the earth is covered with water. Oceans constitute the majority of these waters. Despite the fact that so many areas are covered with water, research on underwater imaging is not as much as aboveground research. Imaging devices used by researchers interested in underwater research to make adequate imaging are extremely special and costly devices. The high cost of these devices poses an important obstacle for researchers interested in underwater imaging. For this reason, taking this situation into consideration, the study aimed to detect objects through underwater images obtained by using low-capacity hardware and equipment. For this purpose, using the low-resolution underwater images and image processing algorithms in the AQUALOC data set, the object detection process from the image was performed. At the end of the study, a desktop software that can detect objects through underwater images was developed, and the images of the detected objects were also presented in the study. In the developed software, the minimum error values were obtained as 0.08, 0.09, 0.28 and 16% for MSE, RMSE, MAE and MAPE error functions, respectively. The applicability of the study to real-time images is very important for researchers interested in underwater research. It can also be used in unmanned underwater vehicles used to secure other communication lines such as power lines and oil pipelines that cross the seabed. With this aspect, the study has a structure that can be developed in the future.

Keywords: Image processing, object detection, underwater viewing.

* Sorumlu Yazar: ekilinc@mehmetakif.edu.tr

1. Giriş

Dünyanın yaklaşık olarak %70'i sularla kaplıdır. İnsanlar için su altındaki geniş biyolojik kaynakların ve su altındaki yaşamın keşfi her zaman dikkat çeken bir konu olmaktadır. Bunun için üzerinde farklı sensörlerin kullanıldığı birçok insanlı ya da insansız sualtı aracı geliştirilmiştir (Nyrkov et al., 2017). Su altı araçlarından görüntüler elde edilerek, su altı kaynaklarının keşfi, hedef konumlandırması ve tanımlama, navigasyon ve yol planlanması, engellerden kaçınma, boru hatları, haritalama gibi birçok işlemin yapılması sağlanmıştır. Geliştirilen araçlarda sualtı görüntülerinin elde edilmesi ve işlenmesi için kullanılan ekipman ve sensörlerin pahalı olması, yapılan çalışmaların ilerlemesinin önündeki en büyük engel olarak karşımıza çıkmaktadır.

Su altı görüntülerinin elde edilmesi için iki yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar çeşitli akustik sensörlerin kullanıldığı sonar sistemler ve optik sensörlerin kullanıldığı kamera sistemleridir.

Yunus balıklarının iletişim ve yarasalarında yön bulmada kullandığı Sonar, İngilizce "Sound Navigation and Ranging" ifadesinin kısaltmasıdır. Ses dalgalarının su altında ki yayılma özelliğinden faydalanılarak geliştirilen hem su altında hem de su üstünde gezinmeyi, mesafe aralığını hesaplamayı, haberleşmeyi ve diğer cisimler hakkında bilgi edinmeyi sağlayan teknik bir yöntemdir (Au, 1993). Balık sürülerinin tespitinde, hedeflerin tespit edilmesi ve sınıflandırılmasında, deniz tabanı haritalanmasında, mayın tespitinde genellikle sonar sistemler kullanılır. Sonar sistemlerde kullanılan akustik sensörlerden elde edilen görüntülerde çevresel gürültülerden dolayı hedeflerin, nesnelere ve engellerin tespitinde zorluklar yaşanmaktadır.

Optik sensörlerin kullanıldığı kamera sistemleri su altı görüntülerinin elde edilmesinde son yıllarda büyük aşama kat etmiştir. Farklı fiyat ve ölçekte birçok farklı kamera çeşidi bulunmaktadır. Kameralar ile çok yüksek çözünürlükte görüntüler elde edilebilir. Fakat bunun yanı sıra sualtında homojen olmayan ışıklandırma, düşük kontrast, bulanıklık, deniz kırı gibi birçok bozucu etkenden dolayı elde edilen görüntü ile işlem yapmak zor bir hale gelmektedir. Bunun için görüntü iyileştirme algoritmalarından yararlanılarak görüntüdeki problemler en aza indirilmeye çalışılmaktadır (Taşyapı Çelebi, 2012).

Literatürde su altından elde edilmiş görüntülerin; elde edilmesi, işlenmesi ve su altı görüntülerden nesne tespiti ile ilgili hem sonar sistemler hem de kamera sistemleri ile gerçekleştirilmiş bazı önemli çalışmalar da bulunmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar genel olarak incelendiğinde alınan görüntülerin nasıl temin edildiğinin önemi bir adım daha öne çıkmaktadır. Bu nedenle su altı görüntüleri ile ilgili yapılacak çalışmalarda, ilk olarak görüntünün nasıl temin edileceği üzerinde detaylı analizler yapmak gerekmektedir (Nur et al., 2020).

Genellikle su altı görüntüleri elde etmek için kullanılan sonar ekipmanlar, spesifik olmasına rağmen çeşitli nedenlerle düşük kalitede görüntüler sunmaktadır. Bu nedenle de elde edilen görüntüler üzerinde iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Aynı durum optik lensli sistemler ile elde edilen su altı görüntüleri içinde geçerlidir. Özellikle düşük maliyetli optik lens kullanan ve düşük kalitede görüntü elde edilen sistemlerde de iyileştirmenin yapılması elzemdir. Konu ile ilgili

literatüre bakıldığında optik kameralı sistemlerden elde edilen su altı görüntülerinin iyileştirilmesi için kullanılan yöntemlerden birisinin Ampirik Mod Ayırıştırma (AMD) yönteminin olduğu görülmektedir. Bu yöntem ile elde edilen görüntülerde dikkat çekici bir başarı elde edilmiştir (Çelebi & Ertürk, 2012).

Su altı görüntülerini iyileştirmek için sonar sistemler ile optik kameralı sistemlerin birlikte kullanıldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Her iki sistemden elde edilen görüntülerin birleştirilmesi sonucunda görüntü iyileştirmede başarı sağlanabilmiştir (Leblebicioğlu et al., 2015).

Su altı görüntülerinde insan yapımı nesnelere tespiti için belirginlik tabanlı bölge birleştirme algoritmaları gibi farklı algoritmalar geliştirilmiş ve test edilmiştir (Williams & Groen, 2011), (Zhu et al., 2016).

Mevcut çalışmalarda sualtı nesne tespiti için yaygın olarak renk ve yoğunluk gibi görsel özellikler kullanılmaktadır. Bu özelliklere ek olarak nesne tespitinde ışık aktarım bilgilerinin de kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Chen et al., 2017).

Su altından elde edilen görüntülerde çok daha etkin nesne tespiti için günümüzde makine öğrenme yöntemlerinden de yararlanılmaktadır. Nesne tespiti için sonar ile elde edilen görüntüler üzerinde Makine Öğrenme algoritmalarına dayanan uygulamalar da geliştirilmiştir (Karimanzira et al., 2020). Buna ek olarak su altındaki deniz canlılarının tespiti için de CNN tabanlı (Convolutional Neural Network) yöntemlerde geliştirilmiştir (Han et al., 2020).

Literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğunda, kullanılan görüntüleme ekipmanları oldukça yüksek maliyete sahiptir. Özellikle su altı araştırmalarında bu durum, görüntü işleme uygulamalarının geliştirilmesinin önündeki en büyük engellerden birisidir. Bu nedenle geliştirilen uygulamada özellikle düşük maliyetli görüntüleme aygıtlarından elde edilen görüntüler tercih edilmiştir.

Çalışmanın ana konusu su altı görüntülerinden cisim tespitinin yapılmasıdır. Burada bahsedilen cisim kavramı, deniz tabanından farklılık gösteren tüm nesnelere kapsamaktadır. Özellikle çalışmanın bu yönünün, günümüz su altı araştırmacılarının ilgisini çekeceği aşikardır. Buna ek olarak geliştirilen uygulama ile özellikle su altındaki enerji nakil hatlarının çevresinde oluşabilecek anormal durumlarda tespit edilmesi sağlanabilir.

Günümüzde insansız hava araçlarında kullanılan benzer görüntüleme yöntemlerinin sualtı cihazlarında da kullanılması konusuna ışık tutacaktır. Bu nedenle çalışma güvenlik amaçlı uygulamalarda da kullanılabilir niteliktedir.

Çalışmanın genel sunum şeklinde, 2. Bölümde kullanılan materyal ve metod anlatılmıştır. 3. Bölümde elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuş olup 4. Bölümde çalışmanın sonucu aktarılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada deniz tabanına yakın seyreden su altı araçları için eşzamanlı yerleştirme ve haritalama yöntemlerinin geliştirilmesi için oluşturulan AQUALOC isimli özel bir veri seti kullanılmıştır (Ferrera et al., 2019). Bu veri seti üç farklı ortamdan kaydedilen verilerden oluşmaktadır.

Kaydedilen verilerin ilki, bir limanın birkaç metre derinliğinden, ikincisi 270 metre derinliğindeki bir arkeolojik siteden ve üçüncüsü ise 380 metre derinliğindeki bir başka arkeolojik siteden elde edilmiştir. Bahsedilen ortamlardan verileri toplamak için, içerisinde monoküler monokromatik kamera, düşük maliyetli eylemsizlik ölçüm ünitesi, basınç sensörü ve bilgi işlem ünitesi bulunan uzaktan kumandalı bir su altı aracı kullanılmıştır.

Su altı aracının içerisinde bulunan sensörlerden elde edilen ölçüm değerleri, eşzamanlı olarak bilgi işlem ünitesinde hesaplanarak kayıt altına alınmaktadır. Bu kayıt altına alınan veriler on yedi bölümden oluşmakta ve hem BAG (Bathymetric Attributed Grid) dosyası hemde ham veri olarak tutulmaktadır. BAG dosyası batimetrik verileri depolamak ve değiştirmek için geliştirilmiş özel bir dosya formatıdır (Stanford Artificial Intelligence Laboratory et al., 2020).

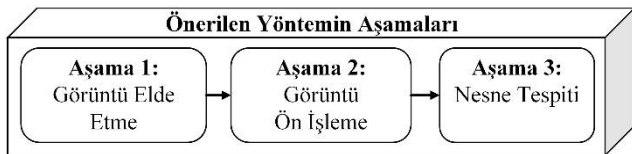
Kullanılan veri setinde üç ayrı ortamdan elde edilen ham verilerin örnek bir tanesi Şekil 1'de sunulmuştur. Yapılan çalışmanın görüntü tabanlı olması nedeniyle BAG dosyasındaki diğer veriler kullanılmamıştır. Bu nedenle çalışmada Şekil 1'de gösterilen ham veriler tercih edilmiştir.



Şekil 1: Ham görüntü verisi

2.2. Metot

Su altı görüntülerinde bulunan nesnelere yönelik yapılan çalışmada üç aşamalı bir yöntem kullanılmıştır. Kullanılan yöntemle ait aşamalar Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2: Önerilen yöntemin aşamaları

Aşama 1'de su altı görüntüleri optik kameralar ile elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler AQUALOC veri setine kaydedilmiştir. Çalışmada da bu veri setinde bulunan su altı görüntüleri kullanılmıştır. 1. aşamada veri setinde bulunan dosyaların okunma ve standart değerlere getirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Aşama 2'de görüntü içindeki mevcut nesnelere deniz tabanından ayrıştırılıp, daha belirgin ve kolay işlenebilir hale getirilmesi sağlanmıştır.

Son aşamada ise görüntü üzerindeki tüm nesnelere tespit edilip, görüntü üzerinde kapladığı değerler belirlenen eşik değerin altında olan nesnelere elenmiştir. Böylece görüntü üzerinde oluşabilecek küçük gürültülerin önüne geçilmesi sağlanmıştır.

Son olarak da görüntü üzerinde tespit edilen nesnelere büyüklüğüne göre ekranda gösterilmiştir.

2.2.1. Görüntü Elde Etme

İlk aşama olan görüntü elde etme ile veri setine kaydedilmiş olan görüntülerin işleme aşamasına hazır hale getirilmesi sağlanmıştır.

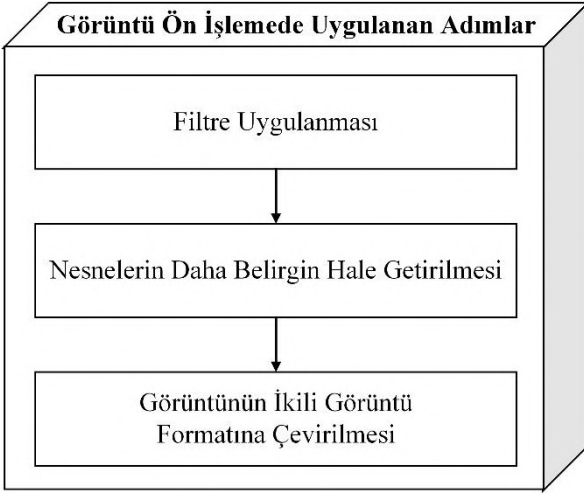
Optik kameradan elde edilen görüntüler genelde iki farklı görüntü formatında oluşturulmaktadır. Bunlar RGB görüntü formatı ve Gri Tonlamalı (Gray Scale) görüntü formatıdır. RGB'de, görüntüyü oluşturan her bir pixel 0 ile 255 arası değerler alabilen Kırmızı (Red), Yeşil (Green) ve Mavi (Blue) renk değerleri ile temsil edilir. Gri tonlama, RGB renk uzayındaki görüntülerden elde edilen 0 ile 255 arasındaki değerlerden oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan kameralar monokrom kamera olması nedeniyle sistemden elde edilen görüntüler gri tonlama görüntü formatındadır. Bu nedenle algoritmada kullanılan görüntülerde RGB renk uzayından gri tonlamalı renk uzayına herhangi bir dönüşüm yapılmasına gerek kalmamıştır.

Çalışmada kullanılan veri setindeki görüntü dosyaları 640x512 piksel boyutunda ve 8 bit derinliğindedir. Bu sebeple görüntü dosyasından elde edilen her bir görüntü verisi 640x512 boyutunda bir IG matrisinde saklanarak işleme hazır hale getirilmiştir.

2.2.2. Görüntü Ön İşleme

Görüntü ön işleme aşamasında görüntü üzerindeki nesnelere daha belirgin olması ve kolay tespit edilebilmesi için 3 aşamadan oluşan işlemler sırasıyla uygulanmıştır.

İlk olarak deniz altından elde edilmiş görüntülerde bulunan nesnelere tespiti için filtre uygulanarak nesnelere deniz tabanından ayrıştırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci adımda nesnelere daha belirgin hale getirilmesi sağlanmış ve son adımda ikili görüntü dosya formatına çevirme işlemi yapılmıştır. Şekil 3'te uygulanan adımlar sunulmaktadır.



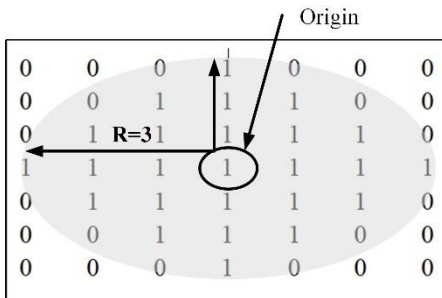
Şekil 3: Görüntü ön işlemede uygulanan adımlar

Filtre uygulanması:

Görüntüdeki nesnelerin deniz tabanından ayrıştırılması için ilk olarak görüntünün arka plan aydınlanmasının elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için görüntü üzerinde morfolojik işlemler uygulanmaktadır. Çalışmada sırasıyla önce aşındırma(erosion) ve sonrada genişleme(dilation) morfolojik işlemleri uygulanmıştır.

Aşındırma işlemi, birbirlerine ince bir gürültü (zayıf bir komşuluk ilişkisi) ile bağlanmış nesnelerin birbirinden ayrılmasını sağlar. Aşındırma görüntüdeki gri alanların daraltılmasını ve siyah bölgede kalan küçük gri alanların temizlenmesini sağlar. Genişleme ise görüntüdeki bir nesnenin ince bir gürültü ile bölünerek farklı bir nesne gibi algılanmasını engeller. Genişleme görüntüdeki gri alanların genişlemesini sağlarken, gri bölgede kalan siyah noktaları da temizler (Solak & Altınışık, 2018).

Morfolojik işlemlerin yapılabilmesi için öncelikle $1 < N < \infty$, $N \times N$ boyutunda morfolojik yapısal eleman adı ile ifade edilen matris oluşturulmaktadır. Oluşturulan yapısal eleman görüntü üzerinde dolaştırılır. Dolaştırma işlemi yapılırken uygulanmak istenen morfolojik işlemin tanımına göre görüntüde ki piksel değerleri ile yapısal elemanın değerleri karşılaştırılarak sonuç görüntüsü elde edilir. Farklı uygulamalar için kullanılan, yapısal eleman matrisleri bulunmaktadır. Çalışmada literatürde en çok tercih edilen ve Şekil 4'te gösterilen dairesel morfolojik yapısal eleman kullanılmıştır.



Şekil 4: Dairesel morfolojik yapısal eleman

Morfolojik işlemde giriş verisi olarak belirlenen görüntü üzerinde, yapısal eleman matrisi gezdirilmektedir. Yapısal eleman ve gri tonlamalı görüntü değerlerindeki komşu piksel değerleri yardımı ile aşınma ve genişleme işlemleri uygulanmaktadır.

Denklem 1' de aşındırma ve Denklem 2' genişleme morfolojik işlemlerinin matematiksel olarak gösterimleri sunulmuştur. Denklemlerde I_G mevcut gri tonlamalı görüntü matrisini, I_{MA} aşındırma morfolojik işlemi uygulanmış gri tonlamalı görüntü matrisini, I_{MG} genişleme morfolojik işlemi uygulanmış görüntü matrisini, Y ise dairesel yapısal elemana ait matrisi ifade etmektedir (Van Den Boomgaard & Van Balen, 1992).

$$I_{MA}(x, y) = I(x, y) \ominus Y(j, z) \Rightarrow \text{Min}_{j,z}[I(x + j, y + z) + Y(j, z)] \quad (1)$$

$$I_{MG}(x, y) = I_G(x, y) \oplus Y(j, z) \Rightarrow \text{Max}_{j,z}[I_G(x + j, y + z) + Y(j, z)] \quad (2)$$

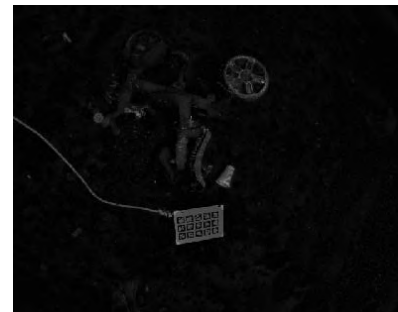
Görüntüye sırasıyla Denklem 1'de gösterilen aşındırma işlemi ve Denklem 2'de gösterilen genişleme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem neticesinde elde edilen görüntüde birçok özellik geliştirilerek arka plana eş değer hale getirilmiştir. Böylece görüntü üzerindeki farklı aydınlanma seviyeleri de elimine edilmeye çalışılarak arka plan görüntüsü oluşturulmuştur.

Denklem 3' de matematiksel ifadesi sunulan, I_G görüntü matrisinden, morfolojik işlemlerin sırası ile uygulanması ile elde edilen arka plan görüntü matrisi çıkarılarak nesnelerin deniz tabanından ayrıştırılması gerçekleştirilmiş olur. Denklem 3' te kullanılan I_{GG} ifadesi en son elde edilen görüntü matrisini ifade etmektedir.

$$I_{GG} = I_G - I_{MG} \quad (3)$$

Nesnelerin belirgin hale getirilmesi;

Şekil 5'de gösterilen I_{GG} görüntüsünde Denklem 4 kullanılarak görüntü üzerindeki zıtlıklar ön plana çıkartılmıştır.



Şekil 5: I_{GG} görüntüsü

$$I_{GY}(x, y) = \frac{I_{GG}(x, y) - I_{GG}(x, y)_{min}}{I_{GG}(x, y)_{max} - I_{GG}(x, y)_{min}} \quad (4)$$

Denklem de kullanılan $I_{GG}(x,y)_{max}$ görüntüdeki maksimum piksel yoğunluğunu, $I_{GG}(x,y)_{min}$ görüntüdeki minimum piksel yoğunluğunu, $I_{GY}(x,y)$ yeni elde edilen piksel değerini, $I_{GG}(x,y)$ zıtlığı değiştirilecek piksel değerini ifade etmektedir. Bu işlem sonucunda Şekil 6' gösterilen I_{GY} görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 6: I_{GY} görüntüsü

Görüntünün ikili formata çevrilmesi:

Görüntü ön işleminin son adımı görüntünün ikili görüntü formatına dönüştürülmesidir. Bir gri tonlamalı görüntüyü ikili görüntü formatına çevirmek için bir eşik değeri belirlenir. Belirlenen eşik değer üzerindeki değerler 255'e çevrilir. Böylece görüntünün ilgili yerleri beyaza dönüştürülür. Aynı işlem eşik değer altındaki kalan değerler içinde benzer şekilde yapılmaktadır. Burada tek fark eşik değer altındaki değerler 0'a çevrilir. Bu durumda da ilgili yerler siyaha dönüştürülmüş olur.

Denklem 5' te bu işlem için kullanılan fonksiyon gösterilmiştir. Denklemde kullanılan E ifadesi, eşik değerini göstermektedir.

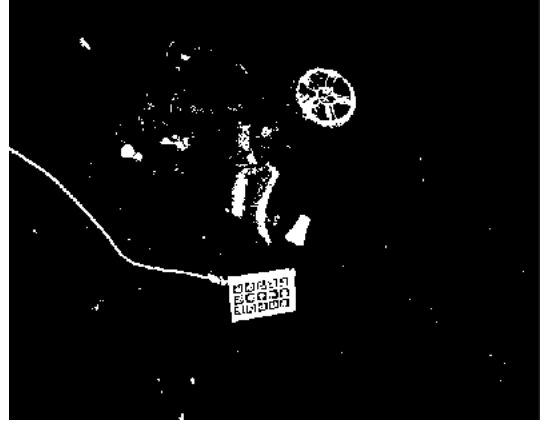
$$I_G(x,y) = \begin{cases} 255 & \leftarrow I_G(x,y) \geq E \\ 0 & \leftarrow I_G(x,y) \leq E \end{cases} \quad (5)$$

Veri setinden elde edilen ham bir görüntü Şekil 7' de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan görüntü ön işleme adımlarından sonra elde edilen görüntü Şekil 8'de gösterilmektedir.

Şekil 7 ve 8'de ki farktan da anlaşılacağı üzere, kullanılan görüntü ön işleme adımlarından sonra görüntü üzerindeki ayrıntılar daha belirgin hale gelerek deniz tabanından ayırt edilebilecek düzeye gelmiştir.



Şekil 7: Görüntü ön işleme yapılmamış ham görüntü



Şekil 8: Görüntü ön işlemesi yapıldıktan sonra oluşan görüntü

2.2.3 Nesne Tespiti

Nesne tespit işleminde, görüntü ön işleme adımlarından sonra ikilik formata dönüştürülen görüntü kullanılmıştır. Literatürde benzer görüntüler üzerinde nesne tespit etmek için geliştirilen bazı algoritmalar bulunmaktadır. Bu algoritmaların genelinde ilk olarak nesnelerin ana hatlarının belirlenmesi sağlanmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada Suzuki ve Abe tarafından geliştirilen topolojik yapısal analiz işlemi gerçekleştirilerek görüntüdeki nesnelerin sınırları tespit edilmiştir (Suzuki & be, 1985).

Bu algortmada öncelikle görüntüdeki ana hatlar(sınırlar), komşu pikseller arasındaki ilişkilere bakılarak belirlenmekte, sonrasında topolojik sıra ile etiketlenmektedir. Algortmanın adı da bu işlemden gelmektedir.

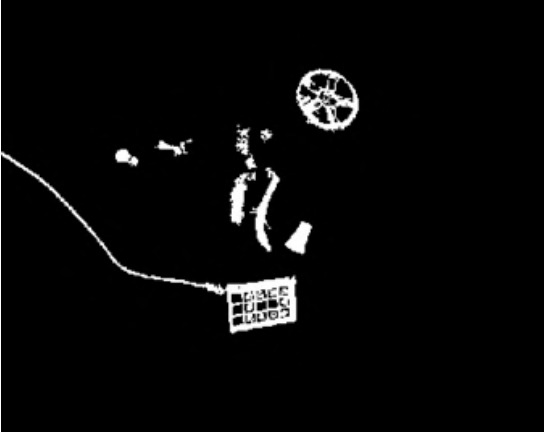
Elde edilen nesnelere içerisinde anlamlı ya da anlamsız farklı boyutlarda nesnelere bulunmaktadır. Nesnelerin anlamlandırılması ve belli nesnelerin gösterilmesi için etiketlenen her bir nesnenin görüntü üzerinde kapladığı alan hesaplanmaktadır. Denklem 6' da sunulan genel moment alma formülü kullanılarak nesnelerin alanları hesaplanmıştır (Mukundan & Ramakrishnan, 1998).

$$\Phi_{pq} = \int \int x^p y^q I(x,y) dx dy \quad p, q = 1,2,3... \quad (6)$$

Denklem 6'da kullanılan x ve y değerleri ikili görüntüyü oluşturan matristeki satır ve sütunları, Φ_{pq} momenti, $I(x,y)$ ikili görüntüyü, p ve q değerleri ise momentin derecesini ifade etmektedir.

Denklemde momentum dereceleri $p = 0$ ve $q = 0$ olarak verildiğinde, nesnenin piksel cinsinden alanı Φ_{00} elde edilmektedir. Uygun moment dereceleri kullanılarak görüntüdeki bütün nesnelerin alanları hesaplanmıştır.

Son aşamada, görüntüdeki parazit ya da istenilmeyen küçük nesnelerin elimine edilmesi istenmesinden dolayı görüntüdeki nesnelerin kapladığı alan bakımından değerleri büyükten küçüğe sıralanmış ve özellikle görüntüde en büyük alana sahip ilk on nesne tespit edilmiştir. Bu durumda Şekil 9'da gösterilmektedir.

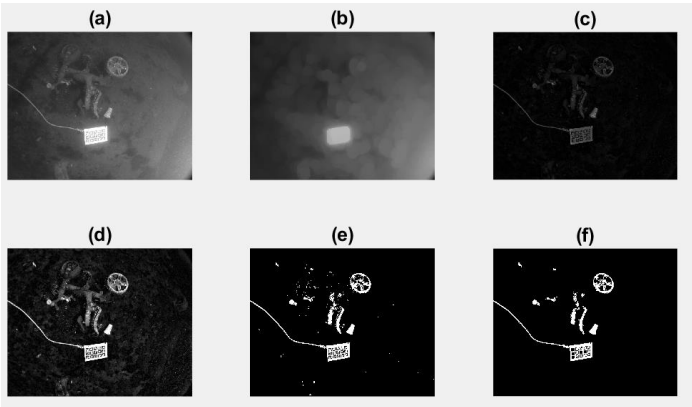


Şekil 9: Görüntüdeki tespit edilen nesnelere

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Geliştirilen uygulamada AQUALOC veri setinde bulunan 640x512 çözünürlüğe sahip görüntüler kullanılmıştır. Bu görüntüler UEye - UI-1240S sensörlü, 640x512 çözünürlüğe sahip monokromatik bir kamera ile elde edilmiştir. Çalışmada Intel i7 10750H 2.6GHz işlemci, 64GB Ram ve Nvidia GeForce GTX 1650 Tİ ekran kartı donanıma sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Geliştirilen algoritma Matlab ortamında hazırlanmış olup, Image Processing ToolBox kütüphanesinden de yararlanılmıştır. Geliştirilen uygulama görüntü elde etme, ön işleme ve nesne tespit olmak üzere üç temel adımdan oluşmaktadır. Bu temel adımların her biri geliştirilen arayüz üzerinde senkron bir şekilde çalışmaktadır.

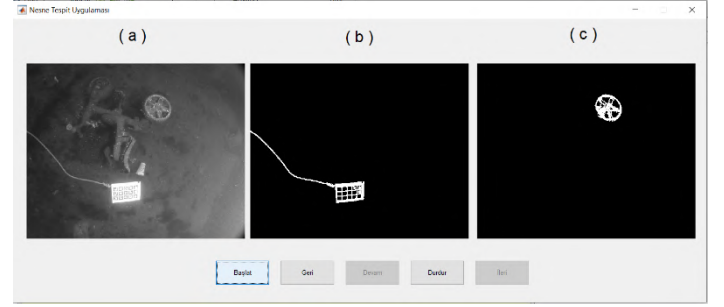
Çalışmada hazırlanan arayüz iki temel menüden oluşmaktadır. Şekil 10'da genel olarak gösterilen ilk menüde veri tabanından alınan ham görüntü ve bu görüntülere ait temel adımlar gösterilmektedir. Şekil 10 (a)'da sistemden alınan ham görüntü, Şekil 10 (b)'de tekrar oluşturulan arkaplan görüntüsü, Şekil 10 (c)'de ham görüntü üzerindeki nesnelere, Şekil 10 (d)'de zıtlık artırma işleminden sonra elde edilen görüntü, Şekil 10 (e)'de ikili formata çevrilmiş görüntü, Şekil 10 (f)'de ise parazit ve küçük nesnelere elininize edildiği görüntü gösterilmektedir.



Şekil 10: Menü 1: Nesne tespitinin temel aşamaları

Şekil 11'de gösterilen diğer menüde ise sistemin genel çalışma ara yüzü bulunmaktadır. Bu menüden görüntüler sırayla otomatik geçirilmekte, durdurulmakta, ileri, geri alınabilmektedir. Şekil 11(a)'da veri setinden sıra ile alınan ham görüntüler gösterilmektedir. Şekil 11(b) ve Şekil 11(c)'de

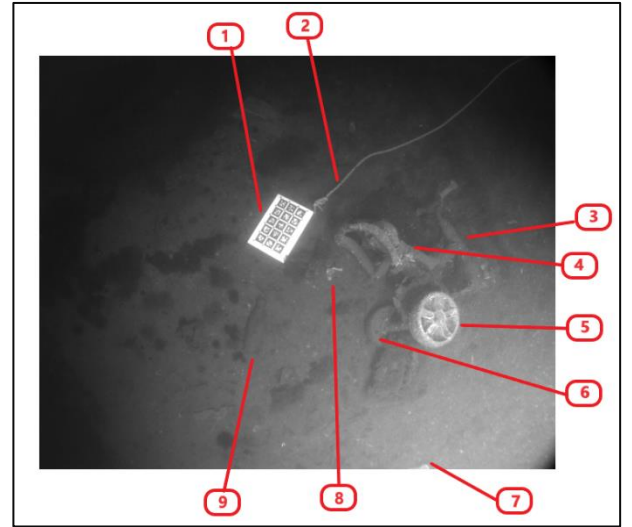
ise görüntüler üzerinde tespit edilen en büyük alana sahip iki nesne ayrı ayrı panellerde gösterilmektedir.



Şekil 11: Menü 2: Görüntüdeki tespit edilen nesnelere

Geliştirilen uygulama Şekil 11(a)'da gösterilen ve özellikle deniz tabanına kalibrasyon için yerleştirilen nesne ve Şekil 11(b)'deki diğer nesne de dahil olmak üzere görüntüdeki deniz tabanından farklı bulunan nesnelere tespit edilebilir.

Sistem başarısını test etmek için veri setinden alınan ham görüntüler üzerindeki nesnelere, insan gözü ile tespit edilerek etiketlenmiştir. Bu durum Şekil 12'de örnek bir görüntü üzerinde gösterilmiştir. Görüntü üzerinde etiketleme yapılırken deniz tabanından farklı görünen nesnelere parça parça etiketlenmiştir.



Şekil 12: Etiketlenmiş ham görüntü

Şekil 13'te uygulanan algoritma sonucu nesne tespiti yapılmış görüntü sunulmuştur.



Şekil 13: Nesne tespiti yapılmış görüntü

Sistem başarısını ölçmek için veri setindeki her bir görüntü üzerinde etiketleme yapılarak elde edilen görüntüler ile nesne tespiti yapılan görüntüler karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma işlemi için Tablo'1 de gösterilen literatürdeki fonksiyonlar kullanılmıştır.

Tablo 1: Hata fonksiyonları

Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error)	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (g_i - y_i)^2$
Kök Ortalama Karesel Hata (Root Mean Squared Error)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (g_i - y_i)^2}$
Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i - y_i $
Ortalama Mutlak Yüzdese Hata (Mean Absolute Percentage Error)	$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{g_i - y_i}{g_i} \right $

Çalışmada kullanılan veriler normalize edilerek kullanılmış olup tercih edilen hata fonksiyonları ve içerikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1' de gösterilen fonksiyonlarda n kullanılan veri setindeki görüntü sayısını, g_i etiketlenmiş ham görüntüdeki nesne sayısını, y_i kullanılan algoritma sonucu görüntüde tespit edilmiş nesne sayısını ifade etmektedir.

Çalışmada MSE, RMSE, MAE ve MAPE hata fonksiyonları için sırasıyla 0.08, 0.09, 0.28 ve %16 olarak elde edilmiştir.

4. Sonuç

Çalışmada deniz tabanında bulunan nesnelerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen algoritma ile AQUALOC veri setinde bulunan su altı görüntülerinden nesnelerin tespit edilmesini sağlayan bir uygulama geliştirilmiştir.

Görüntü işleme uygulamalarında görüntü elde etmek için kullanılan donanımların kapasiteleri, nesne tespitinde önemli bir

rol oynamaktadır. Özellikle sualtı görüntülemeye kullanılan kameraların yüksek maliyetli olması birçok sualtı araştırmasını da olumsuz etkilemektedir. Çalışmada bu durum göz önünde bulundurularak düşük kapasiteli donanıma sahip bir kameradan elde edilen görüntüler tercih edilmiştir.

Tercih edilen kamera ile alınan görüntüler incelendiğinde, deniz tabanındaki nesnelerin hazırlanan algoritma ile tespit edilebildiği Şekil 13 'te gösterilmiştir.

Hazırlanan yazılım ile minimum hata değerleri MSE, RMSE, MAE ve MAPE hata fonksiyonları için sırasıyla 0.08, 0.09, 0.28 ve %16 olarak elde edilmiştir.

Geliştirilen uygulama AQUALOC veri setindeki görüntüler üzerinde çalışmasına rağmen, gerçek zamanlı alınabilecek görüntüler üzerinde de uygulanabilir niteliktedir. Bu nedenle deniz tabanından geçirilen petrol boru hattı gibi enerji hatları ile diğer iletişim hatlarının güvenliklerini sağlamak amacıyla kullanılan insansız sualtı araçlarında da kullanılabilir yapıdadır.

Çalışmanın ana gayesi deniz tabanında bulunan farklı nesnelerin tespit edilmesi olmasına rağmen, ilerleyen dönemlerde çalışma geliştirilerek deniz tabanındaki nesnelerin sınıflandırılmasını da içererecek şekilde genişletilmesi planlanmaktadır. Çalışmanın şuan ki hali ile de sınırlı sayıda bulunan sualtı görüntüleri üzerinde nesne tespiti ile ilgili çalışmalara katkı sağlayacağı aşikardır.

Kaynakça

- Au, W. W. L. (1993). The sonar of dolphins. Springer Science & Business Media.
- Çelebi, A. T., & Ertürk, S. (2012). Visual enhancement of underwater images using Empirical Mode Decomposition. *Expert Systems with Applications*, 39(1),800–805. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.077>
- Chen, Z., Zhang, Z., Dai, F., Bu, Y., & Wang, H. (2017). Monocular vision-based underwater object detection. *Sensors(Switzerland)*,17(8). <https://doi.org/10.3390/s17081784>
- Ferrera, M., Creuze, V., Moras, J., & Trouvé-Peloux, P. (2019). AQUALOC: An underwater dataset for visual-inertial-pressure localization. *The International Journal of Robotics Research*,38(14),1549–1559. <https://doi.org/10.1177/0278364919883346>
- Han, F., Yao, J., Zhu, H., & Wang, C. (2020). Marine Organism Detection and Classification from Underwater Vision Based on the Deep CNN Method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/3937580>
- Karimanzira, D., Renkewitz, H., Shea, D., & Albiez, J. (2020). Object detection in sonar images. *Electronics (Switzerland)*,9(7),1–16. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS9071180>
- Leblebicioğlu, M. K., Akar, G., Halıcı, U., Kartal, K. S., Saç, H., & Shabani, R. (2015). İnsansız sualtı araçları için yol planlama ve sualtı optik görüntülerin akustik görüntüleme desteği ile iyileştirilmesi.
- Mukundan, R., & Ramakrishnan, K. R. (1998). Moment functions in image analysis: theory and applications. World Scientific.

- Nur, S., Hamal, G., & Ulvi, A. (2020). Türkiye Fotogrametri Dergisi Su Altı Fotogrametri Yöntemi ve Kullanım Alanı Üzerine Bir Literatür Araştırması A Literature Study on Underwater Photogrammetry Method and Usage Area. 2(2), 60–71.
- Nyrkov, A. P., Zhilenkov, A. A., Korotkov, V. V., Sokolov, S. S., & Chernyi, S. G. (2017). Development of underwater robotics. *Journal of Physics: Conference Series*, 803, 12108. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/803/1/012108>
- Solak, S., & Altınışık, U. (2018). Görüntü İşleme Teknikleri ve Kümeleme Yöntemleri Kullanılarak Fındık Meyvesinin Tespit ve Sınıflandırılması. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, February, 1–1. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.303850>
- Stanford Artificial Intelligence Laboratory et al. (2020). Bag Files. <http://wiki.ros.org/Bags>
- Suzuki, S., & be, K. (1985). Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 30(1), 32–46. [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(85\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0734-189X(85)90016-7)
- Taşyapı Çelebi, A. (2012). Sualtı görüntülerinde iyileştirme ve hedef tespiti. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Van Den Boomgaard, R., & Van Balen, R. (1992). Methods for fast morphological image transforms using bitmapped binary images. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 54(3), 252–258. [https://doi.org/10.1016/1049-9652\(92\)90055-3](https://doi.org/10.1016/1049-9652(92)90055-3)
- Williams, D. P., & Groen, J. (2011). A fast physics-based, environmentally adaptive underwater object detection algorithm. OCEANS 2011 IEEE - Spain. <https://doi.org/10.1109/Oceans-Spain.2011.6003424>
- Zhu, Y., Chang, L., Dai, J., Zheng, H., & Zheng, B. (2016). Automatic object detection and segmentation from underwater images via saliency-based region merging. OCEANS 2016-Shanghai, 1–4.



Personel Seçiminde Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR Yöntemlerinin Uygulanması

Tülay Korkusuz Polat^{1*}, Nurcan Kara²

^{1*} Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 54100, Sakarya Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6693-7873), korkusuz@sakarya.edu.tr

² Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 54100, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4801-3658), nurankara14021982@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 5 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 4 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.874671)

ATIF/REFERENCE: Korkusuz Polat, T. & Kara, N. (2021). Personel Seçiminde Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR Yöntemlerinin Uygulanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 376-385.

Öz

Özellikle bilginin ve doğru bilgiye sahip olmanın öneminin her geçen gün arttığı günümüzde, kalifiye insan kaynağı ile çalışabilmek önemlidir. Doğru insan kaynağına sahip olmak işletmelerin rekabet edebilirliğini arttırmada önemli bir araçtır. Doğru adayın seçim aşaması sürecin zorlu adımlarından biridir. Alternatif adaylar arasından doğru adayı seçmek için pek çok kriteri en iyi şekilde sağlayan adayı bulmak gerekebilir. Çok alternatifin ve çok kriterin değerlendirilmesi gereken bu tarz problemlerde Çok Kriterli Karar Verme tekniklerini kullanmak, değerlendirme aşamasına tüm kriterlerin katılabilmesini sağlaması açısından oldukça kullanışlıdır. Bu çalışmada, Sakarya'da faaliyet gösteren bir imalat işletmesinin insan kaynakları müdürü seçim problemi ele alınmıştır. Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden DEMATEL ve VIKOR yöntemleri, sezgisel değerlendirmelerin de hesaba katılabilmesi için bulanık olarak çalışılmıştır. Problem için altı kriter ve yedi alternatif belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesinde işletmede fabrika müdürü, satış müdürü ve üretim müdüründen oluşan üç kişilik uzman bir ekip ile birlikte çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Personel Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık DEMATEL, Bulanık VIKOR.

Application of Fuzzy DEMATEL and Fuzzy VIKOR Methods in Personnel Selection

Abstract

It is important to work with qualified human resources, especially in today's world, where the importance of knowledge and having the right information is increasing day by day. Having the right human resources is an important tool in increasing the competitiveness of businesses. The selection phase of the right candidate is one of the difficult steps of the process. To choose the right candidate among alternative candidates, it may be necessary to find the candidate who meets many criteria in the best way. It is very useful to use Multi Criteria Decision Making techniques in such problems where many alternatives and multiple criteria should be evaluated, in terms of ensuring that all criteria can be included in the evaluation phase. In this study, the problem of choosing a human resources manager of a manufacturing company operating in Sakarya is discussed. The DEMATEL and VIKOR methods, which are among the Multi Criteria Decision Making techniques, have been studied fuzzy in order to take into account heuristic evaluations. Six criteria and seven alternatives were determined for the problem. A team of three experts, consisting of factory manager, sales manager and production manager, worked together in determining the criteria.

Keywords: Personnel Selection, Multi Criteria Decision Making, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy VIKOR.

* Sorumlu Yazar: korkusuz@sakarya.edu.tr

1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesi ve küreselleşmenin etkileri her geçen gün daha fazla hissedilse de, nitelikli işgücünün önemi azalmamıştır. Özellikle yönetim seviyesinde işgücünün önemi ve dolayısıyla doğru insan kaynağının seçimi son derece önemlidir. Kurumların başarısı, doğru işe doğru personelin yerleştirilmesiyle ilgilidir. İnsan kaynakları seçimi, insan kaynağı ihtiyacını belirleme ile başlayan ve bu ihtiyacı karşılayan doğru adayın seçilmesi ile devam eden bir süreçtir. Ölçme ve değerlendirmeyi daha doğru hale getirmek için insan kaynakları seçiminde dikkate alınacak çok fazla kriter olabilir. İnsan kaynakları seçim probleminin çok kriterli doğası, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Literatürde işletmeler için çok önemli olan personelin “Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri - ÇKKVT” kullanılarak seçilmesine yönelik çok sayıda araştırma olduğu görülmektedir. Aksakal vd. [1], adayın seçim sürecini değerlendirmek için DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) yöntemlerini içeren bir model önermektedir. Araştırmada DEMATEL yöntemi ile her bir kriterin ağırlığı bulunurken, adaylar TOPSIS yöntemi ile listelenmiştir. Kenger ve Organ [2], yaptıkları çalışmada Hatay'daki bir banka için personel seçme problemini tartışmış ve entropi yöntemi ile ağırlıkları belirleyerek alternatifleri ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemi ile değerlendirmiştir. Uygurtürk ve Korkmaz [3], metal sektöründe faaliyet gösteren 13 firmanın mali tablolarını kullanarak şirketlerin mali performansını analiz etmek için TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Soba [4], aynı sınıftaki altı farklı minibüs aracından birini seçmek için PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) yöntemini kullanmıştır. Problemin çözümü için seçim kriterleri olarak: ücret, hız, yakıt, güvenlik, motor gücü ve performans kullanılmıştır. Pineda vd. [5] havayolu performansını ölçmek için kullanılan kriterlerin yetersiz olduğunu öne sürmüş ve yöneticilerin niteliksel değerlendirmelerini dikkate alan bir çalışma yürütmüşlerdir. Değerlendirmede kullanılabilecek temel kriterleri nesnel olarak türetebilecek bir model geliştirmek için DRSA (Dominance-based rough set approach), DEMATEL, DANP (DEMATEL-Analytic Network Processes) ve VIKOR (VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje) dahil olmak üzere hibrit bir çok kriterli karar verme modeli kullanmışlardır. Nassereddine ve Eskandari [6], Tahran'daki toplu taşıma yolcularının memnuniyet düzeyini ölçmek için hibrit bir model önermiştir. Çalışmada anket değerlendirmesi için Delphi yöntemi uygulanmış, ardından kriterlerin ağırlıklandırılması için Grup Analitik Hiyerarşi Prosesi (GAHP) ve son olarak değerlendirmeyi yapmak için PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. Kabak vd. [7], bisiklet paylaşım istasyonları ve potansiyel bisiklet paylaşım istasyonu alternatiflerinin mevcut durumunu değerlendirmek için coğrafi bilgi sistemi ile çok kriterli karar verme yöntemleri olan AHP (Analytic Hierarchy Process – Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve MOORA (Multi-Objective Optimization By Ratio Analysis) 'nın birleştirildiği çalışma yürütmüşlerdir. Uluslararası havaalanı performansının sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini tahmin etmek için DEMATEL, DANP ve VIKOR yöntemlerini kullanan Lu vd. [8] uygulamalarında Tayland'daki üç uluslararası havalimanını değerlendirmişlerdir. Bongo vd. [9], hava transfer sisteminde çalışan hava kontrolörlerinin iş yükü stresini ölçmek için DEMATEL - ANP ve PROMETHEE II'yi kullanmışlardır. Ünal

[10], AHP'nin uygulama aşamaları ve avantajlarına değindikten sonra, personel seçimi konusunda AHP ile yapılan uygulama çalışmalarını derinlemesine incelemiştir. AHP yöntemi, seçim kararlarını vermede yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, genellikle kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmakta olup, değerlendirme işlemi için bir başka çok kriterli karar verme yönteminden destek alınan çalışmalar da mevcuttur. Bedir ve Eren [11], perakende sektöründeki uygulamalarında çok kriterli karar verme tekniklerini kullanarak personel seçim problemi için AHP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmışlardır. Üstasüleyman [12] çalışmasında, hizmet kalitesi ve işçilik kalitesinin önemli olduğu sektörlerden biri olan bankacılık sektörünü incelemiştir. Çalışmasında hizmet kalitesi değerlendirme kriterlerinin önemini belirlemede AHP yöntemini kullanmış ve bu önem seviyelerini TOPSIS yönteminde kullanarak, bankaların hizmet performansını ölçmüşlerdir. AHP ve TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir başka çalışma Doğan ve Önder [13] tarafından yapılmıştır. Bilişim sektörünün perakende zincir mağazalarına odaklanan çalışmada, AHP ile uygun satış temsilcilerinin seçimi için gerekli kriterlerin ağırlıklarını belirlemişler ve adayları TOPSIS ile sıralamışlardır. Tepe ve Görener [14], kurumsal bir şirket için personel seçim sürecini gerçekleştirirken kriter ağırlıklarını AHP yöntemi ile hesaplamış ve MOORA yöntemini kullanarak seçim sürecini gerçekleştirmişlerdir. Gür vd. [15] toplu taşıma için alternatif güzergah belirleme probleminin çözümünde AHP ve 0-1 hedef programlama yöntemlerini birlikte kullanarak bir çalışma yürütmüştür. Aktepe ve Ersöz [16] farklı bir seçim yeri uygulaması olarak, depo yeri seçiminde AHP-VIKOR-MOORA yöntemlerini kullandıkları bir uygulama yapmışlardır. Uygulamalarında, bir döküm fabrikası için üç farklı şehirdeki 11 olası depolama yerinden seçim yapmak için kriterler AHP ile ağırlıklandırılmış ve alternatifler MOORA ve VIKOR yöntemlerine göre sıralanmıştır. Arslankaya [17], Bulanık AHP ile kalite, fiyat, mesafe ve hizmet kriterlerini değerlendirmiş ve ikram firması seçiminde ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) ve VIKOR yöntemleri ile alternatif seçim yapmıştır. Över Özçelik ve Eryılmaz [18] Bulanık AHP-MOORA-COPRAS yöntemlerini kullanarak bir traktör imalatçısı için tedarikçi seçimi yapmışlardır. Çolak ve Boyacı [19], Bulanık AHP yöntemi ile otomotiv endüstrisi için performans değerlendirme çalışması yapmışlardır.

Sang vd. [20] bir yazılım işinde personel seçimi için bir model geliştirmişlerdir. Model, α -cut ve KM (Karnik-Mendel Algoritması) algoritmalarına dayalı Bulanık TOPSIS yöntemi ile çalışmaktadır. Lin [21] Tayvan'da bir imalat firmasında personel seçim problemini ele almıştır. Sorunu çözmek için ANP ve üç aşamalı Bulanık DEA (Data Envelopment Analysis-Veri Zarflama Analizi) tekniklerini entegre eden bir karar destek modeli geliştirmiştir. Uygulamalarda farklı sıralama yöntemleri kullanıldığında tutarsız sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle Dursun ve Karsak [22], analize hem net verileri hem de dilsel değişkenleri dahil etmeyi mümkün kılan bir algoritma önermişlerdir. Çalışmalarında TOPSIS'e dayalı bulanık çok kriterli bir karar verme modeli kullanmışlardır. Benzer şekilde Kusumawardani ve Agintiara [23], AHP ve TOPSIS yöntemlerinin çok kriterli avantajlarını bulanık yönteminin avantajları ile birlikte kullanmak için entegre bir sistem kullanmışlardır. Endonezya'da yedi bölgede faaliyet gösteren bir şirketin insan kaynakları departmanı tarafından belirlenen kriterleri kullanarak departman için yönetici personel seçimi problemini ele almışlardır. Balez'entis vd. [24], grup karar vermede dilbilimsel akıl yürütme sağlamak için Bulanık

MULTIMOORA tekniğini genişlettikleri bir çalışma yürütmüşler ve personel seçimi problemi ile de çalışmalarını örneklemiştirlerdir. Kabak vd. [25], hibrit bir bulanık çok kriterli karar verme modeli kullanarak personel seçimi yapmışlardır. Seçim için kullanılan kriterler arasındaki geri bildirimleri ele almak için Bulanık ANP'yi ve personel seçiminde uygun alternatifler bulmak için Bulanık TOPSIS-Bulanık ELECTRE yöntemlerini kullanmışlardır. Güngör vd. [26], personel seçimi probleminde karar vericiye yardımcı olmak için Bulanık AHP yöntemini kullanarak bulanık bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Kolay anlaşılır ve uygulanabilir tekniklerden olan GRA (Gray Relational Analysis) yöntemi personel seçim problemlerinde de kullanılmaktadır, Zhang ve Liu [27], GRA'yı sezgisel bulanık küme yöntemiyle birleştirerek personel seçiminde kullanmışlardır. Kelemenis ve Askounis [28], Bilişim Teknolojileri sektöründe üst düzey bir yöneticiyi seçtikleri çalışmalarında karar vericilere destek olmak için Bulanık TOPSIS tabanlı bir model geliştirmişlerdir. Yıldız ve Deveci [29], bir teknoloji şirketinde personel seçimi probleminin çözümü için Bulanık VIKOR tercih etmişlerdir. Diğer yandan Öztürk ve Kaya [30] ise otomotiv yan sanayi bir şirket için Bulanık VIKOR ile personeli seçmiştir. Jassbi vd. [31], stratejik seçim kriterleri arasındaki ilişkileri belirlemek için Bulanık DEMATEL tekniği ile bir çalışma yapmışlardır.

Personel seçimi, teknoloji yoğun sektörlerde dahi kalifiye eleman bulmanın çok önemli olduğu günümüz iş dünyasının belki de en önemli sorunlarından biridir. Doğru personel ile çalışmak, şirketlerin başarısında kilit rol oynar. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı problemlerde, karar vermenin doğasında var olan belirsizlik ve uzmanların görüşlerindeki öznellik, karar vermede sayısal değerlerin kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Sayısal değerlerden ziyade dilsel ifadelerin baskın olduğu durumlarda, görüşlerin objektif olması için bulanık küme özelliklerine sahip bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri daha faydalı olacaktır. DEMATEL yöntemi, karmaşık kriterler arasındaki nedensel ilişkileri analiz etmektedir. Nedensel ilişkileri belirlemede Bulanık DEMATEL yönteminin daha işlevsel olacağı varsayımı ile bu çalışmada Bulanık DEMATEL tercih edilmiştir. VIKOR yönteminde ise kriter ağırlıklarının kesin olarak bilindiği kabul edilmektedir. Karar verme sürecinde ortaya çıkabilecek belirsizlikler klasik VIKOR'da zorluklara neden olabilir, Belirsizliklerden doğabilecek bu gibi aksaklıkları gidermek için Bulanık VIKOR tercih edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR yöntemlerinin entegre bir şekilde kullanımının personel seçim problemlerinde etkili sonuçlar verdiğini göstermektir. Problemin çözümünde personel seçim kriterlerinin ağırlığını bulmak için hem dilsel hem de sayısal değerlendirmeleri dikkate alan Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmış ve adayların değerlendirilmesi ise Bulanık VIKOR yöntemi ile yapılmıştır.

2. Materyal ve metot

Çözümde çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanıldığı problemlerde, kullanılan kriter ağırlıklarının belirli/kesin olduğu kabul edilmektedir. Ancak kesin değerlerle çalışmak her zaman mümkün değildir. Zadeh [32] tarafından önerilen Bulanık Mantık teorisine dayanan Bulanık Kümeler, kesin değerlerin olmadığı, ancak dilsel olarak ifade edilen değerlerin olduğu çalışmalarda kullanılmaktadır. Bulanık Küme teorisi, sıklıkla çok kriterli karar verme teknikleriyle entegre olarak kullanılmaktadır.

2.1. Bulanık DEMATEL

1970'lerde geliştirilen DEMATEL, daha karmaşık ve sistemik problemleri çözmek için değişkenler arasındaki nedensel ilişkinin yapısal modelini oluşturan çok kriterli bir karar verme yöntemidir. DEMATEL, ilişkilerdeki ve karar vermedeki sorunları değerlendirmek için iyi bir tekniktir [33]. Yöntem, sistemdeki ilişkilerin önemini puanlayarak hiyerarşik bir yapı oluşturmaktadır. Bazı durumlarda ilişkileri puanlayan uzmanların görüşlerini ve sistemi etkileyen faktörleri sayısal ve net olarak belirlemek zordur. Bu zorluğu aşmak için Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmaktadır [34].

Bulanık DEMATEL uygulama adımları aşağıda listelenmiştir [35, 36, 37, 38, 39, 40]:

Adım 1: İlk olarak doğrudan ilişki matrisi bulanık olarak oluşturulmalıdır. Bunun için karar vericilerin görüşleri bir araya getirilir [41]. Ayrıca faktörler arasındaki ilişkinin güçlenme derecesini ifade etmek için puan ölçeği (0-4 aralığında) geliştirilir (tablo 1).

Tablo 1. Bulanık Dilsel Değişkenler [42]

Dilsel Değişkenler	Etki Derecesi	Bulanık Karşılıklar
Çok Yüksek Etki	4	(0.75, 1.0, 1.0)
Yüksek Etki	3	(0.5, 0.75, 1.0)
Düşük Etki	2	(0.25, 0.5, 0.75)
Çok Düşük Etki	1	(0.0, 0.25, 0.5)
Etki Yok	0	(0.0, 0.0, 0.0)

Etki derecesini belirlemek için Üçgensel Bulanık sayılar kullanılır: $\tilde{Z} = (l; m; u)$.

Burada l : olası en küçük değeri, m : en olası değeri, u : olası en büyük değeri göstermektedir.

$C = \{C_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ kriterleri arasındaki ilişkileri belirlemek için p uzmanlarının oluşturduğu karar vericiler, dilsel terimler ile kriterleri birbirleri ile ikili şekilde karşılaştırır. $\tilde{Z}^1, \tilde{Z}^2, \dots, \tilde{Z}^p$ Bulanık matrisi bulunur. Matrislerin her biri bir uzmana karşılık gelir.

Buna göre, elemanları j kriterini etkileyen i kriterinin seviyesini gösteren $\tilde{Z}_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, u_{ij}^k)$ üçgensel bulanık sayılardan oluşan k uzmanının doğrudan ilişki matrisi denklemde gösterildiği gibidir (1).

$$\tilde{Z}^k = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \tilde{Z}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{Z}_{n1}^k & \dots & 0 \end{bmatrix}, k = 1, 2, \dots, p \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Adım 2: Bulanık \tilde{Z}^k matrisi normalleştirilir ve doğrudan bir bulanık matrise dönüştürülür (\tilde{X}^k).

Bulanık doğrudan ilişki matrisi $\tilde{X}^k = [\tilde{x}_{ij}^k]_{n \times n}$ olarak gösterilir ve denklemdeki gibi hesaplanır (Denklem (2)).

$$\tilde{X}^k = \frac{\tilde{Z}^k}{r^k}, \quad r^k = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n u_{ij}^k \quad (2)$$

Denklem (2) kullanılarak, her bir kriterdeki üçgensel bulanık sayıların sonucunu gösteren "u" değerleri tüm sütun için toplanır, tek bir değer bulunur, bu işlem tüm sütunlar için yapılır. Bulunan değerlerin en büyüğüne "r" adı verilir. Tüm matrisin "r" değerine bölünmesiyle normalize edilmiş doğrudan ilişki matrisi "X" elde edilir [43]. (Karar vericilerin tümü için normalize bulanık doğrudan ilişki matrisi hazırlanır).

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} & \dots & \tilde{X}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{X}_{n1} & \tilde{X}_{n2} & \dots & \tilde{X}_{nn} \end{bmatrix}$$

Normalize bulanık doğrudan ilişki matrisleri ($\tilde{X}^1, \tilde{X}^2, \dots, \tilde{X}^p$) 'nin ortalama matrisi **denklem (3)** 'te gösterildiği gibi elde edilir.

$$\tilde{X} = \frac{\tilde{X}^1 + \tilde{X}^2 + \dots + \tilde{X}^p}{p}, \quad \tilde{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p \tilde{x}_{ij}^k}{p} \quad (3)$$

Adım 3: Toplam bulanık doğrudan ilişki matrisinin hazırlanması. \tilde{T} ile ifade edilen toplam bulanık doğrudan ilişki matrisi **denklem (4)** ile hesaplanır. (I birim matrisidir).

$$\tilde{T} = \lim_{x \rightarrow \infty} (\tilde{X}^1 + \tilde{X}^2 + \dots + \tilde{X}^k), \quad \tilde{X}(I - \tilde{X})^{-1} \quad (4)$$

Burada $\tilde{t}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ \tilde{T} matrisi **denklem (5)** 'deki formülasyon ile elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{Matris}[l'_{ij}] &= X_l(I - X_l)^{-1}, \\ \text{Matris}[m'_{ij}] &= X_m(I - X_m)^{-1}, \\ \text{Matris}[u'_{ij}] &= X_u(I - X_u)^{-1} \end{aligned} \quad (5)$$

Denklem (5) 'den elde edilen sonuçların birleştirilmesiyle \tilde{T} ile gösterilen matris elde edilir.

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{T}_{11} & \tilde{T}_{12} & \dots & \tilde{T}_{1n} \\ \tilde{T}_{21} & \tilde{T}_{22} & \dots & \tilde{T}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{T}_{n1} & \tilde{T}_{n2} & \dots & \tilde{T}_{nn} \end{bmatrix}$$

Adım 4: $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ ve $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ değerleri hesaplanarak neden-sonuç ilişkileri belirlenir. \tilde{D}_i , \tilde{T} matrisindeki satır elemanlarının toplamıdır. \tilde{R}_i , \tilde{T} matrisindeki sütun elemanlarının toplamıdır.

İlişkilerin kurulması için öncelikle **denklem (6)** 'da gösterilen durulaştırma işlemi gerçekleştirilir.

$$\begin{aligned} \tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def} &= \frac{1}{4} (x_{ij;l} + x_{ij;m} + x_{ij;u}), \\ \tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def} &= \frac{1}{4} (x_{ij;l} - x_{ij;m} + x_{ij;u}) \end{aligned} \quad (6)$$

$\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$ değeri, tüm uzmanların tercihlerini birleştirerek tüm faktörlerin toplam önemini gösterir. $\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$ değeri, kriterlerin gönderen veya alıcı olmak üzere ikiye ayrılmasına imkân vermektedir. Pozitif sonuç; söz konusu kriterin gönderen grupta olduğunu ve diğer kriterler üzerinde daha fazla bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Sonucun negatif çıkması durumu ise, söz konusu kriterin alıcı grup içinde olacağını ve diğer kriterlere etkisinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Böylece yatay ekseninde $\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$ değerleri ve dikey ekseninde $\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$ değerleriyle sebep-sonuç diyagramı elde edilebilir [40, 42].

Adım 5: Kriter ağırlıklarının hesaplanması (**Denklem (7)**)

$$w_i = \{(\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def})^2 + (\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def})^2\}^{1/2}, \quad W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (7)$$

2.2. Bulanık VIKOR

Bulanık VIKOR yöntemi, karşılaştırılmaz ve çelişen kriterlere sahip ayrık bir bulanık çok kriterli problemi çözmek için geliştirilen bir bulanık çok kriterli karar verme yöntemidir [43]. Nispeten yeni bir yöntem olmasına rağmen karar verme sorununun olduğu birçok alanda uygulanabileceği görülebilmektedir. Bulanık VIKOR yöntemini çözmek için aşağıdaki aşamalar uygulanabilir [44, 46, 47, 48, 49, 50]:

Aşama 1: N adet karar vericiden oluşan uzman grubunun belirlenmesi.

Aşama 2: k sayıda değerlendirme kriterinin ve M sayıdaki alternatifinin belirlenmesi.

Aşama 3: Dilsel değişkenlere göre kriterlerin ve alternatiflerin önem derecelerinin belirlenmesi (**Tablo 2**'de gösterilmektedir).

Tablo 2: Dilsel Değişkenler

Dilsel Değişkenler	Bulanık Karşılıklar
Çok Zayıf	(0, 0, 2.5)
Zayıf	(0, 2.5, 5)
Orta	(2.5, 5, 7.5)
İyi	(5, 7.5, 10)
Çok İyi	(7.5, 10, 10)

Aşama 4: Kriter ve alternatiflerin uzman görüşlerinden elde edilen değerleri toplanarak, kriterlerin ve alternatiflerin toplam bulanık ağırlıkları bulunur (**denklem 8**).

$$\tilde{W}_j = \frac{1}{n} [\sum_{e=1}^n \tilde{W}_j^e] \quad j=1, 2, \dots, k,$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{n} [\sum_{e=1}^n \tilde{x}_{ij}^e] \quad i=1, 2, \dots, m \quad (8)$$

(\tilde{W}_j : j kriterinin önem ağırlığı ve \tilde{x}_{ij} i . alternatifin j kriterine göre derecesi)

Aşama 5: Bulanık karar matrisinin oluşturulması.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2, \dots, n$$

$$\tilde{W} = (\tilde{w}_1; \tilde{w}_2; \dots; \tilde{w}_k)$$

Aşama 6: Tüm faktörler için ‘‘Bulanık En İyi’’ ve ‘‘Bulanık En Kötü’’ değerlerin hesaplanması (**denklem (9)**).

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \tilde{x}_{ij}, \quad \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij} \quad (9)$$

Aşama 7: \tilde{S}_i (denklem (10)) ve \tilde{R}_i (denklem (11)) değerlerinin bulunması.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^k \tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-) \quad (10)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-) \quad (11)$$

Burada \tilde{S}_i bulanık en iyi değerden A_i çekilme değerinin ölçüsünü; \tilde{R}_i ise bulanık en kötü değerden A_i çekilme değerinin ölçüsünü göstermektedir.

Aşama 8: Denklem (12) \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* , \tilde{R}^- ve \tilde{Q}_i değerlerinin hesaplanmasını göstermektedir.

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i$$

$$\tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i$$

$$\tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i$$

$$\tilde{Q}_i = v (\tilde{S}_i - \tilde{S}^*) / (\tilde{S}^- - \tilde{S}^*) + (1-v) (\tilde{R}_i - \tilde{R}^*) / (\tilde{R}^- - \tilde{R}^*) \quad (12)$$

Burada \tilde{S}^* maksimum grup faydasını, \tilde{R}^* ise rakiplerin minimum pişmanlıklarını ifade etmektedir.

Denklem (12) ile elde edilen \tilde{Q}_i indeksinde \tilde{S}^* ve \tilde{R}^* birlikte değerlendirilmektedir.

v : Grup faydasını en fazla gerçekleştiren stratejinin önemini, $1-v$: Denklem (12) 'deki pişmanlığın değerini göstermektedir. (v 'nin değeri 0-1 arasında değişebilir, genellikle $v = 0,5$ tercih edilir).

Aşama 9: Üçgensel bulanık \tilde{Q}_i sayısının durulaştırılması ve alternatiflerin durulaştırma sonrası elde edilen \tilde{Q}_i değerlerine göre sıralanması (denklem (13)).

$$P(\tilde{A}) = A = (a_1 + 4a_2 + a_3) / 6 \quad (13)$$

Aşama 10: Uzlaşma çözümünün önerilmesi. Minimum Q değerine sahip olan bir alternatif, aşağıdaki iki koşulu karşılıyorsa "uzlaşmacı çözüm" olarak kabul edilir.

Koşul-1 (Kabul edilebilir avantaj)

$$DQ = 1 / (m-1) \quad (14)$$

$$Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ \quad (15)$$

(Burada A^1 : en küçük (en iyi) Q_i değerine sahip alternatifi gösterirken, A^2 : en iyi ikinci alternatifi göstermektedir)

Koşul-2 (Karar vermede kabul edilebilir istikrar)

Hem S hem de R değerleri hesaba katılarak oluşturulan sıralamada alternatif A^1 en iyi alternatif olmalıdır.

Koşul-1 karşılanmazsa ve $Q(A^M) - Q(A^1) < 1/(m-1)$ ise, o zaman A^M ve A^1 aynı uzlaşmacı çözümdür.

Koşul-2 karşılanmazsa karar vermede bir tutarsızlık var demektir ve bu durumda A^1 ve A^2 'nin uzlaşmacı çözümleri aynıdır.

3. Uygulama

Bu çalışmada çeşitli robotik ve konvansiyonel olarak tasarlanmış makine ve ekipmanların üretimini gerçekleştiren bir firma için İnsan Kaynakları Müdürü seçim problemi ele alınmıştır. Eski İnsan Kaynakları Müdürünün emekli olması ile boşta kalan pozisyon, işletmenin işe alım süreçlerini olumsuz etkilediği için en kısa sürede en uygun adayın seçilmesi istenmektedir.

Bunun için öncelikle söz konusu personelin işe alımı esnasında dikkate alınması gereken kriterler belirlenmiştir. Kriterler belirlenirken fabrika müdürü, satış müdürü ve üretim müdüründen oluşan uzman bir ekip ile çalışılmış ve aynı zamanda da literatürden destek alınmıştır. Demirci ve Kılıç [51], DEMATEL-ANP-ELECTRE yöntemlerini entegre ederek personel seçimi için karar verdikleri bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında değerlendirme kriteri olarak eğitim, deneyim, kişilik ve kişisel beceriler, teknik beceri ve gereksinimler, yabancı dil, mesleki esneklik ve sınav sonuçlarını (firma tarafından yapılan sınavdan alınan puanlar) kullanmışlardır. Aksakal vd. [1] genel müdür olarak atanacak adayın seçim sürecini değerlendirmek için DEMATEL ve TOPSIS yöntemlerini içeren bir model önermişlerdir. Her bir kriterin ağırlığı DEMATEL yöntemi ile bulunurken, adaylar TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Değerlendirme için altı kriter kullanılmışlardır (K₁: iletişim; K₂: karar verme; K₃: takım çalışması; K₄: liderlik; K₅: kişilerarası beceriler; K₆: teknik ve fonksiyonel nitelikler).

Bu çalışma için aynı zamanda yönetim kurulunda da görev yapan fabrika müdürü, üretim müdürü ve satış müdüründen oluşan uzman bir ekip ile birlikte çalışılmıştır. Literatürden elde edilen bilgilerin de yardımı ile personel seçimini en çok etkilediği düşünülen altı kriter belirlenmiştir (K_i):

- Deneyim (K₁): Seçilecek personelin tüm çalışmalarını, projelerini ve yaşam boyu edindiği bilgilerini kapsar.
- Yaş (K₂): Yapılacak iş gereği adayın iş arkadaşlarına ve faaliyetlere olan hâkimiyet derecesini kapsar.
- Eğitim Durumu (K₃): İlgili konuda adayların bilgi ve becerileri geliştirmek için ayırdıkları süre ve sahip oldukları sertifika-diploma-belgeleri kapsar.
- Cinsiyet (K₄): Kadın ve erkek arasındaki doğal-biyolojik farklılıkların bahsi geçen konuma etkilerini ifade eder.
- İletişim Becerileri (K₅): Adayın mesai arkadaşları, diğer çalışanlar, müşteriler ve farklı kuruluşlar ile ilişki kurma, plan yapma, fikir sunma, problem çözme gibi yeteneklerini kapsar.
- Kişilik Özellikleri (K₆): Yapılacak olan iş ile adayın kişiliğinin uyumunu kapsar.

İnsan Kaynakları Müdürü pozisyonu için en uygun adayın belirlenmesi probleminin çözümü için; adayların değerlendirilmesinde kullanılacak kriter ağırlıklarının belirlenmesinde bulanık DEMATEL yöntemi ve adayların değerlendirilmesinde ise bulanık VIKOR yöntemi kullanılacaktır.

3.1. Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi

İşletme uzmanları (üç uzman (fabrika müdürü, satış müdürü ve üretim müdürü)) ve literatür desteği ile belirlenen değerlendirme kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 1'de gösterilen dilsel değişkenlere göre karar vericilerin kriter değerlendirmesi için belirledikleri bulanık değerler tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Karar vericilerin kriterler için bulanık değerlendirmeleri

	K ₁			K ₂			K ₃			K ₄			K ₅			K ₆		
	KV-1	KV-2	KV-3	KV-1	KV-2	KV-3	KV-1	KV-2	KV-3	KV-1	KV-2	KV-3	KV-1	KV-2	KV-3	KV-1	KV-2	KV-3
K ₁	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,25,0,5,0,75)	(0,5,0,75,1,0)	(0,0,0,25,0,5)	(0,0,0,25,0,5)	(0,5,0,75,1,0)	(0,25,0,5,0,75)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,25,0,5,0,75)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,0,0,25,0,5)
K ₂	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,25,0,5)	(0,5,0,75,1,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,25,0,5,0,75)	(0,5,0,75,1,0)	(0,25,0,5,0,75)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,75,1,0,1,0)
K ₃	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,25,0,5)	(0,25,0,5,0,75)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,25,0,5)	(0,0,0,0,0,25)	(0,25,0,5,0,75)	(0,0,0,0,0,25)	(0,25,0,5,0,75)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,25,0,5)
K ₄	(0,25,0,5,0,75)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,25,0,5)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,25,0,5)	(0,5,0,75,1,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)
K ₅	(0,5,0,75,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,25,0,5,0,75)	(0,25,0,5,0,75)	(0,25,0,5,0,75)	(0,5,0,75,1,0)	(0,25,0,5,0,75)	(0,0,0,25,0,5)	(0,5,0,75,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,25,0,5,0,75)	(0,75,1,0,1,0)	(0,75,1,0,1,0)
K ₆	(0,5,0,75,1,0)	(0,25,0,5,0,75)	(0,25,0,5,0,75)	(0,0,0,0,0,25)	(0,25,0,5,0,75)	(0,0,0,0,0,25)	(0,5,0,75,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,0,0,0,0,25)	(0,0,0,25,0,5)	(0,75,1,0,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,5,0,75,1,0)	(0,75,1,0,1,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,0)

(K₁: Deneyim; K₂: Yaş; K₃: Eğitim Durumu; K₄: Cinsiyet; K₅: İletişim Becerileri; K₆: Kişilik Özellikleri; KV-1: Karar Verici 1; KV-2: Karar Verici 2; KV-3: Karar Verici 3)

Üç karar vericinin bulanık değerlendirmelerinin ortalamasının oluşturduğu ortalama bulanık doğrudan ilişki matrisi **tablo 4**'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Ortalama Bulanık Doğrudan İlişki Matrisi

KRİTER	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆
K ₁	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.4, 0.6, 0.9)	(0.1, 0.4, 0.6)	(0.4, 0.6, 0.9)	(0.4, 0.6, 0.9)	(0.3, 0.5, 0.8)
K ₂	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.3, 0.5, 0.8)	(0.5, 0.8, 1.0)	(0.5, 0.8, 1.0)	(0.6, 0.9, 1.0)
K ₃	(0.0, 0.0, 0.2)	(0.0, 0.2, 0.5)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.3)	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.0, 0.1, 0.4)
K ₄	(0.4, 0.6, 0.9)	(0.0, 0.0, 0.3)	(0.1, 0.4, 0.6)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.6, 0.9, 1.0)	(0.5, 0.7, 0.9)
K ₅	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.3, 0.5, 0.8)	(0.1, 0.4, 0.6)	(0.5, 0.8, 1.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.5, 0.75, 1.0)
K ₆	(0.3, 0.5, 0.8)	(0.0, 0.2, 0.5)	(0.5, 0.75, 1.0)	(0.0, 0.0, 0.3)	(0.6, 0.9, 1.0)	(0.0, 0.0, 0.0)

Bulanık doğrudan ilişki matrisini **denklem (2)** 'ye göre normalize ederek bulanık normalleştirilmiş ilişki matrisi elde edilir. *u* değeri (normalleştirilmiş matris değerleri (*l, m, u*)) her sütun için toplanır. Altı sütunun en büyük toplamı “*r*” dir ve **tablo 5**'te gösterilen bulanık normalize ilişki matrisini elde etmek için tüm matris “*r*” ile bölünür.

Tablo 5: Bulanık Normalize İlişki Matrisi

KRİTER	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆
K ₁	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.09, 0.15, 0.20)	(0.03, 0.09, 0.15)	(0.09, 0.15, 0.20)	(0.09, 0.15, 0.20)	(0.07, 0.13, 0.18)
K ₂	(0.03, 0.07, 0.13)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.07, 0.13, 0.18)	(0.13, 0.18, 0.22)	(0.13, 0.18, 0.22)	(0.15, 0.20, 0.22)
K ₃	(0.00, 0.00, 0.05)	(0.01, 0.05, 0.11)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.00, 0.01, 0.07)	(0.03, 0.07, 0.13)	(0.00, 0.03, 0.09)
K ₄	(0.09, 0.15, 0.20)	(0.00, 0.01, 0.07)	(0.03, 0.09, 0.15)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.15, 0.20, 0.22)	(0.11, 0.17, 0.20)
K ₅	(0.11, 0.17, 0.20)	(0.07, 0.13, 0.18)	(0.03, 0.09, 0.15)	(0.13, 0.18, 0.22)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.11, 0.17, 0.20)
K ₆	(0.07, 0.13, 0.18)	(0.01, 0.05, 0.11)	(0.13, 0.18, 0.22)	(0.00, 0.01, 0.07)	(0.15, 0.20, 0.22)	(0.00, 0.00, 0.00)

Tablo 5'te gösterilen bulanık normalleştirilmiş ilişki matrisi, **denklem (4)** 'te verilen formülle bulanık toplam ilişki matrisine (*T*) dönüştürülür. (Bulanık normalleştirilmiş ilişki matrisi, birim matristen çıkarılır ve tekrar kendisiyle çarpılır). Bulanık toplam ilişki matrisi **tablo 6**'da gösterilmektedir.

Tablo 6: Bulanık Toplam İlişki Matrisi

KRİTER	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆
K ₁	(0, 0, 0)	(0.09, 0.15, 0.20)	(0.03, 0.09, 0.15)	(0.09, 0.15, 0.20)	(0.09, 0.15, 0.20)	(0.07, 0.13, 0.18)
K ₂	(0.03, 0.07, 0.13)	(0, 0, 0)	(0.07, 0.13, 0.18)	(0.13, 0.18, 0.22)	(0.13, 0.18, 0.22)	(0.15, 0.20, 0.22)
K ₃	(0.00, 0.00, 0.05)	(0.01, 0.05, 0.11)	(0, 0, 0)	(0.00, 0.01, 0.07)	(0.03, 0.07, 0.13)	(0.00, 0.03, 0.09)
K ₄	(0.09, 0.15, 0.20)	(0.00, 0.01, 0.07)	(0.03, 0.09, 0.15)	(0, 0, 0)	(0.15, 0.20, 0.22)	(0.11, 0.17, 0.20)
K ₅	(0.11, 0.17, 0.20)	(0.07, 0.13, 0.18)	(0.03, 0.09, 0.15)	(0.13, 0.18, 0.22)	(0, 0, 0)	(0.11, 0.17, 0.20)
K ₆	(0.07, 0.13, 0.18)	(0.01, 0.05, 0.11)	(0.13, 0.18, 0.22)	(0.00, 0.01, 0.07)	(0.15, 0.20, 0.22)	(0, 0, 0)

Bulanık toplam ilişki matrisine satır ve sütun değerleri eklenerek oluşturulan \tilde{D}_i ve \tilde{R}_i değerleri **denklem (6)** kullanılarak bulanıklaştırılır. Önem derecesi ($\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$), nedensel derece ($\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$), $\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$ ve $\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$ hesaplanır. En sonunda; kriterlerin ağırlıkları **denklem (7)** 'de verilen formüle göre belirlenir. Hesaplanan değerler **tablo 7**'de gösterilmektedir.

Tablo 7: $\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$, $\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$ değerleri ve kriter ağırlıkları

KRİTER	$\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$	$\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$	$\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$	$\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$	w_i	W_i
K ₁	(1.12, 2.95, 9.47)	(0.1, 0.31, 0.85)	4.1225	0.3925	4.141	0.172
K ₂	(1.07, 2.78, 9.11)	(0.49, 0.8, 1.41)	3.935	0.875	4.031	0.168
K ₃	(0.52, 1.83, 7.41)	(-0.38, -0.97, -2.01)	2.898	-1.083	3.093	0.129
K ₄	(0.98, 2.77, 8.99)	(-0.12, 0.25, 0.35)	3.878	0.183	3.882	0.161
K ₅	(1.37, 3.64, 10.57)	(0.05, -0.06, -0.11)	4.805	-0.045	4.805	0.199
K ₆	(1.22, 2.95, 9.25)	(-0.14, -0.33, -0.49)	4.096	-0.3225	4.105	0.171

Tablo 7'de verilen sonuçlar incelendiğinde, “İletişim Becerileri” kriterinin en yüksek etki ve öneme sahip olduğu görülmektedir. En az önemli kriter ise “Eğitim Durumu” kriteridir.

3.2. Uygun Adayın Seçilmesi

Bulanık DEMATEL yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra uygulamanın ikinci aşaması olan Bulanık VIKOR yöntemi ile alternatiflerin değerlendirilme aşamasına başlanmıştır.

Bulanık VIKOR yöntemi için; işletmedeki uzman ekip ile birlikte ilk olarak İnsan Kaynakları Müdürü pozisyonu için başvuran yedi adayı **tablo 2**'de verilen dilsel değişkenlere göre değerlendirilmiştir. **Tablo 8**'de sunulan karar matrisi, uzmanların değerlendirmelerinin bulanık eşdeğerlerinin ortalaması alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 8: Adaylar için Bulanık Karar Matrisi

KRİTER	Alternatifler						
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
K ₁	(5.0, 7.5, 109)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 2.5, 5.0)	(2.5, 5.0, 7.5)	(0.0, 2.5, 5.0)	(0.0, 2.5, 5.0)	(7.5, 10, 10)
K ₂	(4.17, 6.67, 8.33)	(5.0, 7.5, 10)	(2.5, 5.0, 7.5)	(5.0, 7.5, 10)	(1.67, 4.17, 6.67)	(5.83, 8.33, 9.33)	(5.8, 8.33, 10)
K ₃	(7.5, 10, 10)	(2.5, 5.0, 7.5)	(7.5, 10, 10)	(2.5, 7.5, 10)	(7.5, 10, 10)	(7.5, 10, 10)	(7.5, 10, 10)
K ₄	(2.5, 5.0, 7.5)	(2.5, 5.0, 7.5)	(2.5, 5.0, 7.5)	(2.5, 5.0, 7.5)	(2.5, 5.0, 7.5)	(2.5, 5.0, 7.5)	(2.5, 5.0, 7.5)
K ₅	(0.0, 2.5, 5.0)	(7.5, 10, 10)	(0.0, 2.5, 5.0)	(7.5, 10, 10)	(0.0, 2.5, 5.0)	(5.0, 7.5, 10)	(7.5, 10, 10)
K ₆	(7.5, 10, 10)	(7.5, 10, 10)	(7.5, 10, 10)	(2.5, 5.0, 7.5)	(0.0, 2.5, 5.0)	(0.0, 2.5, 5.0)	(5.0, 7.5, 10)

Kriterlerin ve alternatiflerin toplam bulanık ağırlıklarını bulmak için, tablo 8'de gösterilen Bulanık değerler denklem (8) ile değiştirilir. Her bir kriter için denklem (8) ile elde edilen toplam bulanık ağırlıklar tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9: Kriterler için Toplam Bulanık Ağırlıklar

KRİTER	Toplam Bulanık Ağırlıklar (w _j)		
	l	m	u
K ₁	0.20	0.54	1.41
K ₂	0.26	0.60	1.75
K ₃	0.02	0.14	0.9
K ₄	0.14	0.5	1.55
K ₅	0.24	0.6	1.74
K ₆	0.18	0.44	1.46

Toplam Bulanık ağırlıkları elde edildikten sonra, tüm kriterlerin bulanık en iyi ve bulanık en kötü değerleri denklem (9) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10: Bulanık en iyi (\tilde{f}_j^*) ve Bulanık En Kötü (\tilde{f}_j^-) Değerler

KRİTER	\tilde{f}_j^*			\tilde{f}_j^-		
	l	m	u	l	m	u
K ₁	7.5	10	10	0.0	0.0	2.5
K ₂	5.8	8.33	10	1.67	4.17	6.67
K ₃	7.5	10	10	2.5	5.0	7.5
K ₄	2.5	5.0	7.5	2.5	5.0	7.5
K ₅	7.5	10	10	0.0	2.5	5.0
K ₆	7.5	10	10	0.0	2.5	5.0

Alternatiflerin en iyiye ve en kötüye uzaklık değerlerini gösteren \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri denklem (10) ve denklem (11) 'e göre hesaplanmıştır ve tablo 11'de gösterilmektedir.

Tablo 11: \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i Değerleri

Adaylar - Alternatifler	\tilde{S}_i			\tilde{R}_i		
	l	m	u	l	m	u
A ₁	0.52	0.98	2.18	0.24	0.6	1.74
A ₂	0.51	0.78	3.89	0.24	0.54	1.55
A ₃	0.65	1.49	3.99	0.24	0.6	1.74
A ₄	0.32	0.76	2.1	0.13	0.27	0.9
A ₅	0.88	2.05	5.89	0.26	0.6	1.75
A ₆	0.46	1.15	2.75	0.2	0.44	1.46
A ₇	0.06	0.15	0.00	0.06	0.15	0.00

Denklem (12) ile hesaplanan \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri tablo 12'de gösterilmektedir.

Tablo 12: \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- Değerleri

	l	m	u
\tilde{S}^*	0.06	0.15	0.00
\tilde{S}^-	0.88	2.05	5.89
\tilde{R}^*	0.06	0.15	0.00
\tilde{R}^-	0.26	0.6	1.75

Denklem (12) 'de gösterilen \tilde{Q}_i değerini hesaplamak için \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri kullanılır. (Denklem (12))'deki v değeri, fikir birliğini yansıtmak için 0,7 olarak alınmıştır.

Denklem (13) 'deki formül, elde edilen bulanık sayıların durulaştırılması işlemi için kullanılmıştır. Durulaştırma işleminden elde edilen indeks sonuçları ve adayların sonuçlara göre sıralaması tablo 13'te gösterilmektedir.

Tablo 13: Q_i , S_i ve R_i indeks değerleri ve adayların sıralaması

	\tilde{Q}_i			Q_i		S_i		R_i	
	l	m	u	İn.	Sr.	İn.	Sr.	İn.	Sr.
A ₁	0.66	0.61	0.56	0.61	5	1.10	3	0.73	5
A ₂	0.65	0.50	0.72	0.56	4	1.25	4	0.66	4
A ₃	0.77	0.80	0.77	0.79	6	1.77	6	0.73	6
A ₄	0.33	0.30	0.40	0.32	2	0.91	2	0.35	2
A ₅	1.00	1.00	1.00	1.00	7	2.50	7	0.74	7
A ₆	0.55	0.56	0.58	0.56	3	1.30	5	0.57	3
A ₇	0.00	0.00	0.00	0.00	1	1.11	1	0.11	1

(İn.: indeks; Sr.: sıralama)

Q_i indeksine göre A₇ adayı en iyi alternatiftir. A₇ adayının “uzlaşmacı çözüm” olarak seçilebilmesi için iki koşulu yerine getirmesi gerekmektedir. A₇ adayı, koşul-1 ve koşul-2'yi sağlayarak bir uzlaşma çözümü haline gelmektedir.

4. Sonuç

Gelişen teknoloji ile birlikte teknolojik araçların üretim ve hizmet sektöründe kullanımının artması bile kalifiye işgücüne olan ihtiyacı azaltmamıştır. Kalifiye ve doğru iş gücü ile çalışabilmek, işletmenin faaliyetlerini yerine getirebilmesinde, kalite ve verimliliğin devamlılığının sağlanmasında oldukça önemli bir paya sahiptir. Karar verme problemlerinin doğası gereği çözülmesi aşamasında eksik ve kesinliği olmayan bilgi ile çalışma durumları sıklıkla yaşanmaktadır. Bu durumun oluşturabileceği sıkıntıları gidermek için Bulanık Küme Teorisinden yararlanılarak çok kriterli karar verme teknikleri bulanık olarak kullanılmaktadır. Personel seçim problemleri de değerlendirme kriterlerinin belirlenmesinde veya yapılacak değerlendirmelerin subjektif/tutarsız olmasından kaynaklanabilecek belirsizlikler ve eksiklikler taşıyabileceğinden çözümünde bulanık küme teorisi kullanımının faydalı olacağı problemlerdir. Bu nedenle bu çalışmada Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR yöntemleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada, İnsan Kaynakları Müdürü seçim problemini çözmek için Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR yöntemleri kullanılmıştır. Problem yedi alternatif

adayın altı kriter açısından değerlendirilmesi ile çözülmüştür. Uygulama yapılan firmanın personel seçiminde kendi açısından yapacağı değerlendirme literatür desteği de alınarak genişletilmiş ve daha objektif hale getirilmeye çalışılmıştır. Değerlendirme kriterleri belirlenirken firma yöneticilerinin (fabrika müdürü, satış müdürü ve üretim müdürü) değerlendirme kriterleri literatür yardımı ile zenginleştirilmiştir. Değerlendirme için altı kriter kullanılmıştır (Deneyim (K₁), Yaş (K₂), Eğitim Durumu (K₃), Cinsiyet (K₄), İletişim Becerileri (K₅), Kişilik Özellikleri (K₆)). Belirlenen kriterlerin ağırlıkları Bulanık DEMATEL ile hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar ile “İletişim Becerileri” kriteri en yüksek ağırlığa sahip kriter olarak belirlenmiştir. Ağırlıkları hesaplanan kriterlere göre en iyi alternatif adayın seçilmesi için de Bulanık VIKOR yöntemi kullanılmıştır. A₇ adayının en iyi alternatif olarak seçildiği değerlendirilmiştir, A₇ adayı aynı zamanda Bulanık VIKOR koşullarını sağladığı için uzlaşmacı bir çözüm de olmuştur. A₅ adayı ise en düşük puanı alan en kötü alternatif seçilerek sonuncu olmuştur. Adayların sıralaması: A₇>A₄>A₆>A₂>A₁>A₃>A₅ şeklindedir.

İnsan kaynakları Müdürü seçiminin yapıldığı bu çalışmanın devamı olarak, personel performans değerlendirmeleri de çok kriterli karar verme yöntemlerinin bulanık olarak kullanıldığı bir çalışma ile yapılabilir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- [1] E. Aksakal, M. Dağdeviren, E. Eraslan, İ. Yüksel, Personnel selection based on talent management, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 73, 68-72, 2013.
- [2] M.D. Kenger ve A. Organ, Banka personel seçiminin çok kriterli karar verme yöntemlerinden entropi temelli Aras yöntemi ile değerlendirilmesi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt: 4; Sayı: 4, 152-170, 2017.
- [3] H. Uygurtürk ve T. Korkmaz, Finansal performansın TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemi ile belirlenmesi: Ana metal sanayi işletmeleri üzerine bir uygulama, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, Ekim, 7 (2), 95-115, 2012.
- [4] M. Soba, Promethee yöntemi kullanarak en uygun panelvan otomobil seçimi ve bir uygulama, Journal of Yasar University, 28(7), 4708-4721, 2012.
- [5] P.J.G. Pineda, J.J.H. Liou, C.C. Hsu, Y.C. Chuang, An integrated MCKV model for improving airline operational and financial performance, Journal of Air Transport Management, 68, 103-107, 2018.
- [6] M. Nassereddine and H. Eskandari, An integrated MCKV approach to evaluate public transportation systems in Tehran, Transportation Research Part A, 106, 427-439, 2017.
- [7] M. Kabak, M. Erbaş, C. Çetinkaya, E. Özceylan, A GIS-based MCKV approach for the evaluation of bike-share stations, Journal of Cleaner Production, 201, 49-60, 2018.
- [8] M.T. Lu, C.C. Hsu, J.J.H. Liou, H.W. Lo, A hybrid MCKV and sustainability-balanced scorecard model to establish sustainable performance evaluation for international airports, Journal of Air Transport Management, 71, 9-19, 2018.
- [9] M.F. Bongo, K.M.S. Alimpangog, J.F. Loar, J.A. Montefalcon, L.A. Ocampo, An application of DEMATEL-ANP and PROMETHEE II approach for air traffic controllers' workload stress problem: A case of Mactan Civil Aviation Authority of the Philippines, Journal of Air Transport Management, 68, 198-21, 2018.
- [10] Ö.F. Ünal, Analitik hiyerarşi prosesi ve personel seçim alanından uygulamaları, Akdeniz University International Journal of Alanya Faculty of Business, Vol. 3, No.2, 18-38, 2011.
- [11] N. Bedir, T. Eren, AHP-PROMETHEE yöntemleri entegrasyonu ile personel seçim problemi: perakende sektöründe bir uygulama, Social Sciences Research Journal, Vol.4, Issue 4, 46-58, 2015.
- [12] T. Ustasüleyman, Bankacılık sektöründe hizmet kalitesinin değerlendirilmesi: AHP-TOPSIS yöntemi, Bankacılar, Sayı 69, 33-43, 2009.
- [13] A. Doğan ve E. Önder, İnsan kaynakları temin ve seçiminde çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanılması ve bir uygulama, Journal of Yasar University, 9 (34), 5796-5819, 2014.
- [14] S. Tepe ve A. Görener, Analitik hiyerarşi süreci ve MOORA yöntemlerinin personel seçiminde uygulanması, Istanbul Commerce University Journal of Science, Yıl: 13, Sayı: 25, Bahar, 1-14, 2014.
- [15] Ş. Gür, M. Hamurcu, T. Eren, Ankara'da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi, Pamukkale Üniversitesi Müh. Bilim Derg., 23 (4), 437-443, 2017.
- [16] A. Aktepe ve S. Ersöz, AHP-VIKOR ve MOORA yöntemlerinin depo yeri seçim probleminde uygulanması, Endüstri Mühendisliği Dergisi, cilt 25, sayı 1-2, 2-15, 2012.
- [17] S. Arslankaya, Catering company selection with Fuzzy AHP; ELECTRE and VIKOR method for a company producing trailer, European Journal of Science and Technology, No.18, 413-423, 2020.
- [18] T. Över Özçelik ve S.A. Eryılmaz, Traktör İmalatında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Tedarikçi Seçimi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı), 498-512, 2019.
- [19] M. Çolak ve A.İ. Boyacı, A Fuzzy Logic Green Performance Evaluation Model For Automotive Industry, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, sayı 13, 39-44, 2018.
- [20] X. Sang, W. Liu, J. Qin, An analytical solution to Fuzzy TOPSIS and its application in personnel selection for knowledge-intensive enterprise, Applied Soft Computing, 3, 190-204, 2015.
- [21] H.T. Lin, Personnel selection using analytic process and Fuzzy data envelopment analysis approaches, Computers&Industrial Engineering, 59, 937-944, 2010.

- [22] M. Dursun ve E.E. Karsak, A Fuzzy MCKV approach for personnel selection, *Expert Systems with Application*, 37, 4324-4330, 2010.
- [23] R.P. Kusumawardani ve M. Agintiara, Application of fuzzy AHP-TOPSIS method for decision making in human resource manager selection process, *Procedia Computer Science*, 72, 638-646, 2015.
- [24] A. Balez'entis, T. Balez'entis, W.K.M. Brauers, Personnel selection based on computing with words and Fuzzy MULTIMOORA, *Expert Systems with Applications*, 39, 7961-7967, 2012.
- [25] M. Kabak, S. Burmaoğlu, Y. Kazançoğlu, A Fuzzy hybrid MCKV approach for professional selection, *Expert Systems with Applications*, 39, 3516-3525, 2012.
- [26] Z. Güngör, G. Serhadlıoğlu, S.E. Kesen, A Fuzzy approach to personnel selection problem, *Applied Soft Computing*, 9, 641-646, 2009.
- [27] S.F. Zhang and S.Y. Liu, A GRA-based intuitionistic Fuzzy multi-criteria group decision making method for personnel selection, *Expert Systems with Applications*, 38, 11401-11405, 2011.
- [28] A. Kelemenis and D. Askounis, A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection, *Expert System with Applications*, 37, 4999-5008, 2010.
- [29] A. Yıldız ve M. Deveci, Fuzzy VIKOR yöntemine dayalı personel seçim süreci, *Ege Akademik Bakış*, Cilt: 13, Sayı: 4, 427-436, Ekim 2013.
- [30] F. Öztürk and G.K. Kaya, Personnel selection with Fuzzy VIKOR: An application in automotive supply industry, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part: C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(1): 94-108, 2020.
- [31] J. Jassbi, F. Mohamadnejad, H. Nasrollahzadeh, A Fuzzy DEMATEL framework for modeling cause effect relationship of strategy map, *Expert Systems with Applications*, 38, 5967-5973, 2011.
- [32] L.A. Zadeh, *Fuzzy Sets, Information and Control*, 8, 338-353, 1965.
- [33] P.S. Parmar and T.N. Desai, Evaluating sustainable lean six sigma enablers using Fuzzy DEMATEL: A case of an Indian manufacturing organization, *Journal of Cleaner Production*, 265, 2020.
- [34] O. Ahmadi, S.B. Mortazavi, H.A. Mahabadi, M. Hosseinpouri, Development of a dynamic quantitative risk assessment methodology using Fuzzy DEMATEL-BN and leading indicators, *Process Safety and Environmental Protection*, 142, 15-44, 2020.
- [35] K.P. Lin, M.L. Tseng, P.F. Pai, Sustainable supply chain management using approximate Fuzzy DEMATEL method, *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 134-142, 2018.
- [36] F. Acuña-Carvajal, L. Pinto-Tarazona, H. Lopez-Ospina, R. Barros-Castro, L. Quezada, K. Palacio, An integrated method to plan; structure and validate a business strategy using Fuzzy DEMATEL and the balanced scorecard, *Expert Systems with Applications*, 122, 351-368, 2019.
- [37] S. Mahmoudi, A. Jalali, M. Ahmadi, P. Abasi, N. Salari, Identifying critical success factors in Heart Failure Self-Care using Fuzzy DEMATEL method, *Applied Soft Computing Journal*, 84, 2019.
- [38] H. Li, W. Wang, L. Fan, Q. Li, X. Chen, A novel hybrid MCKV model for machine tool selection using Fuzzy DEMATEL, entropy weighting and later defuzification VIKOR, *Applied Soft Computing Journal*, 91, 2020.
- [39] F. Zhou, X. Wang, M.K. Lim, Y. He, L. Li, Sustainable recycling partner selection using Fuzzy DEMATEL-AEW-FVIKOR: A case study in small-and-medium enterprises (SMEs), *Journal of Cleaner Production*, 196, 489-504, 2018.
- [40] A. Organ, Fuzzy DEMATEL yöntemiyle makine seçimini etkileyen kriterlerin değerlendirilmesi, *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 22, Sayı 1, 157-172, 2013.
- [41] I. Mohammadfam, M.M. Aliabadi, A.R. Soltanian, M. Tabibzadeh, Investigating interactions among vital variables affecting situation awareness based on Fuzzy DEMATEL method, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 74, 2019.
- [42] I. Vardopoulos, Critical sustainable development factors in the adaptive reuse of urban industrial buildings. A Fuzzy DEMATEL approach, *Sustainable Cities and Society*, 50, 2019.
- [43] Ö. Albayrak, B. ErKayman, Fuzzy DEMATEL ve EDAS yöntemleri kullanılarak sporcular için akıllı bileklik seçimi, *Ergonomi*, 1(1), 92-102, 2018.
- [44] A.C. GökKısa ve S. Perçin, Bütünleşik Fuzzy DEMATEL-Fuzzy VIKOR yaklaşımının makine seçimi problemine uygulanması, *Journal of Yasar University*, 12/48, 249-256, 2017.
- [45] S. Opricovic, Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning, *Expert Systems with Application*, 38, 12983-12990, 2011.
- [46] K. Koppiahraj, S. Bathrinath, S. Saravanasankar, A Fuzzy approach for selection of ergonomic assessment method, *Materials Today: Proceedings*, Article in Press, 2020.
- [47] S. Parvez, Application of Fuzzy VIKOR and cluster analysis for performance evaluation of original equipment manufacturers, *Materials Today: Proceedings*, Article in Press, 2020.
- [48] R.K.A. Bhalaji, S. Bathrinath, S.Saravanasankar, A Fuzzy VIKOR method to analyze the risks in lean manufacturing implementation, *Materials Today, Proceedings*, Article in Press, 2020.
- [49] H.C. Liu, J.X. You, X.Y. You, M.M. Shan, A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and Fuzzy VIKOR method, *Applied Soft Computing*, 28, 579-588, 2015.
- [50] S. Yavuz ve M. Deveci, Fuzzy TOPSIS ve Fuzzy VIKOR yöntemleriyle alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi ve bir uygulama, *Ege Akademik Bakış*, Cilt: 14, Sayı: 3, 463-479, 2014.
- [51] E. Demirci and H.S. Kılıç, Personnel selection based on integrated multi-criteria decision making techniques, *Int. J. Adv. Eng., Pure Sci.*, 2, 163-178, 2019.



Rüzgar Türbin Kulesi Alternatiflerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi

Muhammet Ensar Yiğit¹, Muhammet Enes Akpınar^{2*}

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0161-7144), ensar.yigit@cbu.edu.tr
^{2*} Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0328-6107), enes.akpinar@cbu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 4 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 4 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.874796)

ATIF/REFERENCE: Yiğit, M.E. & Akpınar M.E. (2021). Rüzgar Türbin Kulesi Alternatiflerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 386-393.

Öz

Yenilenebilir enerjinin öneminin daha fazla ön plana çıktığı 21. yüzyılda, en büyük doğal enerji kaynaklarından birisi de hiç kuşkusuz rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisi için büyük boyutlarda rüzgar tribünlerine ihtiyaç vardır. Bazı durumlarda ise daha küçük ihtiyaçları gidermek için 10m boyutlarında tribün kuleleri kullanılabilir. Bu kuleler çelik, hibrit, betonarme gibi çok farklı şekilde yapılardan oluşabilmektedir. Bu çalışma kapsamında üç farklı tip rüzgâr türbini kulelerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemiyle seçimi üzerine bir probleme değinilmiştir. Kurulum ve bakım maliyetlerinin yanı sıra ekonomik ömrü sonundaki geri dönüşüm oranları gibi kriterler bu çalışmada dikkate alınmıştır. Bu kriterlere göre farklı en uygun rüzgar tribünü BAHS metodu ile analiz edilmiş ve en uygun kule tipinin seçimi yapılmıştır. Çalışma sonucunda gerek geri dönüşüm, bakım işletme ve montaj kolaylığı gerekse deplasman ve gerilme değerleri bakımından hibrit tipi kule ön plana çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Türbin Kuleleri, Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci, Maliyet Analizi, Çok Kriterli Karar Verme.

Evaluation of Wind Turbine Tower Alternatives With Multi Criteria Decision Making Method

Abstract

One of the biggest natural energy sources in renewable energy is undoubtedly wind energy. Huge-sized wind turbine towers are used for wind energy. In some cases, tribune towers of 10 meters can be used to meet smaller needs. These towers can be composed of structures such as steel, hybrid and reinforced concrete. Within the scope of this study, three different types of wind turbine towers was selected using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (BAHS) method which is one of the multi-criteria decision making methods. In addition to the analysis of installation and maintenance costs, criteria such as recycling rates and economic life are taken into account in this study. According to these criteria, different most suitable wind turbine was analyzed with BAHS method and the most suitable tower type was selected. As a result of the study, the hybrid type tower came to the fore in terms of recycling, maintenance, operation and installation convenience, as well as displacement and stress values.

Keywords: Wind Turbine Columns, Fuzzy Analytical Hierarchy Process, Cost Analysis, Multi Criteria Decision Making.

* Sorumlu Yazar: enes.akpinar@cbu.edu.tr

1. Giriş

Son birkaç yüzyılda dünya nüfusu katlanarak artmıştır. Nüfustaki bu hızlı artış nedeniyle enerji talebi de artmaktadır. Dünyadaki enerji talebini karşılamak için son yıllarda sürdürülebilir, yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynakları ile ilgili araştırmalara öncelik verilmektedir.

Rüzgar enerjisi, Nil nehri boyunca yelkenli geminin itici gücü olarak M.Ö. 5000'den beri kullanılmaktadır. Orta Çağ'da yel değirmenleri, tarımsal süreçlerin iyi bir entegre parçası olmuştur. 1887'de elektrik üretimi için yapılan ilk yel değirmeni James Blyth tarafından İskoçya'da inşa edildi (Price, 2004). Bir tür temiz ve yenilenebilir enerji olan rüzgar enerjisi, yeşil enerjinin önemli bir parçası haline gelmiştir. 20. yüzyılda kömürden üretilen elektrik rüzgârdan daha ucuz olması nedeniyle 20. yüzyılın sonlarında yakıt fiyatları önemli ölçüde yükselene kadar rüzgar enerjisi sisteminin araştırmaları yoğunlaşmamıştır. Günümüzde rüzgar türbinleri diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilmekte ve bu da tek bir rüzgar türbini tarafından üretilen gücün ve elektrik üretiminin verimliliğinin artırılması konusunda birçok araştırmaya yol açmıştır (Abbate, 2013).

2019 yılında, Avrupa Birliği genelinde mevcut rüzgar enerjisi kapasitesi 205 GW olarak tahmin edilmekte ve kurulu rüzgar enerjisi santrali 15.2 GW gücündedir. Bunların 11.6 GW'ı karada ve 3.36 GW'ı açık denizdedir. Rüzgar enerjisi şuan Avrupa Birliği'nin elektrik talebinin %15'ini karşılamaktadır. 2018 yılı ile karşılaştırıldığında 2019 yılında AB'de kurulu rüzgar santralleri sayısında % 27 artış olmuştur (WindEurope, 2020). Temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinin güç çıkışı daha da artırmak için, daha yüksek rakımlarda yoğun hızlardan yararlanabilen daha yüksek uygulamalara olan talep ortaya çıkmıştır. Bunu başarmak için, destek yapısı için kafes ve boru şeklindeki parçaları birleştiren hibrit çelik rüzgar kuleleri umut verici bir çözüm olabilmektedir. Gkantou vd. çalışmasında yüksek bir hibrit rüzgar türbini kulesinin yapısal tepkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır (Gkantou, Baniotopoulos ve Martinez, 2017).

Richter, Mohammadi, Pak, Rebelo ve Feldmann, (2017) makalesinde, alt kısım kafes ve üst kısım boru şeklindeki hibrit rüzgar türbinlerinin kurulmasında kullanılan en son teknolojilerden bahsetmiştir. Çalışmada kurulma işlemi, yüklerin hesaplanması ve kaldırma işleminin tasarlanması için farklı adımlar ve geçiş parçası sunulmuştur. Quilligan, O'Connor ve Pakrashi (2012) farklı kule yükseklikleri ve rüzgar hızları için kanat şeklinde sayısal bir model kullanarak çelik ve beton kulenin performansını araştırmıştır. Çalışmada önerilmeli beton kulelerin uygun bir alternatif sağlayabileceğini ve gelişmiş bir performans sunabileceğini öne sürülmüştür. Elibüyük ve Üçgül (2014) çalışmasında rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgâr etkisine, dışı özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılmasından bahsetmiştir. Ayrıca çalışmasında rüzgâr enerjisinin farklı depolama yöntemleri ve yeni gelişmeler hakkında bilgi vermiştir.

Soğukpınar ve diğ. (2015) yerel tesislerin kullanımı için 2 kW'lık mikro türbinler tasarlamış, üretmiş ve test etmiştir. Çalışmalarında düşük rüzgar hızlarında kullanılmak üzere bir mikro türbin tasarlamak, mikro türbin üretimi ile ilgili

endüstriyel altyapı oluşturmak ve yerel endüstri için farklı üretim teknolojilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yavuz ve Özbay (2020) çalışmalarında, rüzgar türbinlerinin temel bileşenleri, nakliye süreci, ekipman kurulumları ve servis süreçlerini incelemiştir. İşletme ve bakım konusunda dikkat edilmesi gereken hususlar konusunda bilgiler vermişlerdir.. Ayrıca rüzgar potansiyeli açısından bölgesel incelemeler yapıp kurulu rüzgar enerji santralleri hakkında detaylı bilgiler vermişlerdir.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ağırlıklı olarak kara ve deniz rüzgar çiftlikleri tarafından sağlansa da, bu teknolojiler hakkında birçok bilinmeyen vardır. Sığ suda deniz yatağına sabitlenmiş tekil kazık destek yapısına sahip açık deniz rüzgar türbinleri halihazırda sanayileşmiştir, daha derin sularda sabit türbinler ortaya çıkmakta ve yüzer rüzgar türbinleri hala gelişimin erken bir aşamasındadır (Moan, 2017).

Laxson (2001) çalışmasında 750 kW-5000 kW arasında değişen 5 farklı güçte rüzgar türbinin üç farklı yöntemle kurulum ve işletme maliyetlerini raporlaştırmış ve bu türbinlerin değişik yükseklikler için maliyet / metre (\$/m) değerini veren denklemler elde etmiştir.

Son yıllarda, çeşitli kule yapılarının tasarımını optimizasyon problemleri olarak formüle etmek için önemli miktarda araştırma yapılmıştır. Kule montaj maliyetinin minimizasyonu, kule rijitliğinin maksimizasyonu, titreşimlerin minimizasyonu ve geri dönüşüm oranının maksimizasyonu doğrultusunda optimizasyon stratejileri çalışılmıştır (Negm ve Maalawi, 1999; Şermet, Yiğit ve Hökekleli, 2019). Modal parametrelere ek olarak, montaj maliyeti ve geri dönüşüm oranı da optimizasyon parametreleri olarak kabul edilir. Özellikle kulenin yüksekliği önemli bir parametredir (Kocer ve Arora, 1999).

Çok kriterli karar verme yöntemleri birçok çalışmada kullanılmaktadır (Akpınar, 2016). Bu çalışmada kullanılan bulanık AHP yöntemi daha literatürde tedarikçi seçiminde Krishnendu, Ravi, Surendra, ve Lakshman, (2012), bulanık TOPSIS ile entegre edilerek dağıtım kanallarının yönetiminde Paksoy, Pehlivan ve Kahraman, (2012), web sitelerin değerlendirilmesinde Lin (2010), bilgisayar destekli sistemlerinin seçiminde Orlando (2011), Ar-Ge performans ölçümünde Lee ve diğ. (2010), sağlık alanında Uzoka ve diğ. (2011), banka kredisi kararında Che, Wang ve Chuang, (2010), makine seçiminde Taha ve Rostam, (2011), güzergah alternatiflerinin değerlendirilmesinde Arslan ve Khirsty (2006), rüzgar enerji tesis yatırımının değerlendirilmesinde (Artun, 2020), risk değerlendirmesinde (Lyu, Sun, Shen ve Zhou, 2020) ve daha birçok farklı karar problemlerine uygulanmıştır (Liu, Eckert, ve Earl, 2020).

Literatür araştırmasında görüldüğü üzere bulanık AHP yöntemi daha önce rüzgar tribünü seçiminde kullanılmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak için bu çalışmada bulanık AHP yöntemini kullanarak en uygun rüzgar tribünü seçimine karar verilmiştir. Çalışmanın geri kalanı şu şekilde oluşturulmuştur: Bulanık AHP yöntemi Bölüm 2'de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bölüm 3'te rüzgar tribünü kulesi seçim probleminden bahsedilmiş ve uygulaması yapılmıştır. Geometrik olarak aynı boyutta olan üç farklı kule tipinin montaj maliyetleri, yıllık bakım ve işletme maliyeti, geri dönüşüm oranları, yer değiştirmeler ve gerilme değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise BAHF sonuçları yorumlanmış ve gelecek çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

2. Bulanık AHP Yöntemi

Bulanık AHP yönteminin geçmişi 1996 yılında Chang, (1996) tarafından yazılan "Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP" isimli makalede ilk olarak ortaya çıkmıştır. AHP ile birlikte üçgensel bulanık sayıları karşılaştırmak için geliştirilen bir metottur. Çok kullanışlı ve kolay uygulanabilir bir yöntemdir.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ bir nesnel kümesi ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ de bir amaçlar kümesi olsun. Genişletilmiş analiz değeri Denklem (1)'deki gibi elde edilir.

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Buradaki tüm $M_{gi}^j, j = (1, 2, \dots, m)$ değerleri üçgen bulanık sayıları ifade etmektedir. Chang tarafından önerilen genişletilmiş analizin adımları aşağıdaki gibidir (Chang, 1996):

Adım 1: i . nesne için bulanık değer Denklem (2)'deki gibi ifade edilir:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (2)$$

Burada S_i, i . amacın sentez değerini M_{gi}^j her bir amaca yönelik genişletilmiş değeri ifade etmektedir.

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ değeri için m adet genişletilmiş analiz değeri bir matris elde edilir. Bu matris Denklem (3) ile elde edilir.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3)$$

$\left[\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$ formülasyonunu hesaplayabilmek için $M_{gi}^j (j = 1, 2, \dots, m)$ bulanık toplama işlemi Denklem (4)'te gösterildiği şekliyle uygulanır.

$$\left[\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \quad (4)$$

Adım 2: Ağırlık değerleri elde edilir ve bulanık sayıların karşılaştırılması aşağıdaki şekilde yapılır:

$\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgen bulanık sayıyı gösterir. $\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1$ eşitliğinin olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanabilir:

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{\tilde{M}_1}(x), \mu_{\tilde{M}_2}(y))] \quad (5)$$

$\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ bulanık sayılar iken (Chang, 1996):

$$(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \text{yükseklik} (\tilde{M}_1 \cap \tilde{M}_2) = \mu_{\tilde{M}_2}(d) \quad (6)$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (7)$$

Adım 3: Konveks bir bulanık sayının k adet bulanık sayıdan, $M_i (i=1, 2, \dots, k)$ daha büyük olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır:

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1), (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i), i \\ &= 1, 2, 3, \dots, k \end{aligned} \quad (8)$$

Bu durumda S_j 'ler için şu varsayımlar yapılmıştır $k = 1, 2, \dots, n; k \neq j$ için $d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$.

Daha sonar ağırlık vektörü $A_i (i=1, 2, \dots, n)$ 'nin n elemanda oluştuğu şu şekilde ifade edilir:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (9)$$

Adım 4: Normalizasyon ile normalize edilmiş ağırlık vektörü W elde edilir ve burada W bulanık bir sayı değildir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (10)$$

Hesaplamaların sonunda bulanık sayıların sıralanması için literatürde Chang, Liou ve Wang, Abdel-Kader ve Dugdale, Kareli ortalamalar ve Kwong-Bail yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada kareli ortalamalar ve Kwong-Bai yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemleri kısaca bakacak olursak:

Kareli ortalama sıfır ya da negatif sayıların bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır. Burada bulanık sayının sınırlarından biri sıfır ya da negatif olma durumunda sıralamaya imkan verebilmektedir. Bu yöntemde $\tilde{A}_k = (l, m, u)$ üçgen bulanık sayı Denklem (11)'deki gibi hesaplanır ve sıralanır.

$$K(A_k) = \sqrt{\frac{l^2 + m^2 + u^2}{3}} \quad (11)$$

Kwong-Bail yönteminde ise üçgen bulanık sayıları sıralamak için aşağıdaki denklemi kullanmışlardır. $\tilde{A}_k = (l, m, u)$

üçgen bulanık sayı olmak üzere Denklem (12)'deki şekilde sıralama yapar.

$$M_k = \frac{l + 4m + u}{6} \quad (12)$$

Tutarlılık indeksi hesaplanırken, λ_{\max} matematiksel olarak tanımsız çıkabilmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, sentez değerleri Chang yöntemine göre elde edilmiş ve sonrasında nihai sıralama için Kwong-Bai ve Kareli Ortalama yöntemleri karşılaştırma için kullanılmıştır. Ayrıca, klasik AHP'de kullanılan farklı ölçek türlerinden Tablo 1'de gösterilen ölçek bu çalışmada kullanılmıştır.

Tablo 1: Bulanık ölçekler

Önem düzeyi	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit önemli	(1,1,1)	(1,1,1)
Biraz daha önemli	(1/2,5/4,2)	(1/2,4/5,2)
Kesinlikle önemli	(3/2,9/4,3)	(1/3,4/9,2/3)
Çok kesinlikle önemli	(5/2,13/4,4)	(1/4,4/13,2/5)
Tamamen önemli	(7/2,17/4,5)	(1/5,4/17,2/7)

3. Bulanık AHP Yönteminin Rüzgar Türbini Kulesi Seçimine Uygulanması

Bu bölümde bulanık AHP yönteminin uygulamasından bahsedilmiştir. Öncelikle rüzgar türbin kulelerinin tanımları ayrıntılı olarak yapılmıştır. Sonrasında bu türbinlerin tasarımı hakkında bilgi verilmiştir. Son bölümde ise bulanık AHP ile en uygun rüzgar türbin kulesinin seçim problemine değinilmiştir.

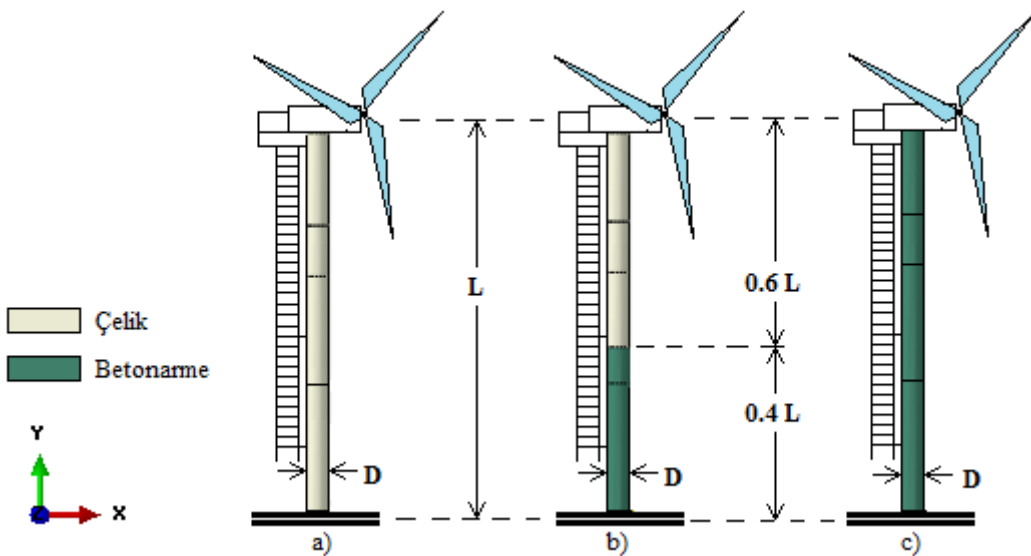
3.1 Rüzgar türbin kulesi tanımı

Rüzgar türbini kuleleri pervane ve jeneratör-dişli odasını rüzgar hızlarının etkili olduğu yüksekliklerde tutan yapılardır. Kuleler farklı malzemeler ve farklı yapı sistemleriyle inşa edilebilmektedir. Örneğin çelik kafes kuleler, çelik silindirik kuleler, betonarme kuleler ve hibrit kuleler (Şekil 1). Kısa türbin kulelerinin en kesitleri kule boyunca sabit iken uzun kulelerin en kesiti tepeden tabana doğru tedrici artan şekilde imal edilir. Rüzgar türbini sistemlerinde üretim kapasitesini artırmak için etkili rüzgar hızlarının elde edileceği daha yüksek kulelerin inşa çalışmaları devam etmektedir (Şermet ve diğ., 2019).

Silindirik çelik kuleler: Günümüzde en çok tercih edilen kule tipi çelik silindirdirlerdir. Bu şekilde kule yapısı hafif ve yüksek mukavemet özellikleri gösterir (Manwel ve diğ., 2009). Diğer kule tiplerine göre daha güvenli bir tırmanma alanı ve daha düşük montaj maliyetleri ve yüksek geri dönüşüm oranı sağladığı için de tercih edilmektedir (Şekil 1.a). Çelik kulelerin korozyona karşı bakım maliyetleri diğer kulelere göre da fazla olmaktadır. Türbin kulesi hem içten hem de dıştan gerekli bakımları ihmal edilmemelidir.

Hibrit kuleler: Hibrit kulelerde çelik ve betonarme yapı sistemleri birlikte kullanılmaktadır (Şekil 1.b). Rüzgar türbini kulelerinin hafif ve son derece dayanıklı olması gerekir. Bazı yüksek kule tasarımlarında betonarme sistem estetik açıdan dengesiz yapıların oluşmasına, çok ağır ve bakımı zor hale gelmesinden dolayı avantajlı olmaktan çıkmaktadır. Hibrit kuleler de iki inşaat sisteminin avantajlarından yararlanmaktadır. Bu avantajlarının yanı sıra kule üzerindeki deprem yüklerini de azalmaktadır (Şermet vd. 2019).

Betonarme kuleler: Betonarme sistemler dünya inşaat sektöründe en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu sistemler hemen hemen her ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde rüzgar türbini kulesi inşaatlarında da bu sistem kullanılmaktadır. Kule yükseklikleri artan diğer türbin kulelerindeki rezonans eğilimi, betonarme kulelerin tasarımına yol açar (Harte, Gideon ve Zijl, 2007; Lewin, 2010). Bu tür kulelerin en büyük avantajı, yerel burkulmanın önlenmesidir. Betonarme kulelerin dezavantajları, diğer kule tiplerine göre montaj maliyetinin daha yüksek olması, aynı zamanda geri dönüşüm oranının daha düşük olmasıdır (Şekil 1.c).



Şekil 1. a) Çelik, b) Hibrit ve c) Betonarme Türbin Kulesi Kesit ve Ölçüleri (Şermet vd. 2019).

3.2. Endüstriyel rüzgar tribünlerinin tasarımı ve maliyet analizi

Endüstriyel rüzgar türbinlerini seçmenin nedeni, daha küçük enerji santrallerine olan büyük talepten kaynaklanmaktadır. Çünkü daha küçük santraller, küçük kasaba veya kuruluşların kullanılması için gerekli olan enerjiyi sağlamak için yeterlidir. Bu tip üretimin en büyük avantajı tüketim anında gerçekleşmesi, depolama yapılmaması, iletim ve enerji kayıplarının neredeyse sıfıra indirilmesidir.

Bu bölümde; her biri 15 kW gücündeki çapı; $D=0.45$ m ve yüksekliği; $L=10$ m silindirik formda betonarme, çelik ve hibrit (betonarme ve çelik) rüzgar türbini kuleleri kullanılmıştır. Silindirik çelik kulenin et kalınlığı 5 mm'dir. Çelik tipi S-335'tir. Beton karışımının basınç dayanımı ve yoğunluğu sırasıyla 35 MPa ve 2400 kg/m^3 olup, betonun poisson oranı 0,3'tür. Betonarme kule tasarımında $16\phi 16$ donatı kullanılmıştır. Bu tasarımlar imalat maliyetlerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı seçilmiştir (Şermet ve diğ., 2019; Yiğit ve diğ., 2018).

Türbin kurulumunda; kurulumun yapılacağı konum, kullanılacak ekipmanlar, türbin sayısı, ve kurulum işçiliği maliyeti etkileyen başlıca etmenlerdir. Kule yapısı ve montaj maliyetleri türbin gücüne ve kullanılan vinç modeline göre değişiklik göstermektedir (Şekil 2-3) (Laxson, 2001). Ayrıca ön üretim türbin kulelerinin taşınması, yerinde yapılacak türbin kulesi ve temel hazırlığı maliyetleri de önemli etmenlerdir. Her üç tip kule için ortak olan temel yapısı, ulaşım, jeneratör, dişli, kanat vb. diğer maliyet ve etkiler hesaplamalarda ayırt edici etken olmadığı için ihmal edilmiştir. Şekil 2-4' den yararlanarak çelik, hibrit ve betonarme türbin kulesi için yaklaşık maliyetler hesaplanmış ve Tablo 2'de verilmiştir. Yıllık bakım-işletme maliyeti için görsel kontrol, yağlama, elektrik kontrol, makine bakımı, kule boyama, tamirat, malzeme, iskele temini ve işçiliği yaklaşık olarak alınmıştır. Ekonomik ömür sonrası geri dönüşüm değerleri ise imalatta kullanılan ve yıkım sonrasında ortaya çıkacak olan çelik miktarına göre hesaplanarak Tablo 2.'de verilmiştir.

3.3. Problemin tanımlanması

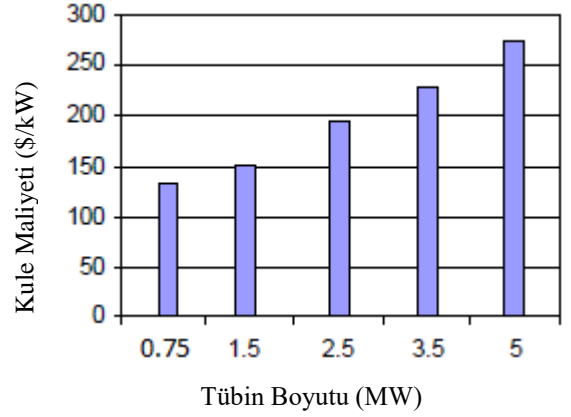
Bu bölümde rüzgar türbin kulesi seçim problemi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Rüzgar türbin kulesi seçimi ile ilgili alternatifler önceki bölümde detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Bu aşamada seçim kriterleri ve problemin çözümüne ilişkin aşamalar verilmiştir. En uygun rüzgar türbin kulesi seçim kriterleri literatürdeki kriterler dikkate alınarak aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

Yer değiştirme (C_1): Türbin kulesinin tepe noktasındaki yatay yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Yer değiştirme değerinin belirli salınım sınırları içerisinde kalması büyük önem arz eder. Aksi halde yapıda şekil bozukluğuna ve yapının göçmesine neden olur. Ayrıca salınımlar jeneratör-dişli odasındaki makinelerin çalışma düzenini bozabilir.

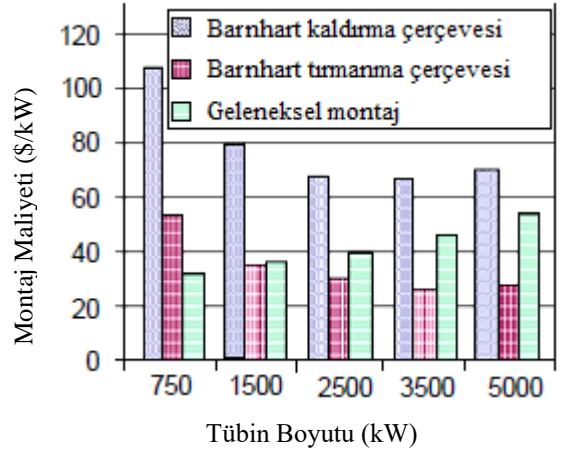
Gerilme (C_2): Türbin kulesini oluşturan yapı malzemeleri üzerinde birim alana düşen çekme ve basınç kuvvetlerini ifade etmektedir. Gerilme değeri kullanılan yapı malzemesinin emniyet gerilmesi değerlerinin üzerine çıktığı durumlarda yapının göçmesine neden olur.

Montaj maliyeti (C_3): Türbin kurulumu için gerekli malzemelerin birleştirilerek yapının kurulması aşamasında önemli bir etmendir. Ön üretimli, hafif ve pratik bağlantılara

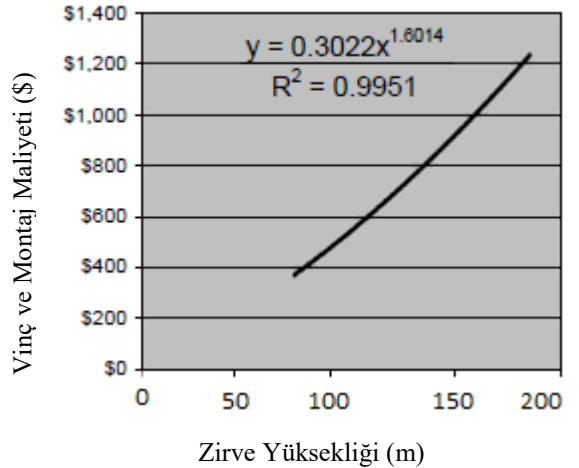
sahip yapı bileşenlerinin montajında düşük değerler alırken, hibrit sistemlerde ve yerinde imalat gerektiren, ağır yapı elemanları nedeniyle ağır iş vinçleri gerektiren montaj işlemlerinde daha yüksek değerler almaktadır.



Şekil 2. Türbin Boyutunun Bir Fonksiyonu Olarak Kule Maliyetleri (Laxson 2001).



Şekil 3. Türbin Kulesi Kaldırma Maliyetleri (Laxson 2001).



Şekil 4. Zirve Yüksekliğine Göre En Uygun Vinç ve Montaj Maliyeti (Laxson 2001).

Yıllık bakım ve işletme giderleri (C₄): Türbin kulesinin ekonomik ömrü boyunca maruz kalacağı yıpratıcı dış etmenlerin verdiği hasarların iyileştirilmesi ve sağlıklı çalışmasına devam etmesi için gereken periyodik bakımların maliyetini ifade etmektedir. Türbin kulelerinin yüksekliğine ve sayısına göre değişen önemli bir etmendir.

Geri dönüşüm yüzdesi (C₅): Türbin kulesinin ekonomik ömrünün sonunda geri dönüşümle tekrar kullanılabilir yapı bileşenlerinin maliyetinin tüm yapı bileşenlerinin maliyetine oranını ifade eder. Çelik kuleler geri dönüşüm oranı yüksek değerlerde olduğu için avantajlı konumdadır. Doğanın korunması için imalat aşamasındaki karbon izinin küçük, geri dönüşüm oranının büyük değerlerde olması daha çok önem arz eder.

Her bir kriter için rüzgar türbin kulesi alternatiflerinin değerlendirilmesi Tablo 2’de verilmiştir. Çelik türbin kulesi en düşük montaj maliyetine sahip iken betonarme kule en yüksek maliyetli türbin kulesi olarak görülmektedir. Yer değiştirme oranı en yüksek olan çelik rüzgar tribünüdür. Bu şekilde hangi kriterde hangi alternatifin daha güçlü olduğu Tablo 3’de görülmektedir. Çalışmada amaç tüm kriterleri en uygun düzeyde karşılayan alternatif yani rüzgar türbin kulesine karar vermektir. Kriter ve alternatifler belirlendikten sonra Tablo 1 dikkate alınarak üçgen ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matris Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2. Farklı Tip Türbin Kulelerinin Karşılaştırma Değerleri (Laxson, 2001; Yiğit vd. 2018).

	Çelik (A ₁)	Hibrit (A ₂)	Betonarme (A ₃)
Yer değiştirme (m)	0.12	0.067	0.058
Gerilme (MPa)	168.203	94.711	72.029
Montaj Maliyeti (\$)	110.42	327.12	465.43
Yıllık bakım ve işletme gideri(\$)	355.23	262.80	132.56
Geri Dönüşüm Yüzdesi (%)	95	74	45

Tablo 3. Kriterler Arasında Karşılıklı Değerlendirme Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(1,1,1)	(1/2,5/4,2)	(1/2,5/4,2)	(7/2,17/4,5)	(3/2,9/4,3)
C2	(1/2,4/5,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3/2,9/4,3)	(1/2,5/4,2)
C3	(1/2,4/5,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(5/2,13/4,4)	(3/2,9/4,3)
C4	(1/5,4/17,2/7)	(1/3,4/9,2/3)	(1/2,4/5,2)	(1,1,1)	(1/2,4/5,2)
C5	(1/3,4/9,2/3)	(1/2,4/5,2)	(1/3,4/9,2/3)	(1/2,5/4,2)	(1,1,1)

Adım 1. Denklem (2-4) kullanılarak her bir kriter için bulanık değerler hesaplanır.

$$S_{C1} = (7, 10, 13) \otimes (1/45.26, 1/31.8, 1/23.19) = (0.15, 0.31, 0.56)$$

$$S_{C2} = (5.5, 6.3, 9) \otimes (1/45.26, 1/31.8, 1/23.19) = (0.12, 0.2, 0.39)$$

$$S_{C3} = (6.5, 8.3, 11) \otimes (1/45.26, 1/31.8, 1/23.19) = (0.14, 0.26, 0.47)$$

$$S_{C4} = (2.53, 3.27, 5.94) \otimes (1/45.26, 1/31.8, 1/23.19) = (0.06, 0.1, 0.26)$$

$$S_{C5} = (2.66, 3.93, 6.32) \otimes (1/45.26, 1/31.8, 1/23.19) = (0.06, 0.12, 0.27)$$

Adım 2. Her bir kriter için Denklem (5-7) kullanılarak $V(\bar{M}_2 \geq \bar{M}_1)$ değeri hesaplanır.

$$V(S_{C1} \geq S_{C2}) = 1, V(S_{C1} \geq S_{C3}) = 1,$$

$$V(S_{C1} \geq S_{C4}) = 1, V(S_{C1} \geq S_{C5}) = 1$$

$$V(S_{C2} \geq S_{C1}) = 0.68, V(S_{C2} \geq S_{C3}) = 0.8,$$

$$V(S_{C2} \geq S_{C4}) = 1, V(S_{C2} \geq S_{C5}) = 1$$

$$V(S_{C3} \geq S_{C1}) = 0.86, V(S_{C3} \geq S_{C2}) = 1,$$

$$V(S_{C3} \geq S_{C4}) = 1, V(S_{C3} \geq S_{C5}) = 1$$

$$V(S_{C4} \geq S_{C1}) = 0.34, V(S_{C4} \geq S_{C2}) = 0.58,$$

$$V(S_{C4} \geq S_{C3}) = 0.43, V(S_{C4} \geq S_{C5}) = 0.91$$

$$V(S_{C5} \geq S_{C1}) = 0.39, V(S_{C5} \geq S_{C2}) = 0.65,$$

$$V(S_{C5} \geq S_{C3}) = 0.48, V(S_{C5} \geq S_{C4}) = 1$$

Adım 3. Denklem (8) ve Denklem (9) kullanılarak ağırlık vektörüne karar verilir.

$$W' = (1, 0.68, 0.86, 0.34, 0.39)$$

Adım 4. Ağırlık vektörü normalize edilir.

$$W = (0.31, 0.21, 0.26, 0.1, 0.12)^T$$

Sonrasında her bir alternatif için her bir kriter göre ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Bu matrisleri “Super Decision” paket programı kullanarak çözülmüş ve sonuçlar Tablo 4 ve Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 4: Kareli Ortalamalar Yöntemine Göre Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Alternatifler	Toplam	Normal	İdeal	Sıralama
A ₁	0.0883	0.3189	0.6441	2
A ₂	0.1225	0.3656	1.0000	1
A ₃	0.0781	0.3155	0.6398	3

Tablo 5: Kwong-Bai Yöntemine Göre Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Alternatifler	Toplam	Normal	İdeal	Sıralama
A1	0.0851	0.3063	0.6411	3
A2	0.1220	0.3713	1.00	1
A3	0.0756	0.3224	0.6413	2

Bulanık sayıların sıralanması için kullanılan kareli ortalamalar ve Kwong-Bail yöntemi sonuçları birbirine yakın sonuçlar verse de kareli ortalamalar yönteminde birinci alternatif en iyi tercih iken bu alternatif diğer yöntemde son sıradadır. İki yönteme göre en iyi sonuç ikinci alternatif yani hibrit kuledir.

4. Sonuç

Temiz enerji kaynağı çeşidi olan rüzgar enerjisinin elde edilmesinde kullanılan rüzgar enerjisi santrallerinin maliyetini doğrudan etkileyen önemli bir yapı bileşeni türbin kuleleridir. Bu çalışmada çelik, betonarme ve hibrit (çelik+betonarme) türbin kuleleri dikkate alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada, türbin santralının yapısal dayanımı ve diğer bileşenlerin sağlıklı çalışabilmesi için kule uç yer değiştirmeleri ve kule taban gerilmeleri emniyetli sınırlar içerisinde en güvenli oldukları durumlar dikkate alınarak en iyi alternatif hesaplanmıştır. Bulanık AHP yönteminin daha önce literatürde bu alanda kullanılmadığı görüldüğü için literatürde bir boşluk olduğu söylenebilir. Bu çalışma ile bu boşluk doldurulmuş ve literatüre katkı sunulmuştur. Yapılan çalışmanın sonucuna göre hibrit kulelerin kriterleri en uygun düzeyde sağlayan alternatif olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalar açısından bu problem farklı çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak da çözülebilir. PROMETHEE, TOPSIS veya VIKOR yöntemleri ile yeni çözümler elde edilebilir. Bunun dışında matematiksel modeller, doğrusal fiziki programlama veya lineer programlama ile problem genişletilerek yeni bulgular da elde edilebilir ve sonuçlar kıyaslanabilir.

Kaynakça

- Abbate, G.B., (2013), Optimal Control for Fatigue Reduction of a Ballast-Stabilized Floating Wind Turbine. *Department of Electronic Systems*, Allborg University, Denmark, 2013.
- Akpınar, M. E. (2016). *Vikor tabanlı yeni bir çok kriterli sınıflandırma metodu: Vikorsort.* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Arslan T., ve Khirsty, J., (2006). A Rational Approach to Handling Fuzzy Perceptions in Route Choice. *European Journal of Operational Research*, 168(29), 571-583.
- Artun, O., (2020), Determination of the Suitable Areas for The Investment of the Wind Energy Plants (WEP) in Osmaniye Using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information Systems (GIS). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 196-205.
- Chang, D.Y., (1996), Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*. 95, 649-655.

- Che, Z., Wang, H., ve Chuang, C.L., (2010), A Fuzzy AHP and DEA Approach for Making Bank Loan Decisions For Small and Medium Enterprises in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 37(10), 7189-7199.
- Elibüyük, U. ve Üçgül, İ., (2014), Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Yekarum e-Dergi*, 2(3) <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/204144>
- Gkantou, M., Baniotopoulos, C., ve Martinez-Vazquez P., (2017)., Tall Hybrid Wind Turbine Towers Load Analysis and Structural Response. *The International Conference on wind Energy Harvesting-2017*. 209, 87-90, Coimbra, Portugal, 20-21 April 2017.
- Harte, R., Gideon P.A.G., ve Zijl, V., (2007), Structural Stability of Concrete Wind Turbines and Solar Towers Exposed to Dynamic Wind Action. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 95, 1079-1096.
- Kanbur, F.A., (2014), *Steel Tower Design for a 500 KW Wind Turbine.* (The Degree of Master Thesis). İstanbul Technical University, Graduate Scholl of Natural, İstanbul, Turkey.
- Kocer, F.Y. ve Arora, J.S., (1996), Design of Prestressed Concrete Transmission Poles: Optimization Approach. *Journal of Structural Engineering*, 122(7), 804-814.
- Krishnendu, S., Ravi, S., Surendra, S.Y., ve Lakshman, S.T., (2012), Supplier Selection Using Fuzzy AHP and Fuzzy Multi-Objective Linear Programming for Developing low Carbon Supply Chain. *Expert Systems with Applications*. 39(9), 8182-8192.
- Laxson, A., (2001), WindPACT Turbine Design Scaling Studies Technical Area 3-Self-Erecting Tower and Nacelle Feasibility. *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*. March 2001.
- Lee, S.K., Kon, S., Mogi, G., Li, Z., Hui, K.S., Lee, S.K., . . . , Kim, J.W., (2010), Econometric Analysis of the R&D Performance in the National Hydrogen Energy Technology Development for Measuring Relative Efficiency: The fuzzy AHP/DEA Integrated Model Approach. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(6), 2236-2246.
- Lewin, T.J., (2010), *An Investigation of Design Alternatives for 328-ft (100-m) Tall Wind Turbine Towers.* The Degree of Master Thesis, Iowa State University, Iowa, USA.
- Lin, H.F., (2010), An Application of Fuzzy AHP for Evaluating Eour-seWebsite Quality. *Computers & Education*. 54(4), 877-888.
- Liu, Y., Eckert, C. M., ve Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161, 113738.
- Lyu, H. M., Sun, W. J., Shen, S. L., ve Zhou, A. N. (2020). Risk assessment using a new consulting process in fuzzy AHP. *Journal of Construction Engineering and Management*. 146(3), 04019112.
- Manwel, J.F., MCGowan, J.G., ve Rogers, A.L., (2009), Wind Energy Explained Theory. *Design and Application Second Edition*. John Wiley & Sons, Ltd.U.K.

- Moan, T., (2017), Recent developments of analysis and design of floating wind turbines. *The International Conference on Wind Energy Harvesting-2017*. 17–34, Coimbra Portugal, 20-21 April 2017.
- Negm, H.M., ve Maalawi, K.Y., (1999), Structural Design Optimization of Wind Turbine Towers. *Computers and Structures*. 74, 649-666.
- Orlando, D., (2011), Computer-aided Maintenance Management Sys-tems Selection Based on a Fuzzy AHP Approach. *Advances in Engine-ering Software*. 42(10), 821-829.
- Paksoy, T., Pehlivan N.Y. ve Kahraman, C., (2012), Organizational Strategy Development in Distribution Channel Manage-ment using Fuzzy AHP and Hierarchical Fuzzy TOPSİS. *Expert Sys-tems with Applications*. 39(3), 2822-2841.
- Price, T., (2004), Oxford Dictionary of National Biography (online ed.). *Oxford University Press*. doi: <https://doi.org/10.1093/ref:odnb/100957>
- Quilligan, A., O'Connor, A., ve Pakrashi, V., (2012), Fragility Analysis of Steel and Concrete Wind Turbine Towers. *Engineering Structures*. 36, 270–282
- Richter, C., Mohammadi, M.R.S., Pak, D., Rebelo, C., ve Feldmann, M., (2017), Showtime Stell Hybrid onshore Wind Towers Installed With Minimal Effort Development of Lifting Proce-s. *The International Conference on wind Enerfy Harvesting-2017*. 209, 87-90, Coimbra, Portugal, 20-21 April 2017.
- Soğukpınar, H., Bozkurt, İ., Baran, M.F., Türkmenler, H., Pala, M., Engin, K.E., ve Kaya, A.İ., (2015), Micro-Turbine Design, Production and Testing. *International Journal of Engineering Technologies*. 1(4), 141-145 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/253269>
- Şermet, F., Yiğit, M.E., ve Hökelekli, E., (2019), Dynamic Analysis of Different Type of Wind Turbine Towers Due to Wind and Earthquake Effect. *International Civil Engineering & Architecture Conference (ICEARC 2019)*. Trabzon, TURKEY, 17-20 April 2019.
- Taha, Z., ve Rostam, S., (2011), A Hibrid Fuzzy AHP-PROMETHEE Decision Support System for Machine Tool Selection in Flexible Manufacturing cell. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 23(6), 2137-3149.
- Uzoka, F.M.E., Obat, O., Barker K., ve Osuji, J., (2011), An Experimental Comparison of Fuzzy Logic and AHP for Medical Decision Support Systems. *Computer Methods and Programs Biomedicine*. 103(1), 10-27.
- WindEurope, (2020), Wind energy in Europe in 2019, *European Statistics Archive*. [Online]. 13 Kasım 2020 tarihinde <https://windeurope.org/aboutind/statistics/european/wind-energy-in-europe-in-2019/> adresinden erişildi.
- Yavuz, İ., ve Özbay, H., (2020), Rüzgar Türbinlerinde Kurulum ve Bakım Süreçleri: Bandırma Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*. 2, 58 - 68.
- Yiğit, M.E., Özdemir, A., Şermet, F., ve Pınarlık, M., (2018), Analysis of Offshore Wind Turbine Towers with Different Designs by Finite Elements Method. *9 th International*



İnsansız Hava Araçlarının Uçuş Süresinin Termal Hava Akımları Kullanılarak Arttırımı

Mehmet Konar¹, Emin Tugay Kekeç^{2*}

¹ Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, Kayseri, (ORCID: 0000-0002-9317-1196), mkonar@erciyes.edu.tr

^{2*} Kapadokya Üniversitesi, Kapadokya Meslek Yüksek Okulu, Uçak Teknolojisi Bölümü, Nevşehir, (ORCID: 0000-0003-1530-996X), tugay.kekec@kapadokya.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 4 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 4 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.874809)

ATIF/REFERENCE: Konar, M. & Kekeç, E. T. (2021). İnsansız Hava Araçlarının Uçuş Süresinin Termal Hava Akımları Kullanılarak Arttırımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 394-400.

Öz

İnsansız hava araçları (İHA), uzaktan komuta ya da otonom biçimde uçuş yapabilen içerisinde bir operatör bulunmayan hava araçlarıdır. İHA'lar askeri ve sivil amaçlar için geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kullanım alanlarının geniş olması ile son kullanıcılar için pek çok farklı konfigürasyonlar ile tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmektedir. Farklı konfigürasyonlar ile tasarlanan İHA sistemleri beraberinde birçok problemlerle birlikte gelmektedir. Geniş kullanım alanları ile İHA'larda karşılaşılan en temel eksiklik ise uçuş süresi ve menzilin yetersiz olmasıdır. Bu problemin çözümü üzerine itki sisteminin iyileştirilmesi, aerodinamik iyileştirmeler, batarya teknolojisinde yapılan yenilikler gibi pek çok çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada İHA'ların uçuş süreleri ve menzillerinin iyileştirilmesi konu alınarak, termal hava akımlarından yararlanılmıştır. Termal hava akımları, güneş ışınlarının yeryüzünde bıraktığı etki ile oluşan yukarı yönlü yükselen hava akımları olarak tanımlanmaktadır. Yukarı yönlü hava akımlarının etkisi ile sportif hava araçları ve kuşlar herhangi bir itiş gücü ve enerji ihtiyacı olmadan havada saatlerce kalabilmekte ve uzun mesafeli olarak uçuş yapabilmektedir. Çalışma kapsamında termal hava akımları incelenmiş ve termal hava akımlarının otonom olarak tespit edilebilmesi için bir İHA sistemi tasarlanmış ve uçuşu gerçekleştirilmiştir. Uçuş denemeleri esnasında manuel ve stabilize uçuş modlarına göre termal hava akımlarının kullanımı ile yapılan uçuşta %61 daha uzun uçuş süresi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İHA uçuş süresi, Termal hava akımları, Doğal taşıyıcılar, Planör.

Increasing the Flight Time of Unmanned Aerial Vehicles by Using Thermal Air Currents

Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAV) are air vehicles that can be controlled remotely or fly autonomously, without an operator. UAVs have a wide range of uses for military and civilian purposes. With its wide range of usage areas, it is designed and produced with many different configurations for end users. UAV systems designed with different configurations come with many problems. The most basic deficiency encountered in UAVs with their wide range of use is the insufficient flight time and range. Many studies have been conducted on the solution of this problem, such as the improvement of the propulsion system, aerodynamic improvements, and innovations in battery technology.

In this study, thermal air current were used by taking the subject of improving the flight times and ranges of UAVs. Thermal air currents are defined as upward rising air currents caused by the effect of sunlight on the earth. With the effect of upward air currents, sports aircraft and birds can stay in the air for hours and fly long distances without any propulsion and energy need. Within the scope

* Sorumlu Yazar: tugay.kekec@kapadokya.edu.tr

of the study, thermal air currents were examined and an UAV system was designed and flight was carried out in order to detect thermal air currents autonomously. During flight trials, 61% longer flight time was detected with the use of thermal air currents compared to manual and stabilized flight modes.

Keywords: UAV flight time, Thermal air currents, Natural carriers, Glider.

1. Giriş

İlerleyen mühendislik disiplinleri ile İHA sistemleri özellikle sivil kullanım sahalarında oldukça geniş bir sektörde yer bulmuştur. Havadan haritalama, tarım ve arama kurtarma ekipleri tarafından oldukça sık biçimde kullanılmaktadır. İHA'lar her geçen gün farklı yetenekler kazanmakta olmasına rağmen hava da kalış süreleri ve menzillerinde aynı ilerleme kaydedilememiştir. Uçuş süresinde artış için batarya teknolojisi, aerodinamik iyileştirmeler ve itki sistemi üzerine çok fazla çalışma yapılmıştır [1-4]. Ek olarak yüksek verimli ve esnek solar paneller kullanılarak İHA tasarımı ve üretimi konularında çalışmalar yapılmıştır. Ancak solar sistemler kullanımında olan İHA sistemlerinin ekstra panel, batarya ve elektronik devreler ile İHA ağırlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır [5-20].

İHA'ların uçuş süresi ve menzillerinde iyileştirme yapılabilmesi için termal hava akımlarının kullanımı konu alındığı çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmalardan birisi, kuşların uçuş stratejileri üzerine araştırma yapmıştır [10]. Çalışmada İHA'ların simülasyonlar ve gerçek uçuş sırasında irtifa kazanmaları için geliştirilmiş olan kontrol mekanizmalarını incelenmiştir. Ayrıca termal hava akımlarını kullanmak için yeni bir strateji önerisi oluşturmuşlardır. Diğer başka bazı çalışmalarda, termallerde otonom kullanımı üzerine yapılmıştır [21-22].

Termal hava akımlarının tespiti kadar termal içerisinde uygun yörüngede uçmakta oldukça önemlidir. Termalin merkezine yakın şekilde yapılan uçuşlar termal hava akımlarından en optimum düzeyde fayda sağlamaktadır [7]. Böylece termal içerisinde burun açısı, uçuş yönü ve hava hızı değerleri bilinmesi büyük önem arz etmektedir.

Termal hava akımları, güneş ışınlarının yeryüzü şekillerini ısıtması ile meydana gelmektedir. Isınan yeryüzü şekilleri, hemen üzerinde varolan hava kütlelerini ısıtarak yükselmesine sebep olmaktadır. Bu yükselen hava kütlesi aynı zamanda içerisinde bulunan cisimler üzerinde bir kaldırma kuvveti oluşturmaktadır. Oluşan termal hava akımı oldukça değişken ve farklı parametrelere bağlıdır. Yeryüzü şeklinin biçimi, güneş ışınlarının gün içerisinde yeryüzü şekillerini ne kadar ısıttığı ve havadaki nem miktarı bu parametrelerden bazılarını oluşturmaktadır.

Kuşlar ve sportif hava araçları pilotları bu termal hava akımlarını kullanarak enerji harcamadan irtifa kazanabilmekte ve kazanılan irtifa ile süzülüş yaparak menzilini arttırabilmektedir. Termallerin konumu ve şiddeti ile ilgili bilgiler yamaç paraşütü, yelken kanat ve planör gibi hafif hava araçları pilotları tarafından tahmin edilebilmektedir.

Bu çalışmada termal hava akımlarının sabit kanatlı İHA'ların uçuş süresi ve menzillerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında 2,5 metre kanat açıklığına sahip bir planör tibi İHA kullanılmıştır. İHA içerisinde açık kaynak kodlu ve gelişmiş uçuş kontrol kartı Pixhawk Cube kullanılmıştır. Bu kapsamda İHA otonom olarak termal hava akımlarını tespit etmekte ve termalin biçimine göre dairesel dönüşler yaparak irtifa kazanmakta ve kazanılan irtifa ile süzülerek enerji

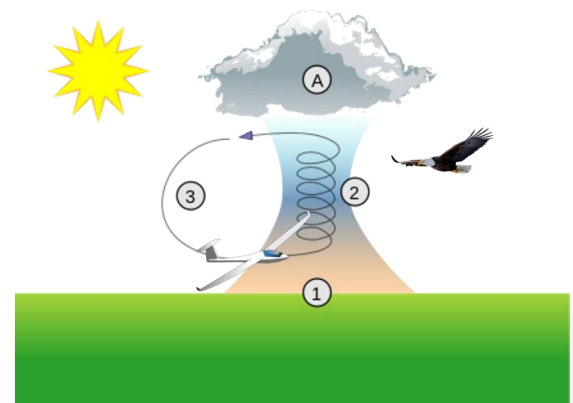
harcamadan uçuş yapabilmektedir. Stabil ve manuel modlarda yapılan uçuşlara göre %61 gibi ciddi bir enerji kazanımı elde edilmiştir [8].

2. Termal Hava Akımları ve Etkileri

Termal hava akımları yeryüzünden, yükselen sıcak hava akımlarıdır. Bu hava akımları sayesinde bazı kuş türleri dairesel bir yörünge izleyerek kanat çırpmadan irtifa kazanabilmektedir. Böylece kuşlar büyük bir enerji harcamadan gökyüzünde saatlerce uçuş yapabilmektedir. Özellikle yırtıcı kuş türlerinden olan kartallar, atmacalar ve şahinler avlanmaları esnasında termal hava akımlarının enerjilerini yoğun şekilde kullanmayı başarabilmektedir. Bununla birlikte göç etmek isteyen kuş türleride termal hava akımlarından yararlanarak göç yolları üzerinde uzun süre durmaksızın uçuş yapabilmekte ve menzillerini arttırmaktadır [11,12].

Termal hava akımları anlık hava şartları ve farklı arazi engebelerinde değişken güçlerde oluşabilmektedir. Termik olarak anılan termal hava akımları her mevsim şartlarında oluşabilsede yoğun ve güçlü termikler genellikle yaz aylarında oluşmaktadır. Termikler neticesinde yukarı yönlü yükselen hava akımı içerisinde yeterli oranda nem taşırırsa, yükselme ile birlikte su buharı yoğunlaşır ve kümülüs bulutları oluşabilmektedir.

Şekil 1'de termal hava akımları ile oluşan kümülüs bulutlarını ve planörlerin termal hava akımlarını nasıl kullandıklarına ilişkin temsili bir görsel verilmiştir. Şekil 1'e göre kümülüs bulutunun termal aktiviteler ile oluşum safhaları numaralı olarak verilmiştir. Safha 1'de Güneş, yer sıcaklığını arttırmış ve daha sonra üzerindeki havayı ısıttıktan sonra safha 2'de olduğu gibi yükselmeye başlamıştır. Yükselen hava sütunu daha sonra belirli irtifaya kadar yükseldikten sonra soğuyarak, safha 3'te olduğu gibi genişlemiş ve aşağı yönde hareket gösterilmiştir. [10-14].



Şekil 1. Termal hava akımlarının gösterimi ve kümülüs bulutunun oluşumu

Çok hafif hava araçlarını oluşturan yelken kanat, yamaç paraşütü ve planör pilotları oluşan bulutları gözlemleyerek termal hava akımlarının tepe noktalarını gözlemleyebilmektedir. Ilıman iklim kuşağının yaşandığı bölgelerde yaklaşık olarak 3000 metre, çöl ve tropik iklim bölgelerinde 5000 metrenin

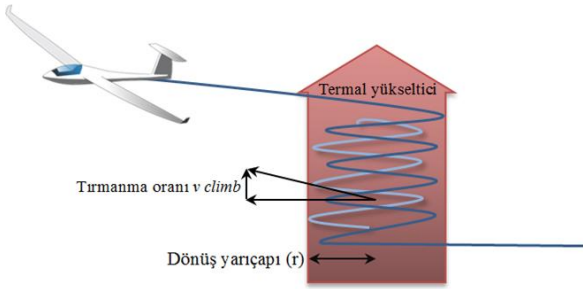
üzerinde irtifalara kadar termal hava akımının etkisi gözlemlenmektedir [14].

Termal aktivitelerin oluşumlarını gösteren 3 temel etken vardır. Bu etkenler işaretler, kaynaklar ve tetikleyiciler olarak adlandırılmış ve Tablo 1’de detaylı olarak gösterilmiştir [15].

Tablo 1. Termal hava akımlarına etki eden etmenler

İşaretler	Kaynaklar	Tetikleyiciler
Bulutlar	Kasabalar	Sıcaklık değişimi
Kuşlar	Kuru alanlar	Orman kenarlar
Duman hareketleri	Kayalıklar	Setler
Çok hafif hava araçları	Endüstriyel alanlar	Renk ve şekil değişimi olan bölgeler
Hortum	Engebeli araziler	Bulut gölgesi
	Beton yapılar	Downdraft alanları

Termal hava akımları, değişken parametreler neticesinde farklı güçlerde oluşabilmektedir. Termal hava akımının gücü ise havacılık disiplinlerinde variometreler ile ölçülmekte ve 1-10 m/s aralığında dikey hız ile belirtilmektedir. Dikey hız yeryüzünün güneş ışınlarına ne kadar maruz kaldığı ve o günün hava şartları ile orantılı olarak değişkenlik göstermektedir. Termalin gücüne ek olarak, havacılık için termal hava akımının genişliğide önem arz etmektedir. Çünkü termal hava akımının merkezi olarak bilinen çekirdek, termalin gücünün maksimum olduğu noktadır. Bu önemle hava araçları termal hava akımının içerisinde ideal bir dönüş açısı ile termalin merkezine yakın dönüşler yapmak istemektedir. Şekil 2’de termal hava akımı üzerinde dönüş yarıçapı ve tırmanma oranı ile hava aracının termal içerisinde izlediği güzergâh gösterilmiştir [14-15].



Şekil 2. Termal hava akımı içerisinde izlenen güzergâh

2.1. Termal Hava Akımlarının Hava Araçları Üzerindeki Etkisi

Termal hava akımları her zaman dilimi için farklı güçlerde yükselbilmektedir. Termal hava akımı içerisinde varolan hava kütlesi atmosfer boyunca belirli bir yüksekliğe kadar hareket edebilmekte veya inversiyon tabakası ile karşılaşarak yükselmeyi durdurabilmektedir. Genellikle yaz aylarında güçlü termal hava akımları oluşabilmekte ve inversiyon tabakasının kalınlığına göre bu tabakanın üzerine çıkabilmektedir [9, 14-16].

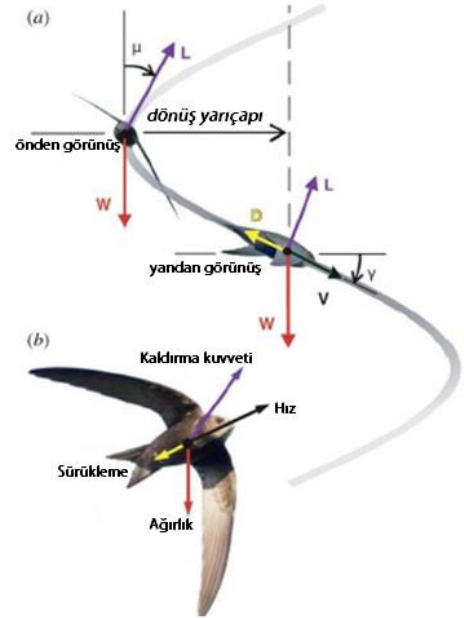
Atmosfer boyunca yükselen termal hava akımları, içerisinde uçan hava araçları, kuşlar ve bazı hafif nesnelere yükseltebilmektedir. Böylece herhangi bir itki sistemi olmayan

planör, yamaç paraşütü veya yelken kanat gibi çok hafif hava araçlarını yüksek irtifalara çıkarabilir ve kilometrelerce uzak mesafelere süzülme fırsatı tanır. Güçlü termal hava akımlarının olduğu aylarda, sportif hava aracı pilotları termal hava akımlarından faydalanarak mesafe (seyrüsefer) ve termik uçuşları yapmaktadır [14].

Termal hava akımlarının çekirdeği olarak bilinen merkez noktasında kaldırma gücü maksimum seviyededir. Pilotlar çekirdek etrafında, termal hava akımını kullanarak hızlı bir şekilde yükselmektedir [16]. Böylece içerisinde buldukları termali en verimli şekilde kullanırlar. Pilotların termal hava akımı içerisinde dönmesi gereken ideal yarıçap Eşitlik 1’de verilmiştir.

$$r = \frac{W}{S} \frac{2 \cos^2(\gamma)}{\rho g \sin(\mu) C_l} \quad (1)$$

Şekil 3 ve Eşitlik 1’e göre, r; dönüş yarıçapı, S; kanat alanı, ρ ; hava yoğunluğu, g; yerçekimi ivmesi ve C_l kaldırma kuvvetinin katsayısını vermektedir [9-10].



Şekil 3. (a) Termal aktivite içerisinde dönüş yarıçapı ve hücum açısının gösterimi (b) Temel kuvvetlerin gösterimi

Sportif havacılık pilotları için termal hava akımları tecrübeler ve belirli bilgi seviyesi ile kolaylıkla tespit edilebilse de bilimsel açıdan matematiksel eşitlikler ile termal hava akımlarının anlaşılması önem arz etmektedir. Bu önemle termal hava akımının gücü hava aracının ne kadar yükselbileceği ve kaç saniyede istenen irtifaya çıkabileceğini belirtmektedir. Ayrıca termal hava akımının genişliği, termalin içerisinde hangi açı ile dönüş yapılması gerektiğini göstermektedir. Ek olarak termal hava akımlarının çekirdeğinin tespiti hem sportif havacılık hemde İHA’lar için oldukça önemlidir. Bu çalışmada verilen eşitlikler İHA sistemleri için termal hava akımlarının anlaşılmasını ve daha optimum kullanımına yardımcı olmaktadır.

2.2. Termal Hava Akımlarının Etkisinin Formülüzasyonu

Termal hava akımları, güneş ışınlarının yeryüzünü ısıtmasıyla meydana gelen yükselen hava akımlarıdır. Isınan hava kolan şeklinde yükselir ve bu kolonun merkezinde

kaldırma gücü en üst seviyededir. Sportif havacılıkta pilotlar bu merkeze yakın uçmak isterler. Çünkü merkeze ne kadar yakın bir uçuş yapılırsa pilotlar o kadar hızlı bir şekilde irtifa kazanacaklardır. Kaldırma gücünün en üst seviyede olduğu bu noktaya termal hava akımının çekirdeği denir. Eşitlik 2’de termal hava akımının herhangi (x, y) pozisyonundaki kaldırma kuvvetinin matematiksel ifadesi verilmiştir [9-10, 16].

$$\omega(x, y) = W^{th} \exp\left(-\frac{(x-x^{th})^2 + (y-y^{th})^2}{R^{th2}}\right) \quad (2)$$

Eşitlik 2’ye göre, W^{th} , termalin yatay enine alınan kesitine göre çekirdekdeki dikey hava hızını m/s olarak ifadesidir. x^{th} ve y^{th} , çekirdeğin konumunu, x ve y termalin herhangi bir noktasındaki koordinatlarını göstermektedir. Ayrıca R^{th} ise termalin yarıçapını ifade etmektedir [16].

Bu çalışmada kullanılan uçuş kontrol kartı içerisinde barometre mevcuttur. Bu nedenle İHA ile yapılan uçuş testlerinde daha önce belirlenen irtifa değerinin üzerine çıkılması durumunda İHA motor gücü kapatılarak süzülüşe geçecektir. Bu süzülüş sırasında barometreden İHA’nın anlık olarak irtifasında yaşanacak bir değişiklik olursa, uçuş kontrol kartı bu bilgi ile bir dönüşe başlayacaktır. Bu dönüş çapı Eşitlik 2’ye göre uçuş kontrol kartı tarafından hesaplanacak ve İHA kontrol yüzeylerini hareket ettiren servo motorlara iletilecektir. Daha önce de açıklandığı gibi termal hava akımları anlık olarak farklı bölgelerde ve farklı güçlerde oluşmaktadır. Bu nedenle bu işlemler kontrol kartı tarafından anlık olarak hesaplanmaktadır.

3. Termal Aktivitelerin Tespiti ve Kullanımı

Termaller güneş ışınlarının yer yüzünü ısıtması sonucu yükselen hava sütunlarıdır. Bu çalışmada tasarlanan ve üretilen İHA, sportif hava araçlarından olan planörlerin ölçekli modelidir. Çalışma kapsamında Şekil 4’te gösterilen 2540mm kanat açıklığına sahip ASW 28 model RC planör kullanılarak uçuş kontrol kartı üzerinde yapılan değişiklikler ile termal hava akımlarından faydalanılmıştır.

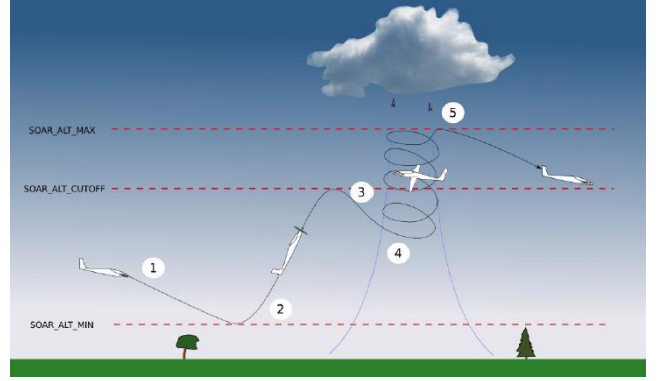


Şekil 4. ASW 28 model planör

Bu çalışma için ile Şekil 5’te belirlenen görev rotalarında sabit bir itiş gücü ile uçan İHA, önceden belirlenen irtifa aralıklarına gelince motor gücünü durdurarak termal hava akımlarını aramaya başlamaktadır. Bu irtifa aralıkları Pixhawk Cube kontrol kartına QGroundControl yazılımı aracılığıyla belirli parametre değerleri değiştirilerek yapılmıştır [9].

Pixhawk Cube kontrol kartı ile termal hava akımlarından yararlanmak için QGroundControl yazılımı ile yapılması gerekli adımlar sırasıyla;

- QGroundControl yazılımı aracılığıyla Way point’ler kullanılarak görev rotası oluşturulmalıdır.
- TECS (Total Energy Control System) parametreleri, QGroundControl yazılımı aracılığıyla giriş yapılmalıdır.
- İHA’nın L/D oranı bulunmalıdır. (Stabilize mod ile yapılan uçuşların kayıtlarından yararlanılarak oluşturulmuştur.)
- Termal hava akımı parametreleri ayarlanmalıdır.



Şekil 5. İHA otonom termal arama işlem sürecinin gösterimi

Termal hava akımından yararlanmak için gerekli parametrelerden SOAR_ALT_MIN parametresi termal hava akımını aramaya devam edeceği minimum irtifayı belirtmektedir. QGroundControl yazılımı üzerinden görev rotası oluşturulurken, görev yapılmasistenen irtifa SOAR_ALT_MIN değerinin üzerinde ayarlanmalıdır. Böylece termal arama görevi otonom olarak yapılabilecektir. SOAR_ALT_MIN parametresi için bu çalışmada en uygun değer, test uçuşlarında 80 metre olarak belirlenmiştir. Belirlenen irtifa değerinin altına indiğinde motor gücü otomatik olarak açılmakta ve SOAR_ALT_CUTOFF parametresi ile daha önceden ayarlanan irtifaya çıkmaktadır. SOAR_ALT_CUTOFF değerine çıktıktan sonra, İHA tekrardan motor gücünü kapatarak süzülüşe başlamaktadır. Süzülüş esnasında kontrol kartı içerisinde bulunan barometrik basınç sensörü ile irtifada oluşan değişiklikleri otomatik olarak değerlendirmektedir. Değerlendirme sonucunda irtifada anlık oluşacak artış termal hava akımlarının varlığını gösterecektir. Otonom biçimde tespit edilen termal hava akımlarından yararlanmak için İHA roll (yatış) hareketi ile termal aktivitesinin içerisinde belirlenen açı ile dönüş yapacaktır. Termal hava akımı içerisinde irtifa kazanan İHA, SOAR_ALT_MAX parametresi ile belirlenen irtifaya kadar yükselecektir. Başarılı bir tırmanışın ardından tekrar süzülüşe geçerek belirtilen görev bölgesi üzerinde uçuş gerçekleştirecektir [17]. Çalışma içerisinde termal hava akımlarının tespiti ve kullanımı için istenilen bütün parametreler Tablo 2’ de detaylı olarak sunulmuştur [9].

Çalışmada süresince yaşanan en büyük zorluk termal hava akımlarının yerlerinin belirlenmesinde olmuştur. Çünkü termaller gözle tespit edilememektedir. Ancak anlık olarak barometrik basınç sensörü aracılığı ile tespit edilebilmektedir. Çalışma kapsamında Manuel, Stabilize, Altitude ve AUTO yani otonom uçuş modları ile test uçuşları yapılmıştır. Bu uçuşlar sonrasında, SD karta kaydedilen uçuş verileri alınarak, grafikler oluşturulmuş ve incelenmiştir.

Çalışmada otonom, manuel, stabilize modları ile yapılan tüm uçuşlar için Kayseri’nin Talas ilçesinde bulunan Model uçak pistinde denemeler yapılmıştır. Bu bölge düz bir arazi yapısına sahip ve yerleşim alanına uzak olmasından dolayı güvenlidir. Termal hava akımlarının tespiti ve kullanımı için yapılan görev

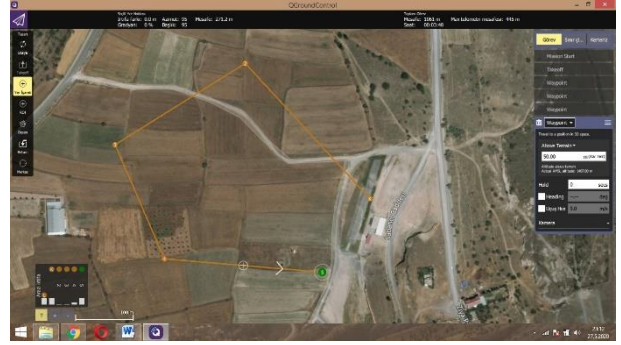
uçuşu Şekil 6'da QGroundControl yazılımı ile planlanan rota uçuş kontrol kartına yüklenmiştir [9].

Tablo 2. QGroundControl yazılımı termal hava akımları için parametre listesi

Parametre adı	Parametre açıklaması
SOAR_ENABLE	ArduSoar işlevini etkinleştirir veya devre dışı bırakır
SOAR_VSPEED	Termal arama moduna girip girmeyeceğini belirleyen dikey hava hızı eşiği
SOAR_Q1	Termal güç için proses gürültüsünün standart sapması
SOAR_Q2	Termal pozisyon ve yarıçap için proses gürültüsünün standart sapması
SOAR_R	Gözlem gürültüsünün standart sapması
SOAR_DIST_AHEAD	İHA'nın termal merkeze olan mesafesinin ilk tahmini
SOAR_MIN_THML_S	Uçağın, termal arama moduna girdikten sonra, saniye cinsinden yükselmeye çalışmasının minimum süresi
SOAR_MIN_CRSE_S	İHA'nın termal arama moduna girmekten kaçınması gereken saniye olarak, minimum süre
SOAR_POLAR_CD0	Kutupsal eğri parametresi
SOAR_POLAR_B	Kutupsal eğri parametresi
SOAR_POLAR_K	Kutupsal eğri parametresi
SOAR_ALT_MIN	Termal aramaya devam edilme sınır irtifası
SOAR_ALT_CUTOFF	Termal aramaya otonom geçmek için motor kapatma irtifası
SOAR_ALT_MAX	Termal dönüşlerden çıkış irtifası

Planlanan görev noktaları Pixhawk Cube kontrol kartına yüklendikten sonra İHA Stabilize mod ile pilot komutasında kalkış yapmıştır. Güvenli irtifaya yükselen İHA pilot tarafından radyo vericisi üzerinden AUTO moda alınmıştır. Bu mod ile İHA rotada verilen ilk görev noktasına çıkmıştır. Bu nokta SOAR_ALT_MIN parametresinin (50 metre) üzerinde 150 metredir. Görev noktasına ulaştıktan sonra motor gücünü kapatmış ve süzülüşe başlamıştır. Ortalama 4 dakikalık süzülüş sonunda İHA 50 metreye alçalmıştır. İlk görev noktasında herhangi bir termal hava akımı tespit edilememiştir. İHA 50 metreye süzülen ikinci görev noktasına ulaşmak için tekrar motor gücünü açarak tırmanmaya başlamıştır. 150 metre yüksekliğe ulaşan İHA, tekrar motor gücünü kapatmıştır. Süzülüşe başlayan İHA'nın barometrik basınç sensörü aracılığıyla dikey hızında bir yükselme tespit etmiştir. Bu tespit ile İHA kontrollü biçimde dönüş hareketine başlamıştır. Şekil 7'de İHA'nın termal hava akımları içerisinde dönüşü gösterilmiştir. Kayıtlara göre 2,2 m/s vario değeri ve 13 metrelik

yarıçapta dönüş manevrası ile başarılı bir biçimde termal hava akımından faydalanarak irtifa kazanmıştır.



Şekil 6. Termal hava akımı tespit için rota planlaması

SOAR_ALT_MAX parametresi ile 250 metre olarak belirlenen termal limit irtifasına gelen İHA otonom olarak termal hava akımından ayrılmıştır. Motor gücünü aktif etmeden süzülerek daha önce belirlenen üçüncü görev noktasına ulaşmış ve tekrar termal arama görevi için süzülüşe başlamıştır. 1,5 m/s yükseltme gücüne sahip termal hava akımını kullanarak 11 metre yaklaşık çapa sahip dönüşler ile irtifa kazanmış ve 65 metre yükselmiştir. Daha sonra dördüncü görev noktasına giderek pilot kontrolünde stabilize mod ile iniş yapmıştır. Şekil 8'de İHA'nın izlediği güzergâh sunulmuştur.

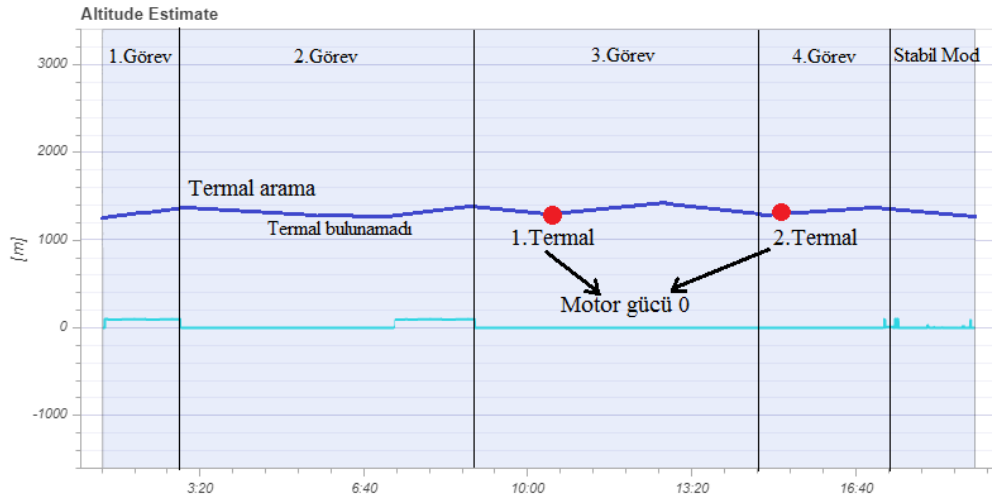


Şekil 7. İHA'nın termal hava akımı içerisinde dönüşü

Yapılan uçuş denemesinde yakalanan iki farklı termal hava akımı ile toplamda 18 dakika gerçekleştirilen uçuş için Şekil 9'da irtifa-zaman grafiği gösterilmiştir. Ayrıca İlk termal hava akımı içerisinde İHA'nın uçuş kayıtları incelenerek oluşturulan simülasyon ile elde edilen süzülüş rotası Şekil 10'da verilmiştir.



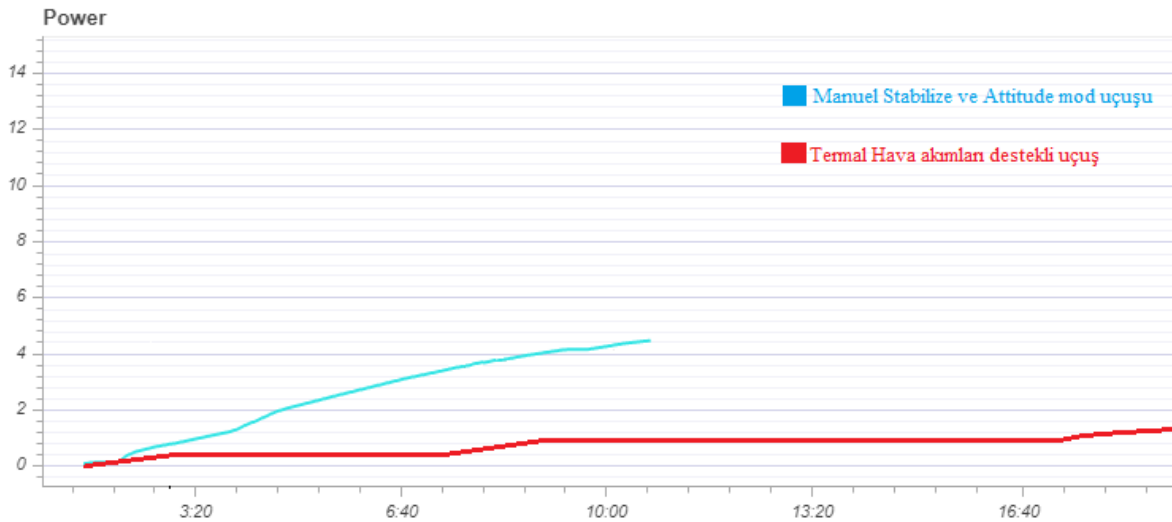
Şekil 8. Termal hava akım arama uçuşu boyunca İHA'nın izlediği güzergâh



Şekil 9. Termal hava akımı için otonom uçuş irtifa-zaman grafiği



Şekil 10. Bulunan ilk termal aktivite içerisinde izlenen rota



Şekil 11. İHA ile yapılan uçuşların batarya verileri karşılaştırma -zaman grafiği

Termal hava akımlarından yararlanarak yapılan uçuşta yaklaşık 18 dakika havada kalabilen İHA inişten sonra Li-Po bataryasının sadece %66,6'sını kullanmıştır. Aynı batarya ile Manuel, Stabilize ve Altitude mod ile toplamda 12 dakikalık uçuş neticesinde bataryanın yaklaşık olarak %86'sını kullanarak iniş yapmıştır. Ayrıca Erciyes Üniversitesi Model Uçak pistinde serbest uçuş rotası sonucunda Manuel, Stabilize ve Altitude mod ile toplamda 3,61 km toplam menzile ile uçmuştur. İHA termal hava akımları kullanarak yaptığı uçuşta ise toplamda 4,87 km uçuş yaptığı tespit edilmiştir. Her iki uçuş içinde bataryadan çekilen akım değerleri Şekil 11'de detaylı olarak sunulmuştur. Şekil 11'e göre Manuel, Stabilize ve Altitude mod uçuşları mavi renk ile simgelenmiş ve bataryadan devamlı bir enerji akışı olmuştur. Buna karşın termal hava akımlarından yararlanılarak yapılan uçuşta bataryadan anlık olarak çekilen enerjinin mavi renkli olarak gösterilmiş ve çok daha efektif bir enerji tüketimi tespit edilmiştir.

Bu çalışmada amaçlanan test uçuşlar başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Uçuşlar sonucunda termal hava akımlarının İHA uçuş performansına ciddi ölçüde katkı sağladığı görülmüş ve ispat edilmiştir. Termal hava akımlarının etkisinin gözlenmesinde, farklı alanlarda, farklı hava araçlarıyla, yılın değişik zamanlarında uçuş testlerini yapılması faydalı olabilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada güneşin yeryüzünü ısıtması sonucu ortaya çıkan termal hava akımlarının sabit kanatlı insansız hava araçlarının uçuş sürelerine ve menzillerine etkisi incelenmiştir. Ek olarak termal hava akımlarından yararlanabilen yüksek L/D oranına sahip bir ölçekli planör İHA prototipi geliştirilmiştir. İncelenen İHA ile değişik uçuş modlarında yalnızca batarya enerjisi kullanılarak test uçuşları yapılmıştır. Gerçekleştirilen test uçuşları neticesinde İHA'nın uçuş performansının iyileştirilmesi için uçuş verileri grafikler ile incelenmiştir.

Uçuş performansı artırılan İHA ile termal hava akımlarının tespit edildiği ve kullanıldığı farklı bir uçuş testi yapılmıştır. Bu uçuş testinde İHA'nın hem batarya enerjisi hem de termal hava akımlarının enerjisinin kullanılması ile menzile ve uçuş süresinde önemli ölçüde iyileştirme gözlemlenmiştir. Termal hava akımlarından faydalanarak yapılan bir uçuşta, Manuel, Stabilize ve Altitude mod ile batarya enerjisi kullanılarak yapılan sıradan uçuşa göre, uçuş süresinde %51,2 artış ve uçuş menziline ise %43,8 artış elde edilmiştir. Bu artış ile termal hava akımlarının, sabit kanatlı İHA'ların uçuş sürelerine önemli katkılar sağladığını göstermiştir. Uçuş süresinde ve menzildeki daha fazla artışın gözlenmesi için, uygun mevsim koşullarında farklı arazi yapılarında uçuşlar yapılabilir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre sabit kanatlı İHA üreticilerinin, tasarım süreçlerine yardımcı olacağı öngörülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma için Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2020-9690 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Destekten dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Konar M., (2020). Simultaneous determination of maximum acceleration and endurance of morphing UAV with ABC algorithm-based model, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92 (1), 579-586.
- [2] Konar M. (2019). Redesign of morphing UAV's winglet using DS algorithm based ANFIS model, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 91 (9), 1214-1222.
- [3] Shiao, J., Ma, D., Yang, P., Wang, G., Gong, H., 2009. Design of a solar power management system for an experimental UAV. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 45 (4), 1350-1360.
- [4] Oettershagen, P., Melzer, A., Mantel, T. & Rudin, K., (2015). A solar-powered hand-launchable UAV for low-altitude multi-day continuous flight. *IEEE International Conference on Robotics and Automation ICRA*, 3986-3993.
- [5] Oettershagen, P., Stastny, T., Mantel, T., Melzer, A., Rudin, K., Gohl, P., Agamennoni, G., Alexis, K. & Siegart, R., (2016). Long-endurance sensing and mapping using a hand-launchable solar-powered UAV. *10th International Conference on Field and Service Robotics*, 4 (3): 441-454.
- [6] Goetzendorf-Grabowski, T., Frydrychewicz, A., Goraj, K. & Suchodolski, S. (2006). MALE UAV design of an increased reliability level, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 78 (3): 226-235.
- [7] Zhu, B.J., Hou, Z.X. & Ouyang, H. J., (2016). Trajectory optimization of unmanned aerial vehicle in dynamic soaring. *College of Aerospace Sciences and Engineering, National University of Defense Technology*, 3 (10): 1779-1793
- [8] Kekeç, E.T., Konar, M. & Oktay, T., (2019). Termal hava akımlarının sabit kanatlı hava araçlarının uçuş süresi ve menziline etkisinin incelenmesi, *BİLTEK uluslararası bilim, teknoloji ve sosyal bilimlerde güncel gelişmeler sempozyumu*, Ankara, 476-481.
- [9] Kekeç, E.T., (2020). Termal hava akımlarının sabit kanatlı hava araçlarının uçuş süresi ve menziline etkisinin incelenmesi. *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Kayseri, 109s.
- [10] Ákos, Z., Nagy, M., Leven, S. & Vicsek, T., (2010). Thermal soaring flight of birds and UAVs, *Bioinspiration & Biomimetics*, 5 (4): 312-328.
- [11] Buckland, G., (2012). Mastering Thermal soaring techniques. (Web sayfası: http://www.orlandobuzzards.org/?page_id=1657), (Erişim tarihi: Ocak 2021).
- [12] Scott, J., (2020). Birds, thermals and soaring flight. (Web sayfası: <http://www.aerospacweb.org/question/nature/q0253.shtml>), (Erişim tarihi: Ocak 2021).
- [13] Allen, M., (2006). Updraft model for development of autonomous soaring uninhabited air vehicles. *In 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, Reno, Nevada, pp. 1510.
- [14] Çamalan, İ., (2020). Soaring ve termaller. (Web sayfası: <http://ibrahimcamalan.weebly.com/atpl-soaring.html>), (Erişim tarihi: Ocak 2021).
- [15] Akhtar, N., Cooke, A.K. & Whidborne, J.F., (2012). A positioning algorithm for autonomous thermal soaring, *Department of Aerospace Sciences, School of Engineering*, 49 (2): 472-482.
- [16] Tabor, S., Guilliard, I., & Kolobov, A., (2018). ArduSoar: an open-source thermalling controller for resource-constrained autopilots, *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 215 (2): 6255-6262.
- [17] Tabor, S., Guilliard, I. & Kolobov, A., (2018). ArduSoar: an open-source thermalling controller for resource-constrained autopilots. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Conference*, 10 (2): 6255-6262.
- [18] Çoban, S. & Oktay, T. (2018). Legal and Ethical Issues of Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Aviation*, 2(1), 31-35.
- [19] Çoban, S. (2020). Autonomous performance maximization of research-based hybrid unmanned aerial vehicle, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92(4), 645-651
- [20] Çoban, S. (2019). Different Autopilot Systems Design For a Small Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 682-691.
- [21] Andersson, K., Kaminer, I., & Jones, K. (2010). Autonomous soaring; flight test results of a thermal centering controller. *In AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, 8034.
- [22] Andersson, K., Kaminer, I., Dobrokhodov, V., & Cichella, V. (2012). Thermal centering control for autonomous soaring; stability analysis and flight test results. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 35(3), 963-975.



Kanathlı-Borulu Isı Değişiricilerinde Çukurlu/Çıkıntılı Kanat ile Isı Transfer Performansının Arttırılması

Ahmet Ümit Tepe*

* Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Sinop/Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7626-6348), autepe@sinop.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 4 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.874885)

ATIF/REFERENCE: Tepe, A. Ü. (2021). Enhancement of Heat Transfer Performance for Fin-Tube Heat Exchangers Using Dimpled/Protruding Fin Surface. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 401-414.

Öz

Bu çalışmada kanathlı-borulu ısı değiştiricisinde çukurlu/çıkıntılı kanatın ısı transfer performansına ve akış karakteristiklerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. En uygun tasarım parametresini belirlemek için kanat üzerine dairesel ve 0,667 ile 1,50 olmak üzere iki farklı ovallik oranlı (a/b) çukurlar çift sıralı olarak yerleştirilerek ısı transfer performansına etkisi araştırılmıştır. Dairesel çukurun çapı 2,8 mm olarak belirlenmiştir. Oval çukurların kesit alanı ise dairesel çukurla eşit tutulmuştur. Hesaplamalar 500, 1000, 1500 ve 2000 olmak üzere 4 farklı Reynold (Re) sayısında laminar akış rejiminde yapılmıştır. Sayısal hesaplamalar Ansys Fluent 19.2 ile RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı (\overline{Nu}), yüzey üzerinde yanıl ortalama Nu sayısı dağılımları, termal performans faktörü (TPF) ve akış karakteristikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sonuçlar çukur olmayan düz yüzeyli kanatçık ile karşılaştırılmıştır. Sayısal sonuçlar, yüzey üzerine yerleştirilen çukurların/çıkıntılarının düz yüzeye göre ısı transferini %26,63'e kadar arttırdığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, TPF sonuçlarına göre ısı transferi artışında en uygun tasarımın dairesel çukurlu/çıkıntılı kanat tasarımının olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı Değiştirici, Isı Transferi, Girdap Üretici, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.

Enhancement of Heat Transfer Performance for Fin-Tube Heat Exchangers Using Dimpled/Protruding Fin Surface

Abstract

In this study, effect of dimpled/protruding fin on heat transfer performance and flow characteristics for a fin-tube heat exchanger was numerically investigated. Circular dimple/protrusion and two different dimple/protrusion aspect ratio (a/b) such as 0.667 and 1.50 in a double row arrangement were investigated in order to obtain the most feasible dimple/protrusion design parameter. The diameter of the circular dimple is 2.8 mm. The cross-sectional area of the oval dimples is equal to the cross-sectional area of the circular dimples. Simulations were carried out in the laminar flow conditions at four Reynolds (Re) numbers including 500, 1000, 1500 and 2000. Numerical calculations were performed with Ansys Fluent 19.2 using RNG $k-\epsilon$ turbulence model. Average Nusselt number (\overline{Nu}), laterally-averaged Nu number distributions on the surface, thermal performance factor (TPF) and flow characteristics were comprehensively investigated. Results were compared with the flat fin surface. Numerical results revealed that dimple/protrusion fin increases heat transfer up to 26.63% compared to the flat surface. However, it was determined that the most feasible design for enhancement heat transfer is circular dimpled/protruding fin design for the fin-tube heat exchangers according to TPF results.

Keywords: Heat Exchanger, Heat Transfer, Vortex Generator, Computational Fluid Dynamics.

* Sorumlu Yazar: autepe@sinop.edu.tr

1. Giriş

Kanatlı borulu ısı değiştiricileri otomobil, ısıtma-soğutma sistemleri, enerji üretim santralleri, ısı geri kazanım gibi endüstrinin birçok alanında etkin bir şekilde sıcak akışkandan soğuk akışkana enerjinin aktarılmasını sağlayan önemli tesisat elemanlarıdır. Etkinliği yüksek bir ısı değiştirici sadece üretim maliyetinin düşmesiyle değil aynı zamanda daha düşük hacimli tasarımıyla uygulamada da önemli avantajlar sağlar. Bu nedenle ısı değiştiricilerin etkinliğini arttırmaya yönelik çalışmalar önem taşımaktadır.

Yüzey üzerine yerleştirilen çukurlar türbin kanatlarının soğutulması gibi nispeten düşük basınç kaybının önemli olduğu alanlarda etkin bir şekilde ısı transferini arttırmaktadır (Jing vd., 2018; Singh vd., 2016; G. Xie vd., 2010). Bu nedenle çukurlu kanatların kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinde de ısı transfer performansının iyileştirme potansiyeli bulunmaktadır.

Kanatlı-Borulu ısı değiştiricilerinde genellikle üretim kolaylığı nedeniyle kanatların imalatı düz yapılıdır. Buna karşın, yapılan çalışmalar düz yüzey üzerine yerleştirilen engellerin ısı transferini önemli ölçüde artıracakları ortaya koymaktadır (Caliskan, 2013; Eiamsa-Ard vd., 2011; Wan vd., 2015). Literatürde ısı transferinin artırılmasına yönelik olarak kanat üzerine girdap üreticinin yerleştirildiği çalışmalara yoğunlaşılmış ve bu çalışmaların önemli bir bölümü dairesel kesitli veya oval kesitli boruya sahip kanatlı-borulu ısı değiştiricilerle ilgilidir (Chu vd., 2009; He vd., 2012; H. Huisseune vd., 2013; Henk Huisseune vd., 2013; J. Li vd., 2011; M. J. Li vd., 2014; C. N. Lin vd., 2008; Z. M. Lin vd., 2015; Sinha vd., 2016; Tiwari vd., 2003). Benzer şekilde, düz kanal yapısına sahip kanatlı-borulu ısı değiştiricileri ile ilgili de ısı transferini arttırmaya yönelik kanat üzerine girdap üreticinin yerleştirildiği çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel bir çalışmada düz yüzey üzerine yerleştirilen delta kanatçıklarının düşük *Re* sayılarında ısı transferi %50-60 kadar arttırdığı görülmüştür (Gentry vd., 1997). Bir diğer çalışmada düz yüzeyli boruya sahip kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinde kanatçık üzerine yerleştirilen girdap üreticinin ısı transfer performansına olan etkisi incelenmiştir (L. M. Chang vd., 2009). Isı değiştiricilerinde boru etrafına testere dişi geometrisine sahip kanatçıkların ısı transferi ve akış karakteristiklerine etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada, akışa göre 15° burulmuş kanatçık tasarımı ısı transferini iyileştirmiş, ancak burulma açısı 15°'nin üzerine çıktığında basınç kaybındaki artış nedeniyle ısı transfer performansının kötüleştiği görülmüştür (Lemouedda vd., 2011). Düz kanal kesitli boruya sahip kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinde düz kanat üzerine yerleştirilen uzunlamasına delta kanatçıklı girdap üretici araştırılmış ve yapılan çalışmada delta kanatçıklarının ısı transferini %21-60, *TPF*'ü ise 1.31'e kadar arttırdığı belirlenmiştir (Du vd., 2013, 2014). Bir diğer çalışmada ise düz yüzey üzerine yerleştirilen delta kanatçıklarının hücum açılarının ısı transferine etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada hücum açısının artması yüzeyin hem girişinde hem de çıkışında ısı transfer performansını düşürdüğü belirlenmiştir (Wu vd., 2018). Düz yüzey üzerine dik olarak yerleştirilmiş bir çift dikdörtgen kesitli esnek kanatçıkların ısı transfer performansına etkisinin türbülanslı akış rejimi şartlarında incelendiği bir deneysel çalışmada, daha sık aralıklı kanatçıklar arasındaki mesafenin, yüzey üzerinde akışkanın hızını arttırması, daha yüksek türbülans yoğunluğu ve kinetik enerji ortaya çıkarması ve daha güçlü akış dalgalanmaları yaratması nedeniyle ısı transferini arttırdığı sonucuna varılmıştır (Yang vd., 2020). Kavisli

dikdörtgen kanatçıkların kompakt kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinde akış ve ısı transfer karakteristiklerinin laminar ve türbülanslı akış rejiminde sayısal olarak incelendiği bir diğer çalışmada ise, yüzeye yerleştirilen kavisli dikdörtgen kanatçıkların akış alanı içerisinde ikincil bir akış oluşturarak ısı transferinin artmasına katkı bulunduğu belirlenmiştir (J. Xie vd., 2020). Bir diğer sayısal çalışmada ise yarı kanatçık ve girdap üreticinin en uygun tasarımı laminar akış rejiminde araştırılmıştır. Sayısal sonuçlar girdap üreticinin kullanılması düz yüzeye göre hem yüzeyin ısı transferini hem de basınç kaybını arttırdığını göstermiştir. Ancak sonuçlar ısı transfer performansındaki artışın daha baskın olduğu göstermektedir (Moreno vd., 2020). Yapılan bir diğer sayısal çalışmada düz borulu kompakt ısı değiştiricilerinde uzunlamasına delta kanatçıklı girdap üreticinin termal performans etkisi laminar akış şartlarında incelenmiştir. Bu çalışmanın sayısal sonuçlarına göre yüzeye delta kanatçık ilave edilmesi ısı transfer hızını %52 arttırılabileceği sonucuna varılmıştır (Carpio vd., 2020). Üzerine dairesel delik açılmış üçgen ve dikdörtgen şekilli kanatçıkların kompakt kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinin ısı transfer performansına etkisinin araştırıldığı bir diğer sayısal çalışmada ise, kanat üzerine dairesel delik açılmasının thermo-hidrolik performansı arttırdığı tespit edilmiştir (Modi vd., 2020).

Sınır tabakanın düzenini bozmaya yönelik olarak yüzey üzerine yerleştirilen bu tür engeller aynı zamanda sistemin basınç kaybındaki artışı da beraberinde getirir. Bu nedenle ısı transferini arttırmaya yönelik yapılacak tasarımların iyi bir aerodinamik yapıya sahip olması gerekir. Bu amaçla literatürde yüzey üzerine yerleştirilen yarı küresel veya oval çukurların ısı transferine ve akış karakteristiklerine etkisi de araştırılmıştır. Bu konuda gerçekleştirilen bir sayısal çalışmada sistemin basınç kaybı düz yüzeye kıyasla üzerine çukur yerleştirilen yüzeyde sadece %5 artmasına rağmen ısı transferinin iki kat arttığı sonucuna varılmışlardır (G. Xie vd., 2010). Bir diğer çalışmada ise üzerine çubuk-kanatçık yerleştirilen yüzeyde dairesel çukurların basınç kaybı ve ısı transfer performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçları düz yüzeyli ve çubuk-kanatçıklı tasarıma göre dairesel çukurlu ve çubuk-kanatçıklı tasarımın ısı transfer performansını arttırdığını göstermektedir (Rao vd., 2012). Kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinde dairesel ve damla şeklinde oluşturulmuş çukurlu kanatların ısı transfer performansına etkisinin incelendiği diğer bir çalışmada ise, damla şeklindeki çukurların dairesel çukura kıyasla ısı transfer hızını daha fazla arttırdığı belirlenmiştir (Y. Xie vd., 2015).

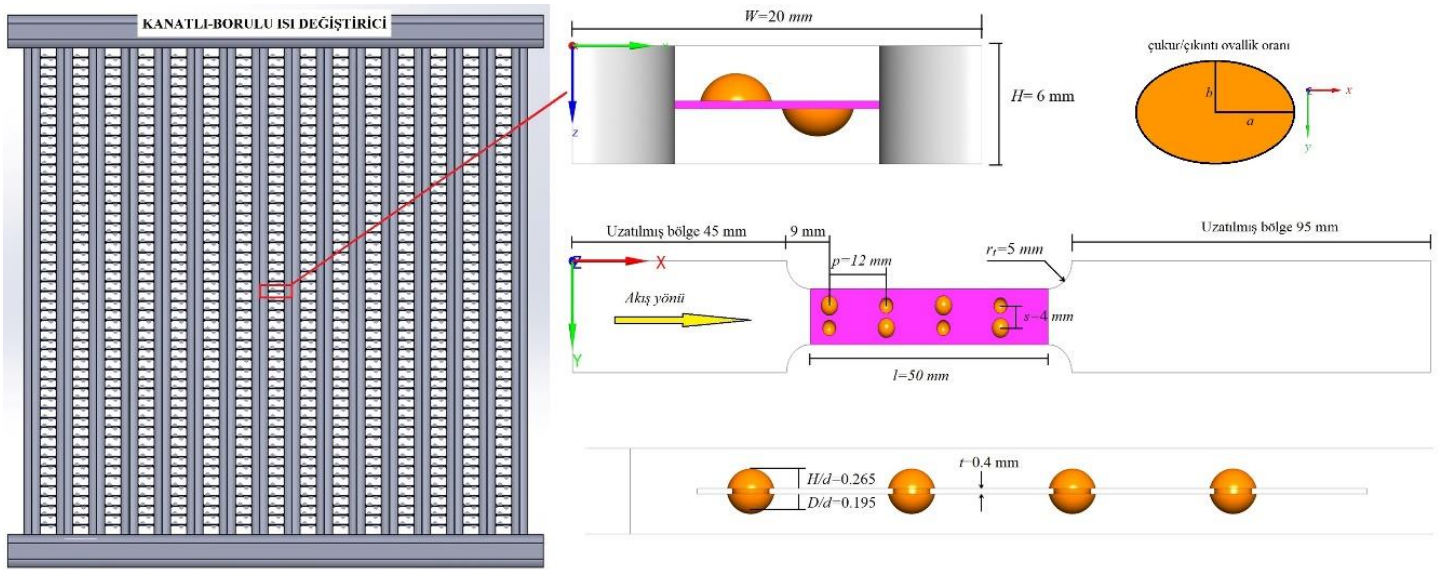
Son zamanlarda kanatlı-borulu ısı değiştiricileri ile ilgili yapılan çalışmaların önemli bir bölümünde, akış alanı içerisinde girdap üretmek amacıyla kanat üzerine yerleştirilen farklı şekillerdeki kanatçık tasarımlarına odaklanılmıştır. Ancak çukurlu/çukuntulu yüzeyler nispeten düşük basınç kaybı yaratması sayesinde kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinde de ısı transfer performansını artırma potansiyeli bulunmaktadır. Bu çalışmada çift sıralı çukurlu/çukuntulu kanatçığa sahip kanatlı-borulu ısı değiştiricilerin ısı transferine ve akış karakteristiklerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan bu sayısal çalışma ile yarı küre ve oval şekilli çukurlu/çukuntulu yüzeylerin sonuçları düz yüzeyli kanatçıkla karşılaştırılarak en uygun tasarım parametresi ortaya çıkarılmıştır.

2. Materyal ve Metot

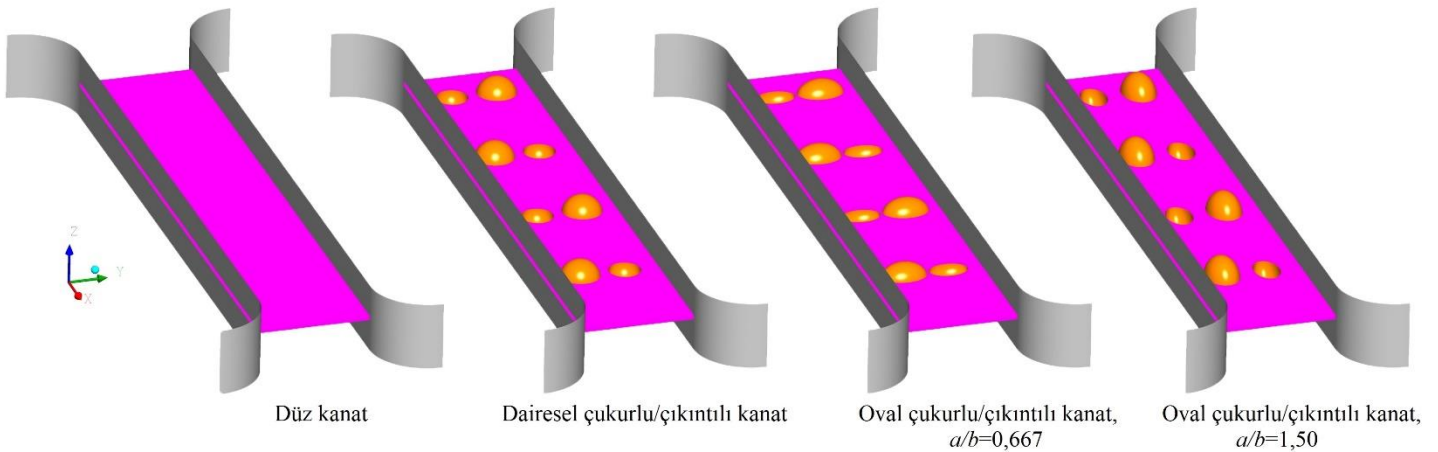
2.1. Tasarım Parametreleri

Kanatlı-borulu ısı değıştirici ve hesaplamaya dâhil edilen tipik bir fiziksel modelin ölçüleri Şekil 1.'de gösterilmiştir. Isı değıştiricisinde içerisinden sıcak akışkan geçen boru düz duvar şekillidir ve baş kısımlarında yarıçap $r_f=5$ mm'dir. Borunun ve boru üzerine yerleştirilen kanatın uzunluğu $l=50$ mm, kalınlığı ise $t=0,4$ mm'dir. Kanatlar ısı değıştiricisinin borusuna $H=6$ mm aralıklarla yerleştirilmiştir. İki borunun merkezleri arasındaki mesafe $W=20$ mm'dir. Hesaplamalarda 2,80 mm iç çaplı dairesel çukur ile 0,667 ve 1,50 olmak üzere iki farklı ovallık oranına (a/b) sahip oval çukurlar incelenmiştir. Çukurların

boyutsuz derinlikleri (D/d) ise 0,195'dir. Çukurlar kanat üzerine akış doğrultusuna $p=12$ mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Yanal doğrultuda ise $s=4$ mm aralıkla çukur yönü ters olacak şekilde çift sıralı olarak yerleştirilmiştir. Kanatın kalınlığı $t=0,40$ mm olarak belirlenmiştir. Bu nedenle kanat üzerine oluşturulan çukur aynı zamanda kanadın diğer yüzünde çıkıntı oluşturmaktadır. Oluşan çıkıntının ise boyutsuz yüksekliği $H/d=0,265$ 'dir. Böylelikle, ısı transfer performansı kanatın bir yüzünde çukur, diğer yüzünde ise çıkıntı vasıtasıyla artırılması sağlanmıştır. Akış alanı sınırlarında ters akışın hesaplamaları etkilememesi için hesaplama alanı girişte 45 mm, çıkışta ise 95 mm kadar uzatılmıştır. Parametrik çalışmada incelenen geometrilerin detayları ayrı ayrı Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tipik bir fiziksel modelin ölçüleri.



Şekil 2. İncelenen geometrik parametrelerin detayları.

2.2. Korunum Denklemleri

Fiziksel model Ansys FLUENT 19.3 programında 3-D olarak oluşturulmuştur. Çözümler sürekli rejim şartlarında elde edilmiştir. Hesaplamalarda ışınım ısı transferi ihmal edilmiştir. Akışın Re sayısı 2400'ün altında olması nedeniyle akış laminar akış rejimindedir (Çengel vd., 2015). Akışkan olarak hava

kullanılmış ve havanın termofiziksel özelliklerinin sıcaklıkla değışmediği kabul edilmiştir.

Sayısal hesaplamalarda çözümü yapılan Reynolds-averaged Navier-Stokes denklemleri (RANS) aşağıdaki gibidir:

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x} = 0, \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

Momentum denklemi:

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_i} = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \rho \overline{u_i' u_j'} \right), \quad (2)$$

(i, j = 1, 2, 3; i ≠ j)

Enerji denklemi:

$$\rho C_p u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (3)$$

Yukarıda yer alan denklemler Yakhot vd. (Yakhot vd., 1992) tarafından geliştirilen RNG k-ε (Enhanced Wall Treatment duvar fonksiyonu ile birlikte) türbülans modeli kullanılarak çözülmüştür.

Isı değiştiricisinin duvarlarından havaya aktarılan ısı transferinin hızı aşağıdaki gibidir:

$$\dot{Q}_{hava} = \dot{m} C_{p,hava} (T_c - T_g) \quad (4)$$

Yukarıda yer alan denklemde \dot{m} havanın kütleli debisi, $C_{p,hava}$ ise havanın özgül ısıdır. T_c ve T_g sırasıyla havanın akış alanı sınırlarının çıkış ve girişindeki sıcaklıklarıdır. Isı değiştiricisinin duvarları ile akışkan arasında taşınım ısı transfer hızı ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\dot{Q}_{taşınım} = h A_s (T_s - T_b) \quad (5)$$

Bu denklemde T_b akışkanın yığın sıcaklığı olup $T_b = (T_c + T_g)/2$ ile belirlenir.

Eş. (4)'de yer alan ve ısı değiştiricisinin duvarlarından havaya aktarılan ısı transfer hızı ile Eş. (5)'de yer alan taşınım ısı transfer hızı birbirine eşit olduğundan ($\dot{Q}_{hava} = \dot{Q}_{taşınım}$), ortalama taşınım ısı transfer katsayısı, h , aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$h = \frac{\dot{m} C_{p,hava} (T_c - T_g)}{A_s (T_s - T_b)} \quad (6)$$

Ortalama Nusselt (Nu) sayısı ise aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$Nu = \frac{hd}{k} \quad (7)$$

Burada k havanın ısı iletkenlik katsayısı, d ise ısı transferinin incelendiği alanda kanalın hidrolik çapı olup Eş. (8)'den hesaplanabilir:

$$d = \frac{4A_c - 2(W - 2r_t)(H - t)}{P} \quad (8)$$

Reynold (Re) sayısı ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Re = \frac{ud}{\nu} \quad (9)$$

Hesaplama alanının giriş ve çıkış sınırlarında türbülans yoğunluğu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$I = 0.16 Re^{-1/8} \quad (10)$$

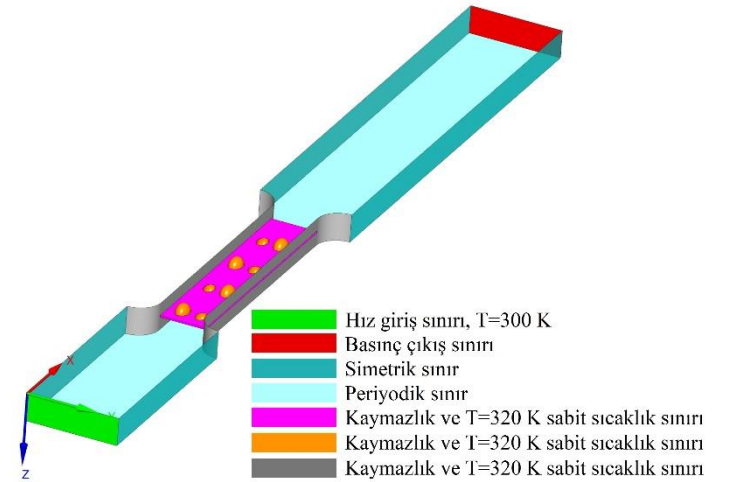
Sürtünme katsayısı, f , Eş. (11) ile hesaplanır:

$$f = \frac{2 \Delta P}{l/d \rho u^2} \quad (11)$$

Burada ΔP kanadın akış yönüne göre üst ucu ile ($x/d=6,96$) alt ucu arasındaki ($x/d=13,93$) basınç kaybıdır. l ise Şekil 1.'de gösterildiği gibi kanadın uzunluğudur.

2.3. Sayısal Çalışma

Hesaplama alanı ve sınır koşulları Şekil 3.'de gösterilmiştir. Tam gelişmiş ana akış hesaplama alanına giriş sınırından 300 K sıcaklıkta girmektedir. Hesaplama alanı girişinde hız sınır koşulu tanımlanmıştır. Hesaplama alanı çıkış sınırına ise basınç çıkışı sınır koşulu uygulanmıştır. Çıkışta gösterge basıncı 0'dır. Fiziksel model y-ekseni boyunca simetrik olduğundan y-ekseni sınırlarına simetrik sınır koşulu, z-ekseni boyunca ise periyodik olduğundan z-ekseni sınırlarına ise periyodik sınır koşulu tanımlanmıştır.



Şekil 3. Hesaplama alanı ve sınır koşullarının şematik gösterimi

RANS denklemleri aşağıda gösterilen sınır koşulları tanımlanarak çözülmüştür:

x-ekseni boyunca:

Girişte, hız girişi sınır koşulu:

$$x = 0, \quad u = u_{gir} = \text{sabit} \quad (u_{gir} = 4,64, 3,48, 2,32,$$

$$1,16 \text{ m/s}), v = w = 0$$

$$T = \text{sabit} = T_{gir} = 300 \text{ K}$$

Çıkışta basınç çıkışı sınır koşulu:

$$x = 0,20, \quad \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial x} = 0, P = 0 \text{ (gösterge basıncı)}$$

y-ekseni boyunca:

Simetrik sınır koşulu:

$$y = 0 \text{ ve } y = W = 0,02 \text{ m}, \quad v = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0$$

z-ekseni boyunca:

Periyodik sınır koşulu:

$$z = 0 \text{ ve } z = H = 0,006 \text{ m}, \quad u = v = w = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0,$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = 0$$

Isı değiştirici duvarlarında kaymazlık sınır koşulu ve sabit sıcaklık sınır koşulu uygulanmıştır:

$$u = v = w = 0 \text{ ve } T = T_d = 320 \text{ K}$$

Hesaplama alanında uygulanan sınır koşulları Şekil 3.'de ayrıca şematik olarak gösterilmiştir.

Sayısal hesaplamaları gerçek çalışma koşullarına uygun olarak gerçekleştirmek için ısı değiştiricisinde boru malzemesi olarak bakır, kanat malzemesi olarak ise alüminyum seçilmiştir. Kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri Tablo 1.'de sunulmuştur (Çengel vd., 2015).

Yapılan hesaplamalarda coupled şeması, simple ve simplec şemalarına göre her ne kadar iterasyon başına daha maliyetli olduğu tespit edilse de, coupled şeması ile diğerlerine kıyasla süreklilik, momentum ve enerji denklemi daha az iterasyon sayısında yakınsamıştır. Bu nedenle tüm hesaplamalarda coupled şeması uygulanmıştır. Hesaplamalar, süreklilik ve momentum denklemi artıkları 10^{-5} 'e, enerji denklemi artığı ise 10^{-8} 'e ulaşana kadar devam ettirilmiştir.

Tablo 1. Hesaplamalarda Kullanılan Malzemelerin Termofiziksel Özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk [kgm ⁻³]	Özgül ısı [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]	Isıl iletkenlik [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	Viskozite [kgm ⁻¹ s ⁻¹]
Hava	1,134	1006,7	0,02710	1,67x10 ⁻⁵
Alüminyum	2719	871	202,4	-
Bakır	8978	381	387,6	-

2.4. Ağ Yapısının Oluşturulması ve Sayısal Çalışmanın Doğruluğunun Belirlenmesi

Sayısal hesaplamalarda fiziksel alan sonlu hacim elemanlarına bölünerek her bir eleman için yukarıda bahsi geçen RANS denklemlerinin çözümü elde edilir. Eleman sayısı arttıkça çözümlerin hassasiyeti artar. Ancak buna karşılık hesaplama maliyeti de önemli ölçüde artar. Bu nedenle ağ yapısını oluştururken hesaplama maliyetini fazla arttırmadan çözümlerin hassasiyetini arttırmak için uygulanabilecek en uygun strateji özellikle akış alanı içerisinde hız ve sıcaklık farkının yüksek olduğu bölgelerin nispeten daha yoğun bir ağ yapısı ile oluşturulmasıdır. Hesaplamalarda kullanılan türbülans modeli nedeniyle akış alanı içerisinde akışkanın hızına bağlı olarak duvardan ilk hücre yüksekliği kontrol edilerek $y^+ \cong 1,0$ olması sağlanmıştır. Ağ yapısı oluşturulurken duvarlarda inflation metodu kullanılarak elemanların uzunluk/yükseklik oranının 5/1'in altında olması sağlanmıştır (ANSYS Inc., 2018).

En uygun ağ yapısını belirlemek ve çözümlerin ağ yapısından bağımsızlığını tespit etmek için 4 farklı ağ yapısı oluşturulmuştur. Hesaplamalar $Re=2000$ 'de ve dairesel kesitli çukur kanatlı ısı değiştirici modelinde gerçekleştirilmiştir. Nicelik olarak ısı değiştiricisi duvarlarında ortalama Nu sayısı karşılaştırılmıştır. Sonuçların ağdan bağımsızlık çalışması Tablo 2.'de gösterilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi AĞ-3 kullanılarak hesaplanan Nu sayısı ile AĞ-4 kullanılarak hesaplanan Nu sayısı arasında fark %1'in altındadır. Bu nedenle özellikle hesaplama maliyeti düşünülerek ağın yoğunluğunun artırılmasına gerek duyulmamış ve bu çalışmanın sayısal hesaplamalarında AĞ-3 yapısı kullanılmıştır.

Sonuçların ağdan bağımsızlık çalışması sonucunda oluşturulan tipik bir ağ yapısı Şekil 4.'de gösterilmiştir.

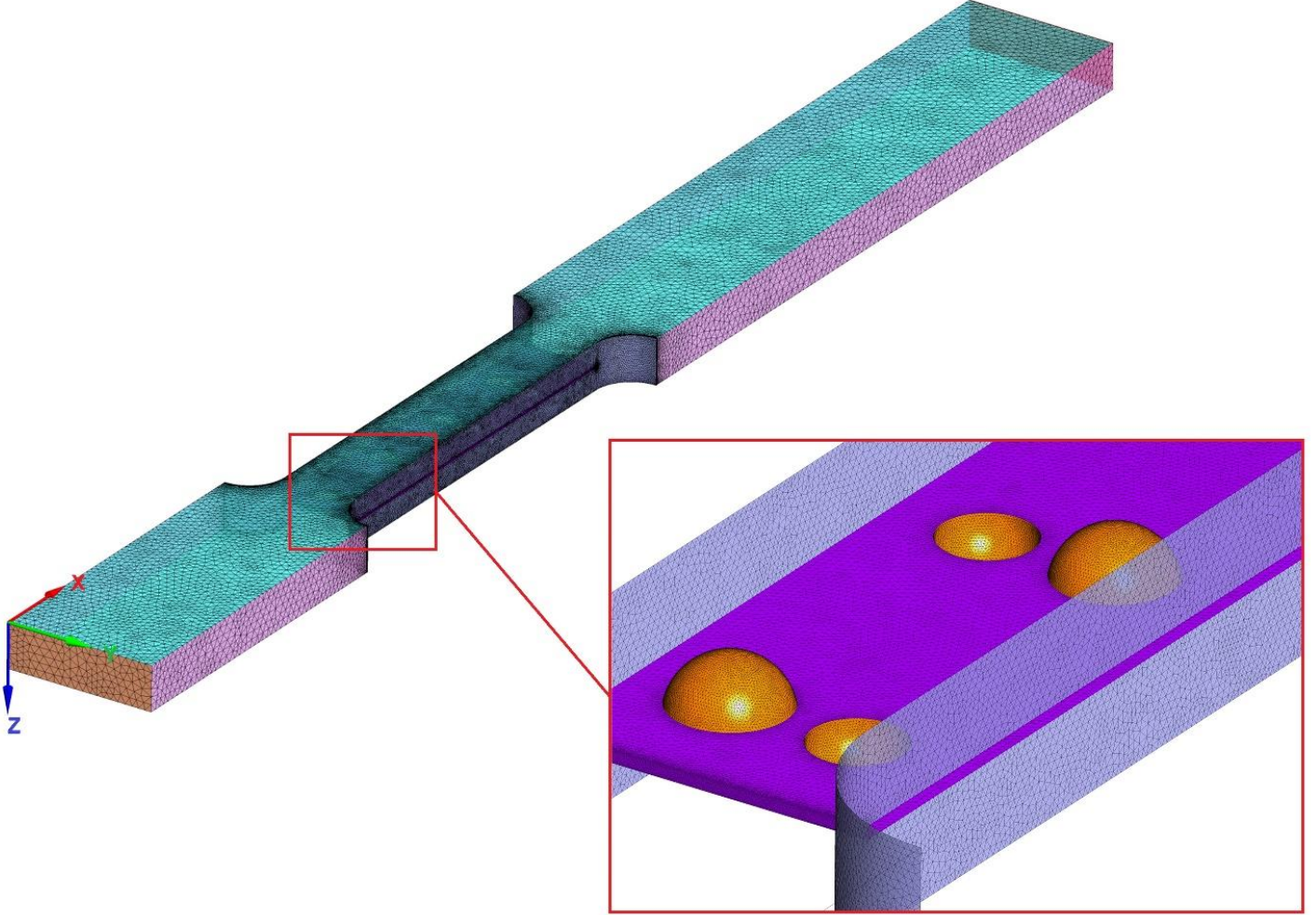
Sayısal çözüm yönteminin doğruluğunu tespit etmek için düz yüzey üzerinden elde edilen ortalama Nu sayısı Eş. (13) (Çengel vd., 2015) ile elde edilen ortalama Nu sayısı ile karşılaştırılmıştır.

$$\overline{Nu} = 0,664Re^{0,5}Pr^{1/3}; Re < 5 \times 10^5 \text{ ve } 0,6 \leq Pr \leq 60 \quad (13)$$

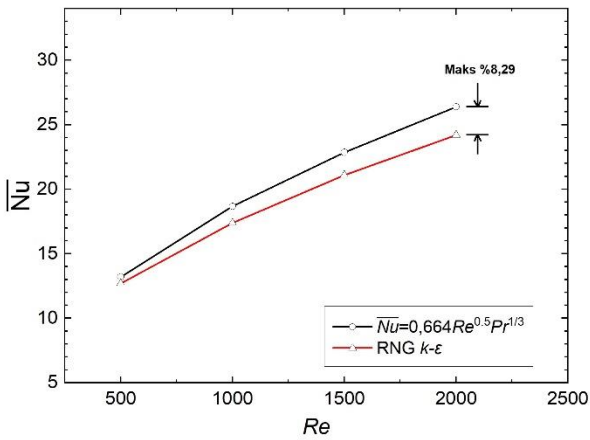
Şekil 5.'den de görüleceği gibi yukarıda bahsedilen çözüm yöntemi ile düz yüzey üzerindeki ortalama Nu sayısı RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak en fazla %8,29 ile kabul edilebilir bir hata oranında çözümlenebilmiştir. Literatürde de RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli hassas çözümler sunması nedeniyle ısı değiştiricileri ile ilgili yapılan sayısal çalışmalar için kabul görmüş bir RANS modelidir (Kumar vd., 2017; Skullong vd., 2016; G. Xie vd., 2013; J. Xie vd., 2020; Zhao vd., 2014). Bu da bu çalışmadaki sayısal çözüm yöntemin literatürle de tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle yapılan bu çalışmada da RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır.

Tablo 2. Sonuçların ağıdan bağımsızlık çalışması. (Grid independence study)

	AĞ-1	AĞ-2	AĞ-3	AĞ-4
Eleman sayısı	0.95×10^6	1.58×10^6	2.95×10^6	4.45×10^6
Nu	123.23	129.12	132.06	132.15



Şekil 4. AĞ-3 ile oluşturulan tipik bir fiziksel modelin ağ yapısı.



Şekil 5. Sayısal çözüm yönteminin düz yüzey üzerinde ortalama Nu sayısı bağıntısı ile karşılaştırılması (Çengel vd., 2015).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Akış Karakteristikleri

Kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinde kanat üzerindeki çukur/çukurluk varlığının ısı transferine olan etkisinin altında yatan nedeni ortaya çıkarmak için akış karakteristikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 6(a)'da çukur/çukurluktan hemen sonra ($x/d=7,87$) akış alanı içerisinde $Re=2000$ 'de yz -düzlemi üzerinde ortaya çıkan hız vektörleri gösterilmiştir. Bu bölgede düz yüzeyli kanatın hız vektörü incelendiğinde çukurluk/çukurluktan kanata göre hava akışının nispeten daha sakin olduğu görülmektedir. Ancak şekilden de görüleceği üzere yüzey üzerinde çukurluk varlığı akış alanı içerisinde bir çift girdap oluşumuna sebep olmuştur. Akış alanı içerisinde oluşan bu girdaplar, aşağı yönde ikincil bir hava akımını ortaya çıkarmış ve soğuk akışkanın bu sayede devamlı olarak yüzeye taşınmasına sebep olmuştur. Böylelikle düz yüzeye göre çukurluk/çukurluktan yüzeyde soğuk akışkan sıcak yüzeye daha fazla etkileşime girmiştir. Ayrıca, çukurluktan sonra aşağı yönde oluşan akımlar çukurluk merkezi hizasında karşılaşılarak yüzey

üzerinde ısı transferinin azalmasına neden olan nispeten durgun bir alanın oluşumuna sebep olmuştur. *Şekil 6(b)*. dikkatli incelendiğinde hava akışı kanat üzerinde ilerlerken çukurun artan x doğrultusundaki kenarına çarpmakta ve hava akımı bu bölgede ayrılarak bir bölümü çukur içerisinde sirkülasyon oluşturmuştur. Benzer şekilde ana hava akışı kanal içerisinde ilerlerken çıkıntının ön yüzeyine çarparak ani olarak yön değiştirerek çıkıntının arka bölgesinde hava sirkülasyonu oluşturmuştur. Ana akışın doğrudan çukurun ve çıkıntının çarpıştığı bu yüzeylerinde sınır tabaka kalınlığının kanat yüzeyinin diğer bölgelerine göre nispeten daha ince olduğu değerlendirilebilir. Sonuç olarak, sınır tabaka kalınlığının azalması ise ısı transfer hızının bu bölgelerde kanadın diğer bölgelerine göre nispeten daha yüksek olacağı anlamına gelir.

Akış alanı içerisinde yer alan bir engel akışın düzeninin bozulmasına ve akışın türbülansının artmasına neden olur. Bunu gösteren önemli akış karakteristiklerinden biri de türbülans kinetik enerjisidir. Çünkü akışkanın kayma gerilmesi nedeniyle akışın bir rejimden başka bir rejime geçmesi türbülans kinetik enerjinin üretilmesine neden olur. *Şekil 7(a)*.’dan da görüleceği üzere düz kanat üzerinde hava akışının düzenli bir akış rejiminde olduğu ve türbülans kinetik enerjinin neredeyse hiç üretilmediği görülmektedir. Buna karşın özellikle ana akışın çukurun yüzeyine çarptığı bölgede ve çıkıntının arka bölümünde türbülans kinetik enerjisinin önemli ölçüde attığı görülmektedir. Bu durum dairesel çukurlu/çıkıntılı kanat ile ovallık oranı $a/b=1,50$ olan çukurlu/çıkıntılı kanatta daha belirgin olmuştur. Sonuç olarak türbülans kinetik enerjileri karşılaştırıldığında çukurlu/çıkıntılı kanatın düz kanata kıyasla akışın türbülansını arttırarak ısı transfer hızının artmasına katkıda bulunacağı söylenebilir.

Dairesel çukurlu/çıkıntılı kanat üzerinde Farklı Re sayılarında akış alanı içerisinde üretilen girdabın büyüklükleri *Şekil 7(b)*.’de karşılaştırılmıştır. Şekilden görüleceği üzere kanat üzerinde yer alan çıkıntı özellikle yüksek Re sayısında akış alanı içerisinde bir çift girdap oluşumuna sebep olmuştur. Re sayısı azaldıkça girdabın da büyüklüğü azalmıştır.

3.2. Isı transfer Performansı

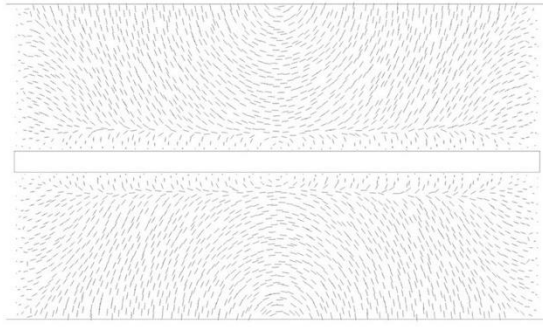
Şekil 8.’de $Re=2000$ ’de kanal duvarlarında Nusselt sayısı dağılımları gösterilmiştir. *Şekil 8(a)*.’dan görüleceği üzere düz kanatta hava akışının yüzeye ilk temas ettiği bölgeden itibaren ısı transfer hızı akış boyunca önemli ölçüde azalmıştır. Buna karşın çukurlu/çıkıntılı kanatta ana akışın çukurun çarptığı kenarlarına yakın bölgelerinde ve ana akışın doğrudan çarptığı çıkıntının ön yüzeyinde sınır tabakanın düzeninin bozulması nedeniyle ısı transfer hızında önemli ölçüde artış olmuştur. Bununla birlikte çıkıntının arka yüzeyi üzerinde oluşan girdap ve dolayısıyla aşağı yönde ikincil hava akımlarının soğuk akışkanı devamlı olarak yüzeye taşınması nedeniyle yerel ısı transfer hızı bu bölgelerde önemli ölçüde artmıştır. Buna karşın aşağı yönde ikincil hava akımların yüzey üzerinde karşılaşması ile yüzey üzerinde oluşan durgun alan bu bölgede akış yönü doğrultusunda ısı transfer hızını düşürmüştür.

Şekil 8(b).’de ise kanatlı-borulu ısı değiştiricinin boru duvarında gerçekleşen ısı transfer dağılımı karşılaştırılmıştır. Düz

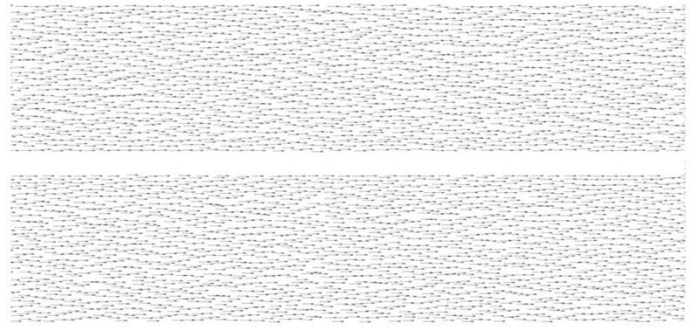
kanatlı-borulu ısı değiştiricinin boru duvarında kanadın alt ve üst yüzeylerinde simetrik bir ısı transfer dağılımı elde edilmişken, çukurlu/çıkıntılı kanatlı-borulu ısı değiştiricinin boru duvarlarında homojen olmayan ısı transfer dağılımı elde edilmiştir. Bununla birlikte kanat yüzeyi üzerinde çukur/çıkıntı varlığı boru duvarında akış yönü boyunca düz kanata kıyasla yerel ısı transfer hızının artmasını sağlamıştır. Bunun nedeni, çukur/çıkıntının kanal içerisinde akışı yanal yönde daha fazla yayarak soğuk akışkanın boru duvarıyla daha fazla etkileşime sokmasına bağlanmıştır.

Isı değiştirici duvarlarında yanal ortalamalı Nu sayısı dağılımı *Şekil 9*.’da gösterilmiştir. Akış doğrultusunda verilen konumda yanal ortalamalı Nu sayısı yüzey üzerine y -ekseni boyunca çizilen doğru üzerindeki yerel Nu sayılarının ortalaması alınarak elde edilmiştir. Grafiklerin altında yer alan çukurlu/çıkıntılı yüzeyler Nu sayısındaki yükselişin yüzeyin hangi bölgesinde ortaya çıktığını göstermek için temsilen yerleştirilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yüzey üzerinde çukur/çıkıntının bulunduğu bölgede Nu sayısında ani bir yükseliş olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu bölgede ana akışın çıkıntının ön yüzüne ve çukurun akış yönüne göre arka kenarına doğrudan çarpmasıyla yerel olarak bu bölgede ısı transfer hızının artmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca iki çukur/çıkıntı arasında Nu sayısında yaşanan artış çıkıntı/çukur vasıtasıyla ortaya çıkan girdabın yaratmış olduğu aşağı yönde ikincil hava akımların soğuk akışkanı yüzeye düz kanata göre daha fazla taşınmasından kaynaklanmaktadır. Şekil dikkatli incelendiğinde $Re=500$ ’de yüzey üzerindeki çukur/çıkıntı varlığı yanal ortalamalı Nu sayısında çukur/çıkıntı bölgesi haricinde önemli bir artışa neden olmamıştır. Ancak Re sayısının artmasıyla kanal içerisinde oluşan girdabın büyüklüğünün de artması sadece çukur/çıkıntı bölgesinde değil aynı zamanda kanat yüzeyinin tamamında ısı transfer hızındaki artışın daha belirgin olmasını sağlamıştır. Buna ilaveten, nispeten yüksek Re sayısında ($Re=2000$) oval çukur/çıkıntı ($a/b=0,667$), kanat üzerinde daha yüksek yanal ortalamalı Nu sayısı dağılımı elde edilmesini sağlamışken nispeten düşük Re sayısında ($Re\leq 1500$) dairesel çukur/çıkıntı daha yüksek yanal ortalamalı Nu sayısı dağılımının elde edilmesini sağlamıştır.

Çukurun/Çıkıntının ortalama ısı transfer hızına etkisi *Şekil 10*.’da gösterilmiştir. *Şekil 10(a)*.’dan görüldüğü üzere kanat üzerine çukur/çıkıntı yerleştirilmesi kanat üzerindeki ısı transfer hızını boru duvarına kıyasla daha fazla arttırmıştır. Kanat üzerinde ortalama Nu sayısındaki en yüksek artış $Re=2000$ ’de %36,41 ile $a/b=1,50$ ovallık oranındaki çukurlu/çıkıntılı kanat üzerinde elde edilmiştir. $Re=1500$ ve altındaki akışlarda ise kanat üzerindeki ortalama Nu sayısındaki en yüksek artış ise $a/b=0,667$ ovallık oranındaki çukurlu/çıkıntılı kanat üzerinde elde edilmiştir. *Şekil 10(b)* incelendiğinde kanat üzerine çukur/çıkıntı yerleştirilmesi boru duvarında ortalama Nu sayısındaki artışın en fazla %7,10 olduğunu göstermektedir. Isı değiştiricinin tüm duvarlarının yüzeyinde ortalama ısı transfer hızındaki en yüksek artış ise %26,63 ile $Re=1500$ ’de dairesel çukurlu/çıkıntılı kanat üzerinde elde edilmiştir.



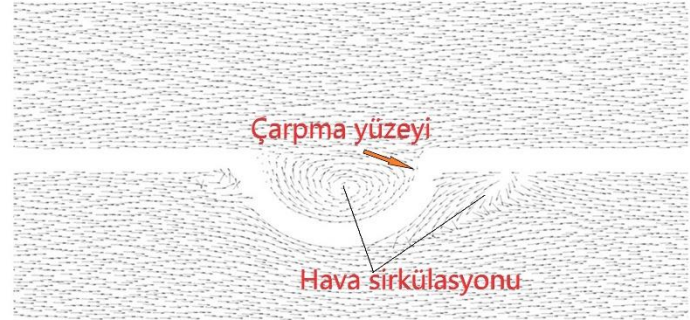
Düz Kanat



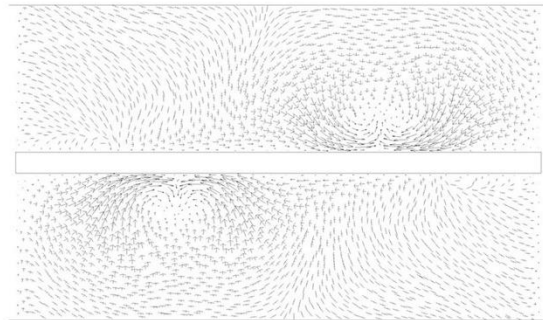
Düz Kanat



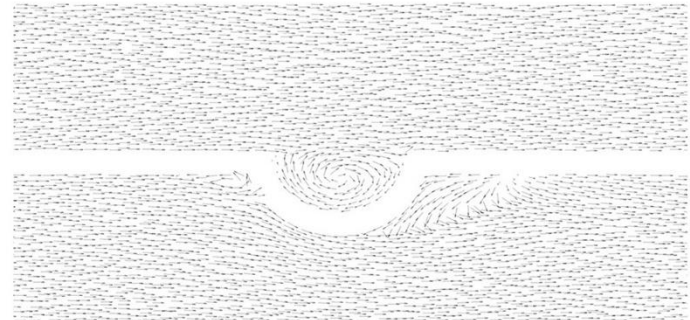
Dairesel çukurlu/çıkıntılı kanat



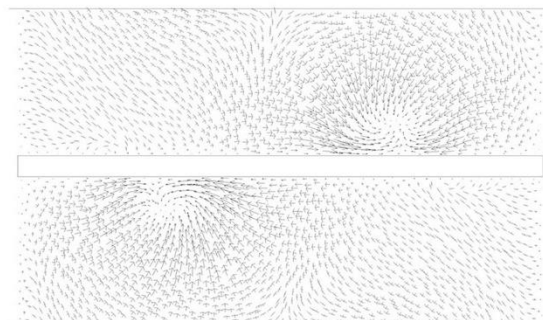
Dairesel çukurlu/çıkıntılı kanat



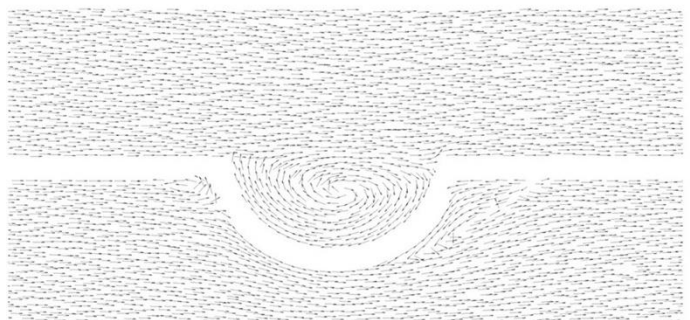
Oval çukurlu/çıkıntılı kanat ($a/b=0,667$)



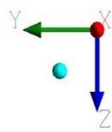
Oval çukurlu/çıkıntılı kanat ($a/b=0,667$)



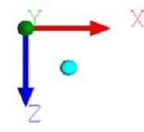
Oval çukurlu/çıkıntılı kanat ($a/b=1,50$)



Oval çukurlu/çıkıntılı kanat ($a/b=1,50$)

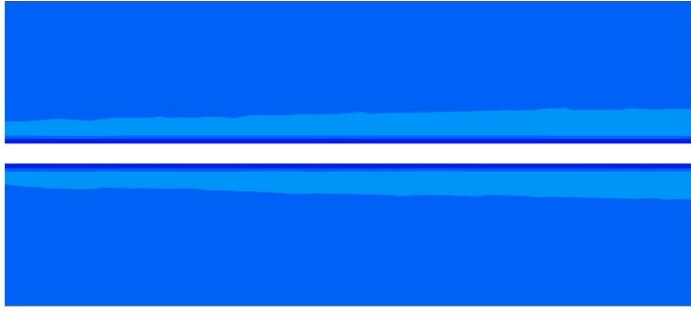


(a)

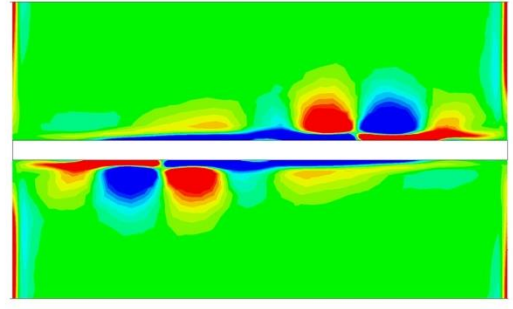


(b)

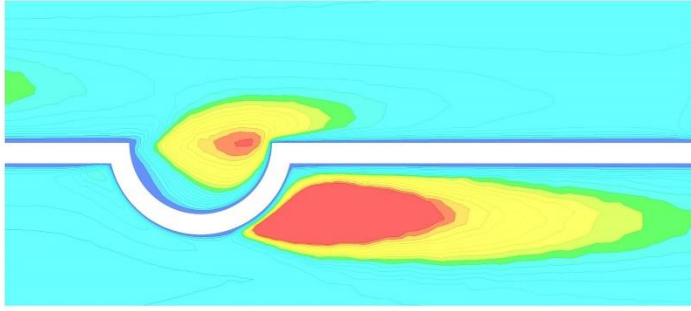
Şekil 6. $Re=2000$ 'de hız vektörlerinin karşılaştırılması, a) $x/d=7,87$ düzlemi üzerinde, b) $y/d=1,67$ düzlemi üzerinde.



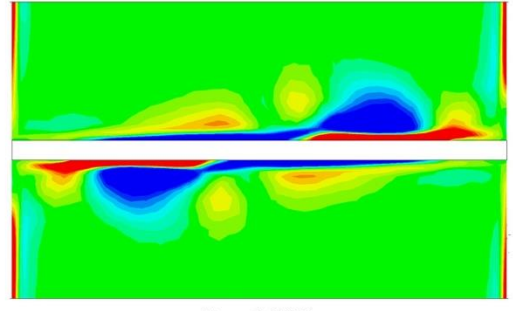
Düz kanat



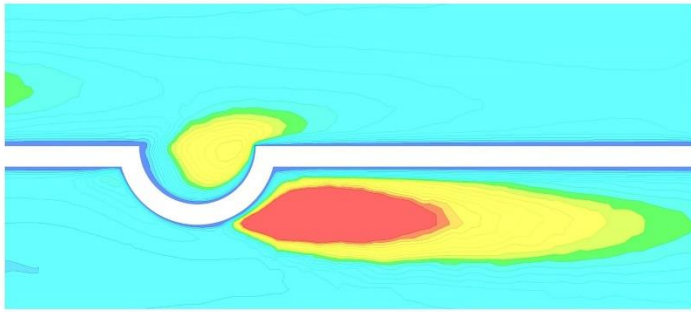
Re=2000



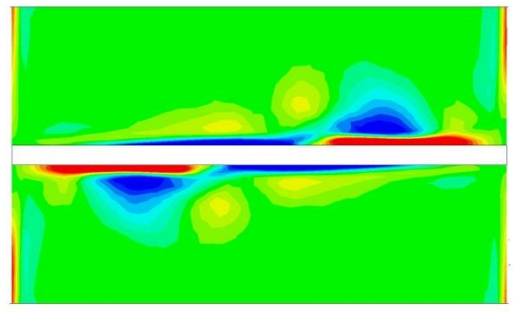
Dairesel çukurlu/çıkıntılı kanat



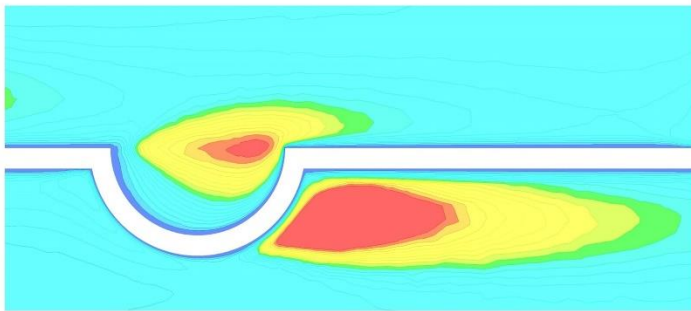
Re=1500



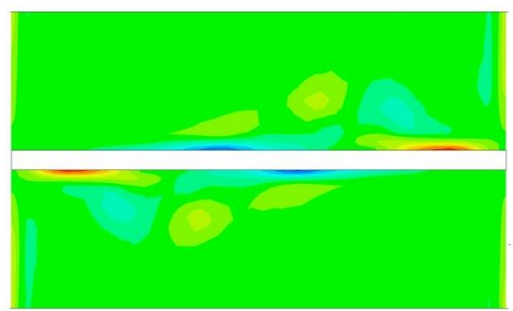
Oval çukurlu/çıkıntılı kanat, $a/b=0,667$



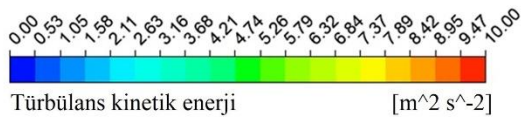
Re=1000



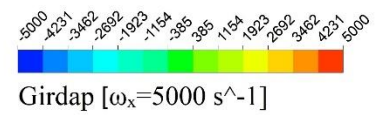
Oval çukurlu/çıkıntılı kanat, $a/b=1,50$



Re=500

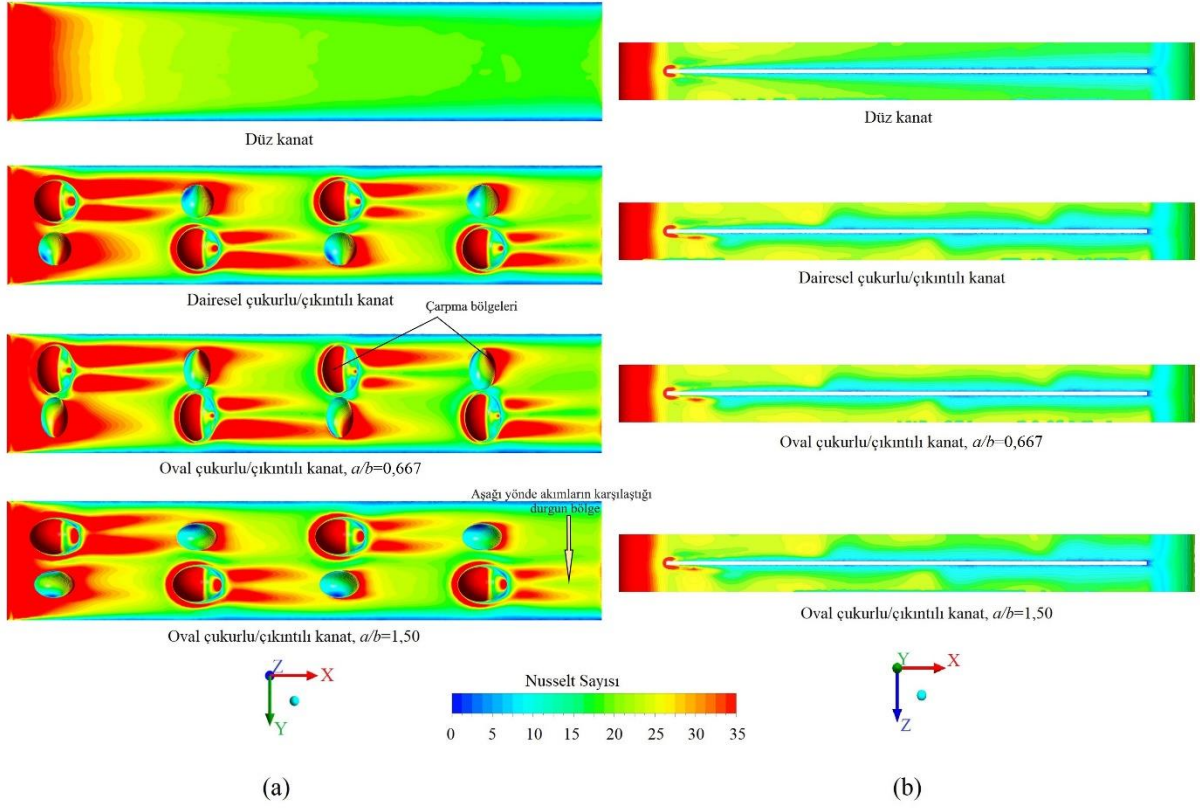


(a)

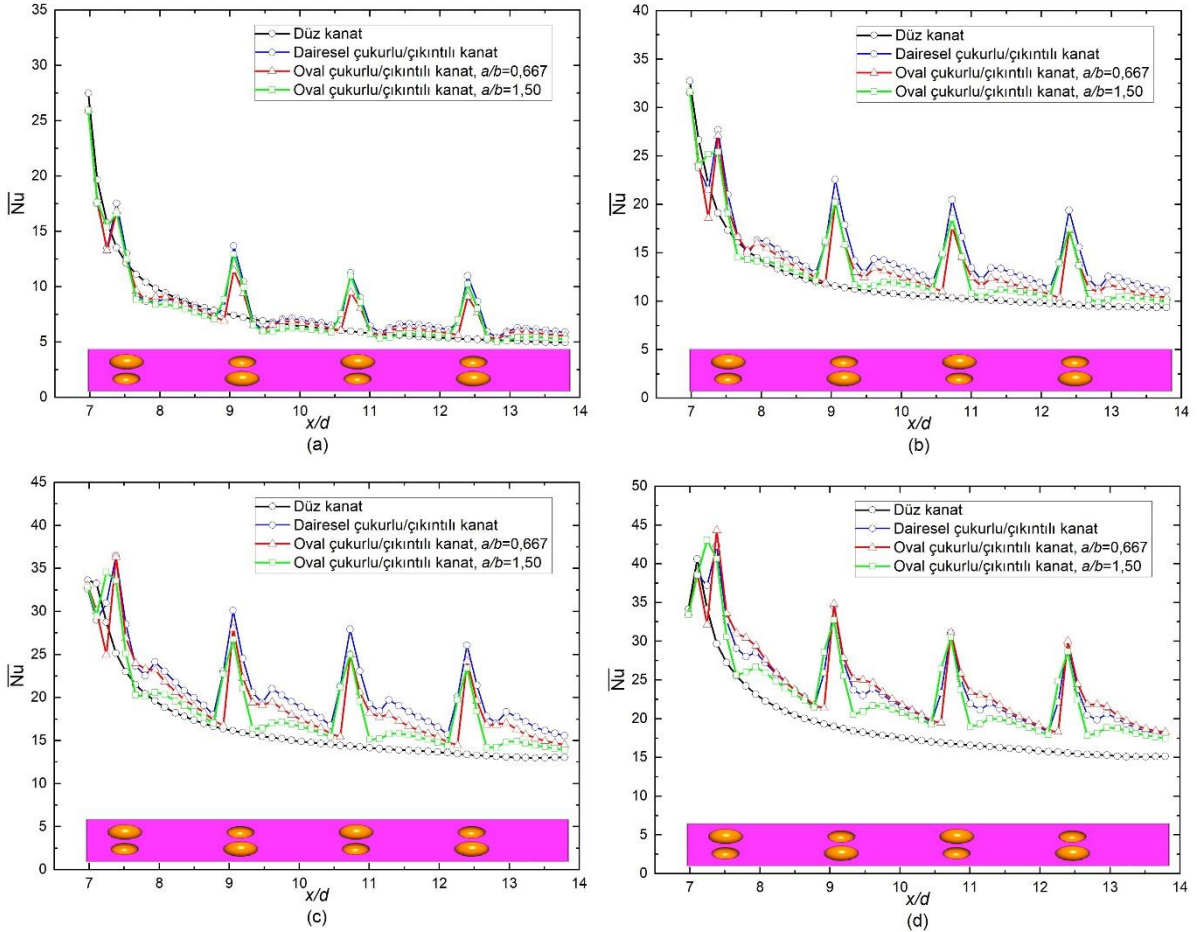


(b)

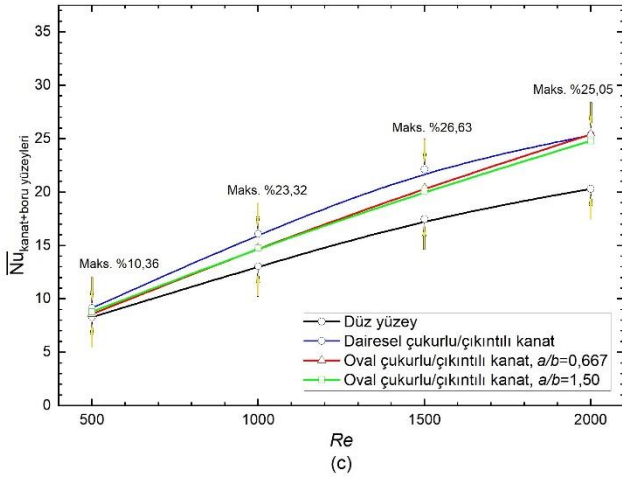
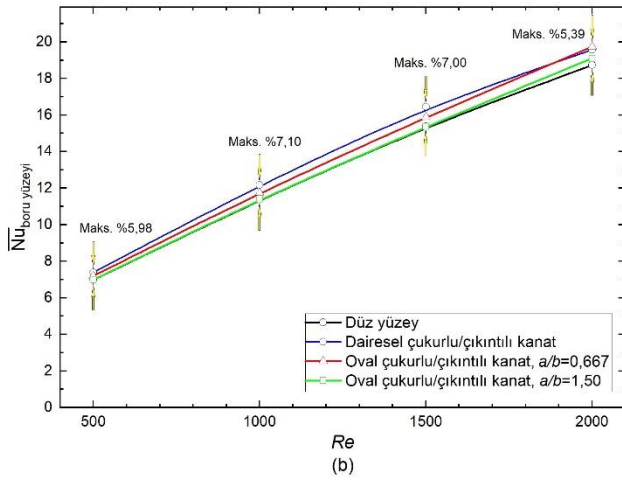
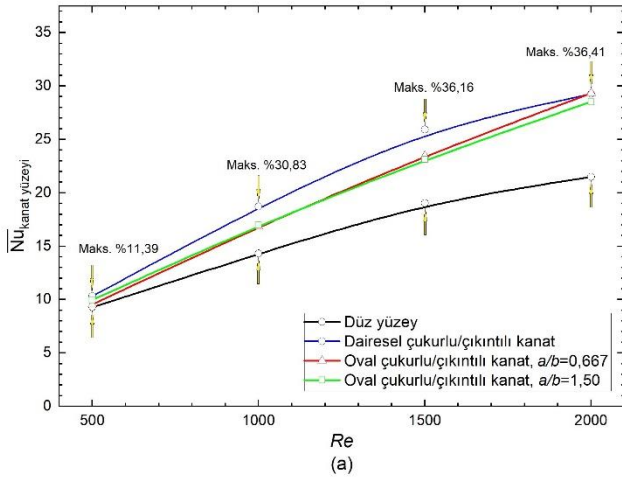
Şekil 7. Akış karakteristiklerinin karşılaştırılması, a) çukur/çıkıntının $Re=2000$ 'de türbülans kinetik enerjisine etkisi ($y/d=1,67$), b) çukur/çıkıntının girdap oluşumuna etkisi ($x/d=7,87$).



Şekil 8. $Re=2000$ 'de kanal duvarlarında Nu sayısı dağılımının karşılaştırılması, a) kanat duvarı ($z/d=0,39$), b) boru duvarı ($y/d=2,089$).



Şekil 9. Kanat ve boru duvarı üzerinde yanıl-ortalama Nu sayısı dağılımı, a) $Re=500$ için, b) $Re=1000$ için, c) $Re=1500$ için, d) $Re=2000$ için.



Şekil 10. Ortalama Nu sayılarının karşılaştırılması, a) kanat duvarı üzerinde, b) boru duvarı üzerinde, c) ısı değiştirici duvarlarının tamamı üzerinde.

3.3. Termal Performans Faktörü

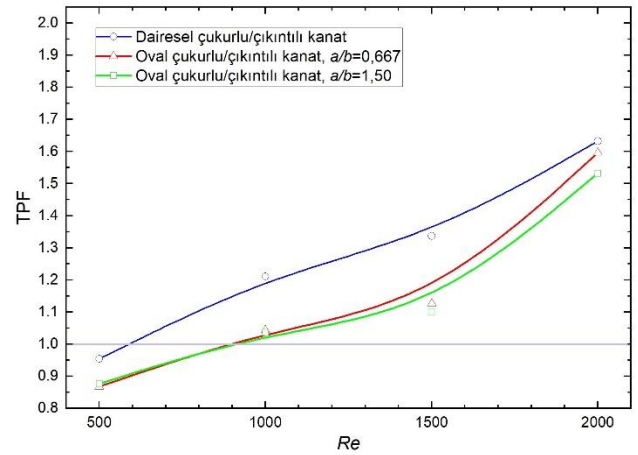
Bir ısıtma/soğutma sisteminin tasarımında ısı transferini arttırmaya yönelik yapılacak olan değişiklikler sistemin basınç kaybındaki artışı da beraberinde getirebilir. Dolayısı ile sistemin tasarımında yapılacak değişikliğin anlamlı olup olmadığını ortaya çıkarmak için bu bölümde çukurlu/çıkıntılı kanat tasarımlarının Termal Performans Faktörü (*TPF*) incelenmiştir. Isı transfer performansını arttırmak için öne sürülen tasarımın yararlı bir tasarım olarak değerlendirebilmek için *TPF*'nin 1'in üzerinde olması gerekir. *TPF*'nin 1'in altında olması basınç kaybında yaşanan artışın ısı transferindeki artıştan daha fazla olduğu ve

önerilen tasarımın ısı transferi arttırımı için yararlı bir tasarım olmadığını gösterir.

Sayısal çalışmalarını gerçekleştirilen çukur/çıkıntının Termal Performans Faktörü aşağıdaki gibi hesaplanabilir (S. W. Chang vd., 2021; Maradiya vd, 2018; Tepe, 2021; Tepe, vd, 2020; Tepe, vd, 2020; Wang vd, 2001).

$$TPF = \frac{Nu_1}{Nu_0} \left(\frac{f_1}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (12)$$

Çukurlu/çıkıntılı kanatın Termal Performans Faktörüne etkisi Şekil 11.'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere $Re=500$ 'de öne sürülen tasarımlarda *TPF* 1'in altındadır. Bu nedenle düşük Re sayısında çukurlu/çıkıntılı kanatın ısı transferi arttırımı için yararlı bir tasarım olmadığı söylenebilir. Bunun sebebi, düşük Re sayısında akış alanı içerisinde oluşan girdabın büyüklüğü ısı transferinin iyileştirmesinde önemli bir etken olan aşağı yönde ikincil hava akımlarının yaratılmasında yetersiz kalmasıdır. Buna karşın Re sayısı arttıkça basınç kaybına kıyasla ısı transfer hızında ortaya çıkan artışın daha fazla olması *TPF*'nin 1'in üzerine çıkmasını sağlamıştır. Sonuç olarak kanatlı-borulu ısı değiştiricileri için en yararlı tasarımın $Re=2000$ 'de *TPF*=1,63 ile dairesel çukurlu/çıkıntılı kanat tasarımının olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 11. Çukurun/çıkıntının Termal Performans Faktörüne etkisi.

4. Sonuç

Bu çalışmada kanatlı-borulu ısı değiştiricisinde kanat üzerinde oluşturulan çukurun/çıkıntının ısı transfer performansına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Isı değiştiricisinin borusu düz duvarlı olarak tasarlanmıştır. Çukurlar/çıkıntılar düz kanat üzerine çift sıralı olarak yerleştirilmiştir. Tasarım parametreleri olarak dairesel, $a/b=0,667$ ve $a/b=1,50$ olacak şekilde iki farklı ovallik oranı olmak üzere toplam üç farklı çukur/çıkıntı tasarımı incelenmiştir. Çukur derinlikleri ve çukurların kesit alanları sabit tutulmuş olup sırasıyla 1,40 mm ve $6,16 \text{ mm}^2$ 'dir. Farklı akış hızlarında çukurun/çıkıntının ısı transfer performansına etkisini ortaya çıkarmak için hesaplamalar 500, 1000, 1500 ve 2000 olmak üzere dört farklı Re sayısında gerçekleştirilmiştir. Sayısal hesaplamalar Ansys FLUENT 19.2 programında ve RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Kanat üzerinde yer alan çıkıntı akış alanı içerisinde bir çift girdap oluşumuna sebep olmuştur. Akış alanı içerisinde oluşan bu girdaplar kanat yüzeyine doğru ikincil hava akışının ortaya çıkmasını sağlamış ve soğuk akışkanın devamlı olarak yüzeye taşıyarak ısı transferinin artmasına katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.
2. Yanal ortalamalı Nu sayısı dağılımları incelendiğinde özellikle çukur/çıkıntı bölgesinde yerel ısı transfer hızında ani bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi ana akışın çıkıntının ön yüzüne ve çukurun akış doğrultusuna göre aşağı kenarına doğrudan çarpmasından kaynaklanmaktadır. Bir başka ifadeyle, yüzeye çarpan hava akışı bu bölgede sınır tabaka kalınlığını azaltarak ısı transfer hızının artmasına neden olmuştur.
3. Kanatlı-borulu ısı değiştiricisinin duvarlarında ortalama ısı transfer hızı incelendiğinde nispeten düşük Re sayısında ($Re \leq 1500$) dairesel kesitli çukur/çıkıntı oval çukurluğa/çıkıntıya kıyasla daha yüksek ısı transfer hızının elde edilmesini sağlamıştır. Sonuç olarak kanal duvarlarının tamamında ortalama ısı transferindeki en yüksek artış %26,63 ile $Re=1500$ 'de dairesel kesitli çukur/çıkıntı ile elde edilmiştir.
4. Termal Performans Faktörü sonuçları, ısı transfer hızını arttırmak için kanat yüzeyine çukur/çıkıntı yerleştirmenin nispeten düşük Re sayısında ($Re=500$) uygun bir tasarım olmadığını ortaya çıkarmıştır. Bunun sebebi, düşük Re sayısında ısı transfer hızının artmasında önemli rolü olan aşağı yönde ikincil akışları ortaya çıkaracak büyüklükte girdap üretilmemesine bağlanmıştır. Buna karşın hava akışının hızı arttıkça ikincil hava akışlarının üretilmesine bağlı olarak TPF de artmıştır. Sonuç olarak kanatlı-borulu ısı değiştiricisinde en yüksek TPF 1,63 ile dairesel kesitli çukurlu/çıkıntılı kanat ile $Re=2000$ 'de elde edilmiştir.

Kısaltmalar

A_s	Yüzey alanı	[m ²]
A_c	Kanal kesit alanı	[m ²]
d	Hidrolik çap	[m]
D/d	Boyutsuz çukur derinliği	
f_0	Düz kanatın sürtünme faktörü	
f_1	Çukurlu/çıkıntılı kanatın sürtünme faktörü	
h	Ortalama taşınım ısı transfer katsayısı	[W/m ² K]
H	Kanat aralığı	[m]
H/d	Boyutsuz çıkıntı yüksekliği	
I	Türbülans yoğunluğu	
Nu_0	Düz kanatın ortalama Nu sayısı	
Nu_1	Çukurlu/çıkıntılı kanatın ortalama Nu sayısı	
P	Kanal kesitinin çevre uzunluğu	[m]
p	Akış doğrultusuna çukur/çıkıntı aralığı	[m]
s	Yanal doğrultuda çukur/çıkıntı aralığı	[m]
t	kanat kalınlığı	[m]
T_c	Hava çıkış sıcaklığı	[K]

T_d	Duvar sıcaklığı	
T_g	Hava giriş sıcaklığı	[K]
T_s	Ortalama yüzey sıcaklığı	[K]
T_b	Akışkanın yığın sıcaklığı	[K]
u	Ortalama akış hızı	[m/s]
u_c	Minimum kesit alanda akış hızı	[m/s]
ν	Kinematik viskozite	[m ² /s]
W	Boru merkezleri arası mesafe	[m]
x	Akış doğrultusu eksen	[m]
x/d	Boyutsuz akış yönü mesafesi	
y	yanal eksen	[m]
y^+	boyutsuz duvar mesafesi	
z	Akışa dik eksen	[m]

Semboller

ρ	Havanın yoğunluğu	[kg/m ³]
μ	Dinamik viskozite	[Pa.s]

Alt ve Üst Simgeler

φ	çıkış
g	giriş
s	yüzey

Kaynakça

- ANSYS Inc. (2018). ANSYS Fluent, Release 19.1, Help System, Theory Guide. In ANSYS FLUENT 19.1.
- Caliskan, S. (2013). Flow and heat transfer characteristics of transverse perforated ribs under impingement jets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 66(1), 244–260. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.07.027
- Carpio, J., & Valencia, A. (2020). Heat transfer enhancement through longitudinal vortex generators in compact heat exchangers with flat tubes. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, xxx, 105035. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.105035
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *HEAT AND MASS TRANSFER FUNDAMENTALS & APPLICATIONS*. New York: McGraw-Hill Education.
- Chang, L. M., Wang, L. B., Song, K. W., Sun, D. L., & Fan, J. F. (2009). Numerical study of the relationship between heat transfer enhancement and absolute vorticity flux along main flow direction in a channel formed by a flat tube bank fin with vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(7–8), 1794–1801. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.09.029
- Chang, S. W., Chiang, P., & Cai, W. L. (2021). Thermal performance of impinging jet-row onto trapezoidal channel with different effusion and discharge conditions. *International Journal of Thermal Sciences*, 159(May 2020), 106590. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2020.106590
- Chu, P., He, Y. L., Lei, Y. G., Tian, L. T., & Li, R. (2009). Three-dimensional numerical study on fin-and-oval-tube heat exchanger with longitudinal vortex generators. *Applied Thermal Engineering*, 29(5–6), 859–876. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.04.021
- Du, X., Feng, L., Li, L., Yang, L., & Yang, Y. (2014). Heat transfer enhancement of wavy finned flat tube by punched

- longitudinal vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 75, 368–380. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.03.081
- Du, X., Feng, L., Yang, Y., & Yang, L. (2013). Experimental study on heat transfer enhancement of wavy finned flat tube with longitudinal vortex generators. *Applied Thermal Engineering*, 50(1), 55–62. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2012.05.024
- Eiamsa-Ard, S., & Changcharoen, W. (2011). Analysis of turbulent heat transfer and fluid flow in channels with various ribbed internal surfaces. *Journal of Thermal Science*, 20(3), 260–267. doi: 10.1007/s11630-011-0468-3
- Gentry, M. C., & Jacobi, A. M. (1997). Heat Transfer Enhancement by Delta-Wing Vortex Generators on a Flat Plate: Vortex Interactions with the Boundary Layer. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 14(3), 231–242. doi: 10.1016/S0894-1777(96)00067-2
- He, Y. L., Han, H., Tao, W. Q., & Zhang, Y. W. (2012). Numerical study of heat-transfer enhancement by punched winglet-type vortex generator arrays in fin-and-tube heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(21–22), 5449–5458. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.04.059
- Huisseune, H., T'Joel, C., De Jaeger, P., Ameel, B., De Schampheleire, S., & De Paepe, M. (2013). Influence of the louver and delta winglet geometry on the thermal hydraulic performance of a compound heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(1), 58–72. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.10.016
- Huisseune, Henk, T'Joel, C., Jaeger, P. De, Ameel, B., Schampheleire, S. De, & Paepe, M. De. (2013). Performance enhancement of a louvered fin heat exchanger by using delta winglet vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 56(1–2), 475–487. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.09.004
- Jing, Q., Zhang, D., & Xie, Y. (2018). Numerical investigations of impingement cooling performance on flat and non-flat targets with dimple/protrusion and triangular rib. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126(Part-A), 169–190. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.009
- Kumar, A., Joshi, J. B., & Nayak, A. K. (2017). A comparison of thermal-hydraulic performance of various fin patterns using 3D CFD simulations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 109, 336–356. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.01.102
- Lemouedda, A., Schmid, A., Franz, E., Breuer, M., & Delgado, A. (2011). Numerical investigations for the optimization of serrated finned-tube heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 31(8–9), 1393–1401. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2010.12.035
- Li, J., Wang, S., Chen, J., & Lei, Y. G. (2011). Numerical study on a slit fin-and-tube heat exchanger with longitudinal vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(9–10), 1743–1751. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.01.017
- Li, M. J., Zhou, W. J., Zhang, J. F., Fan, J. F., He, Y. L., & Tao, W. Q. (2014). Heat transfer and pressure performance of a plain fin with radially arranged winglets around each tube in fin-and-tube heat transfer surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 70, 734–744. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.11.024
- Lin, C. N., Liu, Y. W., & Leu, J. S. (2008). Heat transfer and fluid flow analysis for plate-fin and oval tube heat exchangers with vortex generators. *Heat Transfer Engineering*, 29(7), 588–596. doi: 10.1080/01457630801922279
- Lin, Z. M., Liu, C. P., Lin, M., & Wang, L. B. (2015). Numerical study of flow and heat transfer enhancement of circular tube bank fin heat exchanger with curved delta-winglet vortex generators. *Applied Thermal Engineering*, 88, 198–210. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.11.079
- Maradiya, C., Vadher, J., & Agarwal, R. (2018). The heat transfer enhancement techniques and their Thermal Performance Factor. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1), 1–21. doi: 10.1016/j.bjbas.2017.10.001
- Modi, A. J., Kalel, N. A., & Rathod, M. K. (2020). Thermal performance augmentation of fin-and-tube heat exchanger using rectangular winglet vortex generators having circular punched holes. In *International Journal of Heat and Mass Transfer* (Vol. 158). doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119724
- Moreno, R. R., Pérez, A. M., & Pérez, R. B. (2020). Numerical optimization of a heat exchanger with slit fins and vortex generators using genetic algorithms. In *International Journal of Refrigeration* (Vol. 119, pp. 247–256). doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.07.023
- Rao, Y., Wan, C., & Xu, Y. (2012). An experimental study of pressure loss and heat transfer in the pin fin-dimple channels with various dimple depths. In *International Journal of Heat and Mass Transfer* (Vol. 55, Issues 23–24, pp. 6723–6733). doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.06.081
- Singh, P., & Ekkad, S. (2016). Effects of Rotation on Heat Transfer due to Jet Impingement on Cylindrical Dimpled Target Surface. *ASME Turbo Expo 2016: Turbomachinery Technical Conference and Exposition*, 49798, V05BT16A010. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1115/GT2016-57145>
- Sinha, A., Chattopadhyay, H., Iyengar, A. K., & Biswas, G. (2016). Enhancement of heat transfer in a fin-tube heat exchanger using rectangular winglet type vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 101, 667–681. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.05.032
- Skullong, S., Thianpong, C., Jayranaiwachira, N., & Promvong, P. (2016). Experimental and numerical heat transfer investigation in turbulent square-duct flow through oblique horseshoe baffles. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 99, 58–71. doi: 10.1016/j.cep.2015.11.008
- Tepe, A. Ü. (2021). Numerical investigation of a novel jet hole design for staggered array jet impingement cooling on a semicircular concave surface. *International Journal of Thermal Sciences*, 162(December 2020), 106792. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2020.106792
- Tepe, A. Ü., Uysal, Ü., Yetişken, Y., & Arslan, K. (2020). Jet impingement cooling on a rib-roughened surface using extended jet holes. *Applied Thermal Engineering*, 178(June), 115601. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115601>
- Tepe, A. Ü., Yetişken, Y., Uysal, Ü., & Arslan, K. (2020). Experimental and numerical investigation of jet impingement cooling using extended jet holes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 158. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119945
- Tiwari, S., Maurya, D., Biswas, G., & Eswaran, V. (2003). Heat transfer enhancement in cross-flow heat exchangers using

- oval tubes and multiple delta winglets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46(15), 2841–2856. doi: 10.1016/S0017-9310(03)00047-4
- Wan, C., Rao, Y., & Chen, P. (2015). Numerical predictions of jet impingement heat transfer on square pin-fin roughened plates. *Applied Thermal Engineering*, 80(1), 301–309. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.01.053
- Wang, S., Guo, Z. Y., & Li, Z. X. (2001). Heat transfer enhancement by using metallic filament insert in channel flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. doi: 10.1016/S0017-9310(00)00173-3
- Wu, H., Ting, D. S. K., & Ray, S. (2018). The effect of delta winglet attack angle on the heat transfer performance of a flat surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 120, 117–126. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.12.030
- Xie, G., Liu, J., Ligrani, P. M., & Zhang, W. (2013). Numerical analysis of flow structure and heat transfer characteristics in square channels with different internal-protruded dimple geometries. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 81–97. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.07.094
- Xie, G., & Sundén, B. (2010). Numerical predictions of augmented heat transfer of an internal blade tip-wall by hemispherical dimples. In *International Journal of Heat and Mass Transfer* (Vol. 53, Issues 25–26, pp. 5639–5650). doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.08.019
- Xie, J., & Lee, H. M. (2020). Flow and heat transfer performances of directly printed curved-rectangular vortex generators in a compact fin-tube heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 180(July). doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115830
- Xie, Y., Qu, H., & Zhang, D. (2015). Numerical investigation of flow and heat transfer in rectangular channel with teardrop dimple/protrusion. In *International Journal of Heat and Mass Transfer* (Vol. 84, pp. 486–496). doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.055
- Yakhot, V., Orszag, S. A., Thangam, S., Gatski, T. B., & Speziale, C. G. (1992). Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique. *Physics of Fluids A*. doi: 10.1063/1.858424
- Yang, Y., Ting, D. S. K., & Ray, S. (2020). Heat transfer enhancement of a heated flat surface via a flexible strip pair. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 159. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120139
- Zhao, X. B., Tang, G. H., Ma, X. W., Jin, Y., & Tao, W. Q. (2014). Numerical investigation of heat transfer and erosion characteristics for H-type finned oval tube with longitudinal vortex generators and dimples. In *Applied Energy* (Vol. 127, pp. 93–104). doi: 10.1016/j.apenergy.2014.04.033



Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmini için WEKA'da Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

Şükran Ebre Kara^{1**,2}, Rüya Şamlı²

^{1*} Şırnak Üniversitesi, Cizre Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Şırnak, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3071-6942), sebrekara@sirnak.edu.tr

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8723-1228), ruyasamli@istanbul.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 9 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 4 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.877296)

ATIF/REFERENCE: Ebre Kara, Ş. & Şamlı, R. (2021). Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmini için WEKA'da Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 415-426.

Öz

Yazılım projelerinin en önemli sorunlarından biri, yazılım maliyet tahminidir. Yazılım maliyet tahmini, yazılımın gerçekleştirilmesi aşamasında gereken bütçenin tahmin edilmesidir. Proje yöneticisi, proje maliyetini doğru tahmin ederek projedeki belirsizlikleri azaltabilir. Aksi takdirde çok ciddi ekonomik sıkıntılar doğmaktadır. Büyük projelerin %60'ı öngörülen proje bütçelerini aşmıştır. Birtakım projelerin %15 maliyet aşımı nedeniyle hiçbir zaman tamamlanmadığı gözlemlenmiştir (Liu and Mintram, 2005). Yazılım projelerinin büyümesi ve karmaşık hale gelmesi sonucunda sürekli yeni maliyet hesaplama yöntemleri geliştirilmektedir. Bu çalışmada yazılım projelerinin maliyeti, makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Proje maliyet tahmini, bilgi analizi için Waikato ortamında (Waikato Environment for Knowledge Analysis - WEKA) bulunan 27 farklı makine öğrenmesi algoritmasında denenerak yapılmıştır. Algoritmalar 10 kat çapraz doğrulama tekniği ile PROMISE veri deposundan alınan COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setlerine uygulanmış ve sonuçlar, performans ölçütü korelasyon katsayısı, hata oranları ortalama mutlak hata (mean absolute error - MAE), kök ortalama kare hata (root mean squared error - RMSE), bağıl mutlak hata (relative absolute error - RAE) ve kök bağıl kare hata (root relative squared error - RRSE) baz alınarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bir algoritmanın her zaman en iyi sonucu üretmediği, farklı veri setleriyle farklı sonuçlar ürettiği bilgisine ulaşılmıştır. Bazı algoritmaların bazı veri setlerinde çok iyi çalışırken farklı parametrelerle ve farklı veri setlerinde kötü sonuçlar verebildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmayla yazılım maliyet tahmini için hangi algoritmaların kullanılabileceği, bu algoritmaların COCOMO veri setlerine uygulandığında tahmin sonuçlarının neler olabileceği ve en iyi çalışan algoritmaların hangileri olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenmesi, COCOMO, Yazılım Maliyet Hesaplama, WEKA.

Comparative Analysis of Machine Learning Algorithms in WEKA for Cost Estimation of Software Projects

Abstract

One of the most important problems of software projects is software cost estimation. Software cost estimation is the estimation of the budget required during the actualization of the software. The project manager reduces the ambiguities in the project by estimating the project cost correctly. Otherwise, serious economic problems will arise. 60% of large projects exceeded the estimated project budgets. It has been observed that a number of projects were never completed due to a 15% cost overrun. As a result of the growth and complexity of software projects, new cost estimation methods are constantly being developed. In this study, the cost of software projects is tried to

* Sorumlu Yazar: sukranebre@hotmail.com

be estimated by using machine learning algorithms. Project cost estimation has been made by testing in 27 different machine learning algorithms in the waikato environment (WEKA) for information analysis. Algorithms were applied to COCOMO81, COCOMONASA and COCOMONASA2 datasets taken from PROMISE data store with 10-fold cross validation technique and results, performance criterion correlation coefficient, error rates mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), relative absolute error (RAE) and root relative squared error (RRSE). When the results were examined, it was found that an algorithm does not always produce the best result, but produces different results with different data sets. It has been observed that some algorithms work very well in some data sets and may give poor results with different parameters and different data sets. Thanks to this study, the information about which algorithms can be used for software cost estimation, what the estimation results might be when these algorithms are applied to COCOMO data sets and which algorithms are the best working have been reached.

Keywords: Machine Learning, COCOMO, Software Cost Calculation, WEKA.

1. Giriş

Yazılım, kullanıcıların belirli gereksinimini karşılayacak, çoğu zaman arz talep ilişkisinden doğan, bilgisayar ve türevi teknolojik araçların istenilen işlemleri gerçekleştirebilmesi için geliştiriciler tarafından belli diller kullanılarak oluşturulan yapılardır ve bu yapıların en önemli noktalarından birisi içerdiği kod satırlarıdır. Bu kod satırları, bilgisayarlar ve türevi teknolojik araçlarla iletişimin kurulmasını sağlar. Yazılım, donanım – insan iletişimini sağladığı gibi donanım – donanım iletişimini de sağlar. Türk Dil Kurumuna göre yazılım: “Bir bilgisayarda donanıma hayat veren ve bilgi işlemde kullanılan programlar, yordamlar, programlama dilleri ve belgelemelerin tümüdür.” (TDK, 2018).

Yazılım projelerinin en önemli sorunlarından biri, yazılım maliyet tahminidir. Yazılım maliyeti, yazılım geliştirme süreci için gereken kaynakların değeridir (Sommerville, 2000). Proje maliyet tahmini, proje etkinliklerinin tamamlanabilmesi için gereken parasal kaynaklara yaklaşım geliştirme sürecidir (ANSI/PMI, 2008). Adailer (2008) çalışmasında yazılım maliyet tahminini, bir yazılım sisteminin inşası için gereken çaba miktarının tahminleme süreci olarak tanımlamıştır. Bir yazılım projesinde maliyet tahminin yapılması, projenin teklif edilmesinde, kabul edilmesinde ve ilerlemesindeki birçok kararı etkilemektedir. Yazılım projelerinin maliyet tahmininin doğru gerçekleşmesi, ciddi bir yazılım maliyet hesaplama süreci gerektirmektedir. Bu süreç kapsamında önemli miktarda veri ile yapılan doğru analizler ve ölçümler, başarı oranını artırmaktadır.

Yazılım maliyetinin tahmin modelleri farklı şekillerde kategorize edilmiştir. Karataş (2011) çalışmasında algoritmik modeller ve algoritmik olmayan modeller olarak gruplandırırken, Gültekin (2019) çalışmasında model tabanlı, uzman tabanlı, öğrenme tabanlı, dinamik tabanlı, regresyon tabanlı ve karma tabanlı yöntemler olarak kategorize etmiştir.

Bu çalışmada yazılım maliyeti, Makine Öğrenmesi algoritmaları kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yazılım maliyet tahmini için kullanılan COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setleri PROMISE veri deposundan ücretsiz temin edilmiştir.

1.1. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, bilgisayarların insanlar gibi öğrenmesini ve hareket etmesini algoritmalar ve veriler yardımıyla sağlayan yapay zekânın bir alt dalıdır (Kaluza, 2016). Amerikan bilgisayar bilimcisi Arthur Samuel tarafından 1959’da “*Makine Öğrenmesi*” terimi yaygınlaştırılmıştır. Makine Öğrenmesi, bilgisayarlara açıkça programlanmadan öğrenme olanağı sağlayan algoritmaların incelenmesi, tasarlanması ve geliştirilmesi ile ilgilidir (Wikipedia, 2020; Prowmes, 2019). Makine

Öğrenmesinin temelinde makineleri kendi kendine karar verebilir hale getirme fikri yatmaktadır. “Bilgi kuvvettir” prensibine dayanarak, bir sistem ne kadar çok bilgiye sahipse, o kadar çok şey öğrenebilir ve ne kadar çok şey öğrenirse o kadar çok doğru kararlar verebilir. Başka bir tanıma göre makine öğrenmesi; mantıksal işlemler gerçekleştirebilen makinelerin, gözlem ve ölçüm yöntemleriyle elde edilen verileri tecrübe olarak kabul etmesi ve bu tecrübelerden matematiksel algoritmalar aracılığıyla anlamlı ilişkiler üretmesi sürecidir (Torkul vd., 2017).

Makine öğrenmesinde üç çeşit öğrenme yöntemi vardır: denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve yarı denetimli öğrenme.

Denetimli öğrenmede; sisteme öğrenmesi için giriş değerleri ile birlikte çıkış değerleri de verilir. Giriş verilerinin değerleri işlenerek çıkış değerleri tahmin edilmeye veya öğrenilmeye çalışılır. Bu süreçte öncelikle sonuçları bilinen veriler üzerinde bir sınıflama yapılır ve sonuçları bilinmeyen veri kümesi için tahmin edilmeye çalışılır (Aydın ve Özkul, 2015). Denetimli öğrenme, ses tanıma, e-posta spam filtreleme, fotoğraflarda yüz tanıma ve kredi kartı sahtekârlıklarının tespit etme gibi işlemlerin arkasındaki ana kavramdır (Kaluza, 2016). Regresyon, karar ağaçları, sınıflandırma denetimli öğrenme algoritmalarıdır.

Denetimsiz öğrenmede; sisteme dışarıdan bir müdahale söz konusu değildir. Algoritmanın kendi kendine keşifler yapması, gözükmeyen örüntüleri keşfetmesi beklenir. Girdi verileri sisteme (öğrenme algoritmasına) verilir ancak herhangi bir işaretleme yapılmaz yani talimat verecek bir insan operatörü yoktur. Öğrenme algoritması verileri tanımlamak için inceler keşifler yapar, veriler arasındaki ilişki ağını ortaya koymaya çalışır. (Aydın ve Özkul, 2015; Alpaydın, 2011). Sistem daha fazla veriyi değerlendirdikçe, bu verilerle ilgili karar verebilme becerisi giderek artmakta ve daha fazla doğruya yaklaşmaktadır. Kümeleme, boyut azaltma bazı denetimsiz öğrenme algoritmalarıdır.

Elde az sayıda işaretlenmiş veri olmasına karşın çok daha fazla sayıda işaretlenmemiş veri varsa denetimli öğrenme de denetimsiz öğrenme de yetersiz kalabilir. Bu durumda yarı denetimli öğrenme yöntemi daha kullanışlıdır. Yarı denetimli öğrenme, az sayıdaki işaretlenmiş veriden çok sayıdaki işaretlenmemiş veriyi tahmin etmek ve sınıflandırmaktır. Yarı denetimli öğrenme sisteme denemeyi ve hatayı öğretir. Geçmiş deneyimlerden öğrenir ve mümkün olan en iyi sonucu elde etmek için duruma cevap olarak yaklaşımını adapte etmeye çalışır (Kızılkaya ve Oğuzlar, 2018).

Makine öğrenmesinin iş akışı 5 adımda toparlanabilir.

1. Veri ve problem tanımı: Bu aşamada çözmeye çalışılan problemin tanımı, önemi, bu problemin çözülmesi için kullanılacak verilerin tanımı gibi bilgiler verilmelidir.

2. *Veri toplama*: Bu aşamada ele alınan problemin çözümü için hangi tür verilerin elde edilmesi gerektiği belirlenir ve bu veriler toplanmaya çalışılır.

3. *Veri ön işleme*: Problem çözümünde kullanılacak olan veriler temiz olmalıdır. Kayıp veriler varsa belli algoritmalar kullanılarak onların yeri doldurulmalı, gürültülü veriler denetlenmeli, aykırı değerler kaldırılmalıdır. Daha sonra normalizasyon, değer depolarına uyum ve boyut sayısını azaltmak işlemleri gerçekleştirilmelidir.

4. *Veri analizi ve denetimli öğrenme veya denetimsiz öğrenme ile modelleme yapma*: Bu aşamada problemin çözümü için, bir model belirlenir. Bu model ile denetimli öğrenme yöntemi mi yoksa denetimsiz öğrenme yöntemi mi gerekli belirlenmelidir. Makine öğrenmesi algoritmalarının geniş bir yelpazesi vardır. Rastgele orman, karar ağaçları, destek vektör makineleri, lojistik regresyon, K-en yakın komşuluk (K-Nearest Neighbor-KNN) bu algoritmalarından sadece birkaç tanesidir.

5. *Değerlendirme*: Son aşama model değerlendirmedir. Bu adımın amacı modelin doğru değerlendirmek ve yeni veriler üzerinde doğru çalışacağından emin olmaktır. Değerlendirme yöntemleri arasında, çapraz doğrulama, eğitim ve test için ayrılmış veri seti, tek çıkışlı çapraz doğrulama gibi yöntemler mevcuttur (Kaluza, 2016).

Yazılım geliştirme sürecinde, maliyet, süre ve çaba gibi proje için temel kavramların yanlış hesaplanması nedeniyle çöken birçok proje mevcuttur (Karataş, 2011). Özellikle yazılım projelerinde, ölçülebilir hedefler konulmadığı için başarı sağlanamamaktadır (Ayyıldız, 2007).

Yazılım projelerinin maliyet tahmini konusunda literatürde oldukça geniş çaplı araştırmalar yürütülmektedir. Sezer (2008) çalışmasında yazılım projelerinin maliyetini tahmin etmek amacıyla YSA (Yapay Sinir Ağı) uygulaması gerçekleştirmiştir. YSA olarak çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağını, eğitim algoritması olarak delta algoritmasını seçmiştir. Eğitimi, örnek veri seti kullanarak tamamlandıktan sonra test verilerini ağa sunup hedef çıktığı elde etmiştir. YSA uygulamasından elde ettiği verileri COCOMO 2000 verileri ile karşılaştırmıştır.

Kulter vd. (2009) yazılım maliyet tahmini için yeni bir makine öğrenme modeli önermişlerdir. Çalışmada yazılım maliyet tahmini için ilişkisel bellek ile sinir ağlarını birleştirmişlerdir. Tek bir, çok katmanlı algılayıcı (multilayer perceptrons - MLP) yerine, birden fazla MLP'yi birleştirerek kullanmışlardır. Modele tahminde bulunması için yeni bir proje verildiği zaman, her bir MLP kendi sonucunu temin etmiştir. Bu modelde birleştirme yaklaşımının kullanılmasına ek olarak, ilişkisel bellek kullanılmıştır. Bu yeni modele ENNA (İlişkilendirilebilir Hafızalı Sinir Ağları Topluluğu) denmiştir.

Kumari ve Pushkar (2013) algoritmik ve algoritmik olmayan mevcut yazılım maliyet tahmin modelleri ve teknikleri üzerinde ayrıntılı bir çalışma yapmıştır. Bu modellerin avantajlarını ve dezavantajlarını çalışmalarında sunmuştur. Çalışmada her tahmin modelinin belirli proje türüne özgü olduğu herhangi bir tahminleme modelinin diğerlerinden daha üstün olduğunu söylemenin çok zor olduğunu ve her yöntemin kendi proje türüne göre en iyisi olduğunu belirtmişlerdir.

Başka bir çalışmada (Niranjan vd., 2017) saldırı tespit sisteminin herhangi bir saldırı faaliyetini en yüksek doğrulukla sınıflandırabilmesi için makine öğrenmesi algoritmalarından Bagging, J48 ve Random Committee algoritmaları kullanılmıştır. Bagging ve Random Committee algoritmaları için Random Tree temel sınıflandırıcı olarak seçilmiştir. Çalışmada iki veri setine

Bagging, J48 ve Random Committee algoritmaları çapraz doğrulama uygulayarak True Pozitif, False Pozitif ve kesinlik değerleri sonuçları tablo şeklinde verilmiştir.

Gültekin (2019) çalışmasında yazılım maliyetinin tahmini için üç model geliştirmiştir. Bu modellerden ilki, regresyon tabanlı bir modeldir. Bu modelde, COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setlerine ağırlıklandırılmış lineer regresyon, logaritmik regresyon, üstel regresyon, polinomsal regresyon ve çoklu polinomsal regresyon yöntemlerini uygulanmıştır. Bu modellerden ikincisi, YSA tabanlı bir modeldir. Sunulan üçüncü model ise regresyon tabanlı makine öğrenme algoritmalarıyla maliyet tahmini yapan bir modeldir. Bu modelde Destek Karar Regresyon (Support Vector Regression - SVR), Gradyan Artırma (Gradient Boosted Machine - GBM), Rastgele Orman (Random Forest) ve MLP gibi regresyon tabanlı algoritmalar kullanılmıştır.

Marapelli (2019) çalışmasında makine öğrenmesi yöntemiyle COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setlerini kullanarak lineer regresyon ve K-en yakın komşu algoritmalarıyla yazılım maliyet tahminini gerçekleştirmiştir. Yazar çalışmasında, korelasyon katsayısı, MSE, MMRE performans ölçütlerini kullanarak algoritmalarından elde ettiği tahmin sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Güven Aydın ve Samli (2020) yaptıkları çalışmalarında, PROMISE veri deposundan temin ettikleri JM1, KC1, CM1, PC1 veri setlerini incelemişlerdir. Bu veri setlerine WEKA aracı ile 40'tan fazla veri madenciliği algoritması kullanarak yazılım hatası tahmin ölçütlerini karşılaştırmışlardır. Algoritmaların doğruluk oranları incelendiğinde Bagging algoritmasının en iyi doğruluk oranına sahip olduğunu gözlemlemiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, PROMISE yazılım mühendisliği veri deposundan ücretsiz ve açık olarak indirilen COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setleri kullanılmıştır. Bu veri setlerinde yazılım projelerinin maliyet tahmininde kullanılabilecek bağımlı ve bağımsız öz nitelikler mevcuttur. Bağımlı öz nitelik gerçek maliyet; act_effort ve bağımsız öz nitelikler; rely, data, cplx, time, stor, virt, turn, acap, aexp, pcap, vexp, lexp, modp, tool, sced, loc maliyet ile ilgili olanlardır. Veri setinin bağımsız öz nitelikleri, bağımlı öz niteliğin değerine karar vermektedir. COCOMO81 veri setinde 63, COCOMONASA veri setinde 60 ve COCOMONASA2 veri setinde 93 tane yazılım projesine ait maliyet sonuçları mevcuttur. COCOMO81 ve COCOMONASA veri setlerinde biri maliyet olmak üzere 17 tane öz nitelik bulunmaktadır. COCOMONASA2 veri setinde bu 17 öz niteliğin dışında maliyete etkisi olmayan 7 tane öz nitelik (recordnumber, projectname, cat2, forg, center, year ve mode) mevcuttur. Bu öz nitelikler çalışmaya dahil edilmemiştir. COCOMO maliyet faktörleri Tablo 1'de, COCOMO maliyet faktörlerinin standart sayısal değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Aşağıda verilen Tablo 1'de veri setinde bulunan 15 tane öz nitelik incelenmiştir. Veri setinde bunların dışında kod satır sayısı (loc) ve maliyet (act_effort) öz nitelikleri de mevcuttur.

Tablo 2'de veri setinde bulunan öz niteliklerin alabildiği en büyük ve en küçük değer aralıkları incelenmiştir. COCOMONASA2 veri setinde effort tahmini için kullanılmayan

7 tane öznelik veri setine dahil edilmemiştir. Veri setleri, eğitim seti ve test seti olarak k-kat çapraz doğrulama tekniği kullanılarak rastgele bölünmüştür.

Tablo 1. COCOMO maliyet faktörleri

Ürün Özellikleri	rely	Required software reliability	Gerekli yazılım güvenliği
	data	Database size	Veritabanı büyüklüğü
	cplx	Software product complexity	Ürün karmaşıklığı
Donanım Özellikleri	time	Execution time constraint	Çalışma süresi kısıtı
	stor	Main storage constraint	Temel depolama kısıtı
	virt	Virtual machine volatility	Sanal makine geçiciliği
	turn	Computer turn around time	Bilgisayar yanıt süresi
Personel Özellikleri	acap	Analist capability	Çalışan analistin kapasitesi
	aexp	Application experience	Proje takımının uygulama tecrübesi
	pcap	Programmer capability	Programcı kapasitesi
	wexp	Virtual machine experience	Takımın Sanal makine tecrübesi
	lexp	Language experience	Takımın programlama dili tecrübesi
Proje Özellikleri	modp	Use of modern programming practices	Modern programlama uygulamaları
	tools	Use of software tools	Kullanılan yazılım araçları
	sced	Development schedule constraint	iş takvimi kısıtı

Tablo 2. COCOMO maliyet faktörlerinin standart sayısal değerleri

Öz nitelik	çok düşük	düşük	normal	yüksek	çok yüksek	ekstra yüksek	verimlilik aralığı
acap	1,46	1,19	1,00	0,86	0,71		2,06
pcap	1,42	1,17	1,00	0,86	0,70		1,67
aexp	1,29	1,13	1,00	0,91	0,82		1,57
modp	1,24	1,10	1,00	0,91	0,82		1,34
tool	1,24	1,10	1,00	0,91	0,83		1,49
vexp	1,21	1,10	1,00	0,90			1,34
lexp	1,14	1,07	1,00	0,95			1,20
sced	1,23	1,08	1,00	1,04	1,10		e
stor			1,00	1,06	1,21	1,56	-1,21
data		0,94	1,00	1,08	1,16		-1,23
time			1,00	1,11	1,30	1,66	-1,30
turn		0,87	1,00	1,07	1,15		-1,32
virt		0,87	1,00	1,15	1,30		-1,49
cplx	0,70	0,85	1,00	1,15	1,30	1,65	-1,86
rely	0,75	0,88	1,00	1,15	1,40		-1,87

2.2. Model Oluşturma

WEKA aracında verileri sınıflandırmak, bölütleme, tahmin etmek, veriler arasında ilişki kurmak için çok fazla makine öğrenmesi algoritması mevcuttur.

Bu çalışmada PROMISE veri deposundan alınan COCOMO81, COCOONASA ve COCOMONASA2 veri setleriyle WEKA aracında bulunan ilgili algoritmalar kullanılarak yazılım proje maliyet tahmini gerçekleştirilmiştir.

Weka aracında Meta başlığı altında bulunan algoritmalar ile Lazy grubunda bulunan LWL ve Rules grubunda bulunan Input Mapped Classifier algoritmaları, kendi parametrelerine ek olarak bir temel sınıflandırıcı ve onun parametrelerini alan algoritmalarıdır. Bu yüzden en iyi performansı almak için properties penceresinden sınıflandırıcı parametreleri

değiştirilmiş, doğru bir karşılaştırma olması için hepsine aynı sınıflandırma algoritması seçilmiştir. Ayrıca parametre olarak bütün sınıflandırıcılar denenmiş en iyi sonucu veren parametre sınıflandırıcılar ayrı bir tabloda belirtilmiştir.

2.3. Modellerin Performans Değerlendirmesi

2.3.1. Korelasyon Katsayısı (Correlation Coefficient)

Korelasyon katsayısı, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkinin yönünün ve gücünün ölçüdür. Farklı durumlar için farklı korelasyon katsayıları geliştirilmiştir. Korelasyon katsayısı -1 ile 1 arasında bir değer olabilmektedir. Korelasyon katsayısının -1 olması iki değişken arasında ters ilişki olduğunu, korelasyon katsayısının 0 olması, iki değişken arasında hiç bir ilişkinin olmadığını, korelasyon

katsayısının 1 olması ise iki değişken arasında tam ilişki olduğunu göstermektedir (Wikipedia, 2020; Marapelli, 2019).

2.3.2. Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error - MAE)

Ortalama mutlak hata, tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden ne kadar uzakta olduğunu bulmaya çalışmaktadır. Formülü Denk. (1)'de verilmiştir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - A_i) \quad (1)$$

Burada P_i = tahmini değer, A_i = gerçek değer, n = örnek sayısı

2.3.3. Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Squared Error - RMSE)

Kök ortalama kare hatası, tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farklılıkların örnek standart sapmasını verir. Formülü Denk. (2)'de verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2} \quad (2)$$

Burada P_i = tahmini değer, A_i = gerçek değer, n = örnek sayısı

RMSE büyük hatalara büyük önem verir çünkü hataların ortalamaları alınmadan önce kareleri alınmaktadır. Bu nedenle RMSE daha çok büyük hataların istenmediği durumlarda kullanılır.

2.3.4. Bağlı Mutlak Hata (Relative Absolute Error - RAE)

Bağlı mutlak hata, tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkın bir toplamını vererek bunu gerçek değer ile gerçek değerlerin ortalaması arasındaki farkın toplamına böler. Formülü Denk. (3)'de verilmiştir.

$$RAE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - A_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i - A_m)} \quad (3)$$

Burada P_i = tahmini değer, A_i = gerçek değer, A_m = gerçek değerlerin toplamı, n = örnek sayısı

2.3.5. Kök Bağlı Kare Hata (Root Relative Squared Error - RRSE)

Ayrı ayrı j veri kümesinin kök bağlı kare hatası aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Prabhakar ve Drutta, 2013) Formülü Denk. (4)'te verilmiştir.

$$RRSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{ij} - A_i)^2}{\sum_{i=1}^n (A_i - A_m)^2}} \quad (4)$$

Burada P_{ij} = i 'deki veri noktası için ayrı ayrı j veri kümesinin tahmini değeri, A_i = gerçek değer, A_m = gerçek değerlerin toplamı, n = örnek sayısı

2.4. Metotlar

Bu bölümde, makale içerisinde kullanılan algoritmaların ve kullanılan yöntemlerin açıklamaları sunulmuştur. Algoritmalar literatürde genel olarak orijinal isimleriyle kullanıldığı için bu makalede de bu şekilde kullanılmış ancak yanı sıra mümkün *e-ISSN: 2148-2683*

olduğunca Türkçeleştirilmiş isimleri de verilmiştir (Güven Aydın, 2021).

Gaussian Processes (Gauss Yöntemi): Bir sınıflandırma Makine Öğrenmesi algoritmasıdır. Sınıflandırma tahmini modelleme için, Gauss süreçleri kullanılabilir. Gauss Süreç modelleri çok değişkenli dağılımlı rastgele değişkenlerin sınırlı bir koleksiyonuna sahip parametrik olmayan çekirdek tabanlı olasılık modelleridir. Her doğrusal birleşim eşit dağılmıştır (Yergök ve Acı, 2019).

Linear Regression (Doğrusal Regresyon): Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki sayısal ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Regresyon analizinde, değişkenler arasındaki ilişkiyi fonksiyonel olarak açıklamak ve bu ilişkiyi bir modelle tanımlayabilmek amaçlanmaktadır. Regresyon analizinde bir tane bağımlı ve bir tane bağımsız iki değişken varsa buna Basit Doğrusal Regresyon, bir tane bağımlı birden fazla bağımsız değişken varsa buna Çoklu Doğrusal Regresyon denir. Çok Değişkenli Regresyon analizi, Çoklu Doğrusal Regresyon analizinin genelleştirilmiş halidir. Çok Değişkenli Regresyon analizinde birden fazla bağımlı değişken vardır.

Multilayer Perceptron (Çok Katmanlı Algılayıcı): Örnekleri sınıflandırmak ve çok katmanlı bir algılayıcı öğrenmek için geri yayılımı kullanan bir sınıflandırıcıdır. Ağ elle oluşturulabilir veya basit bir buluşsal yöntem kullanılarak kurulabilir. Ağ parametreleri eğitim süresi boyunca izlenebilir ve değiştirilebilir. Bu ağdaki düğümlerin tümü sigmoiddır. (sınıfın sayısal olduğu durumlar hariç, bu durumda çıkış düğümleri eşiksiz doğrusal birimler haline gelir.)

SMOreg: SMOreg algoritması temel olarak destek vektör makineleri olarak bilinen yöntemleri kullanır. DVM'ler 1960'lı yılların sonunda Vladimir Vapnik ve Alexey Chervonenkis tarafından geliştirilmiş temel olarak istatistiksel öğrenme teorisine dayanan bir makine öğrenmesi yöntemidir.

IBK (K-nearest neighbor - K-en yakın komşuluk): K-en yakın komşular sınıflandırıcısıdır. Çapraz doğrulamaya dayalı olarak uygun K değerini seçebilir. Mesafe ağırlıklandırması da yapabilir.

Kstar (Kyıldız - K*): K*, örnek tabanlı bir sınıflandırıcıdır, yani bir test örneğinin sınıfı, bazı benzerlik işlevleriyle belirlendiği üzere, ona benzer eğitim örneklerinin sınıfına dayanır. Entropi tabanlı bir mesafe işlevi kullanması açısından diğer örnek tabanlı öğrenicilerden farklıdır.

LWL (Locally Weighted Learning - Yerel Ağırlıklı Öğrenme) Yerel ağırlıklı bir öğrenme yöntemidir. Örnek ağırlıkları atamak için örnek tabanlı bir algoritma kullanır ve bunlar daha sonra belirli bir WeightedInstancesHandler sınıfı tarafından kullanılır. Sınıflandırma (örn. Naive Bayes kullanarak) veya regresyon (örn. Doğrusal regresyon kullanarak) yapabilir.

Additive Regression (Toplamsal Regresyon): Genellikle doğrusal olmayan gerçek yaşam etkilerinde Doğrusal Regresyon başarısız sonuçlar üretebilmektedir. Daha esnek istatistiksel modellerden olan additive regresyon, doğrusal olmayan regresyon etkilerini tanımlamak için kullanılabilir.

Attribute Selected Classifier (Öznitelik Seçici Sınıflandırıcı): Eğitim ve test verilerinin boyutu, bir sınıflandırıcıya aktarılmadan önce nitelik seçimi ile azaltılır.

Bagging (Torbalama): Varyansı azaltmak için bir torbalama sınıflandırıcısıdır.

CVParameter Selection (Cross Validation Parameter Selection - Cross Validation Parameter Selection): Herhangi bir sınıflandırıcı için çapraz doğrulama ile parametre seçimi gerçekleştirme sınıfıdır.

Multi Schema (Çoklu Şema): Eğitim verileri veya eğitim verilerindeki performans üzerinde çapraz doğrulama yöntemi kullanarak birkaç sınıflandırıcı arasından bir sınıflandırıcı seçmek için kullanılan bir sınıflandırıcıdır. Performans, yüzde doğru (sınıflandırma) veya ortalama kare hataya (regresyon) göre ölçülür.

Random Committee (Rastgele Komite): Randomize edilebilir temel sınıflandırıcılar topluluğu oluşturmak için bir sınıflandırıcıdır. Her temel sınıflandırıcı, farklı bir rasgele sayı çekirdeği kullanılarak oluşturulur (ancak aynı verilere dayalı olarak). Nihai tahmin, bireysel temel sınıflandırıcılar tarafından üretilen tahminlerin düz bir ortalamasıdır.

Randomizable Filtered Classifier (Randomize Edilebilir Filtreli Sınıflandırıcı): FilteredClassifier'ın, modeli randomize edilebilir bir filtreyle, daha spesifik olarak, RandomProjection ve temel sınıflandırıcı olarak IBk ile başlatan basit bir varyantıdır. Bunun dışında ve iki temel şemadan en az birinin Randomizable arayüzü uyguladığını kontrol ederek, Randomizable'ı da uygulayan FilteredClassifier ile tam olarak aynı işlevselliği uygular.

Random SubSpace (Rastgele Alt Boşluk): Bu yöntem, eğitim verilerinde en yüksek doğruluğu koruyan ve karmaşıklık arttıkça genelleme doğruluğunu iyileştiren karar ağacı tabanlı bir sınıflandırıcıdır. Sınıflandırıcı, özellik vektörünün bileşenlerinin alt kümelerinin sözde rastgele seçilmesiyle sistematik olarak oluşturulmuş birden çok ağaçtan, yani rastgele seçilen alt uzaylarda oluşturulan ağaçlardan oluşur.

Weighted Instances Handler Wrapper (Ağırlıklı Örnek İşleyici Sarmalayıcı): Ağırlıklı örnek desteğini etkinleştirmek için herhangi bir sınıflandırıcı etrafında genel bir sarmalayıcıdır. Temel sınıflandırıcı WeightedInstancesHandler arabirimini uygulamıyorsa ve 1.0'dan farklı örnek ağırlıkları varsa, ağırlıklarla yeniden örnekleme kullanır. Varsayılan olarak, örnek ağırlıklarını işleyebiliyorsa eğitim verileri temel sınıflandırıcıya aktarılır. Bununla birlikte, yeniden örnekleme kullanımını ağırlıklarla da zorlamak mümkündür.

Input Mapped Classifier (Giriş Eşlemeli Sınıflandırıcı): Bir sınıflandırıcının birlikte oluşturulduğu eğitim verileri ile gelen test örneklerinin yapısı arasında bir eşleme oluşturarak uyumsuz eğitim ve test verilerini ele alan sarmalayıcı sınıflandırıcısıdır. Gelen örneklerde bulunmayan model öznitelikleri eksik değerleri alır, dolayısıyla sınıflandırıcının daha önce görmediği gelen nominal öznitelik değerleri de alır. Yeni bir sınıflandırıcı eğitilebilir veya bir dosyadan mevcut bir sınıflandırıcı yüklenebilir.

Decision Table (Karar Ağacı): Basit bir karar tablosu ile çoğunluk sınıflandırıcısı oluşturmak için kullanılan bir sınıflandırıcıdır.

M5 Rules (M5 Kuralları): M5 Rules algoritması regresyon problemlerinde karar listeleri oluşturmak için böl ve yönet tekniğini kullanan bir algoritmadır. M5 Rules algoritması bir

model ağacı oluşturmak için böl ve yönet tekniğini kullanır, en iyi yapraktan bir kural oluşturur ve ardından oluşturulan kurula göre veri kümesinde kalan diğer örnekler üzerinde çalışır.

ZeroR: ZeroR sınıflandırıcı oluşturma ve kullanma sınıfıdır. Ortalamayı (sayısal bir sınıf için) veya modu (nominal bir sınıf için) tahmin eder.

Decision Stump (Karar Kütüğü): Bir karar güdüsü oluşturma ve kullanma sınıfıdır. Genellikle bir yükseltme algoritması ile birlikte kullanılır. Regresyon (ortalama kare hatasına göre) veya sınıflandırma (entropiye dayalı) yapar. Eksik, ayrı bir değer olarak kabul edilir.

M5P: M5P deneysel verilerden bir regresyon ağaç modeli oluşturmak için, M5 algoritmasının yeniden yapılandırılmasıdır. Bir M5P modelinde, ağaç her dalda, veri kümesinin yaprağa ulaşan kısmının sınıf değerlerini tahmin eden doğrusal bir regresyon modelini depolar. Veri kümesi, verilerin belirli özelliklerine göre farklı bölümlere ayrılır. Standart sapma genellikle, her düğümde veri kümesini bölmek için hangi öznitelikliğin en iyi olduğunu belirleyen bir ölçüt olarak kullanılır. Seçilecek öznitelik, hatayı azaltmak için maksimum beklentiye sahip olandır.

Random Forest (Rastgele Orman): Rastgele ağaçlardan oluşan bir orman inşa etmek için kullanılan bir sınıflandırıcıdır.

Random Tree (Rastgele Ağaç): Her düğümde K rastgele seçilen öznitelikleri dikkate alan bir ağaç oluşturmak için kullanılan bir sınıflandırıcıdır. Budama yapmaz. Ayrıca, bir uzatma kümesine (geri uyum) dayalı olarak sınıf olasılıklarının (veya regresyon durumunda hedef ortalamasının) tahminine izin verme seçeneğine de sahiptir.

REP Tree (Rep Ağacı): Hızlı karar ağacı öğrenicisidir. Bilgi kazanımı / varyansını kullanarak bir karar / gerileme ağacı oluşturur ve bunu daha az hata ile budama (arka plan ile) kullanarak kurar. Sayısal özellikler için değerleri yalnızca bir kez sıralar. Eksik değerler, karşılık gelen örnekleri parçalara bölerek ele alınır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada yazılım maliyetinin tahmini için, COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setleri kullanılmıştır. Deneylerde veri madenciliği aracı olan WEKA programı kullanılmıştır. Veri setleri 10 – kat çapraz doğrulama tekniği ile eğitim ve test verilerine rastgele ayrılmıştır. Oluşturulan Modellerin performans ölçümleri, korelasyon katsayısı, MAE, RMSE, RAE ve RRSE baz alınarak değerlendirilmiştir.

Doğru bir analiz karşılaştırması olabilmesi için bu algoritmaların hepsine Random Forest algoritması temel sınıflandırıcı olarak seçilip testler yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

Bazı algoritmalar (meta başlığı altındaki bütün algoritmalar, Lazy grubundan LWL, Rules grubundan Input Mapped) kendi parametrelerine ek olarak bir temel sınıflandırıcı ve onun parametrelerini alan meta yöntemlerdir. Bu algoritmalar için bütün olasılıklar incelenmiştir. Olabilecek en iyi performans ölçümü Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 3. COCOMO81 veri setine uygulanan algoritmaların performans ölçümleri

COCOMO81 Veri Seti					
ALGORİTMALAR	Ölçütler				
FONKSİYONLAR	Korelasyon katsayısı	MAE	RMSE	RAE(%)	RRSE(%)
Gaussian Processes	0,5401	790,6207	1529,4219	87,1334	83,3127
Linear Regression	0,6102	874,477	1480,8087	96,3751	80,6645
Multilayer Perceptron	0,6739	662,3573	1651,8813	72,9976	89,9834
Simple Linear Regression	0,5803	610,8756	1556,9319	67,3239	84,8112
SMOreg	0,6598	481,4058	1414,1265	53,0552	77,0321
LAZY					
IBK (K-nearest neighbor)	0,6391	597,2745	1495,836	65,8249	81,4831
KStar	0,5621	527,3596	1707,526	58,1197	93,0146
LWL	0,7852	513,1837	1320,6153	56,5574	71,9383
META					
Additive Regression	0,8095	471,6203	1169,6529	51,9767	63,7149
Attribute Selected Classifier	0,7766	480,6095	1266,5644	52,9674	68,994
Bagging	0,6842	615,7212	1427,0346	67,8579	77,7353
CVParameter Selection	0,7624	547,2516	1288,8028	60,312	70,2054
Multi Schema	0,759	527,6654	1317,3837	58,1534	71,7622
Random Comittee	0,7722	529,8123	1303,0491	58,39	70,9814
Randomizable Fitered Classifer	0,541	570,3308	1525,4542	62,8555	83,0965
Random SubSpace	0,6095	649,4035	1470,7424	71,57	80,1162
Regresiyon By Discretization	0,7482	555,2121	1348,4807	61,1893	73,4562
Weighted Instances Handler Wrapper	0,7624	547,2516	1288,8028	60,312	70,2054
MISC					
Input Maped Classifier	0,7624	547,2516	1288,8028	60,312	70,2054
RULES					
Decision Table	0,3947	616,2634	1785,8066	67,9177	97,2788
M5 Rules	0,7657	603,709	1289,9993	66,5341	70,2705
ZeroR	-0,3757	907,3682	1835,7614	100	100
TREE					
Desicion Stump	0,4596	717,5814	1673,7058	79,0838	91,1723
M5P	0,6843	517,3589	1334,687	57,0175	72,7048
Random Forest	0,7624	547,2516	1288,8028	60,312	70,2054
Random Tree	0,37	688,7117	1840,2042	75,9021	100,242
REP Tree	0,0902	787,8688	1904,8964	86,8301	103,766

Tablo 3'te, COCOMO81 veri setine uygulanan Makine Öğrenmesi algoritmalarının performans değerlendirme sonuçları belirtilmiştir. COCOMO81 veri setinde en iyi tahmini, Meta grubundan 0,8095 korelasyon katsayısı ve %51,9767 RAE hata payı ile Additive Regression algoritması gerçekleştirmiştir. Makine Öğrenmesi algoritmalarından ZeroR algoritması WEKA

aracı kullanılarak COCOMO81 veri setine maliyet tahmini için uygulandığında en kötü tahmin performansını göstermiştir. Tree grubundan REP Tree sınıflandırma algoritması ZeroR algoritmasından sonra 0,0902 korelasyon katsayısı ve %86,8301 RAE hata payı ile en kötü performansı sergilemiştir.

Tablo 4. COCOMONASA veri setine uygulanan algoritmaların performans ölçümleri

COCOMONASA Veri Seti					
ALGORİTMALAR	Ölçütler				
FONKSİYONLAR	Korelasyon katsayısı	MAE	RMSE	RAE(%)	RRSE(%)
Gaussian Processes	0,6387	269,4976	513,356	62,5047	77,0828
Linear Regression	0,7994	247,0464	431,768	57,2976	64,832
Multilayer Perceptron	0,8931	179,4526	310,3657	41,6205	46,6029
SMOreg	0,719	248,4012	462,9543	57,6118	69,5148
LAZY					
IBK (K-nearest neighbor)	0,5768	295,4267	590,2186	68,5184	88,6241
KStar	0,6772	220,4516	501,335	51,1294	75,2778
LWL	0,7779	210,3535	420,0186	48,7874	63,0678
META					
Additive Regression	0,8317	200,551	367,676	46,5139	55,2083
Attribute Selected Classifier	0,8251	202,3599	392,3317	46,9334	58,9105
Bagging	0,7871	222,7612	425,0947	51,6651	63,83
CVParameter Selection	0,8196	211,6876	403,4439	49,0968	60,579
Multi Schema	0,7818	217,0315	416,7733	50,3362	62,5805
Random Comittee	0,7813	217,802	422,6492	50,5149	63,4628
Randomizable Fitered Classifier	0,8825	148,6937	313,6628	34,4866	47,0979
Random SubSpace	0,6964	255,7131	474,6142	59,3076	71,2655
Regresiyon By Discretization	0,704	251,3443	470,4945	58,2944	70,647
Weighted Instances Handler Wrapper	0,8196	211,6876	403,4439	49,0968	60,579
MISC					
Input Maped Classifier	0,8196	211,6876	403,4439	49,0968	60,579
RULES					
Decision Table	0,4577	261,1296	609,2296	60,5639	91,4787
M5 Rules	0,9152	157,1147	263,9787	36,4397	39,6376
ZeroR	-0,4382	431,164	665,9798	100	100
TREE					
Desicion Stump	0,6981	303,2187	497,9172	70,3256	74,7646
M5P	0,922	150,9841	252,8864	35,0178	37,9721
Random Forest	0,8196	211,6876	403,4439	49,0968	60,579
Random Tree	0,7029	254,4593	519,1927	59,0168	59,0168
REP Tree	0,594	289,226	544,7618	67,0803	81,7985

Tablo 4'te, COCOMONASA veri setine uygulanan Makine Öğrenmesi algoritmalarının performans değerlendirme sonuçları belirtilmiştir. COCOMONASA veri setinde en iyi tahmini, Tree grubundan 0,922 korelasyon katsayısı ve %35,0178 RAE hata payı ile M5P algoritması gerçekleştirmiştir. Rules grubundan ZeroR algoritması COCOMO81 veri setinde olduğu gibi

COCOMONASA veri setinde de en kötü tahmin sonucunu üretmiştir. ZeroR algoritmasından sonra 0,4577 korelasyon katsayısı ve %60,5639 RAE hata payı ile Decision Table algoritması en kötü performansı sergilemiştir.

Tablo 5. COCOMONASA2 veri setine uygulanan algoritmaların performans ölçümleri

COCOMONASA2 Veri Seti					
ALGORİTMALAR	Ölçütler				
FONKSİYONLAR	Korelasyon katsayısı	MAE	RMSE	RAE(%)	RRSE(%)
Gaussian Processes	0,5966	535,8033	1003,274	82,9528	87,8166
Linear Regression	0,7294	430,7269	826,1252	66,6849	72,3107
Multilayer Perceptron	0,6147	653,0797	1313,2285	101,1095	114,9468
SMOreg	0,425	737,3497	1368,5567	114,1562	119,7897
LAZY					
IBK (K-nearest neighbor)	0,659	445,7796	924,0382	69,0154	80,881
KStar	0,7091	376,3781	821,2064	58,2707	71,8801
LWL	0,8183	332,7218	652,8788	51,5118	57,1464
META					
Additive Regression	0,7974	334,6625	682,1185	51,8123	59,7058
Attribute Selected Classifier	0,7168	379,1302	788,339	58,6968	69,0033
Bagging	0,7298	365,3964	778,686	56,5705	68,1583
CVParameter Selection	0,7415	365,1982	759,6982	56,5398	66,4963
Multi Schema	0,7392	370,4636	761,003	57,355	66,6105
Random Comittee	0,7595	358,2204	739,3583	55,4595	64,716
Randomizable Fitered Classifier	0,7158	371,1652	789,8391	57,4636	69,1346
Random SubSpace	0,6729	407,627	835,7404	63,1086	73,1523
Regresiyon By Discretization	0,7069	424,2558	799,3404	65,6831	69,9662
Weighted Instances Handler Wrapper	0,7415	365,1982	759,6982	56,5398	66,4963
MISC					
Input Maped Classifier	0,7415	365,1982	759,6982	56,5398	66,4963
RULES					
Decision Table	0,2525	564,7407	1186,1157	87,4329	103,8206
M5 Rules	0,7042	360,4728	805,1669	55,8082	70,4762
ZeroR	-0,3101	645,9132	1142,4663	100	100
TREE					
Desicion Stump	0,4183	567,6411	1063,2781	87,8819	93,0687
M5P	0,7171	348,3774	788,2642	53,9356	68,9967
Random Forest	0,7415	365,1982	759,6982	56,5398	66,4963
Random Tree	0,4882	459,4538	1016,6788	71,1324	88,9898
REP Tree	0,3464	540,5725	1094,5921	83,6912	95,8096

Tablo 5'te COCOMONASA2 veri setine uygulanan Makine Öğrenmesi algoritmalarının performans değerlendirmeleri verilmiştir. Algoritmaların performansları incelendiğinde en iyi tahmin sonucunun Lazy grubundan LWL algoritmasına ait olduğu görülmektedir. LWL algoritması var olan özellikleri ile çalıştırıldığında 0,4864 korelasyon katsayısı ve %79,8692 RAE hata payı ile tahminde bulunmaktadır. Fakat WEKA aracı kullanılarak özellikler penceresinden sınıflandırma özelliği Random Forest olarak değiştirildiğinde çok daha iyi performans sergilediği görülmüştür. WEKA aracı kullanılarak her bir sınıflandırma algoritmasının parametreleri değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmada doğru bir karşılaştırma analizinin yapılabilmesi için bütün algoritmaların

parametre olarak Random Forest algoritması verilmiştir. Bu veri setinde de diğer veri setlerinde olduğu gibi en kötü performansı ZeroR algoritması göstermiştir. ZeroR algoritmasından sonra en kötü tahmin sonucu Rules grubundan Decision Table algoritmasına aittir.

Aşağıdaki Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de algoritmaların COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setlerinde gösterebilecekleri en iyi performanslar belirtilmiştir. Bu performans ölçümlerinin elde edilebilmesi için ilgili algoritmaların özellikler penceresinden parametre değerleri değiştirilerek bütün olasılıklar denenmiştir. En iyi tahmin sonuçları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 6. COCOMO81 veri setine uygulanan algoritmaların en iyi performans ölçümleri

COCOMO81 veri seti			
ALGORİTMA	En iyi Algoritma	Korelasyon katsayısı	RAE(%)
LWL	Random Committee	0,8331	54,4355
Additive Regression	Random Committee	0,8282	49,6681
Attribute Selected Classifier	Random Committee	0,8656	50,3006
Bagging	Random Committee	0,7235	63,8393
CVParameter Selection	Random Committee	0,8764	48,5789
Multi Schema	Random Committee	0,8529	52,0718
Random Committee	Random Committee	0,8764	48,5789
Randomizable Fitered Classifer	IBK (K-nearest neighbor)	0,7722	57,5024
Random SubSpace	Random Committee	0,7109	63,5379
Regresiyon By Discretization	Multilayer Perceptron	0,8547	56,89
Weighted Instances Handler Wrapper	Random Committee	0,8227	51,606
Input Maped Classifier	Random Committee	0,8764	48,5789

Tablo 6 incelendiğinde en iyi tahmin sonucunun Random Committee algoritmasına ait olduğu görülmektedir. Bu performans değerinin elde edilebilmesi için şöyle bir yol izlenmiştir: Sınıflandırma algoritması olarak Random Committee seçildikten sonra özellikler penceresinden classifier özelliği yine Random Committee seçilmiştir. Seçilen Random Committee sınıflandırma algoritmasının classifier özelliği Random Tree olarak belirlenip algoritma çalıştırılmıştır. Buna benzer birçok

değişik senaryo gerçekleştirilmiştir. En iyi performans sonucu parametre olarak Random Committee algoritmasının verilmesi ile elde edilmiştir. Input Maped Classifier algoritması ve CVParameter Selection algoritmaları da aynı performansı sergilemiştir. Bu iki algoritmanın da özellikler penceresinden classifier özelliği Random Committee algoritması olarak atanmıştır. Bu şekilde en iyi performansı sergilenmiştir.

Tablo 7. COCOMONASA veri setine uygulanan algoritmaların en iyi performans ölçümleri

COCOMONASA			
ALGORİTMA	En iyi algoritma	Korelasyon katsayısı	RAE(%)
LWL	Linear Regression	0,8945	43,6739
Additive Regression	M5P	0,9371	31,7645
Attribute Selected Classifier	Multilayer Perceptron	0,8963	36,8339
Bagging	M5P	0,9175	29,0556
CVParameter Selection	M5P	0,922	35,0178
Multi Schema	M5P	0,922	35,0178
Random Committee	Randomizable Fitered Classifer	0,924	34,0002
Randomizable Fitered Classifer	SMOreg	0,9161	30,4218
Random SubSpace	Regresiyon By Discretization	0,817	64,1904
Regresiyon By Discretization	Randomizable Fitered Classifer	0,8309	60,419
Weighted Instances Handler Wrapper	M5P	0,922	35,0178
Input Maped Classifier	M5P	0,922	35,0178

Tablo 7 incelendiğinde en iyi tahmin sonucunun Additive Regression algoritmasına ait olduğu görülmektedir. Additive Regression algoritması Meta grubunda bulunan bir algoritmadır. Bu algoritma parametre olarak başka bir algoritma ya da yine kendisini alabilmektedir. En iyi tahmin sonucunun elde edilebilmesi için parametre olarak bütün algoritmalar denenmiştir. Parametre olarak Tree grubundan M5P algoritması

verildiğinde en iyi tahmin sonucu elde edilmiştir. Genel olarak COCOMONASA veri setinde yazılım maliyet tahmini için algoritmalar uygulandığında, algoritmalara parametre olarak Tree grubundan M5P algoritması verildiğinde en iyi performans değerleri elde edilmiştir.

Tablo 8. COCOMONASA2 veri setine uygulanan algoritmaların en iyi performans ölçümleri

COCOMONASA2			
ALGORİTMA	En iyi algoritma	Korelasyon katsayısı	RAE(%)
LWL	Random Comitte	0,8309	50,4804
Additive Regression	Random Forest	0,7974	51,8123
Attribute Selected Classifier	Random Comitte	0,774	56,0921
Bagging	Random Tree	0,7605	53,6467
CVParameter Selection	Random Comitte	0,783	54,5614
Multi Schema	Random Comitte	0,7923	55,2471
Random Comitte	Random Tree	0,783	54,5614
Randomizable Fitered Classifier	Random Comitte	0,8043	53,5075
Random SubSpace	Random Forest	0,6729	63,1086
Regresiyon By Discretization	Random Comitte	0,7793	64,1228
Weighted Instances Handler Wrapper	Random Comitte	0,7881	54,7878
Input Maped Classifier	Random Comitte	0,783	54,5614

Tablo 8’de WEKA aracı kullanılarak COCOMONASA2 veri setine uygulanan Makine Öğrenmesi algoritmalarının performans değerlendirmeleri verilmiştir. Algoritmaların performansları incelendiğinde en iyi performansın Lazy grubundan LWL algoritmasına parametre olarak Random Comitte algoritmasının verilmesi ile elde edildiği görülmüştür. Tablo 8 incelendiğinde COCOMONASA2 veri seti üzerinde parametre olarak Random Comitte algoritmasının verilmesi performansı olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

4. Sonuç

Yazılım projelerinin maliyet tahminin gerçekleştirilmesi için farklı tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Makine Öğrenmesi yöntemine dayalı geliştirilen modeller bu yöntemlerden bazılarıdır (Kayakuş, 2021). Bu çalışmada yazılım maliyet tahmini için PROMISE veri deposundan alınan COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setleri kullanılarak Makine Öğrenmesi algoritmaları test edilmiştir. WEKA aracı kullanılarak yapılan tahmin sonuçları incelendiğinde, algoritmaların hata oranlarının ve korelasyon katsayılarının uygulandıkları veri setlerine göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Bazı algoritmaların bazı veri setlerinde çok iyi çalışırken farklı parametrelerle ve farklı veri setlerinde kötü sonuçlar verebileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca veri setlerindeki öz niteliklerin, tahmin sonucunu çok etkilediği fark edilmiştir. COCOMONASA2 veri setinde 24 tane öz nitelik bulunmaktadır. Bu 24 öz nitelik kullanılarak Makine Öğrenmesi algoritmaları veri setine uygulandığında çok daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. COCOMONASA2 veri setinden maliyete etkisi olmayan 7 tane öz nitelik çıkarıldığında çok daha iyi performans değerleri elde edilmiştir. Ayyıldız (2007) çalışmasında, yazılım projelerinin maliyet tahmini için yeni bir ölçüt kümesi sunmuştur. Araştırmacı doğru ve nitelikli ölçüt kümesinin tahmin sonucunu ciddi biçimde etkilediğini ispatlamıştır.

Bazı algoritmalar, kendi parametrelerine ek olarak başka bir sınıflandırıcı ve onun parametrelerini alabilen algoritmalarıdır. Doğru bir analiz karşılaştırması olabilmesi için bu algoritmaların hepsine Random Forest algoritması temel sınıflandırıcı olarak seçilip testler yapılmıştır.

Test sonuçları incelendiğinde COCOMO81 veri setinde en iyi tahmin algoritmasının Meta grubundan 0,8095 korelasyon

katsayısı ve %51,9767 RAE hata payı ile Additive Regression algoritması olduğu, COCOMONASA veri setinde en iyi tahmin algoritmasının Tree grubundan 0,922 korelasyon katsayısı ve %35,0178 RAE hata payı ile M5P algoritması olduğu, COCOMONASA2 veri setinde en iyi tahmin algoritmasının Lazy grubundan 0,8183 korelasyon katsayısı ve %51,5118 RAE hata payı ile LWL algoritmasının olduğu gözlemlenmiştir.

Kendi parametrelerine ek olarak başka bir sınıflandırıcı ve onun parametrelerini alan algoritmalar (Meta başlığı altındaki bütün algoritmalar, Lazy grubundan LWL, Rules grubundan Input Mapped) için bütün olasılıklar denenmiştir. COCOMO81 veri seti kullanılarak yapılan tahmin algoritmalarından en iyi performansı 0,8764 korelasyon katsayısı ve %48,5789 RAE hata payı ile Meta grubundan Random Comitte algoritması gerçekleştirmiştir. COCOMONASA veri seti kullanılarak yapılan tahmin algoritmalarından en iyi performansı 0,9371 korelasyon katsayısı ve %31,7645 RAE hata payı ile M5P algoritmasının parametre olarak verilmesi ile Additive Regression algoritması gerçekleştirmiştir. COCOMONASA2 veri setine uygulanan algoritmalar incelendiğinde, en iyi performansın LWL algoritmasına parametre olarak Random Comitte algoritmasının verilmesi ile elde edildiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada WEKA aracı ile Makine Öğrenmesi algoritmalarının PROMISE veri deposunda bulunan COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setleri kullanılarak yazılım maliyet tahmininde gösterdikleri performanslar incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bir algoritmanın her zaman en iyi sonucu üretmediği, farklı veri setleriyle farklı sonuçlar ürettiği bilgisine ulaşılmıştır.

Bu çalışma sayesinde yazılım maliyet tahmini için hangi Makine Öğrenmesi algoritmalarının kullanılabileceği, bu algoritmaların COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setlerine uygulandığında tahmin sonuçlarının neler olabileceği ve en iyi çalışan algoritmaların hangileri olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

Marapelli (2019) çalışmasında Lineer Regresyon ve K-en yakın komşuluk algoritmalarının performanslarını WEKA aracı kullanarak değerlendirmiştir. Araştırması çalışmasında COCOMO81, COCOMONASA ve COCOMONASA2 veri setleri için sadece 2 tane algoritma denemiştir. Bizim çalışmamızda 27 tane algoritmanın test sonuçları analiz edilmiştir.

Bu sayede bu çalışma daha kapsamlı bir çalışma olmuştur. Daha sonraki bir çalışmada, farklı metodolojiler ile hazırlanmış yazılım projelerinin veri setleri kullanılarak WEKA aracında testler yapılabilir. Test sonuçları analiz edilerek COCOMO veri setleri kullanılarak yapılan test sonuçları ile karşılaştırılabilir ya da bu çalışmada kullanılan Makine Öğrenmesi algoritmaları farklı bir platformda tekrar test edilerek sonuçlar karşılaştırılabilir. Genetik Algoritmalar ve Bulanık Mantık gibi Yapay Zeka'nın diğer yöntemleri de yazılım projelerinin maliyet tahmini için kullanılabilir.

Kaynakça

- Adalier, O. (2008). Yapay Zekâ Yöntemleri İle Yazılım Projelerinde Maliyet Kestirimi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Alpaydın, E. (2011). Yapay Öğrenme, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
- ANSI/PMI. (2008). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Project Management Institute, Inc., Newtown Square, Pennsylvania, ISBN: 978- 1-933890-51-7.
- Aydın, S. Özkul, A. E. (2015). Veri Madenciliği Ve Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Sisteminde Bir Uygulama, *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 4(3), 38.
- Ayyıldız, M. (2007). Yazılım Projeleri Ölçüm Sonuçları Veri Tabanının Oluşturulması ve Yeni Yazılım Projelerinin Maliyet Tahmininde Kullanımı, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güven Aydın, Z.B. ve Samli, R. (2020). A Comparison of Software Defect Prediction Metrics Using Data Mining Algorithms, *Journal of Innovative Science and Engineering*. 4(1), 11-21.
- Gültekin, M. (2019). Makine Öğrenmesi Tabanlı Yazılım Maliyet Tahmini Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güven Aydın, Z.B. (2021), Makine Öğrenmesi Yöntemleri İle Yazılım Hata Tahmini, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul.
- Kaluza, B. (2016). *Machine Learning in Java*, Pact Publishing.
- Karataş, E.K. (2011). Yapay Sinir Ağları İle Yazılım Projesi Maliyet Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Kayakuş, M. (2021). Yazılım Çaba Tahmininde Yapay Sinir Ağları İçin Optimum Yapının Belirlenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22, 43-48.
- Kızılkaya, Y. M. ve Oğuzlar, A. (2018). Bazı Denetimli Öğrenme Algoritmalarının R Programlama Dili İle Kıyaslanması, *Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi*, 37(37), 90 – 98.
- Kulter, Y., Turhan, B. ve Baner, A. (2009). Ensemble of neural networks with associative memory (ENNA) for estimating software development costs, *Knowledge-Based Systems*, 395-402.
- 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.
- LIU, Q. ve Mintram, R.C. (2005). Preliminary Data Analysis Methods in Software Estimation, *Software Quality Journal*, 13, 91-115.
- Marapelli, B. (2019). Software Development Effort Duration and Cost Estimation using Linear Regression and K-Nearest Neighbors Machine Learning Algorithms, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 9(2), 2278-3075.
- Niranjan, A., Prakash, A., Veena, N., Geetha, M., Deepa S. ve Venugopal, R. (2017). EBJRV: An Ensemble of Bagging, J48 and Random Committee by Voting for Efficient Classification of Intrusions, *IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)*, Dehradun, India.
- Prabhakar ve Dutta, M. (2013). Application of machine learning techniques for predicting software effort, *Elixir Comp. Sci. & Eng.* 56, 13677-13682.
- Prowmes blog. (2019). Makine Öğrenmesi. 14 Ağustos 2020 tarihinde <http://www.prowmes.com/blog/makine-ogrenmesi> adresinden erişildi.
- Sezer, A. (2008). Yazılım Projelerinde Yapay Sinir Ağı Uygulaması İle Maliyet Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, İstanbul.
- Sommerville, I. (2000). *Software Engineering (6th Edition)*, Addison-Wesley .
- TDK. (2018). Yazılım. 22 Haziran 2018 tarihinde <http://www.tdk.gov.tr> adresinden erişildi.
- Torkul, O., Gülseçen, S., Uyaroğlu, Y., Çağıl, G., Uçar, M. K. (2017). Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları, Sakarya Üniversitesi Kütüphanesi Yayınevi, Sakarya
- Yergök, G. ve Acı, M. (2019). Toplu Yemek Üretiminde Günlük Talep Tahmini için Alternatif Bir Yaklaşım: Öğrenci Regresyon, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, özel sayı, 64-73.
- Wikipedia. (2020). Korelasyon. 25 Ocak 2021 tarihinde <https://tr.wikipedia.org/wiki/> adresinden erişildi.



DSP Tabanlı Fırçasız Doğru Akım Motorunun Bulanık Mantık ile Kontrolü

Ali Bahadır^{1*}, Ömer Aydoğdu²

^{1*} İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8322-2527), bahadir@itu.edu.tr

² Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0815-0356), oaydogdu@ktun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 9 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 4 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.877627)

ATIF/REFERENCE: Bahadır, A. & Aydoğdu, Ö. (2021). DSP Tabanlı Fırçasız Doğru Akım Motorunun Bulanık Mantık ile Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 427-434.

Öz

Bu çalışma, yeni tip bir Dijital Sinyal İşlemci (DSP) tabanlı Fırçasız Doğru Akım Motoru'nun (FDAM) bulanık mantık ile kontrolüne odaklanmıştır. Fırçasız doğru akım motorunun kontrol yapısı, FDAM MATLAB/Simulink modeli ve FDAM bulanık kontrol MATLAB/Simulink modeli gerçekleştirilmiştir. Hız akım bilgilerinin ölçümü ve hesabının yapılması koda aktarılması gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları elde edilmiş. Gerçek sistem üzerinde deneyler yapılmış ve simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının paralellik gösterdiği ve bulanık mantık kontrol algoritmasının çok verimli bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fırçasız Doğru Akım Motoru, Simulink modeli, DSP, Gerçek Zamanlı, Gömülü Sistem, Bulanık Mantık.

Fuzzy Logic Control of DSP Based Brushless Direct Current Motor

Abstract

This study focuses on the control of a new type of Digital Signal Processor (DSP) based Brushless DC (BLDC) motor with fuzzy logic. The control structure of brushless direct current motor, BLDC MATLAB/Simulink model and BLDC fuzzy control MATLAB/Simulink model are realized. The measurement and calculation of the speed flow information were transferred to the code. Simulation results are obtained. Experiments have been carried out on the real system and it has been determined that the simulation results and the experiment results are parallel and the fuzzy logic control algorithm works very efficiently.

Keywords: Brushless Direct Current Motor, Simulink model, DSP, Real Time, Embedded System, Fuzzy Logic.

* Sorumlu Yazar: bahadir@itu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtlarının azalması, insanları alternatif enerji kaynakları aramaya ve kullanmaya teşvik etmektedir. Ayrıca fosil yakıtların yakılmasıyla oluşan karbondioksit, metan, karbonmonoksit, kükürdioksit gibi artık gazlar atmosferi kirletmekte ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır (Abdulhamitbilal E. (2010); Tutelea, L.; I. Boldea, I., (2007); Ustun, O., Yilmaz, M., Gokce, C., Karakaya, U., Tuncay, R. N., (2009)).

Günümüzde fosil yakıtların kullanımını azaltmak adına elektrikli araçlara olan ilgi ve bu alandaki yatırımlar artmaktadır. Bu araçların en büyük problemi olan yakıt ikmali ise gelişen akü teknolojisi ve hızlı şarj teknikleri sayesinde aşılmaya çalışılmaktadır. (Abdulhamitbilal E. (2010), Tutelea, L.; I. Boldea, I., (2007), Ustun, O., Yilmaz, M., Gokce, C., Karakaya, U., Tuncay, R. N., (2009)).

Elektrikli araç konusunda olsun diğer robotik, tıp elektronigi, iklimlendirme sistemleri, endüstriyel çözümler, çamaşır makinası, buzdolabı, bulaşık makinası, drone, insansız kara, hava, denizaltı araçları gibi birçok alanda yapılan çalışmalarda verimliliğinin yüksek olması sebebi ile Fırçasız Doğru Akım Motoru (BLDC) ve Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor (PMSM) tercih edildiği görülmektedir. (Markovic, M., Hodder, A., Perriard, Y. (2009); Zhao, L., Ham, C., Zheng, L., Wu, T., Sundaram, K., Kapat, J., Chow, L. (2007); Magnetics, 43(6), 2528-2530; Tuncay, R.N., Üstün, O., Yılmaz, M., Gökce, C., Karakaya, U.(2011); Nair, S.S., Nalakath, S., Dhinagar, S.J. (2011))

FDAM ve PMSM motorların rotorlarında sabit mıknatıs olması sebebiyle asenkron motora göre kayıpları az olacağından verimleri yüksektir. Kayıplar azaldığından sıcaklıkta azalır. Kullanılan mıknatısların maliyetlerinden dolayı fiyatları asenkron motora göre daha yüksek olmasına rağmen eskiye nazaran fiyatları düşmektedir. Kilogram başına güç değerleri yüksek olduğundan asenkron motorlara göre daha hafiftirler ve daha az yer kaplarlar. Bu motorlar diğer motorlara nazaran çok daha sessizdirler, soğutması kolaydır, güvenilir çalışma ortamı sağlar, yüksek hızlarda çalışma imkânı sağlar, fırçasız yapıları sebebiyle ark oluşturmaz, karbon tozları oluşmaz, uyarma akımına ihtiyaç duymaz. Ancak kontrolü daha zordur, kontrol devresi karmaşıktır, pozisyon sensörlerine ihtiyaç duyarlar. (Nair, S.S., Nalakath, S., Dhinagar, S.J. (2011); Park, S.J., Park, H.W., Lee, M.H., Harashima, F. (2000); Zarko, D., Ban, D., Lipo, T.A. (2006); Rahim, N.A., Hew Wooi Ping, H.W., Tadjuddin, M. (2007))

Çalışmada ilk adım olarak sistem fırçasız doğru akım motorunun simülasyon modeli elde edilmiş ve ardından motor sürücü sisteminin pratik uygulaması yapılmıştır. Önerilen tahrik sisteminin esnekliği floating point olan bir DSP kullanılarak artırılmıştır. Önerilen kontrol algoritması, Code Composer Studio Compiler uygulamasında programlanmıştır ve üç fazlı tam kontrollü köprü dönüştürücünün MOSFET'leri çalıştırmak için gereken tetikleme darbelerini üretir. Fırçasız doğru akım motoru tam kontrollü sürücü devresini sürmek için gerekli PWM sinyallerini TMS320F28069 DSP komütasyon tablosuna uygun şekilde üretmektedir. Önerilen sürücünün performansını analiz etmek için sürücü sisteminin matematiksel bir modeli geliştirilmiştir. Simülasyon modeli Matlab/Simulink ortamı kullanılarak geliştirilmiştir. Simülasyon ve deneysel sonuçlar, geliştirilen sürücü çalışmasının etkinliğini göstermiştir.

Bu çalışmada, Matlab/Simulink blok setlerini kullanarak DSP tabanlı kontrol yönteminin tasarımını, otomatik model tabanlı gerçek zamanlı gömülü kod üretimini, yürütülebilir kodun TMS320F28069 DSP kartına indirilmesini içeren hızlı prototipleme ve bulanık mantık kontrol algoritması sunulmuştur. DSP ile entegre Matlab/Simulink tabanlı geliştirme platformu, DSP algoritmalarının tasarım doğrulaması için yararlı bir geliştirme aracı sağlar. Deneysel sonuçlar, PWM kontrol yapısı kullanılarak geliştirilen kodun oldukça verimli olduğunu ve geliştirme döngüsü süresinin büyük ölçüde azaldığını göstermektedir. Başka bir deyişle düşük geliştirme maliyetiyle hızlı prototipleme sürecinin başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Alan etkili (Hall effect) sensör sinyalleri, rotor konumunu algılamak için kullanılır. Bu sensör sinyalleri, faz akımı algılama sinyali, hız komutu (referans hız) dijital denetleyicinin girdisidir. Hem açık çevrim hem de kapalı çevrim hız ve akım kontrol döngüsü sistem içerisinde başarı ile sonuç vermiştir. Giriş komutu, geri besleme komutu ve kontrol algoritmasına göre, DSP tarafından üretilen her faz için PWM darbeleri MOSFET sürücüsüne verilir. Sürücünün çıkışı FDA motorun statörüne verilen; üç fazlı tam köprü invertörde kullanılan altı MOSFET güç anahtarının karşılık gelen kapısına verilmesi gereken 6 bağımsız PWM darbesidir. Tahrik performansı, başlatma, hızın tersine çevrilmesi ve yük karışıklığı için incelenmiştir. Sistem yanıtı, normal komutasyona göre PWM sinyalleri ile kontrole nazaran bulanık denetleyici kullanımı çok daha başarılı olmuştur. FDAM'ın istenilen referans hız değerine ulaşması çok çok kısa sürede gerçekleşmektedir.

2. Materyal ve Metot

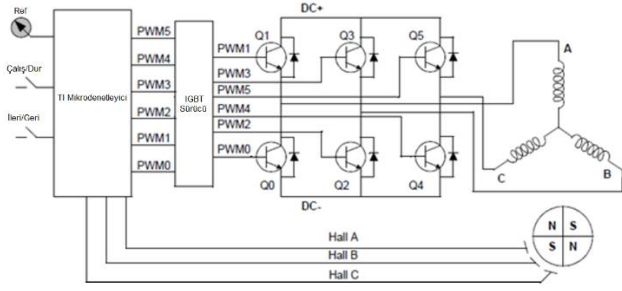
2.1. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Kontrolü ve Modeli

Fırçasız doğru akım motorunun kontrolü, motorun akım değerinin kontrolü ve rotor ve stator akı senkronizasyonu şeklinde iki bağımsız kısma ayrılabilir. FDAM üç fazlı -AA dönüştürücüde algılayıcılardan, örneğin hall-effect sensörlerinden veya algılayıcısız kontrol yapısında, örneğin sıfır geçiş noktalarının tespitinden konum bilgisi alınır ve tablo 1 ve 2. de açıklandığı gibi komütasyon sırası ve anahtarlama çifti zamanlamaları belirlenerek akı senkronizasyonu gerçekleştirilir. Anahtarlama elemanlarına uygulanacak sinyal ve açılı aralıkları faz sayısına bağlı olarak tespit edilir, bu açılara uygun darbe genişlik modülasyonu (PWM) tetikleme sinyalleri elde edilir veya histerisiz kontrol yapılarak akım kontrolü gerçekleştirilmiş olur.

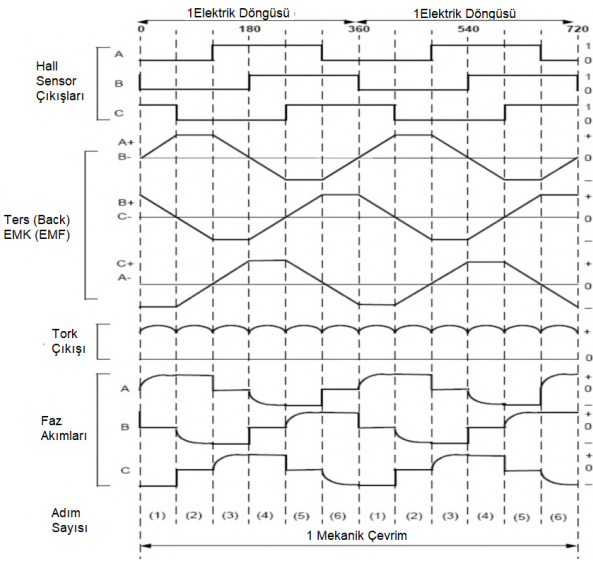
Moment Titreşimleri: Komütasyon sırasındaki moment dalgalılığı (Akımın azalması ve yükselmesi), diş etkisi momenti (motor geometrisi, mıknatıs yay açısı), endüklenen gerilimdeki bozukluklar (doyma, endüvi reaksiyonu, üretim hatası, demagnetizasyon, kaçak akı), akım dalgalanmaları (Histerisiz kontrol) gibi etkilerden oluşur. Bu dalgalanmaların dikkate alınmaması endüklenen gerilimin daha temiz net bir trapezoidal şekile sahip olması anlamına gelir.

Üç faz için altılı anahtarlama elemanı olarak MOSFET, IGBT, GaN veya SiC kullanılabilir. Çalışma gerilimi, akımı, verimliliği, anahtarlama kayıpları, termal dayanım, termal üst alt sınırlara çıkabilme, maliyet gibi parametrelere bağlı olarak seçim yapılır. Seçilen anahtarlama elemanının çalışma yapısına göre bu elemanı sürececek sürücü bir devre tasarlanır. Bu sistemin PWM anahtarlama çıkışlarını, alan etkili sensörlerden alınan konum bilgisine göre verecek bir mikrodenetleyicinin seçilmesi

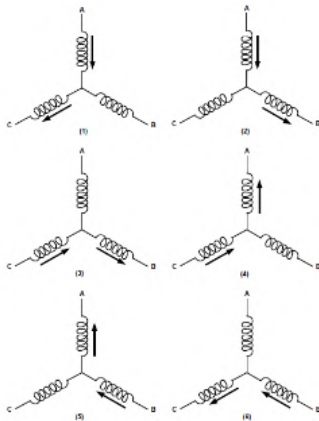
gerekecektir. Bu çalışmada mikrodenetleyici olarak, hızlı otomotiv standartlarına uygun floating point Texas Instrument firmasına ait TMS320F28069 DSP işlemcisi tercih edilmiştir.



Şekil 1. Faz akımları ve anahtarlama açma değerleri



Şekil 2. Alan etkili (hall effect) sensör çıkışları, faz akımları ters EMK sinyalleri ve adımları



Şekil 3. Her bir adım için sargı uyarıları faz akımları

Her rotor kutup çifti için bir elektrik çevrimi tamamlanmalıdır. Saat yönünde veya saat yönünün tersinde motoru çevirmek için öncelikle hall-effect sensörden gelen o anki bilgiyi okumalıyız, konumuzu belirlemeliyiz. Bu bilgiye göre hangi yönde döndürmek istiyor ise Tablo 1. ve Tablo 2'deki tablolarda belirtilen anahtarlara PWM sinyali uygulanır ve bu tablodan ikinci verilmesi gerekli anahtarlama elemanlarının

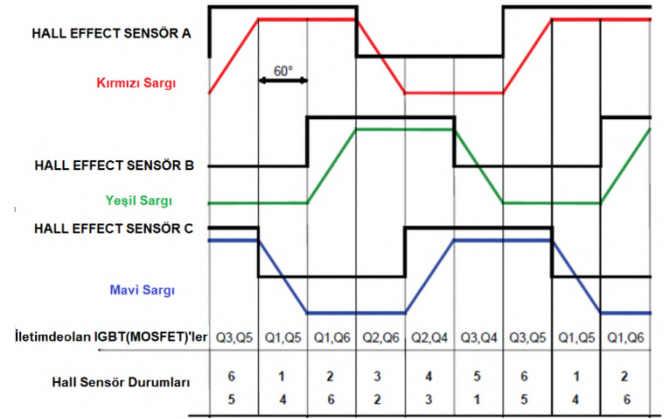
PWM'leri uygulanır. Bu döngü bu şekilde sürdürülerek motor istenen yönde çevrilmiş olur.

Tablo 1. FDAM motoru saat yönünde döndürmek için uyarım sırası

Adımlar #	Hall Sensör Girişleri			Aktif PWM'ler		Faz Akımları		
	A	B	C			A	B	C
1	0	0	1	PWM1(Q1)	PWM4(Q4)	DC+	Off	DC-
2	0	0	0	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	DC+	DC-	Off
3	1	0	0	PWM5(Q5)	PWM2(Q2)	Off	DC-	DC+
4	1	1	0	PWM5(Q5)	PWM0(Q0)	DC-	Off	DC+
5	1	1	1	PWM3(Q3)	PWM0(Q0)	DC-	DC+	Off
6	0	1	1	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	Off	DC+	DC-

Tablo 2. FDAM motoru saat yönünün tersi döndürmek için uyarım sırası

Adımlar #	Hall Sensör Girişleri			Aktif PWM'ler		Faz Akımları		
	A	B	C			A	B	C
1	0	1	1	PWM5(Q5)	PWM2(Q2)	Off	DC-	DC+
2	1	1	1	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	DC+	DC-	Off
3	1	1	0	PWM1(Q1)	PWM4(Q4)	DC+	Off	DC-
4	1	0	0	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	Off	DC+	DC-
5	0	0	0	PWM3(Q3)	PWM0(Q0)	DC-	DC+	Off
6	0	0	1	PWM5(Q5)	PWM0(Q0)	DC-	Off	DC+

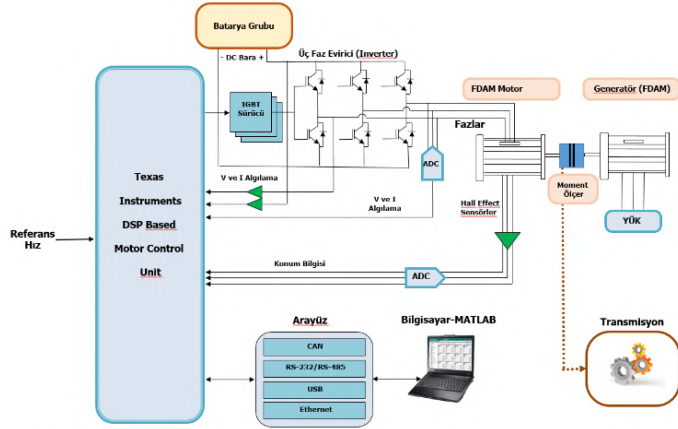


Şekil 4. BEMF ve Hall Sensörü Çıkışları Arasındaki İlişki

Fırçasız doğru akım motorları, rotorunda bulunan sürekli mıknatıslar ile iletken akımlarının etkileşimi sonucu endüklenen momentin enerji dönüşümünü oluşturan elektrik makinasıdır. Fırçalı doğru akım motorlarında rotor akımının kollektör tarafından değişimi, tek yönlü düzgün moment ile oluşturulurken fırçasız doğru akım motorlarında ise rotordaki mıknatısın her kutup değişiminde statordaki iletkenlerin akım yönleri güç yarı iletken anahtarlama elemanları ile değiştirilir. Böylece komütasyon ile kontrol edilmiş doğru akım makinası gerçekleştirilmiş olur (Ustun, O., Yilmaz, M., Gokce, C., Karakaya, U., Tuncay, R. N., (2009)).

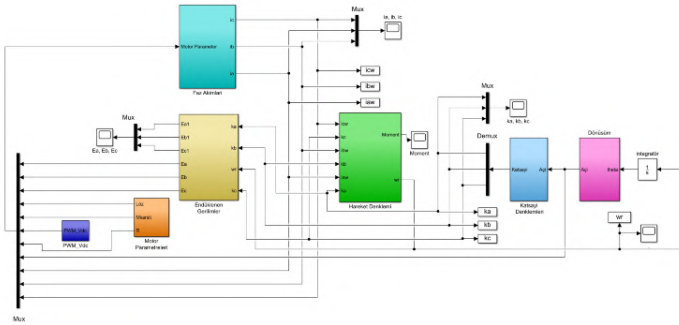
Texas Instrument firmasına ait TMS320F28069 DSP işlemcisi ile FDAM PWM sinyalleri üretilerek standart kontrol algoritması ile çalıştırılmıştır. K_p , K_i , K_d değerlerini değiştirerek moment, devir değişimleri ve referans değeri hata değeri ve hatası gözlemlenmektedir. MATLAB Simulink'te gerçekleştirilen bulanık kontrol yapısını simulink üzerinden doğrudan floating point Texas Instrument firmasına ait TMS320F28069 işlemcisine yüklenmiş ve sistem gerçek zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Hem denenen güç katı hem de denenen kontrol yazılımının gömülü bir

sisteme aktarılması gerekmiştir. Bazı gömülü sistem yapılarını MATLAB Simulink o işlemciye ait emülatör üzerinden doğrudan görmekte ve simulink blok diyagramlı yapıyı hex dosyasına çevirerek gömülü işlemciye yükleyebilmektedir. MATLAB Simulink üzerinden gömülü sisteme geçmenin en kolay yolu budur. Ancak, bu yapıda yazılım çok yavaş çalışmakta yazılımın içinde sistemi yavaşlatan birçok konfigürasyon ve kullanılmayan include dosyaları bulunmaktadır. Gömülü işlemcinin yapısına uygun bir şekilde tasarlanan kontrol algoritmasının C gibi güçlü hızlı bir dil ile baştan yazılması sistemin çok hızlı, kararlı ve verimli çalışmasını sağlamaktadır. Bir de tasarlanan kontrol yazılımı emniyetin, güvenliğin en üst olduğu otomobil, İHA, uçak gibi sistemlerde kullanılıyor ise bu konu çok daha önem arz etmektedir. Dört farklı gömülü sistem yapısı seçilmiş bu mikrodenetleyicilerin yapısına göre kontrol algoritmaları yeniden C dilinde yazılmıştır (TMS320F28069 Data Manual. (2004).



Şekil 5. DSP Temelli FDAM Kontrol Genel Blok Diyagramı

FDAM'nin MATLAB Simulink modeli gerçekleştirilmiştir. MATLAB R2018b versiyonu ile bu tasarımlar gerçekleştirilmiştir (Simulink, Simulation and Model-Based Design (2020)).



Şekil 6. FDAM MATLAB Simulink Modeli

Fırçasız Doğru Akım Motorunun matematiksel ifadesi 1 nolu denklem'de görülmektedir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \\ i_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R}{L} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \\ i_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} e_1(t) \\ e_2(t) \\ e_3(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

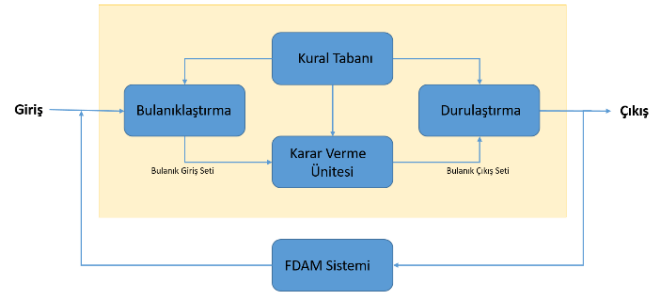
FDAM kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Fazların elektriksel momentleri, EMK ve akım değerleri gözlemlenmiştir.

2.2. FDAM'ın Bulanık Mantık Kontrolü

Klasik kontrol mantığının (PI-PID) yetersiz kaldığı durumlarda sistem kontrolünde kullanılabilecek en iyi akıllı kontrol yöntemlerinden biri bulanık mantık kontrol (Fuzzy Logic Control) yöntemidir. Bulanık mantık kontrol sistemleri yapısı itibari ile lineer olmayan, insan algı ve deneyiminin sisteme yansıtılması gerektiği konularda, problemin matematiksel modelinin tasarlanamadığı ya da çok zor tasarlandığı durumlarda iyi bir performans veren ve tercih edilen bir yöntemdir. İnsan algısının dilde kullanılan şekliyle ifadeleri kullanan bulanık mantık kontrol yapıları üç temel kısımdan meydana gelir:

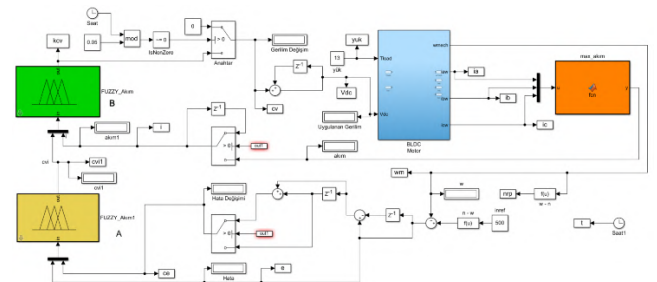
1. Bulanıklaştırma (Fuzzification): Kontrol sistemini tasarlayan kişinin o sistem için tespit ettiği ve kullanmak istediği parametrelerin yani bilgilerin üyelik fonksiyonları türünden ifade edilmesi işlemidir.
2. Kural Tabanı (Fuzzy Inference): Kontrol sistemini tasarlayan kişinin o sistem için edinmiş olduğu tecrübe ve bilgi birikimine göre şartlara uygun kuralların oluşturulması işlemidir.
3. Durulaştırma (Defuzzification): Sistem içerisinde kullanılan bulanık mantık değerlerinin tekrar insan algısına uygun kesin değere çevrildiği işlemidir.

Fırçasız doğru akım motorunun lineer olmayan karmaşık, ayrıntılı matematik modelinin oluşturulmadan, buna gerek duyulmadan uygun üyelik fonksiyonları ve kural tabanı tabloları oluşturularak bulanık mantık kontrolörü ile basit, hızlı cevap ve karar verebilen bir yapı oluşturulabilmektedir. Bu yöntem ile fırçasız doğru akım motoru içinde hız kontrolü gerçekleştirilebilir.



Şekil 7. Bulanık mantık kontrol yapısı blok diyagramı

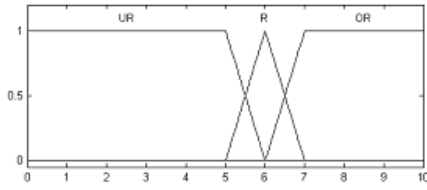
FDAM bulanık mantık kontrolü MATLAB R2018b Fuzzy Logic Toolbox'ı kullanılarak tasarlanmıştır (IQ Math on the Texas Instruments TMS320C28x DSP. (2004)).



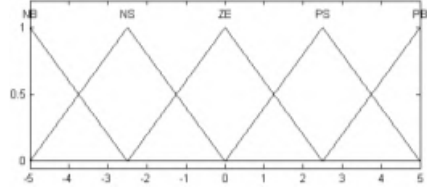
Şekil 8. FDAM bulanık mantık kontrol MATLAB simulink modeli

Bulanık mantık kontrol yapısında giriş değerleri bulanıklaştırma, kontrol ve durulaştırma aşamalarından geçer.

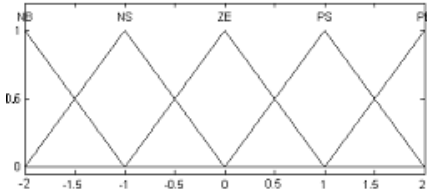
Bulanık kontrolde kural tabanı oluşturulur, üyelik fonksiyonları hazırlanır. Bir elemanın bir alt kümeyle olan yakınlığının 0 ile 1 arasında bir değerle ifade etme işine üyelik fonksiyonu diyoruz. Kural tabanındaki kurallara uyarak elde edilen bilgilerin bulanık değerlere çevrilmesi işlemine bulanıklaştırma diyoruz. Giriş değerleri, üyelik fonksiyonları kullanılarak kural tabanı sonrası en uygun değeri çıktısı olarak verir. Bulanıklaştırma işlemi, üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi ile şekil 9’da akıma ilişkin üyelik fonksiyonları (i), şekil 10’da hesaplanan ve uygulanan gerilimlerin değişimine ilişkin üyelik fonksiyonları (cvi), şekil 11’de hız hatasına ilişkin üyelik fonksiyonları (e), şekil 12’de hız hatasının değişimine ilişkin üyelik fonksiyonları (ce) gibi gerçekleştirilmiştir.



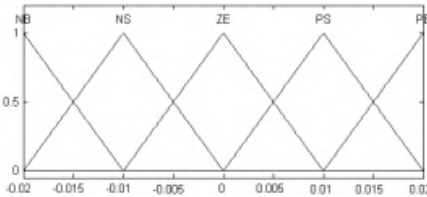
Şekil 9. Akıma ilişkin üyelik fonksiyonları (i)



Şekil 10. Hesaplanan ve uygulanan gerilimlerin değişimine ilişkin üyelik fonksiyonları (cvi)



Şekil 11. Hız hatasına ilişkin üyelik fonksiyonları (e)



Şekil 12. Hız hatasının değişimine ilişkin üyelik fonksiyonları (ce)

FDAM Bulanık mantık kontrol yapısının belirlenen kural tabanları Tablo 3’ de gösterilmiştir. (Moshiri B. and Rashidi F.(2004))

Tablo 3. Bulanık Kontrolör hız ve akım kuralları

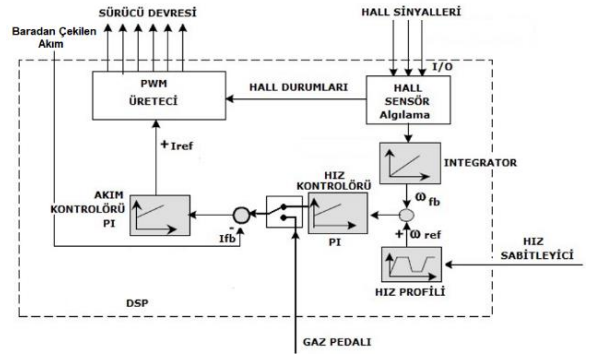
ce\e	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	NS
NS	NB	NB	NS	NS	NS
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	PS	PS	PS	PB	PB
PB	PS	PS	PB	PB	PB

cvi\i	NB	NS	ZE	PS	PB
UR	NB	NB	NB	NS	NS
R	NB	NB	NS	NS	NS
OR	NB	NS	ZE	PS	PB

2.3. Hız, Akım İlgilerinin Ölçülmesi

FDAM’ın alan etkili (hall effect) sensör bilgilerine göre oluşturulan komutasyon lojik işaretleri DSP’ye C dilinde yazılan kontrol algoritmasına yüklenmiş ve oluşturulan DA-AA dönüştürücü ile motor açık çevrim çalıştırılmıştır. Bu aşamada girilen çalışma oranına karşılık ortalama gerilim değiştirilerek motor farklı hızlarda sürülmüştür.

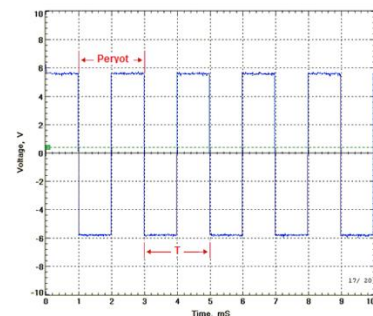
FDAM parametrelerine göre tasarlanan tork kontrolü algoritması çalıştırılmıştır. Tork kontrolü yapısındaki en büyük problemi çalışılan motorun küçük akımlarla çalışması ve bu düşük akımın algılanması sırasında sisteme gelen gürültülerinin etkisinin artmasıdır. Akım kontrolörlü sistemde, FDAM’ın girilen referans akım değerini izlemeye çalıştığı bir yapı söz konusudur. FDAM yüklendiğinde, kontrolör, motor referans akımını takip edilebilmesi için hızını azaltmakta ve akımını sabit tutmaya çalışmaktadır. Basit bir şekilde hız, akım kontrolör yapısının blok diyagramı şekil 13’de görülmektedir.



Şekil 13. DSP ile hız akım ölçme blok diyagramı

Akım okumalardaki gürültüler nedeniyle hız kontrol sisteminde, kaskat yapı yerine daha basit bir sistem kullanılmıştır. Bu durumda akım kontrol altında tutulmadığı için hız referansı belli bir rampa işareti izleyerek artmakta ve azalmakta dolayısıyla akımdaki ani sıçramalara izin verilmemektedir. Ancak akım maksimum değeri geçtiğinde anahtarlama kesilmekte ve sistem korumaya alınmaktadır. Bu çalışmada iki farklı motor ile çalışılmıştır. Bunlar Nema 17 Fırçasız Doğru Akım Motoru ve Moog NC23 Fırçasız Doğru Akım Motoru’dur.

Hız ölçümü FDAM’ın alan etkili sensörlerinden gelen verilere göre yapılmıştır. Alan etkili sensör verileri DSP’nin “capture” pinleri ile alınıp değerlendirilmiştir. Capture özelliği ile aynı zamanda bir alan etki sensörünün iki yükselen kenar arasındaki mesafe saydırılarak hız verisi elde edilmiştir. FDAM’da bulunan üç adet alan etkili sensörün her biri, bir devirde kutup çifti sayısı (p) kadar darbe gönderir. DSP’nin ‘capture’ birimi ile iki yükselen kenar arası mesafe DSP saat darbeleriyle orantılı olarak saydırılabilir.



Şekil 14. Alan etkili (hall-effect) sensör çıkış sinyali

Şekil 14’de görüldüğü gibi alan etkili sensör çıkışının iki düşen kenarı arası veya iki yükselen kenarı arası mesafe DSP’de T olarak tanımlanmıştır. FDAM’ın devir sayısı;

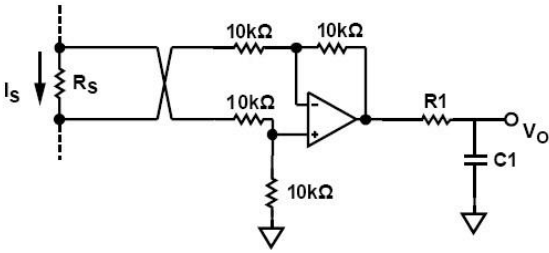
$$n = \frac{f_{clk} \cdot 60}{p} \cdot \frac{1}{T} [rpm] \quad (2)$$

Burada,

felk: DSP’nin çalışma frekansı,

p : motorun kutup çifti sayısıdır.

Akım ölçümü yapılırken birinci yöntem olarak; DA-bara’ya bağlı şönt direnç üzerindeki gerilim düşümü analog porttan okunmuştur. Devre topolojisinde kontrol devresi ile güç katı referansları birbirinden farklı olduğu için, fark kuvvetlendirici kullanılmıştır.



Şekil 15. Akım algılama devresi

Fark kuvvetlendiricisinin kazancı 1 seçilerek, çıkış gerilimi direnç üzerindeki gerilim düşümü olacaktır.

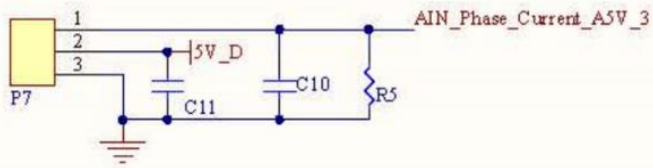
$$V_o = i_s \cdot R_s \quad (3)$$

Akımın ölçülmesinde çıkış, anahtarlama gürültüleri başta olmak üzere çeşitli birçok gürültüden etkilenmektedir. Bunu önlemek için devre çıkışına kesim frekansı akım çevrimi örnekleme frekansının yaklaşık 1.2 katı olan bir RC filtresi eklenmiştir.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (4)$$

Yukarıdaki denkleme göre filtre direnç ve kondansatörünün değeri belirlenebilir.

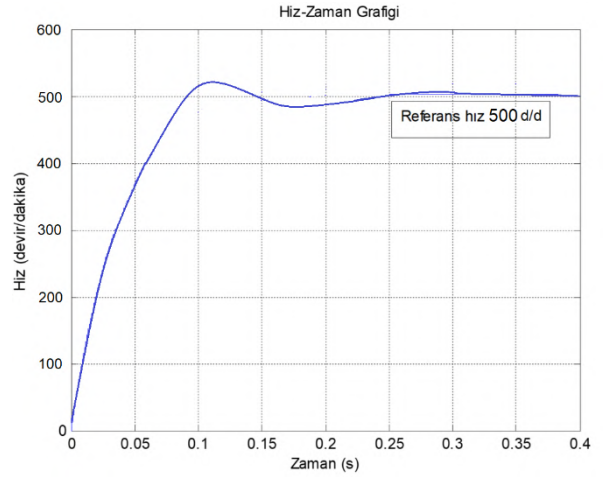
Daha yüksek güçler için bu yapı yerine ikinci yöntem olarak sistemden izole akım sensörleri ile ölçümler yapılmıştır. Bu akım sensörleri içerisindeki hall sensör ile kablo içinden geçen akımın endüklendiği akıyı ölçerek akımı hesaplamaktadır. Şekil 15’de görüldüğü gibi her faz çıkışına bu sensörlerden yerleştirilmiş ve bu sensörlerin çıkışları kontrol kartının akım ölçümü için seçilen ADC girişlerine şekil 16’de devre şeması ile bağlanmıştır. Kontrol yazılımı içerisinde bu akım değerleri okunmaktadır.



Şekil 16. Her faz için uygulanan LEM akım sensörlerinden gelen sinyalin ADC giriş devresi

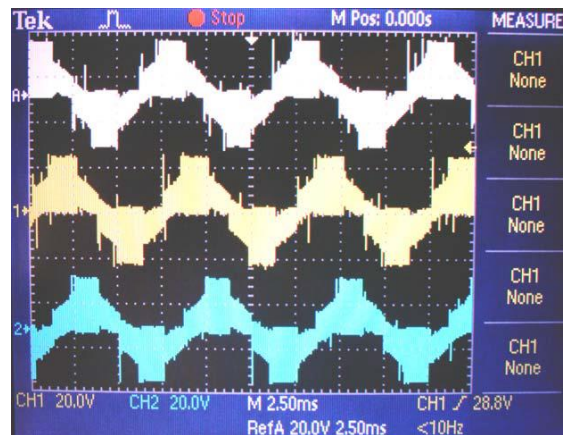
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

FDAM’nun bulanık mantık kontrol simülasyon sonuçları şekil 17’te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi istenilen referans değere (500 d/dk) çok kısa sürede çok az dalgalanma yaparak çıkış referans değere oturmuştur. Fırçasız doğru akım motoru olarak 24V NEMA 17 55W motor tercih edilmiştir. Motor sürücü devresi olarak Texas Instrument firmasının ürettiği 8312 ASIC komponenti kullanılmıştır. Bu sürücü yapısı 50V/3.5 A’e kadar desteklemektedir. Bu sürücü kartının kontrolü için TI TMS 320F28069M mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Bu kontrol ve sürücü kartı şekil 21’de görülmektedir. TI TMS320F28069 DSP ve 8312 sürücü entegreli FDAM sürücü devresi içeren deney düzeneği şekil 22’de görülmektedir. Bu sistem başarıyla çalıştırılmış ve alınan osiloskop görüntüleri şekil 18, 19, 20’de gösterilmiştir.

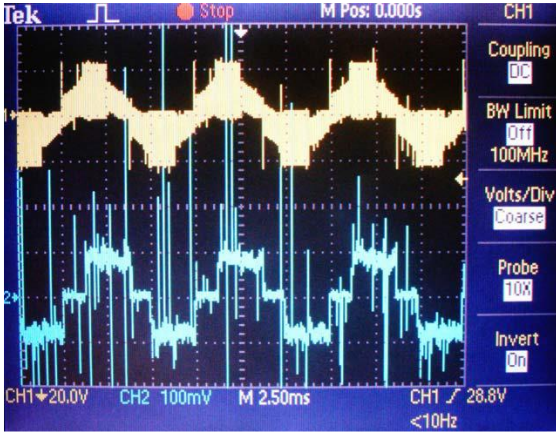


Şekil 17. FDAM’ın bulanık mantık kontrolü simülasyon hız zaman eğrisi

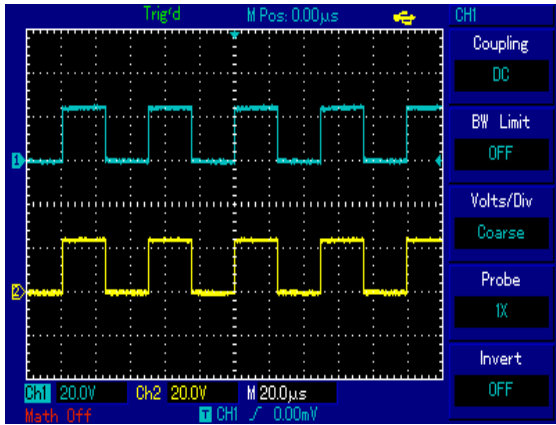
Şekil 18’de motor yüksüz ve 500 devir /dk ile dönerken fazlar arası V12, V23, V13 gerilimleri görülmektedir. Sinyaller arasında 120’şer derecelik faz farkı bulunmaktadır. Şekil 19’da FDAM birinci fazının V12 gerilimleri ve I1 faz akımı görülmektedir. Şekil 20’de FDAM’ın alan etkili (hall effect) sensör çıkış sinyalleri görülmektedir.



Şekil 18. FDAM fazlar arası gerilimler (V12, V23, V13)



Şekil 19. FDAM birinci fazının V12 gerilimi ve İ1 akımı.

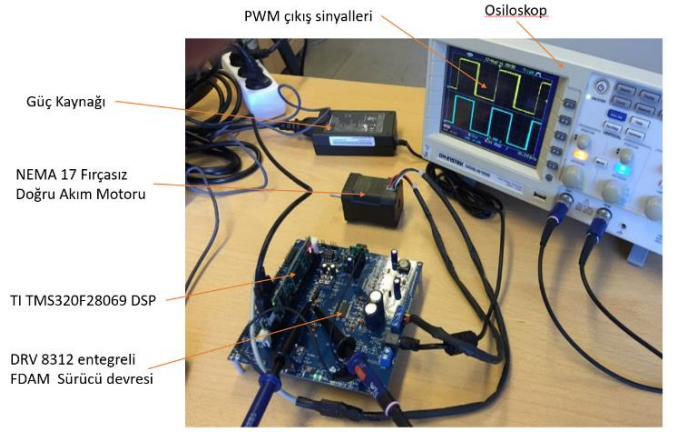


Şekil 20. FDAM'ın alan etkili (hall effect) sensör çıkış sinyalleri

Şekil 18 ve 19'da FDAM alan etkili (hall effect) sensör HallA, HallB, HallC, çıkış sinyalleri görülmektedir. Şekil 20'de FDAM alan etkili (hall effect) sensör HallA, HallB, HallC, çıkış sinyalleri görülmektedir.



Şekil 21. TI TMS320F28069 DSP ve 8312 sürücü entegreli FDAM sürücü devresi



Şekil 22. TI TMS320F28069 DSP ve 8312 sürücü entegreli FDAM PWM çıkışları

4. Sonuç

Bu çalışmada Fırçasız doğru akım motorunun TMS320F28069 DSP tabanlı bulanık mantık kontrolü ile çalıştırılması başarıyla pratik olarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin normal kontrol yapılarına göre daha hızlı, kararlı çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu sistemde akım, hız ölçümü de yapılmakta olup hız kontrolünün yanında moment kontrolü de yapılmaktadır.

Sonuç olarak, bu bulanık mantık kontrol uygulaması pratik sektör uygulamaları için hızlı, kararlı etkin bir çözüm imkânı sunmuştur. Bundan sonra bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar PI, PID, Alan Yön Kontrolü (Field Orient Control-FOC) Gürbüz (Robust) kontrol gibi farklı kontrol yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılabilir ve en etkili kontrol sistemi ile ilgili bulgulara ulaşılabilir. (Bu yayın Ali BAHADIR'ın doktora tezinden üretilmiştir.)

Kaynakça

- Abdulhamitbilal E. (2010). İTÜ–Hafif Ticari Helikopter Uçuş Dinamiği, Kararlılık Analizi Ve Geliştirilmiş Kontrol Sistemleri Tasarımı. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı,; Uçak ve Uzay Mühendisliği Programı.
- Bahadır A., (2021) Elektrikli Araçlar için Fırçasız Doğru Akım Motor Sürücüsü Tasarımı ve Adaptif Kontrolü. Konya Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Doktora Tezi.
- IQ Math on the Texas Instruments TMS320C28x DSP.* (2004). Literature Number: PRC087, 2004.
- Markovic, M., Hodder, A., Perriard, Y. (2009). An Analytical Determination of The Torque–Speed and Efficiency–Speed Characteristics of a BLDC Motor. *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2009)*, 168–172.
- Moshiri B. and Rashidi F.(2004). Self-tuning Based Fuzzy PID Controllers: Application to Control of Nonlinear HVAC Systems. *Intelligent Data Engineering and Automated Learning* pp 437-442, IDEAL 2004.
- Nair, S.S., Nalakath, S., Dhinagar, S.J. (2011). Design and Analysis of Axial Flux Permanent Magnet BLDC Motor for Automotive Applications. *IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC'11)*, 1615-1618.

- Park, S.J., Park, H.W., Lee, M.H., Harashima, F. (2000). A New Approach For Minimum-Torque-Ripple Maximum-Efficiency Control of Bldc Motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 47(1), 109-114.
- Rahim, N.A., Hew Wooi Ping, H.W., Tadjuddin, M. (2007). Design of Axial Flux Permanent Magnet Brushless DC Motor for Direct Drive of Electric Vehicle. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1/6.
- Simulink, *Simulation and Model-Based Design (2020) User's Guide.TMS320F28069 Data Manual*. (2004). Literature Number: SPRS174L.
- Tuncay, R.N., Üstün, O., Yılmaz, M., Gökce, C., Karakaya, U.(2011). Design and Implementation Of An Electric Drive System For In-Wheel Motor Electric Vehicle Applications. *7th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC'11)*, 1-6.
- Tutelea, L.; I. Boldea, I., (2007). Optimal Design of Residential Brushless D.C. Permanent Magnet Motors with FEM Validation. *Aegean Conference on Electric Machines, Power Electronics and Electromotion (ACEMP '07)*, 435-439.
- Ustun, O., Yilmaz, M., Gokce, C., Karakaya, U., Tuncay, R. N., (2009). Energy Management Method for Solar Race Car Design and Application. *IEEE International Electric Machines and Drives Conference*, 804-811.
- Zarko, D., Ban D., Lipo, T.A. (2007). Analytical Solution for Cogging Torque in Surface Permanent-Magnet Motors Using Conformal Mapping. *IEEE Transactions on Magnetism*, 44(1), 52-64.
- Zhao, L., Ham, C., Zheng, L., Wu, T., Sundaram, K., Kapat, J., Chow, L. (2007). A Highly Efficient 200000 Rpm Permanent Magnet Motor System. *IEEE Transactions on Magnetism*, 43(6), 2528-2530.
- Zarko, D., Ban, D., Lipo, T.A. (2006). Analytical Calculation of Magnetic Field Distribution in the Slotted Air Gap of a Surface Permanent-Magnet Motor Using Complex Relative Air-Gap Permeance. *IEEE Transactions on Magnetism*, 42(7), 1828-1837, 2006.



In-Situ Strain Measurement on Al7075 Plate by Using High Energy Synchrotron Light Source

İlyas Şavklıyıldız^{1*}

^{1*} Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7903-9220),
isavkliyildiz@ktun.edu.tr

(First received 10 February 2021 and in final form 4 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.878002)

ATIF/REFERENCE: Şavklıyıldız, İ. (2021). In-Situ Strain Measurement on Al7075 Plate by Using High Energy Synchrotron Light Source. *European Journal of Science and Technology*, (23), 435-439.

Abstract

In this study, compressive and tensile strain in Al7075 plate have been measured by synchrotron energy-dispersive X-ray diffraction (EDXRD) in conjunction with 4-point bending test under various load up to 1000 lbs(453.6 kg). The compressive and tensile strain are determined by stress related interplanar spacing variation at 111 peak reflection which is considered atomic level strain measurement. The specimen initially shows elastic strain behavior under 400 lbs (181.4 kg) load. However, further load increment applied on sample causes plastic deformation on the regions close edge of the specimen where the biggest stress values in terms of both compression and tension is aroused. Finally, 1000 lbs load is applied on the specimen and major part of the specimen is deformed plastically. Vicinity of body center of sample shows almost no strain formation which is attributed nature of 4-point bending flexural test. Using high energy EDXRD method allow us to reveal precise atomic level strain distribution in Al7075 alloy under different loads.

Keywords: Al7075 alloy, strain measurement, EDXRD method, 4-point flexure test.

Yüksek Enerjili Senkrotron Işık Kaynağı Kullanarak Al7075 Plakalarda Yerde Gerilme Ölçümü

Öz

Bu çalışmada, enerji dağılımlı x-ışını kırınımı ile Al7075 plakalarda basma ve çekme gerinimi 4 nokta eğilme testiyle 1000 lbs (453.6 kg)'e kadar değişen yüklerle beraber yapılmıştır. Atomic seviye gerinim ölçümü olarak 111 yönünde düzlemlerarası mesafe ile alakalı stres ölçümü ile basma ve çekme gerinimleri belirlenmiştir. İlk olarak numune 400 lbs (181.4 kg) yük altında elastik gerinim göstermiştir. Fakat daha fazla yük artışı basma ve çekme gerinimlerinin ortaya çıktığı yerlerde plastik deformasyona neden olmuştur. Son olarak, 1000 lbs (453.6 kg) yük altında numunenin büyük kısmı plastik olarak deforme olmuştur. Numunenin hacim merkezi civarında 4 nokta eğilme testinin doğası olarak hiçbir strain oluşumu göstermemiştir. EDXRD metodunu kullanmak bize farklı yükler altında Al7075 alaşımında atomik seviye hassasiyette gerinim dağılımını ortaya çıkarmayı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Al7075 alaşım, gerinim ölçümü, EDXRD metod, 4 nokta eğilme testi.

* Corresponding Author: isavkliyildiz@ktun.edu.tr

1. Introduction

Four-point bending test method is used to find out flexural strength for several materials system at ambient temperature. Several purposes could be counted for using this test method such as material characterization and development(Mujika, 2006; Quinn & Morrell, 1991). Compressive and tensile stresses are created concomitantly inside of the sample where the sample could be deformed both plastically and elastically(Mujika, 2006; Quinn & Morrell, 1991). The strain measurement with this method is made with micro resolution precision.

EDXRD technique is a powerful non-destructive method for materials characterization which works in transmission (Laue) mode(Tsakalagos, Croft, Jisrawi, Holtz, & Zhong, 2006). So, whole x-ray spectrum could be collected in a very short time period with a stationary Bragg angle(Biçer et al., 2020; Tsakalagos et al., 2006). High energy synchrotron light source could penetrate through even thicker sample so that several characterization type such as lattice strain measurement can be carried out with high spatial resolution in depth of sample(Tsakalagos et al., 2006; Zakharchenko, Gulak, Zhong, Croft, & Tsakalagos, 2003). Interplanar spacing of materials can be directly measured with high precision due to stationary incident and diffracted x-ray(Akdoğan et al., 2012; Şavklyıldız et al., 2013). Measuring d-spacing variation under several load provides high resolution strain determination with atomic level precision.

There is very limited works presented in the literature about strain measurement with EDXRD method. The main purpose of this study is to reveal a comprehensive atomic level strain measurement with high resolution EDXRD techniques on Al7075 plate specimen which deformed under various load with four point bending test. Understanding strain variation (compressive/tensile) interior of the materials is key to predict materials behavior under different load and improve materials properties for several applications.

2. Material and Method

The experimental work is carried out at the X17-B1 beamline of the National Synchrotron Light Source (NSLS) in the Brookhaven National Laboratory. The EDXRD technique used in this study with photon energy up to 200 keV works in transmission (Laue) mode diffraction where the gauge volume and/or diffraction volume is fixed in space. An illustration about diffraction n geometry represented in fig.1(Akdoğan et al., 2012; Mujika, 2006; Şavklyıldız et al., 2013; Tsakalagos et al., 2006). Diffraction is conducted by positioning the specimen in x-y-z coordinate system to place the stationary gauge volume into sample. Proper diffraction inside of sample gives suitable peak profiles to measure the peak shifts due to mechanical deformation. It is important that the gauge volume is placed completely inside the specimen because there has to be enough number of grains in the gauge volume for proper counting statistics. The three dimensional size of the gauge volume is adjusted with the slit size and the Bragg angle as illustrated in fig1.

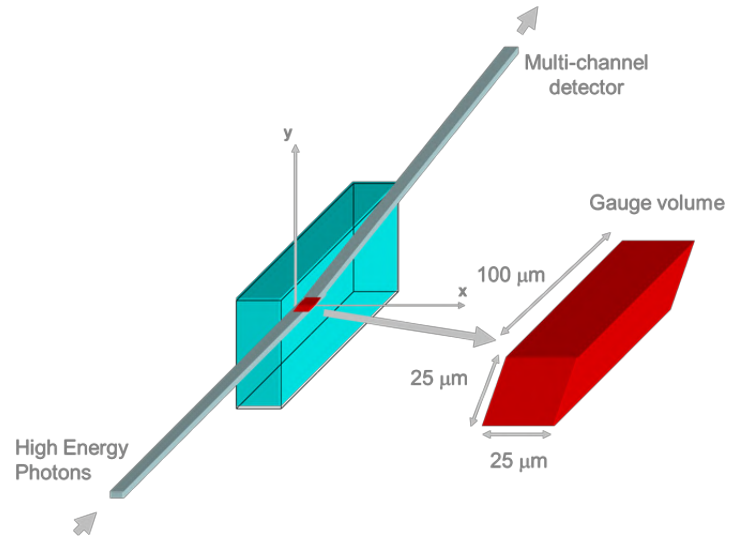


Figure 1. The schematic of experimental setup X17-B1 superconductor wiggler beamline in NSLS showing relative position of the beam path, gauge volume, transmitted beam and diffracted beam detector.

On the other hand, the area exposed high energy x-ray radiation on the specimen surface is perpendicular to the incident beam. The Bragg angle used in this study was kept constant as $2\theta=4^\circ$. Polychromatic radiation is diffracted interior of the sample and the high resolution multichannel Ge detector collect the diffracted radiation.

In this technique, the four point bending test is mounted on an x-y-z stage which is controlled by a micropositioner. Thusly, the gauge volume is first placed on body center of the specimen so as to obtain a diffraction pattern in transmission. Due to the high energy photons, incident beam can penetrate thorough sample and diffract inside the sample. So, this technique make possible to collect data inside of the sample at desired position without cutting or machining the sample. The elastic strain (ehkl) at selected point in the sample is determined by interplanar variation at any (hkl) reflections according to(Tsakalagos et al., 2006);

$$\epsilon_{hkl} = \frac{d_{hkl} - d_{hkl}^0}{d_{hkl}^0} \quad (1)$$

where d_{hkl} is the interplanar spacing of selected (hkl) reflection under load and d_{hkl}^0 is the interplanar spacing at zero stress which is measured from as is sample.

Fig. 2 represents four point bending test where the loading span is 1/2 of the support span system is used for Al7075 alloy to measure strain measurement. The distance between inner and outer pins are 10cm and 20 cm, respectively. This 4-point experimental mechanism is placed to the beamline in X17B1 and in-situ EDXRD data collection is conducted under various load. The dimensions of sample is (0.6cm thick x 6 cm width x 30 cm length). Three points are marked as A, B and C on the schematic of the sample. Point B represents exactly body center of the sample which is designated as (0, 0, 0) in x-y-z coordinate system at which no stress formation is detected under various load due to the nature of 4-point test.

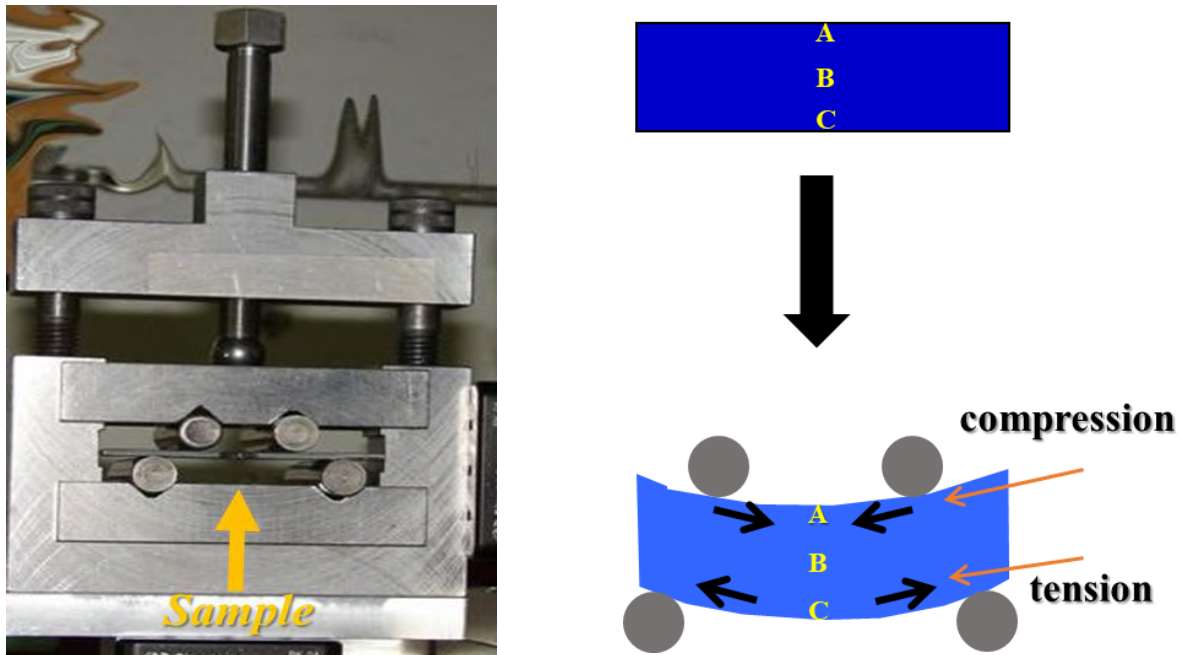


Figure 2. Illustration of 4-point bending experiment and schematic of marked point on sample.

Considering the sample thickness as 6mm, Point A indicates upper edge of the sample (in coordinate designation: (0,3,0)) on which maximum compression stress is aroused under various load. The bottom of the sample is marked as Point C (0, -3, 0) where maximum tension stress is observed under applied load. The EDXRD technique allow to collect very precise data collection which is employed from position (0,3,0) to (0,-3,0).

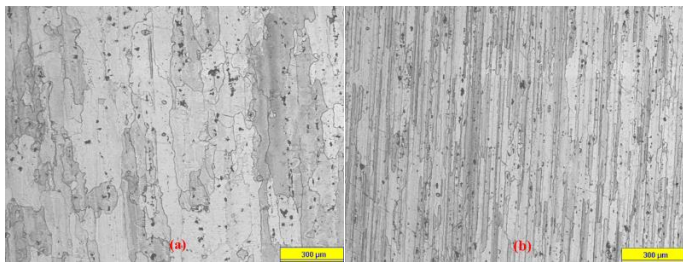


Figure 3. Microstructure of Al7075 Alloy on (a) top view and (b) side view

Considering 150 micron step size, xrd data is collected at 40 different points in 6mm thick sample which suggests that each grain is analyzed through sample loading direction. The Al7075 plate sample with that 4-point test is carried out, is produced by cold rolling process which cause elongation or stretching of grains along the deformation direction. So, the microstructure taken from side view of sample shows elongated grain formation (fig. 3b) where the microstructure at top view of sample reveals equiaxed grain distribution as illustrated in fig. 3a. The microstructures presented in fig. 3 depicts course grain (CG) structure for Al7075 alloy so, this alloy is termed as CG-Al7075.

3. Results and Discussion

Comparison of EDXRD spectra collected different part of sample under 1000 lbs(453.6 kg) load is represented at fig. 4. The data e-ISSN: 2148-2683

taken from the most compressed part of sample is represented with black line where the green lines represents most tensed part of sample. The data showed with red line stand for no stress region which is approximately body center of sample. Fig. 4a reveals that no phase transition or new phase formation is occurred after applying load with 4-point test.

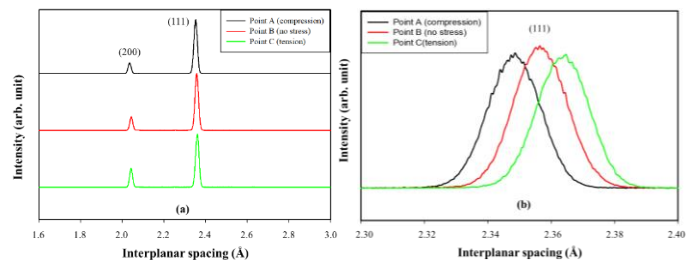


Figure 4. EDXRD data of Al7075 alloy (a) collected at three points and (b) comparison of 111 reflection of all three points when the sample is loaded with 1000 lbs(453.6 kg)

A closer look on the fig 4b suggests that peak shift on the 111 direction of the sample with various stress distribution. When the sample is exposed compression stress, a peak shift on left side which is a decrement on the interplanar spacing so called d-spacing with the compression load. Tensile stress lead increase on the interatomic distance which eventually results peak shift on left side as represented in fig. 4b. During 4-point test, no stress formation is observed in the middle or body center of sample due to mechanism of the test. So, the data collected on point B shows no peak shift. A slight decrease on peak intensities for the point A and C is observed due to various stress formation. Both tensile and compressive stress lead the evolution of the crystallite size or coherently diffracting domain size which represents the mean separation between defects or defect clusters in the (hkl) along which crystalline defects are aroused due to compressive and tensile stress formation in our study. This stress formation lead to

localized structural perturbations such as lattice strain, vacancies and their clusters, dislocations, stacking faults etc. which eventually results a decrement on the peak intensity, beside increasing lattice strain and decreasing crystallite size, along with 111 reflections shifts.

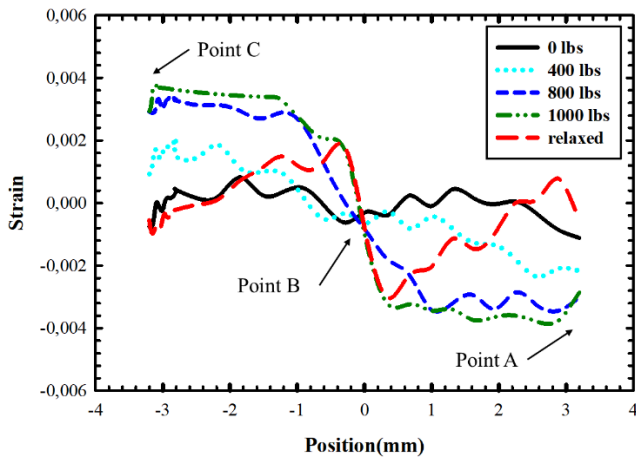


Figure 5. Atomic level lattice strain measurement under various loads.

The lattice strain distribution throughout the sample is represented as function of position under various load in figure 5. EDXRD data collection at each loading is carried out with 150 micron step size from point A to C which creates 40 XRD data in this region. Interplanar spacing of each point detected and strain calculation made concomitantly according to Eq. 1. Gaussian peak fitting is applied on each data and peak positions variation as a function of position is determined. Strain variation between point A to C for as is sample shows almost zero strain line (black curve) which suggests that sample has almost strain free initial structure. When the sample is exposed 400 lbs (181.4 kg), linear strain changes from -0.002 (compression) to 0.002 (tension) is observed between point A-C as illustrated turquoise curve in fig 5. This linear behavior is assigned as elastic deformation in sample. At this point, the sample could return its former shape when the load is released. This much (400 lb) load only stretch the atomic bonding. At Point A, -0.002 strain value is observed which maximum compressive strain. From point A to B, compressive strain decrease down to zero. Due to nature of 4-point testing, there is no stress formation is observed at the exactly body center of sample. From point B to C, the stain variation turn into compressive form up to value of 0.002. When the load is increased 800 lbs (362.8 kg), sample displays two different strain behavior as showed blue curve in fig. 5. Similar linear variation in strain is observed at position from -1mm to 1mm which is elastic strain with the value from -0,0035 to 0.0035. However, outer side of this region, strain variation is almost stabilized which is attributed the plastic strain formation. X-ray diffraction has ability to measure the interplanar spacing or d-spacing which could be interpreted as interatomic distance. When the sample is reached the specific stress for plastically deforming, atomic stretching reaches upper limit and after this point dislocation movements are triggered on specific slip directions. In crystallographic terminology, no more peak shift at peak position is observed beside peak broadening and decrement on peak intensity. This behavior is attributed an increase on dislocation density and a decrease in crystallite size or coherently diffracting domain size due to plastic deformation. In precise version, elastic strain formation is limited in the position between -1mm to 1 mm

of sample where other regions are deformed plastically. Increasing load to 1000 lbs (453.6 kg) deform major part of the sample plastically except the region between -0,2 mm to 0.2 mm as displayed green curve and upper strain value in terms of both tensile and compressive is almost stabilized at 0.0035 and -0.0035, respectively. When the load is released (red curve), stress accumulated during 4-point test keep the elastic region (-0.2mm to 0.2 mm) stable. However, the strain value at both point A and C goes down to zero due to excessive tensile/compressive stress accumulated on both Point A and C. even though there is almost zero strain on both Point A and B, the sample has still deformed plastically except the region between -0,2 mm to 0.2 mm.

4. Conclusions and Recommendations

The results presented in this study reveal a detailed picture of a high resolution synchrotron EDXRD experimental technique along with 4-point bending test which is employed on Al7075 plate to reveal both compressive and tensile strain formation. The sample shows only elastic strain formation under 400 lbs load. However, 800 lbs and 1000 lbs loads yield materials plastically at the most deformed regions. The body center of sample stay non-deformed due to practice of 4-point bending test. Strain measurement on Al7075 plate by using EDXRD method reported in this study are the first in the open literature. The results acquired in this study extend our fundamental knowledge of the mechanical properties of Al7075 and stress response behavior in terms of atomic level under various load. High energy EDXRD strain measurement along with the four point bending test makes this study distinguish and which is first time presented according to open literature.

5. Acknowledgements

The author wish to thank Dr. Enver Koray AKDOĞAN (Materials Science and Engineering Department, Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA) for his valuable technical feedback. This research was accomplished in part at the National Synchrotron Light Source (NSLS) in Brookhaven National Laboratory (BNL), which is supported by the U.S. Department of Energy, Division of Material Sciences and Division of Chemical Sciences, under Contract No. DE-AC02-76CH00016.

References

- Akdoğan, E., Şavklıyıldız, İ., Berke, B., Zhong, Z., Wang, L., Weidner, D., Tsakalagos, T. (2012). Pressure effects on phase equilibria and solid solubility in MgO-Y2O3 nanocomposites. *Journal of Applied Physics*, 111(5), 053506.
- Biçer, H., Akdoğan, E. K., Şavklıyıldız, İ., Haines, C., Zhong, Z., & Tsakalagos, T. (2020). Thermal expansion of nano-boron carbide under constant DC electric field: An in situ energy dispersive X-ray diffraction study using a synchrotron probe. *Journal of Materials Research*, 35(1), 90-97.
- Mujika, F. (2006). On the difference between flexural moduli obtained by three-point and four-point bending tests. *Polymer testing*, 25(2), 214-220.
- Quinn, G. D., & Morrell, R. (1991). Design data for engineering ceramics: a review of the flexure test. *Journal of the American Ceramic Society*, 74(9), 2037-2066.

- Şavklıyıldız, İ., Akdoğan, E., Zhong, Z., Wang, L., Weidner, D., Vaughan, M., Tsakalakos, T. (2013). Phase transformations in hypereutectic MgO-Y₂O₃ nanocomposites at 5.5 GPa. *Journal of Applied Physics*, 113(20), 203520.
- Tsakalakos, T., Croft, M. C., Jisrawi, N. M., Holtz, R. L., & Zhong, Z. (2006). *Measurement of residual stress distributions by energy dispersive X-ray diffraction synchrotron radiation*. Paper presented at the The Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference.
- Zakharchenko, I., Gulak, Y., Zhong, Z., Croft, M., & Tsakalakos, T. (2003). Methodology of synchrotron EDXRD strain profiling. *Adv. X-Ray Anal*, 46, 98-105.



***In Vitro* Seed Germination and Seedling Development of An Endemic Medicinal Plant *Hypericum adenotrichum* Spach**

Ömer Yamaner¹, Bengi Erdağ^{2*}

¹ Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Arts & Sciences, Department of Biology, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9777-4720), omeryamaner@gmail.com

^{2*} Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Arts & Sciences, Department of Biology, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7042-9011), berdag@adu.edu.tr

(First received 10 February 2021 and in final form 4 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.868367)

ATIF/REFERENCE: Yamaner, Ö., Erdağ, B. (2021). *In Vitro* Seed Germination and Seedling Development of An Endemic Medicinal Plant *Hypericum adenotrichum* Spach. European Journal of Science and Technology, (23), 440-447.

Abstract

In this study, it has been aimed to describe an appropriate procedure for *in vitro* seed germination and seedling development of *Hypericum adenotrichum* Spach which is an endemic plant under *in vitro* conditions. At the end of experiments, it has been found that seed germination of *Hypericum adenotrichum* is effected by stratification, photoperiod, dark, different temperature and Murashige Skoog media (MS) with macro salt ingredient in different levels (MS, ½ MS and ¼ MS) and vitamin additions (MS vitamins, B5 vitamins and Galzy vitamins) to these media. The highest germination value has been held when sterilized seeds were incubated in ¼ MS/Galzy nutrient medium under 16/8 photoperiod and 18 °C conditions after stratification at 4°C for 2 months. All seeds were observed during 8 weeks (22 °C and 16/8 photoperiod) and radicle emergence was mostly in 7th days of incubation. At the end of these processes, parameters such as the highest number of shoots per seedling, mean number of lateral roots, mean length of shoots and number of leaves per shoot were evaluated by one-way analysis of variance and it has been concluded that ¼ MS/Galzy medium is the most proper media for seedling development.

Keywords: *Hypericum adenotrichum*, endemic plant, germination, *in vitro*, MS, seedling.

Endemik ve Tıbbi Bir Bitki Olan *Hypericum adenotrichum* Spach'un *In Vitro* Tohum Çimlenmesi ve Fide Gelişimi

Öz

Bu çalışmada, endemik ve tıbbi bir bitki olan *Hypericum adenotrichum* Spach'ın *in vitro* tohum çimlenmesi ve fide gelişimi için uygun bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Denemelerin sonunda; stratifikasyon, fotoperiyod, karanlık, farklı sıcaklık ve farklı seviyelerde makro tuzlara sahip Murashige ve Skoog besi ortamlarının (MS, ½ MS ve ¼ MS) ve bu ortamlara ilave edilen vitamin bileşenlerinin (MS vitaminleri, B5 vitaminleri, Galzy vitaminleri) *Hypericum adenotrichum*'un tohum çimlenmesini etkilediği belirlenmiştir. En yüksek çimlenme değeri; 2 ay süre ile + 4°C'de stratifikasyon uygulanmış tohumların, 18 ° C'de 16/8 fotoperiyot koşulları altında ve Galzy vitaminleri ile desteklenmiş ¼ MS ortamında inkübe edilmesi ile elde edildiği görülmüştür. Çoğunlukla inkübasyonun 7. gününde radikula çıkışı gösteren tohumlar, fide gelişimi için 8 hafta boyunca izlenmiştir (22 ° C ve 16/8 fotoperiyot koşullarında). Bu sürenin sonunda fide başına ortalama en yüksek sürgün sayısı, ortalama yan kök sayısı, ortalama sürgün uzunluğu ve sürgün başına ortalama yaprak sayısı parametrelerinin tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmesi sonucunda ¼ MS/Galzy ortamının fidelerin gelişimi için de en uygun ortam olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Hypericum adenotrichum*, endemik bitki, çimlenme, *in vitro*, MS, fide.

* Corresponding Author: berdag@adu.edu.tr

1. Introduction

For the protection and management of biodiversity, first of all, information about the reproductive biology and seeds of the endangered species should be investigated and seed germination needs should be determined [1]. Seed is the most widely used part of the plant to protect the plant germplasm and transport it to the place where it will be used [2]. The most important stage of seed multiplication is to obtain an efficient germination procedure. Low germination rates in plants can be caused by unsuitable environmental conditions during seed germination, low seed strength or seed dormancy [3]. Seed germination behavior is an inseparable part of *ex situ* protection to provide efficient populations especially for germplasm and to improve the standard vigor monitoring protocol [4]. Plant tissue culture techniques are a powerful alternative technique for the production of plants that are difficult to reproduce by conventional methods [5]. Many plants that have problems in their production have been germinated and reproduced by using this method, [6-8].

In Turkey, *Hypericum* species is represented in 19 sections by about 100 taxa and 45 of these taxa are endemic [9]. Turkey is a crucial gene center for *Hypericum* L. species. *Hypericum adenotrichum* Spach is a perennial herbaceous and endemic plant, which grows in Turkey. Species-related studies are focused on the identification of the chemical and pharmacological properties and the determination of the secondary metabolite content [10-14]. Within the literature research, it is not found any information about the *in vitro* germination and seedling development of *H. adenotrichum*. This work aims to identify the necessary conditions for *in vitro* germination desires and seedling development of *H. adenotrichum*. The results of the study will be the starting step for the *ex situ* protection programs of the species.

2. Material and Method

Our study material, the seeds of *H. adenotrichum* Spach were collected from the Karıncalı Mountain (Karacasu, AYDIN, TURKEY), about 1400 meters, where the plant has a natural distribution. As a result of the morphological observations of the seeds in the laboratory conditions, most of the seeds were found to be empty and full seeds were determined by using flotation technique [15]. According to this technique, the seeds were first taken in a beaker containing distilled water and were periodically mixed with a glass baguette. After a period of 30 minutes, the seeds remaining on the surface of the water were removed by means of a strainer. Thus, the seeds (empty) left on the surface of the water are separated from the seeds (full) in the bottom of the beaker. The results were evaluated as %.

As a result of the morphological observations, the seeds which were thought to be full took the Tetrazolium test [16] and the number of live seeds was determined as percentage.

For *in vitro* germination experiments, full seeds were used. In this way, it was tried to eliminate the possibility of empty seeds to reduce the germination rate randomly. The seeds were washed out under the tap water for about half an hour to remove the rough dirt. After this, the seeds were sterilized in 70% ethyl alcohol (1 minute) and in 1-2 drops of Tween 80 added NaOCl (2.25%) at 2.5 minutes. The seeds were then washed 3 times with sterile distilled water.

In the preliminary trials, the germination cannot be achieved, which suggested that the seed of *H. adenotrichum* have special requirements for germination or may have dormancy. As known, a number of basic factors such as temperature, humidity, oxygen, light play a role in the realization of germination. Considering these key factors, to promote *in vitro* germination and also growth and development; cold application (stratification), different temperature applications, dark-light conditions and different culture media were tried.

During the stratification process, which is one of the ways to break the dormancy, the seeds were exposed to +4 °C for 2 months. To investigate the effect of temperature on seed germination and development, incubation temperatures at 15, 18, 22 and 25 °C were tried and 16/8 photoperiod and completely dark conditions were created to study the effects of light.

In the experiments, full Murashige and Skoog medium (MS) [17], ½ and ¼ MS medium and MS medium supplemented with B5 [18] and Galzy vitamins [19] were used as incubation media.

½ MS and ¼ MS media were prepared by reducing MS macro salts respectively at ½, ¼ rate. ½ MS/B5, ¼ MS/B5 media were prepared by reducing MS macro salts respectively at ½, ¼ rate and adding vitamin concentrations belonging to the B5 medium instead of MS vitamins. ¼ MS/Galzy medium was prepared by reducing MS macro salts at ¼ rate and adding Galzy vitamin concentrations instead of MS vitamins.

In trials, radicle emergence was taken as germination criterion. Approximately 2 weeks after the beginning of the tests, three-way variance analysis was used to evaluate the data of seed germination. The data of germination was used in the variance analysis by transforming with $x' = \arcsin \sqrt{(x/100)}$. The differences that were considered to be significant among averages were compared by the Tukey multiple comparison test. One-way variance analysis was used in the assessment of the data of seedling development parameters. The differences that were considered to be significant among averages were compared by the Duncan multiple comparison test. For statistical analysis, SPSS 15.0 program was used.

3. Results and Discussion

Morphological observations were revealed that approximately 70% of the seeds were empty. According to the flotation technique, the seeds sinking into the bottom of the bowl were “full” and the floating seeds were considered in empty. As a result of the flotation technique, approximately 67% of the 100 seeds were found to be empty and 33% were full. These values are almost the same as the results obtained from the morphological observations made by observing the seeds individually. In addition, the tetrazolium test applied to the seeds determined to be “full” gave the result that the seeds are alive 100%. The flotation method helps in separating many empty, broken, diseased or insect-damaged seeds. This method is a method especially applied in heavy seed species and gives very good results for large seeds with high moisture content [20]. Although the method was generally applied to large seeds, it yielded successful results in distinguishing relatively small *H. adenotrichum* seeds. It was concluded that buoyancy method could be effective in preventing seed loss especially in experiments with endemic plants.

Table 1. Germination percentages obtained in dark condition

Germination percentages in dark (%)								
Germination media	Cold application (+4°C)				Without cold application			
	Temperatures (°C)				Temperatures (°C)			
	15	18	22	25	15	18	22	25
MS medium	25	30	20	10	10	10	5	0
½ MS medium	25	40	25	10	15	15	10	0
¼ MS medium	30	40	35	20	15	20	10	5
MS / B5 vitamins	25	30	20	10	10	10	5	0
½ MS /B5 vitamins	25	35	25	10	10	15	5	0
¼ MS/B5 vitamins	30	40	30	20	15	20	10	0
¼ MS / Galzy vitamins	25	40	30	20	15	20	10	5

Full seeds were included in sterilization trials. Sterilization method of the seeds yielded 100% sterile cultures. In the experiments performed in dark conditions, germination percentages varied depending on germination media, temperature and cold application (Table 1).

Three-way variance analysis was conducted to determine whether the interactions of the obtained values had a statistically

significant effect. As a result of variance analysis, the importance level (p) was less than 0.05 depending on germination media, germination temperatures and cold application in terms of seed germination in the dark (Table 2). According to this result, it is possible to say that germination percentages differed with the confidence level of $p \leq 0.05$ of germination media, germination temperatures and cold application.

Table 2. Results of the three- way Anova Test under dark condition

Source of variance	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F-Ratio	Significant (p)
Media (M)	0.372	6	0.062	38.907	0.000
Temperature (T)	2.143	3	0.714	448.030	0.000
Stratification (ST)	2.552	1	2.552	1.601.001	0.000
M x T	0.116	18	0.006	4.049	0.000
M x ST	0.017	6	0.003	1.750	0.116
T x ST	0.115	3	0.038	24.090	0.000
M x T x ST	0.055	18	0.003	1.916	0.021

From the values in the medium * stratification line of the table, it is seen that the common effect of the medium and stratification on germination percentage ($p = 0.116$, $p > 0.05$) is not statistically significant. In other words, germination percentage of seeds germinated in various media does not differ depending on stratification and it can be said that there is no interaction between medium and stratification.

From the values in the medium*temperature line of the table, it is seen that the common effect of the medium and stratification on germination percentage ($p=0.000$, $p < 0.05$) is statistically significant.

From the values in the medium*temperature*stratification line of the table, the common effect of medium, temperature and stratification on germination percentage ($p = 0.021$, $p < 0.05$) appears to be statistically significant and these 3 factors have a common interaction on germination. After these differences, the Tukey test was performed to determine what a grouping occurred in terms of all the procedures applied (Table 3).

Table 3. Three-way analysis of variance and Tukey multiple comparison test results in dark.

	Factors	Groups
Media	MS	c
	½ MS	b
	¼ MS	a
	MS / B5 vitamins	c
	½ MS / B5 vitamins	bc
	¼ MS/B5 vitamins	a
	¼ MS/Galzy vitamins	a
Temperatures (°C)	15	b
	18	a
	22	c
	25	d
Stratification	With stratification	a
	Without stratification	b

According to the Tukey test results, 4 different groups were formed depending on seed germination media. The germination percentage was highest in the seeds germinated in ¼ MS, ¼ MS/B5, ¼ MS/Galzy media and no statistically significant difference could be found between these media with p<0.05 confidence level.

4 different groups were formed in terms of germination temperatures and the highest germination percentage was determined at 18 °C. A statistically significant difference was found between the seeds with stratification and seeds without stratification in terms of the germination percentage and the percentage and the highest germination percentage was determined in the seeds with stratification.

In experiments carried out by culturing seeds in the photoperiodic medium, germination percentages varied depending on germination media, temperature and cold application (Table 4).

Three-way variance analysis was conducted to determine whether the interactions of the obtained values had a statistically significant effect. As a result of variance analysis, the importance level (p) was less than 0.05 depending on germination media, germination temperatures and cold application in terms of seed germination in photoperiod condition (Table 5). According to this result, it is possible to say that germination percentages differed with the confidence level of p≤0.05 of germination media, germination temperatures and cold application.

Table 4. Germination percentages obtained in 16/8 photoperiod condition

Germination percentages in photoperiod 16/8 (%)								
Germination media	With stratification (+4°C)				Without stratification			
	Temperatures (°C)				Temperatures (°C)			
	15	18	22	25	15	18	22	25
MS medium	40	60	35	20	20	25	15	0
½ MS medium	50	65	40	20	20	30	15	5
¼ MS medium	55	75	50	30	25	35	20	5
MS/B5 vitamins	40	55	35	20	20	25	15	0
½ MS/B5 vitamins	50	65	35	20	20	30	15	5
¼ MS/B5 vitamins	55	70	40	30	25	35	15	5
¼ MS/Galzy vitamins	55	70	40	30	20	35	20	5

Table 5. Results of the three-way Anova Testing of the effects on germination under 16/8 photoperiod condition

Source of variance	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F-ratio	Significant (p)
Media (M)	0.390	6	0.065	75.933	0.000
Temperature (T)	4.133	3	1.378	1.610.606	0.000
Stratification (ST)	4.300	1	4.300	5.026.659	0.000
M x T	0.067	18	0.004	4.373	0.000
M x ST	0.020	6	0.003	3.911	0.001
T x ST	0.071	3	0.024	27.684	0.000
M x Tx ST	0.107	18	0.006	6.943	0.000

It is seen from the values in the line of medium * stratification, medium*temperature, temperature*stratification and medium*temperature*stratification that the common effect of these factors on the germination percentage is statistically significant at $p < 0.05$, that is, these factors interact with germination. After these differences, the Tukey test was performed to determine what a grouping occurred in terms of all the procedures applied (Table 6).

According to the Tukey test results, 3 different groups were formed depending on the seed germination medium. The germination percentage was highest in the seeds germinated in $\frac{1}{4}$ MS, $\frac{1}{4}$ MS/B5, $\frac{1}{4}$ MS/Galzy media and no statistically significant difference could be found between these media with $p < 0.05$ confidence level.

4 different groups were formed in terms of germination temperatures and the highest germination percentage was

determined at 18 °C. A statistically significant difference was found between the seeds with stratification and seeds without stratification in terms of the germination percentage and the highest germination percentage was determined in the seeds with stratification.

High germination percentages in dark media were obtained with the germination of the stratified seeds at 18 °C in $\frac{1}{4}$ MS, $\frac{1}{4}$ MS/B5, $\frac{1}{4}$ MS/Galzy media. High germination percentages in photoperiodic media were obtained by the germination of stratified seeds at 18 °C in $\frac{1}{4}$ MS, $\frac{1}{4}$ MS/B5, $\frac{1}{4}$ MS/Galzy media.

When we compare the germination percentages in dark media and the germination percentages in photoperiodic media, it is seen that the highest germination percentage (75%) is reached in photoperiodic media.

Table 6. Three-way analysis of variance and Tukey multiple comparison test results under 16/8 photoperiod condition

	Factors	Groups
Media	MS	c
	$\frac{1}{2}$ MS	b
	$\frac{1}{4}$ MS	a
	MS/B5 vitamins	c
	$\frac{1}{2}$ MS/B5 vitamins	b
	$\frac{1}{4}$ MS/B5 vitamins	a
	$\frac{1}{4}$ MS/Galzy vitamins	a
Temperatures (°C)	15	b
	18	a
	22	c
	25	d
Stratification	With stratification	a
	Without stratification	b

Light is seen to have an important effect on the germination of *H. adenotrichum* seeds. The highest germination percentage was reached under 16/8 photoperiod. In seed germination, light is as important as temperature. Light has a regulatory effect on germination and endogenous seed dormancy is often associated with the absence of light in some plant species [21]. While some seeds germinate similarly in the dark and under light [22], others can germinate more easily either under light [23] or in dark conditions [24].

In addition, the light requirements for germination may differ with temperature. According to the studies, some species need a constant temperature and light for germination, while others germinate either in the dark or under light, but require a temperature fluctuation [25]. In other species, stratification [26] or high temperatures [27] replace the need for light for germination. The absence of light was reported to have a negative effect on *Hypericum* species such as *H. gramineum* [28], *H. brasiliense* [29], *H. perforatum* [30, 31] and *H. aviculariifolium* [32].

After the seeds were stored at + 4 °C for 2 months, on the basis of optimum conditions by beginning *in vitro* germination experiments, germination percentage was found to increase approximately twice. This shows us that there are seed dormancy and this dormancy has been broken with cold application. Seeds of many species require pre-planting applications to overcome dormancy. Cold application (stratification) is one of the pre-planting seed applications that can be used to promote germination in species with dormant seeds [33] and helps to eliminate internal dormancy [34].

Temperature is seen to have an effect on seed germination. The highest germination percentage was reached at 18 °C. Germination percentage decreased as temperature increased. In a study conducted on *Hypericum* species, it was reported that germination rates of 4 *Hypericum* species (*H. hirsutum*, *H. polphyllum*, *H. xylosteifolium* and *H. erectum*) decreased substantially when temperature was 25 °C [35]. Temperature plays a role in germination in 3 different ways; it determines the capacity and percentage of germination, eliminates primary and/or secondary dormancy and induces secondary dormancy [4]. Temperatures of 25 °C and above are thought to induce secondary dormancy on *H. adenotrichum* seeds.

In experiments performed for the effect of different media types on the germination of *H. adenotrichum*, high germination percentages were obtained at optimum conditions (photoperiod-stratification -18°C) from ¼ MS¼ MS/B5, ¼ MS/Galzy media. This shows that vitamin contents did not have a significant effect on germination. Achieving the best germination percentage at ¼ MS salt concentrations may be related to the decrease in germination rate due to the increase in salt concentration in the medium and the difficulty in absorption (water uptake) caused by the high osmotic pressure in the germination medium. In

some plants, salinity affects seed germination negatively, reduces nodule formation, delays plant growth and decreases crop formation. Salinity can affect seed germination either by creating an osmotic potential that prevents water uptake or by the toxic effect of ions on embryo viability [36]. Although there was a difference between germination media according to the three-way variance analysis and Tukey test, germination percentages were 65% for ½ MS and 60% for MS under optimum conditions, indicating that salt concentration did not affect the germination as much as light, temperature and stratification.

One week after the germination, the seeds were placed under 16/8 photoperiod conditions at 22 ± 1 °C and seedling growth parameters in different media were evaluated after approximately 8 weeks (Table 7).

The highest number of shoots per seedling was obtained from ¼ MS/Galzy medium. The number of shoots in ¼ MS and ¼ MS/B5 media is lower than ¼ MS/Galzy medium. When these media, whose macro and micro salt concentrations were same but vitamin contents were different, were compared, no significant effect was observed on the number of shoots of MS and B5 vitamins, and Galzy vitamins increased the number of the shoots substantially. The number of shoots in ½ MS and ½ MS/B5 media is higher than the number in MS and MS/B5 media. There was a decrease in the number of shoots as the salt concentration increased and the vitamins MS and B5 had no significant effect on the number of shoots.

¼ MS/Galzy medium was determined as the most suitable medium for seedling growth in terms of average number of lateral roots, average shoot length and the average number of leaves per shoot. The difference between the media in respect of average root length is not statistically significant.

Table 7. The effect of different media on *in vitro* growth of *Hypericum adenotrichum* seedlings

Media	Seedling growth parameters				
	Average number of shoots per seedling	Average number of lateral roots	Average shoot lengths (cm)	Average root lengths (cm)	Average number of leaves per shoot
MS	1.8d*	1.6 ^c	2.1 ^b	2.5 ^a	9.5 ^b
½ MS	2.5 ^{bc}	3.6 ^{bc}	2.2 ^b	2.7 ^a	9.8 ^b
¼ MS	3.6 ^b	6.0 ^{ab}	3.0 ^{ab}	3.0 ^a	11.8 ^{ab}
MS/B5 vitamins	2.0 ^d	1.6 ^c	2.2 ^b	2.3 ^a	9.6 ^b
½ MS/B5 vitamins	2.6 ^{bc}	3.8 ^{bc}	2.2 ^b	2.6 ^a	10.0 ^b
¼ MS/B5 vitamins	3.6 ^b	5.8 ^{ab}	2.9 ^{ab}	2.9 ^a	11.5 ^{ab}
¼ MS/Galzy vitamins	5.8 ^a	6.3 ^a	3.3 ^a	3.0 ^a	12.3 ^a

* In each column, the means followed by different letter(s) show significant differences at the p ≤ 0.05

In general, seedling growth was negatively affected due to increasing salt concentrations other than root lengths. Therefore, the development of seedlings in ¼ MS medium gave much better results than MS medium.

Minerals are the important components of the culture media and there are many options for the combinations of the macro and micro salt mixtures of the media [37]. MS medium has a high salt content (especially in terms of potassium and nitrate salts) compared to other media types and is widely used as culture medium in tissue culture studies [38] Due to the high salt

content, this growth medium may not always be the most suitable medium for the development and growth of *in vitro* small plants or explants. Salt stress affects plant growth in physiological aspects. Shoot growth and dry matter decrease with salinity and the root: shoot ratio may increase [39]. Shoot growth is reduced by salinity due to inhibitory effects of salt on cell division and growth at growth points [40]. Inhibition of plant growth by salinity may depend on the inhibitory effect of ions, or high salinity may inhibit the elongation of roots and shoots by causing a slow uptake of water by the plant [41] germinated the seeds of three types of *Coffea arabica* L. in MS,

½ MS, ¼ MS and agar media and compared germination percentages and seedling growths [42]. At the end of the experiments, it was found that the germination percentage, hypocotyl and root length increased proportionally from MS medium towards the agar medium. In our study, there was no statistically significant difference in root length in terms of macro salt concentrations. However, there was a significant difference in the number of roots, shoot lengths, number of shoots and number of leaves. Macro salt concentration was especially more effective on the number of shoots and roots.

In our experiments, no significant difference was observed between MS and B5 vitamins in terms of seedling growth, and Galzy vitamins had a significant effect on seedling growth. Galzy vitamins stand out especially with their biotin and Ca-pantothenate, content, differently from MS and B5 vitamins. Plants normally synthesize vitamins for growth and development [43]. However, *in vitro* plant cells can synthesize the necessary vitamins only below the optimal amount; therefore, the culture medium is often supplemented with vitamins to enhance growth [44].

4. Conclusions and Recommendations

A final protocol was determined for seedling development and seed germination of *H. adenotrichum* at the end of experiments. Seeds were kept under 4 °C during 2 months and then they rinsed 30 min. under tap water. Rinsed seeds were kept in 70% ethanol for 1 min and following this they transferred into 2.25 % NaOCl (containing 1-2 drop tween 80). Following all these treatments, seeds were rinsed again by using distilled water.

Low seed germination rates widely commented as it dependent upon to exogenic and endogenic dormancy has been reported in some studies. Despite our results supports dormancy, one should keep in mind that selection of healthy/empty seeds by floating them on water increases germination rates. There is no record about healthy/empty *Hypericum* seeds selection by floating them on water in literature. Our study presents the first evaluation of interactive effects of light, dark, temperature, stratification and nutrient medium interactive effects on seed germination. The highest germination value has been held when sterilized seeds were incubated in ¼ MS/Galzy vitamins containing medium under 16/8 photoperiod and 18 °C conditions after stratification at 4 °C for 2 months.

The seeds having emerged radicles were transferred *in vitro* conditions (22 °C and 16/8 photoperiod) mainly 7th days of incubation. By observing development of seedlings, ¼ MS/Galzy medium was found to be the most suitable media for development. Concordantly, number of shoots per seedling, mean number of lateral roots, mean length of shoots and number of leaves per shoots were the highest in the medium.

Present study aiming determination of conditions of *in vitro* seed germination and seedling development of *H. adenotrichum* may serve as a first step for future conservation studies of the species.

5. Acknowledge

This study is a part of the pH D thesis of Ömer Yamaner and financially supported by Aydın Adnan Menderes University

Scientific Research Project Department (Project no: FBE-09013).

References

- [1] Surgun Acar Y, Yokaş İ, Bürün B. (2017). Seed germination studies in native species for conservation of biodiversity. In: SEAB2017 International Symposium on EuroAsian Biodiversity, 05-08 July 2017, Belarus. p. 663.
- [2] Bürün, B. (2021). Bitki biyoçeşitliliğinin korunmasında biyoteknolojinin kullanımı ve Türkiye'deki çalışmalar. Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C- Yaşam bilimleri ve Biyoteknoloji, 10(1), 1-16.
- [3] Wartidiningsih, N., Geneve, R.L., & Kester, S.T. (1994). Osmotic priming or chilling stratification improves seed germination of purple coneflower. *HortScience*, 29(12), 1445-1448.
- [4] Bewley, J.D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination* (2nd ed.). Plenum Press, New York, 445 p.
- [5] Fay, M.F. (1994). In what situation is *in vitro* culture appropriate to plant conservation?. *Biodivers Conserv*, 3, 176-183. <https://doi.org/10.1007/BF02291887>.
- [6] Erdağ, B., Emek Y., & Aydoğan, S.K. (2010). Clonal propagation of *Dorystoechas hastata* via axillary shoot proliferation. *Turkish Journal of Botany*, 34(3) 233-240. <https://doi.org/10.3906/bot-0906-36>.
- [7] Kurt, S., & Erdağ, B. (2009) *In vitro* germination and axillary shoot propagation of *Centaurea zeybekii*. *Biologia*, 64(1), 97-101. <https://doi.org/10.2478/s11756-009-0003-0>
- [8] Emek Y. (2018). *Micromeria dolichodontha* P.H. Davis 'nın *In vitro* Aksiller Sürgün Yoluyla Çoğaltımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 14, S.337-342*.
- [9] Özkan, E.E, Demirci, B, Gürer, Ç.Ü, Kültür, Ş., Mat, A., & Başer, K.H.C. (2013). Essential oil composition of five endemic *Hypericum* species from Turkey. *Med Aromat Plants* 2(2), 121. <https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000121>.
- [10] Crockett, S.L., Schaneberg, B., & Khan, I.A. (2005). Phytochemical profiling of new and old world *Hypericum* (St. John's Wort) species. *Phytochem. Anal.* 16(6), 479-485. <https://doi.org/10.1002/pca.875>.
- [11] Çırak, C., Ivanauskas, L., Janulis, V., & Radusiene, J. (2009). Chemical constituents of *Hypericum adenotrichum* Spach, an endemic Turkish species. *Natural Product Research*, 23(13), 1189-1195. <https://doi.org/10.1080/14786410802393209>
- [12] Yamaner, Ö., Erdağ, B., & Gökbulut, C. (2013). Stimulation and production of hypericins in *in vitro* seedlings of *Hypericum adenotrichum* by some biotic elicitors. *Turkish Journal of Botany*, 37(1), 153-159. <https://doi.org/10.3906/bot-1202-1>.
- [13] Yamaner, Ö., & Erdağ, B. (2013). Effects of sucrose and polyethylene glycol on hypericins content in *Hypericum adenotrichum*. *Eurasia J Biosci.*, 7(1), 101-110.
- [14] Yamaner, Ö., Erdağ, B. (2018). Chrome elicitation for secondary metabolites stimulation in *Hypericum adenotrichum* Spach. *European J Biotechnol Biosci.* 6(5), 52-55.

- [15] Schmidt, L., & Joker, D. (2001). *Technical note no. 59 – Glossary of seed biology and technology*. Danida Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark p.14.
- [16] ISTA (International Seed Testing Association) (1999). *Biochemical test for viability*. Seed Science and Technology, 27, supplement.
- [17] Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497.
- [18] Gamborg, O.L., Miller, R.A., & Ojima, K. (1968). Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. *Experimental Cell Research*, 50(1), 151-158.
- [19] Galzy, R. (1964). Technique de thérapie des viroses de la vigne. *Ann Epiphyties*, 15(3), 245-256.
- [20] Avşar, M.D. (2002). Dallı Servide (*Cupressus sempervirens* L. var. *horizontalis* (Mill.) Gord.) suda yüzdürme ile dolu tohumların ayrılabilmesinde yüzdürme tekniği ve süresinin etkileri. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 28-36.
- [21] Arechiga, M.R., Alam, O.S., & Carlos, V.Y. (1997). Effect of light on germination of seven species of cacti from the Zapotitlan Valley in Puebla, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 36(4) 571-578.
- [22] Baskin, C.C., & Baskin, J.M. (1988). Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperature region. *American Journal of Botany*, 75(2) 286-305. <https://doi.org/10.2307/2443896>
- [23] Colbach, N., Chauvel, B., Dürr, C., & Richard, G. (2002). Effect of environmental conditions on *Alopecurus myosuroides* germination. I. Effect of temperature and light. *Weed Research*, 42(3), 210-221.
- [24] Thanos, C.A., Marcou, S., Christodoulakis, & D., Yannitsaros, A. (1989). Early post-fire regeneration in *Pinus brutia* forest ecosystems of Samos Island (Greece). *Acta Oecologica Oecol. Plantarum*, 10(1), 79-94.
- [25] Felipe, G.M. (1978). Estudos de germinação, crescimento e floração de *Bidens pilosa* L. *Revista do Museu Paulista*, 25, 183-217.
- [26] Farmer, R.E., Charrette, P., Searle, I.E., & Trajan, D.P. (1984). Interaction of light, temperature and chilling in the germination of black spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 14(1), 131-133.
- [27] Amritphale, D., Iyengar, S., & Sharma, R.K. (1989). Effect of light and storage temperature on seed germination in *Hygrophila auriculata* (Schumach.) Haines. *Journal of Seed Technology*, 13(1), 39-44.
- [28] Willis, A.J., Groves, R.H., & Ash, J.E. (1997). Seed ecology of *Hypericum gramineum*, an Australian Forb. *Australian Journal of Botany*, 45(6), 1009-1022
- [29] Faron, M., Perecin, M., Lago, A., Bovi, & O., Maia, N. (2004). Temperatura, Nitrato de Potássio e Fotoperíodo na germinação de sementes de *Hypericum perforatum* L. e *H. brasiliense* Choisy. *Bragantia*, 63(2), 193-199.
- [30] Guedes, A. P. (2009). Essential oils from plants and *in vitro* shoot cultures of *Hypericum androsaemum* L., *H. perforatum* L. and *H. undulatum* Schousboe ex. Willd. Universidade do Minho, PhD thesis, Portugal.
- [31] Perez-Garcia, F., Huertas, M., Mora, E., Pena, B., Varela, F., & Gonzalez-Benito, M.E. (2006). *Hypericum perforatum* L. seed germination: interpopulation variation and effect of light, temperature, presowing treatments and seed desiccation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53: 1187–1198.
- [32] Çırak, C., Kevseroğlu, K., & Ayan, A.K., (2007). Breaking of seed dormancy in a Turkish endemic *Hypericum* species: *Hypericum aviculariifolium* subsp. *depilatum* var. *depilatum* by light and some pre-soaking treatments. *Journal of Arid Environments*, 68, 159–164. <https://doi.org/10.1007/s10722-005-2012-3>.
- [33] Hartmann, H.T., & Kester, D.E. (1990). *Plant propagation: principles and practices* (2nd ed.). Prentice Hall, California, p. 770.
- [34] Rehman, S., & Park, H. (2000). Effect of scarification, GA and chilling on the germination of golden-tree (*Koelreuteria paniculata* Laxm.) seeds. *Scientia Horticulturae*, 85(4) 319-324.
- [35] Osińska, E., & Suchorska-Tropiło, K. (2002). The effect of temperature on seed germination of four species of *Hypericum* genus. *Folia Horticulturae*, 14(2), 163-167.
- [36] Greenway, H., & Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, 31, 149–190.
- [37] Fadel, D., Kintzios, S., Economou, A.S., Moschopoulou G., & Constantinidou, H.I.A. (2010). Effect of different strength of medium on organogenesis, phenolic accumulation and antioxidant activity of spearmint (*Mentha spicata* L.). *The Open Horticulture Journal*, 3, 31-35.
- [38] Beyl, C.A. (2005). *Getting Started with Tissue Culture: Media Preparation, Sterile Technique, and Laboratory Equipment*. In: *Plant Development and Biotechnology*. (Gray, D.J., & Trigiano, R.N., Ed.), CRC Pres, U.S.A, p.19-37.
- [39] Rahman, M., Soomro, U.A., Zahoor-ul-Haq, M., & Gul, S. (2008). Effects of NaCl salinity on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4 (3), 398-403.
- [40] Kaymakanova, M. (2009). Effect of salinity on germination and seed physiology in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23(2), 326-329.
- [41] Jamil, M., Lee, D.B., Jung, K.Y., Ashraf, M., Chun Lee, S., & Rha, E. (2006). Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. *Journal of Central European Agriculture*, 7(2), 273-282.
- [42] Ebrahim, N., Shibli, R., Makhadmeh, I., Shatnawi, M., & Abu-Ein, A. (2007). *In vitro* propagation and *in vivo* acclimatization of three coffee cultivars (*Coffea arabica* L.) from Yemen. *World Applied Sciences Journal*, 2(2), 142-150.
- [43] Chawla, H.S. (2002). *Introduction to Plant Biotechnology* (2nd ed.). Science Publishers Inc., Enfield, New Hampshire, p. 750.
- [44] Al-Khayri, J.M. (2001). Optimization of biotin and thiamine requirements for somatic embryogenesis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 37, 453-456. <https://doi.org/10.1007/s11627-001-0079-x>.



The Experimental Research Of The Additively Manufactured Ti4Al4V Parts With The Perspective Of Mechanic Features

Tamer Saraçyakupoğlu*

Istanbul Gelisim University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Aeronautical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5338-726X), dr.tamer@tamersaracyakupoglu.com.tr

(First received 11 February 2021 and in final form 4 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.878677)

ATIF/REFERENCE: Saraçyakupoğlu, T. (2021). The Experimental Research of the Additively Manufactured Ti4Al4V Parts with the Perspective of Mechanic Features. *European Journal of Science and Technology*, (23), 448-455.

Abstract

This study aims to generate research data on basis of engineering evidences in terms of validation tests for Additively Manufactured (AM) Ti4Al4V parts. It is known that Ti6Al4V alloy is broadly used for highly-engineered air vehicles and in compliance with the aviation-grade specifications. For validation, the test parts were manufactured using EOSM290 DMLS (Direct Metal Laser Solidification) machine under argon inert gas. The raw powder was inspected before the manufacturing process with the "better size brand" particle size evaluation machine. The composition of the Ti6Al4V is determined as 90% Ti, 5,48% Al, 4,22% V, 0,369% C, 0,112% Fe, 0,0625% Sn, 0,00386% Nb, 0,0099% Cr in accordance with ASTM F1472 and ATFM 2924 standards and the average diameter size is evaluated as 30 µm. Since the elongation, yield-strength and tensile strength values are the key indicators of mechanical features the stress-strain analysis was performed for 30 test parts. The aim of the analysis is to have information about the mechanical properties such as ductility, brittleness, toughness from the experiments. Analysis results indicate that construction direction, heat treatment, turning, and finishing operations such as sandblasting directly affect the mechanical properties of Ti6Al4V parts.

Keywords: Additive Manufacturing, Aviation-Grade, Ti6Al4V Alloy, Validation

Eklemeli Üretim İle Üretilen Ti6Al4V Parçaların Mekanik Özellikler Perspektifinden Deneysel Araştırması

Öz

Bu çalışma, Eklemeli Olarak Üretilen (AM) Ti4Al4V parçaların doğrulama testleri açısından mühendislik kanıtlarına dayalı araştırma verileri üretmeyi amaçlamaktadır. Ti6Al4V alaşımının, havacılık sınıfı üretim spesifikasyonlarına uygun olarak yüksek mühendislik ürünü hava araçları için yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Doğrulama için test parçaları, argon asal gaz altında EOSM290 DMLS (Direkt Metal Lazer Sinterleme) makinesi kullanılarak üretilmiştir. Toz, üretim sürecinden önce "bettersize marka" partikül boyutu değerlendirme makinesi ile incelenmiştir. ASTM F1472 ve ATFM 2924 standartlarına göre uygunluğu değerlendirilen Ti6Al4V alaşımının içeriği %90 Ti, %5.48 Al, %4.22 V, %0.369 C, %0.112 Fe, %0.0625 Sn, 0,00386% Nb ve %0.0099 Cr olarak belirlenmiştir. Uzama direnci, akma dayanımı ve maksimum çekme dayanımının, mekanik özelliklerin belirlenmesinde anahtar belirleyici değerler olması sebebiyle 30 adet test parçasına gerilme-uzama testi yapılmıştır. Analizin amacı, deneylerle süneklik, kırılma, tokluk gibi mekanik özellikler hakkında bilgi sağlamaktır. Analiz sonuçları, inşaa yönü, ısıl işlem, torna işleme ve kumlama gibi bitirme işlemlerinin Ti6Al4V parçalarının mekanik özelliklerini doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli Üretim, Havacılık Seviyesi, Ti6Al4V Alaşım, Validasyon

* Corresponding Author: tsaracyakupoglu@gelisim.edu.tr

1. Introduction

The aviation industry is a meticulously regulated industry like medical and aerospace industries. Stiff aviation regulations require using high-tech materials such as Titanium and Aluminum alloys. Ti6Al4V is one of them. It is a broadly known light alloy, characterized by having high endurance mechanical features and corrosion resistance with satisfactorily low weight. From manufacturing perspective, the additive manufacturing is a high-tech method that converts the conventional methods. This method provides the opportunity for manufacturing lighter and more durable aircraft structures [1]. Allowing the more complex part is another benefit of additive manufacturing. For catching up with the newest industrial developments, engineers are changing the way they design a part, as they shift from legacy method "subtracting material" to the novel method of adding material in layer-wise in order to manufacture the parts especially the complex ones [2].

Additive manufacturing is a layer-wise production technique that permits generating 3D parts that have complex shapes. Besides, it has advantages such as; reducing material wastage, minimizing the manufacturing consumables such as coolant and cutters, providing opportunities for weight reduction and topology optimization.

The applications like flight-critical parts and engine parts like LEAP engine fuel nozzle shown in Figure 1 can be achieved by additive manufacturing technologies.



Figure 1. LEAP engine fuel nozzle that is additively manufactured [3]

Reportedly, the mentioned fuel nozzle was an assembly consists of 20 parts converted to a single part that is 5 times durable and %25 lighter than its predecessors [4]. LEAP engines power the Airbus, Boeing, and Comac companies' new generation commercial passenger airplanes [5] and every LEAP engine includes 19 fuel nozzles [6]

Undoubtedly, the aviation-grade parts are designed for extraordinary working conditions. In this manner, the aviation-grade materials are similar to medical-grade parts. There are some remarkable studies that provide information about the high-tech industries. For example; Gastineau et al [7] examined the similarity between the medical and aviation industry in terms of relevant authorities' regulation framework. In the mentioned study, it was highlighted that in the medical industry, establishing

an international regulation system like the aviation industry would be more effective. In another study, Murr et al [8] investigated human tissue manufacturing via additive manufacturing technologies. In the mentioned study, it was highlighted that, with the help of know-how transfer from the aviation industry to the medical sector, producing basic human tissue would be possible although there are some considerable challenges in these emerging technologies. Additionally, there is another study provides information about the production and testing of the Ti6Al4V parts in the aviation field. It has been observed that the studies are generally focused on the relationship between mechanical features of the additively manufactured Ti6Al4V and structure particularly. For example; Kaya et al [9], investigated the efficiency of textured cutting tools in orthogonal cutting of Ti6Al4V alloy. Conclusionally, no study was found that focuses on the First Article Inspection (FAI). It is noteworthy that, this is the first paper for an aviation-grade and medical-grade FAI. The FAI is an essential step for prototyping and initial acceptance activities of a system or machine though not a must through mass production [10]. While the testing environment was preparing for FAI activities, DIN 50125 Standard was taken into account. After investigating the above-mentioned scientific papers, it was observed that this study is the first one making tests for the parts which are the most closely to aviation-grade parts.

For a prompt manufacturing process to have a desired tensile strength and surface roughness, there are four main key parameters that should be optimized. These are; the layer thickness laser power, scan speed, and hatch distance. In Figure 2 the process mechanism of the AM DMLS is shown.

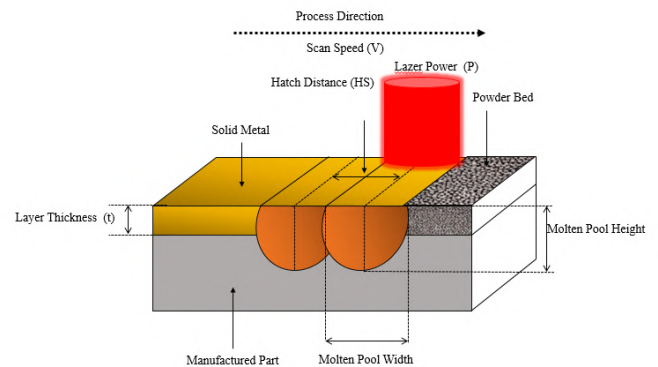


Figure 2. Laser-based machining process in DMLS [11]

1.1. Layer Thickness

In additive manufacturing, a part is produced in through build direction with equal slices. The height of the distance between slices called as layer thickness. As it is shown in Figure 2, there's a positive correlation between layer thickness and surface roughness while there's a negative correlation between layer thickness and tensile strength.

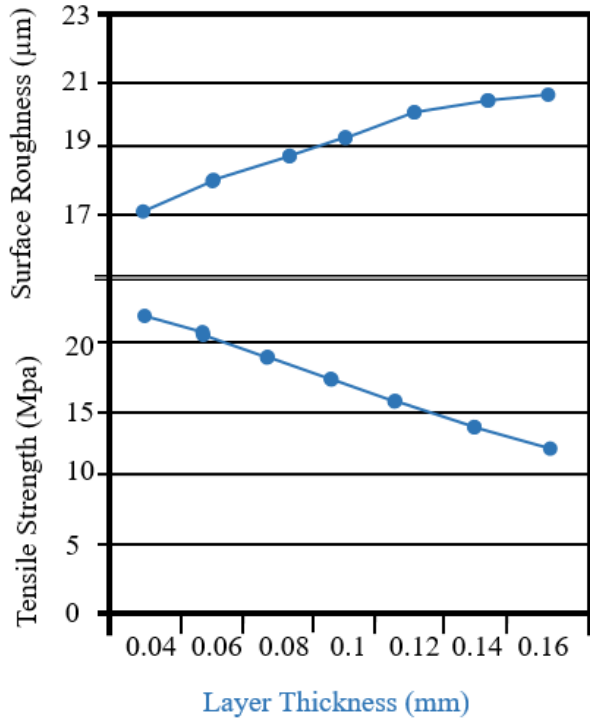


Figure 2. Layer thickness effect on the surface roughness and tensile strength [12,13]

1.2. Laser Power

For DMLS manufacturing, for sintering the required energy is obtained by laser power. EOSM290 machine's maximum laser power is 400 Watt. As shown in Figure 3, with the increasing power of laser surface quality increase up to a certain point. Besides, tensile strength increases with the increasing laser power.

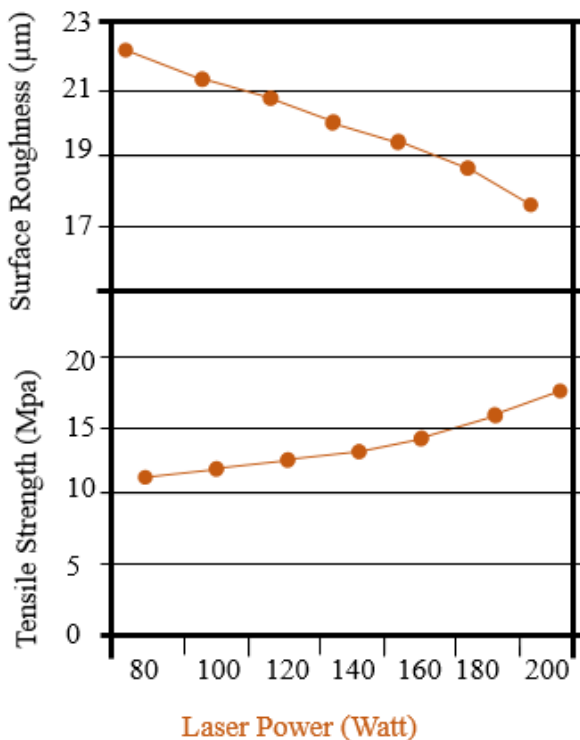


Figure 3. Laser power effect on the surface roughness and tensile strength [12,13]

1.3. Scan Speed

Mainly, scan speed determines the amount of the molten particles simultaneously. If it is slower than the desired speed then the laser beam will spend a longer time on the particles which can conclude with unwanted keyholes on the material. However, if it is faster than the desired speed then the particles are not sintered and this phenomenon concludes with discontinuities. In Figure 4, the scan speed effect over the Surface Roughness and Tensile Strength is shown. In accordance with the increasing scan speed the surface roughness increases, while tensile strength decreases dramatically

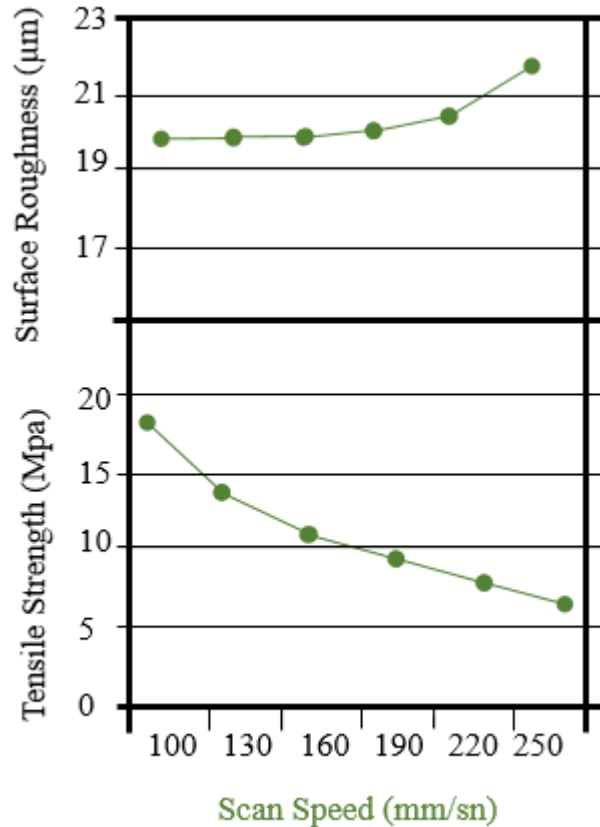


Figure 4. Scan speed effect on the surface roughness and tensile strength [12,13]

1.4. Hatch Distance

It is the distance between scanning lines while producing the layers. If the distance is wider than the desired distance then the laser beam cannot cover the desired area in terms of handling the entirely sintered particles. In the open literature, there are four types of hatch patterns. In Figure 5, the relation between hatch distance and surface roughness, and tensile strength is provided. It can be claimed that with the increasing hatch distance the tensile strength decreases whereas the surface roughness increases.

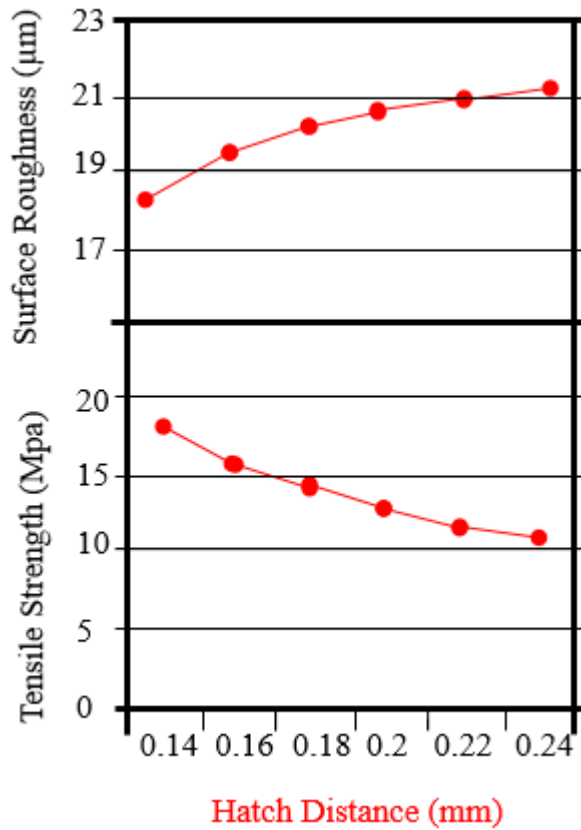


Figure 5. Hatch distance effect on the surface roughness and tensile strength [12,13]

Other than distance, the hatch patterns also have an impact on the finished part. The hatch patterns are given below;

1.4.1. Bi-Directional Pattern

It is a pattern that the laser is driven in a zigzag route. As it is shown in Figure 6, the beam makes a side movement adjusted by the parameter of the machine.

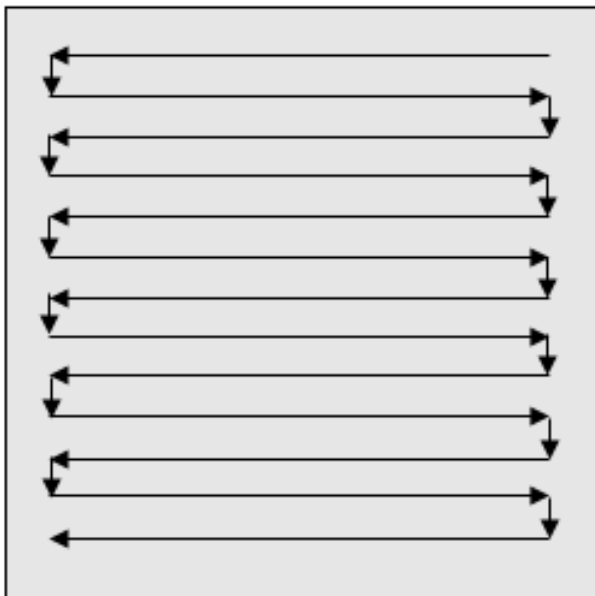


Figure 6. Bi-directional hatch pattern [14,15]

1.4.2. Off-Set In Pattern

In the “Off-Set In Pattern”, the laser beam travels from outside to inside with the step of adjusted hatch distance.

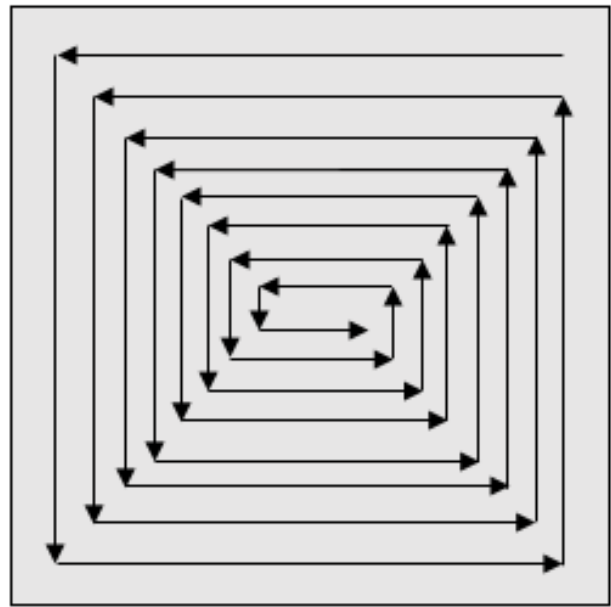


Figure 7. Off-Set in hatch pattern [14,15]

1.4.3. Off-Set Out Pattern

It is the pattern on the opposite of Off-Set in pattern. In this process, the laser beam routes from the outside to inside with the step of hatch distance.

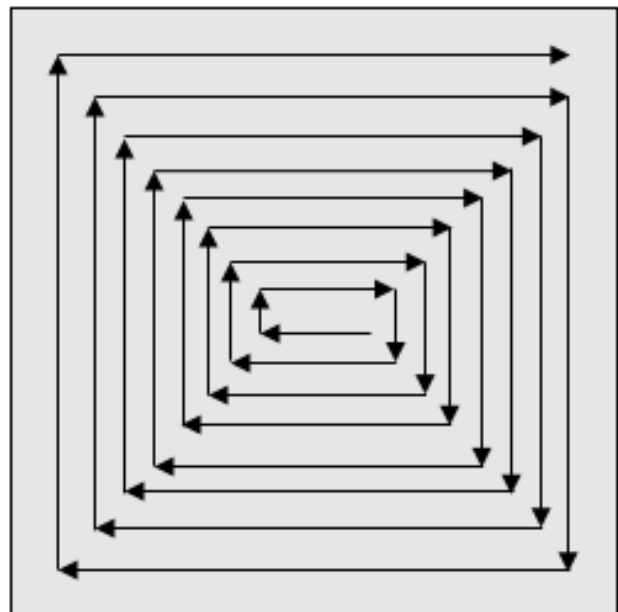


Figure 8. Off-Set out hatch pattern [14,15]

1.4.4 Fractal Pattern

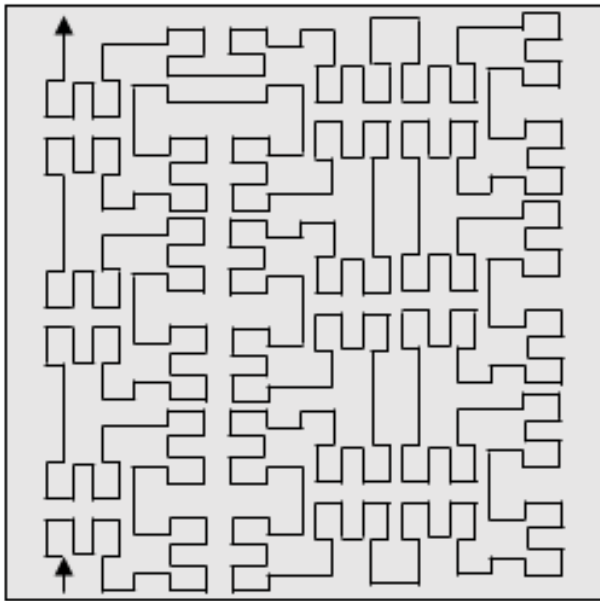


Figure 9. Fractal hatch pattern [14,15]

In this pattern, the laser beam travels through the pattern that has been drawn for providing uniform temperature distribution.

In the overall evaluation, the fractal pattern is the most selected one comparing with the other since it leads to a much more symmetrical temperature which is crucial for having more homogenous structures [16,17,18]

2. Materials and Method

2.1. Manufacturing and tests of the parts

A flow chart was prepared for manufacturing and testing the materials. As it is shown in Figure 10, the test parts were manufactured after approval of the powder quality by an independent test center. Test coupons were produced in accordance with the DIN 50125- C 5X25 Standard.

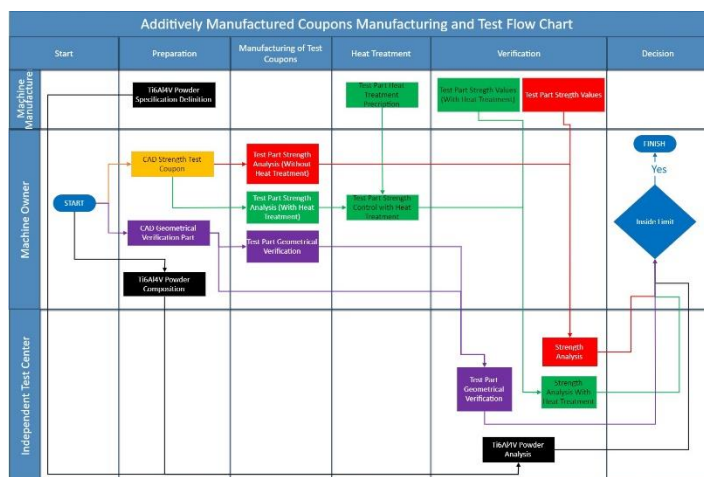


Figure 10. The flow chart of the manufacturing and testing of the additively manufactured test parts.

During the manufacturing process; layer thickness, 60 μ , laser power 200 Watt and volumetric energy density 9mm³ / sec, and fractal hatch pattern were used.

The test parts were prepared in accordance with the specifications of DIN 50125, “Test pieces for tensile testing of e-ISSN: 2148-2683

metallic materials.” In Figure 11, the test parts technical drawing is provided.

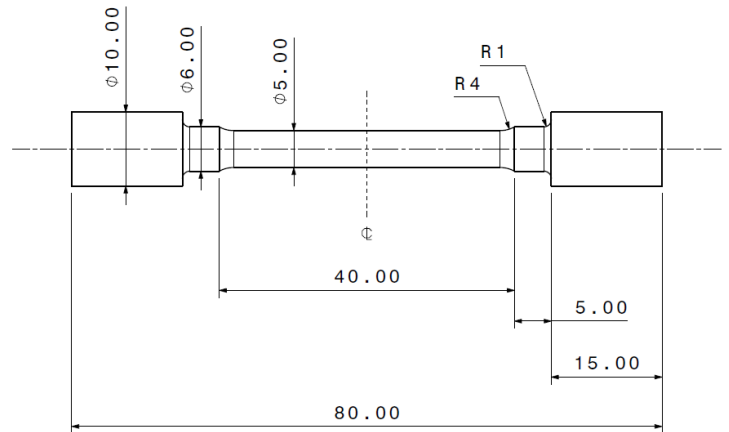


Figure 11. Technical drawing of the test parts

The parts were manufactured as shown in Figure 12.

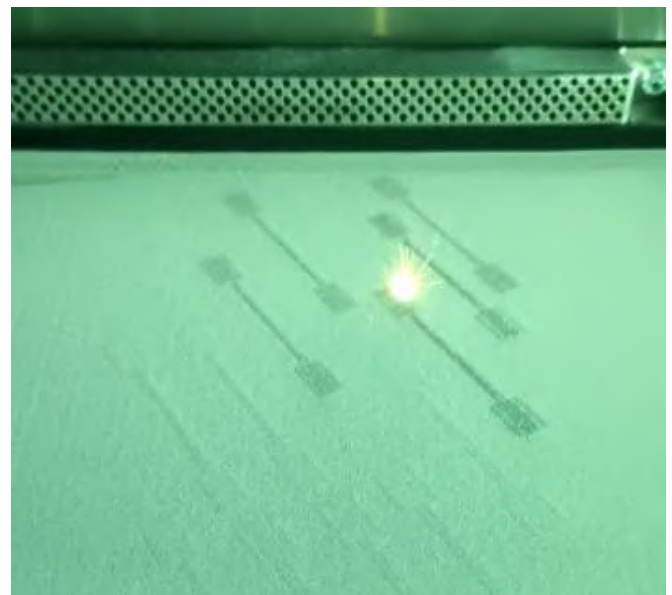


Figure 12. In-Process of the test parts

2.2. Preparation of the test parts

After the manufacturing phase, the parts were prepared for testing as it is shown in Figure 13. In terms of having further information about the surface roughness and strength, the samples were prepared given as follows;

- The test part after manufacturing without lathe and sand-blasting process,
- The test part after lathe machining,
- The test part without any post-process.

It should be highlighted that Rotating machines such as lathe ones are more risky than non-rotating ones in terms of decreasing the mechanical features [19].

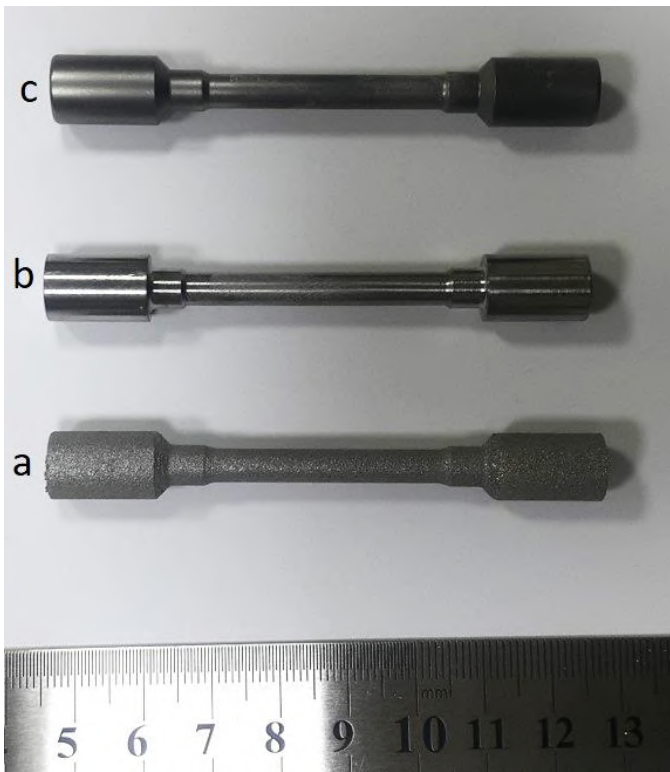


Figure 13. The parts were prepared for surface roughness and mechanical properties. 11.a. The part after manufacturing, 11.b. The part after lathe/turning operation, 11.c. The part after lathe/turning and sand-blasting operation

Some of the under-dimension parts were not chosen for stress-strain tests. In total 30 parts were selected as some of them are shown in Figure 15. For example, the part in the right-end was not used for further test processes. It was observed that all horizontal built parts are bent because of irregular heat distribution.



Figure 14. Some of the test parts

During the study, classification was done for the test parts regarding heat treatment, turn-mill operations, building orientation, sandblasting, and bending conditions. In total 10 groups were established and every group consists of 3 same parts for consistent the result. For test activities, the categorization strategy is given in Figure 14.

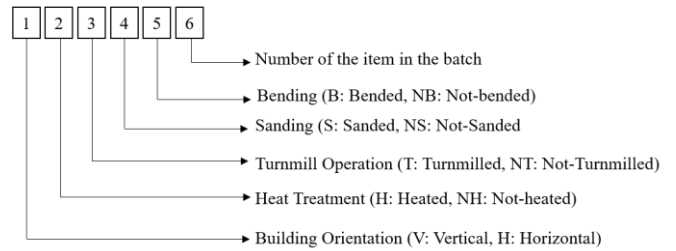


Figure 14. The categorization strategy of the test parts

3. Results and Discussion

After preparation of the parts, they were sent to an independent test center. The parts were analyzed for having information about mechanical properties. The relationship between parts tensile peak load, tensile strength, and yield peak load is given in Table 1.

Table 1. The Relationship between parts tensile peak load, tensile strength, and yield peak

Part Number	Peak Load (kN)	Peak Stress (N/mm ²)	Load at Yield (kN)
V-NH-NT-NS-NB-1	22.522	1147.042	20.064
V-NH-NT-NS-NB-2	22.675	1154.843	20.260
V-NH-NT-NS-NB-3	22.458	1143.805	19.825
V-H-T-S-NB-1	20.141	974.142	18.358
V-H-T-S-NB-2	20.241	977.231	18.365
V-H-T-S-NB-3	20.154	978.235	18.585
V-H-T-S-NB-4	20.202	980.963	18.653
V-H-T-S-NB-5	20.171	981.147	18.775
V-H-T-S-NB-6	20.012	982.761	18.854
H-NH-T-NS-B-1	24.478	1246.694	21.383
H-NH-T-NS-B-2	24.606	1253.190	24.033
H-NH-T-NS-B-3	24.650	1255.447	21.662
H-NH-T-NS-B-4	24.895	1267.923	21.563
H-NH-T-NS-B-5	24.643	1255.069	21.373
H-NH-T-NS-B-6	24.434	1244.452	21.501
H-H-T-NS-NB-1	20.169	1027.206	18.384
H-H-T-NS-NB-2	20.555	1046.907	18.706
H-H-T-NS-NB-3	20.306	1034.207	18.529
H-H-NT-NS-NB-1	19.600	998.255	18.152
H-H-NT-NS-NB-2	19.597	998.090	18.100
H-H-NT-NS-NB-2	19.593	997.876	18.074
H-H-NT-S-NB-1	19.625	999.502	18.103
H-H-NT-S-NB-2	19.423	989.227	17.840
H-H-NT-S-NB-3	19.625	999.519	17.956
H-H-T-S-NB-1	20.370	1037.452	18.522
H-H-T-S-NB-2	20.280	1032.895	18.495
H-H-T-S-NB-3	20.232	1030.422	18.346
V-H-NT-S-NB-1	18.961	965.686	17.674
V-H-NT-S-NB-2	19.154	975.522	17.731
V-H-NT-S-NB-3	19.072	971.353	17.672

Also the relationship between parts stress yield, the elongation, and the modulus elasticity is provided in Table 2.

Table 2. The relationship between parts stress yield, the elongation, and the modulus elasticity

Part Number	Stress at Yield (MPa)	Strain at Break Elongation (%)	Modulus Elasticity (kN/mm ²)
V-NH-NT-NS-NB-1	1021.882	4.560	99.915
V-NH-NT-NS-NB-2	1031.844	6.378	103.093
V-NH-NT-NS-NB-3	1009.703	6.796	105.068
V-H-T-S-NB-1	971.567	11.149	111.125
V-H-T-S-NB-2	972.458	11.196	111.334
V-H-T-S-NB-3	972.996	11.426	111.821
V-H-T-S-NB-4	974.196	11.556	111.900
V-H-T-S-NB-5	974.689	12.136	112.371
V-H-T-S-NB-6	974.991	12.756	112.494
H-NH-T-NS-B-1	1089.052	6.0033	115.211
H-NH-T-NS-B-2	1224.010	6.834	110.074
H-NH-T-NS-B-3	1103.281	7.230	116.814
H-NH-T-NS-B-4	1098.237	7.510	114.344
H-NH-T-NS-B-5	1088.518	8.295	112.367
H-NH-T-NS-B-6	1095.047	6.379	109.683
H-H-T-NS-NB-1	936.326	9.338	117.437
H-H-T-NS-NB-2	952.733	12.212	117.373
H-H-T-NS-NB-3	943.716	7.328	116.814
H-H-NT-NS-NB-1	924.476	7.963	119.160
H-H-NT-NS-NB-2	921.848	6.420	109.238
H-H-NT-NS-NB-2	920.544	6.854	118.734
H-H-NT-S-NB-1	922.000	8.444	111.474
H-H-NT-S-NB-2	908.588	7.767	111.645
H-H-NT-S-NB-3	914.508	7.225	108.360
H-H-T-S-NB-1	943.336	12.366	116.761
H-H-T-S-NB-2	941.965	11.486	117.154
H-H-T-S-NB-3	934.398	11.6462	116.596
V-H-NT-S-NB-1	900.167	12.483	110.569
V-H-NT-S-NB-2	903.066	13.659	109.438
V-H-NT-S-NB-3	1021.882	12.458	112.358

4. Conclusions and Recommendations

At the end of the experimental studies, the build direction and the heat treatment operations are considered as the major factors that influence the results. Mainly the findings are given as follows;

The vertical building direction provides more precise parts in terms of geometrical accuracy. The horizontal building direction increases the geometrical deviation.

The heat treatment decreases the tensile strength and yield strength of Ti6Al4V alloy parts up to a certain degree. It was observed that Ti6Al4V alloy is sensitive for heat treatment.

The turnmill/lathe operations reduce the strength.

The blast sanding doesn't affect the mechanical features of the additively manufacture Ti6Al4V parts significantly. Since sandblasting is mainly used for the finishing process as a surface operation, it was evaluated that the mentioned process might be used for improving the surface quality.

In general evaluation, the most powerful influencers are determined as building direction, heat-treatment, machining process respectively while blast sanding has a minor effect on the

mechanical features. Besides, bending is a catastrophic phenomenon that cannot be accepted. It is strongly recommended to build the parts in a vertical direction to avoid the machining process other than slight surface operations such as sanding.

For future studies, it would be recommended to change the parameters of scan speed, laser power and apply the stress-strain tests as a complementary study. The result of the mentioned analysis would provide information to determine the more convenient parameter sets and hence produce the parts in a more efficient manufacturing method.

5. Acknowledge

The author's additive manufacturing studies are encouraged by Artuk Aviation Ltd. Company located in Afyonkarahisar/Turkey. The author is immensely grateful to Artuk Aviation Ltd. for supporting his engineering studies.

References

- [1] Tekkanat, K., & Keleş, Ö. (2020). Uçak Kanadının Entegre Güçlendirilmiş Panel Yapıları Kullanılarak Yapısal Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 64-71
- [2] Han P. (2017). Additive Design and Manufacturing of Jet Engine Parts. *Engineering*, (3), 648-652
- [3] Meram A., Sözen B. (2020) Investigation on the manufacturing variants influential on the strength of 3D printed products, *Journal of Research on Engineering Structures and Material*, (6), 293-313.
- [4] Verhoef L.A., Budde B.W., Chockalingam C., Nodar B.G., Wijk J.M.V. (2018). The effect of additive manufacturing on global energy demand: An assessment using a bottom-up approach, *Energy Policy*, (112), 349-360
- [5] Saraçyakupoğlu T. (2020). Emniyet İrtifasından Bilgiler Genel Havacılık, Üretim ve Bakım Süreçleri, Nobel Akademik Yayıncılık, 1-143
- [6] Karayel E., Bozkurt Y.(2020). Additive manufacturing method and different welding applications, *Journal of Materials Research and Technology*, (9), 11424-11438
- [7] Gastineau T. (2020). What can vaccines learn from aviation?, *Vaccine*, (38), 5082-5084
- [8] Murr L.E. (2016). Frontiers of 3D printing/additive manufacturing: from human organs to aircraft fabrication. *Journal of Materials Science & Technology*, (32), 987-995
- [9] Kaya, E , Kaya, İ . (2018). Efficiency investigations of textured cutting tools in orthogonal cutting of Ti6Al4V alloy: a numerical approach . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (14) , 164-168
- [10] Wilbig J., Oliveira F.B., Obaton A.F., Schwentenwein M. , Rübner K., Günster J. (2020). Defect detection in additively manufactured lattices, *Open Ceramics*, (3), 2666-5395
- [11] Sola A., Nouri A. (2019). Microstructural porosity in additive manufacturing: The formation and detection of pores in metal parts fabricated by powder bed fusion, *Journal of Advanced Manufacturing and Processing*, (1), 10021
- [12] Yalçın B., Ergene B., 2017, Endüstride Yeni Eğilim olan 2-B Eklmeli İmalat Yöntemi ve Metalurjisi, *SDU International Journal of Technological Science*, (9), 65-88
- [13] Yu, N. (2005). Process Parameter Optimization for Direct Metal Laser Sintering (DMLS), Doctorate Thesis, National University of Singapore
- [14] Shamsaei, N., Yadollahi, A., Bian, L., Thompson, S. M. (2015), An overview of direct laser deposition for additive

- manufacturing; Part II: Mechanical behavior, process parameter optimization and control, Additive Manufacturing, **(8)**, 12–35
- [15] Blackwell, P.L. (2015). The mechanical and microstructural characteristics of laser-deposited IN718, *Journal of Material Processing Technology*, **(170)**, 240–246.
- [16] Ahmed N. (2019). Direct metal fabrication in rapid prototyping: A review, *Journal of Manufacturing Processes*, **(42)**, 167-191
- [17] Zafar M. Q., Wu C. C., Zhao H., Wang J., Hu X. (2020). Finite element framework for electron beam melting process simulation, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **(109)**, 2095-2112
- [18] Ma L., Bin H. (2007). Temperature and stress analysis and simulation in fractal scanning-based laser sintering, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **(34)**, 898–903
- [19] Oral, O., Çolak, O., & Bayhan, M. (2019), Ti6Al4V Malzemesinin Frezelenmesi'nde Oluşan Takım Titreşiminin MEMS İvme Sensörü ile İzlenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **(17)**, 64-71



Forecasting The Biosorption of Crystal Violet Cationic Dye onto Biomass-driven Graphene-Like Porous Carbon Through Artificial Neural Network Approach

Ceren Karaman^{1*}

^{1*} Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Electricity and Energy, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9148-7253), cerenkaraman@akdeniz.edu.tr

(First received 11 February 2021 and in final form 4 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.878772)

ATIF/REFERENCE: Karaman, C. (2021). Forecasting The Biosorption of Crystal Violet Cationic Dye onto Biomass-driven Graphene-Like Porous Carbon Through Artificial Neural Network Approach. *European Journal of Science and Technology*, (23), 456-464.

Abstract

Textile industries are considered to be the main actors in water pollution. Estimation of the textile dye sorption capacities of the biosorbents/adsorbents are crucial as design considerations. Herein, the feasibility of utilizing orange-peel-derived graphene-like porous carbons (GCs) as a low-cost biosorbent for removal of Crystal Violet (CV) cationic dye from aqueous solution have been evaluated both by batch biosorption experimental-setup and by using an artificial neural network (ANN) approach. The physicochemical characterization results have indicated that as-synthesized GCs has a specific surface area of 985 m².g⁻¹, a pore volume of 1.04 cm³.g⁻¹, and a point of zero charge (pH_{PZC}) of 6.50. The biosorption capacity of the biosorbent has been investigated as a function of initial pH, biosorbent dosage, initial dye concentration, and temperature. The optimal biosorption performance values have been achieved at pH of 7.5, the biosorbent dosage of 3.0 g.L⁻¹, the temperature of 25 °C, in which 91.6% of initial CV (initial dye concentration of 100 ppm) has been successfully removed. The experimental results have indicated that the biosorption process significantly depends on the temperature whereas *ca.*15 min of contact time is sufficient for reaching equilibrium. The ANN approach has been utilized to forecast the biosorption performance of GCs. The proposed ANN model has been trained by the Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm, by using the activation function of purelin and tansig functions at hidden and output layers, respectively. Different hidden topologies have been evaluated to optimize the ANN model. An optimal ANN model structured with two hidden layers with 5 and 10 neurons in each layer has been developed to forecast the biosorption of CV with high-performance parameters (linear correlation coefficient, *R*= 0.9995; mean squared error, *MSE*=0.0004). This work has shown that the experimental data are in harmony with ANN-based data, so it can be speculated that the proposed ANN approach can be utilized for predicting the cationic dye biosorption

Keywords: Agricultural Waste, Artificial Neural Network (ANN), Biosorption, Crystal Violet, Modeling, Orange Peel.

Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı ile Crystal Violet Katyonik Boyarmaddesinin Biyokütle-temelli Grafen Benzeri Gözenekli Karbon Üzerine Biyosorpsiyonunun Tahmin Edilmesi

Öz

Tekstil endüstrisi su kirliliğinde ana aktörler olarak kabul edilmektedir. Biyosorbentlerin / adsorbanların tekstil boyası soğurma kapasitelerinin tahmini, tasarım konuları olarak çok önemlidir. Bu çalışmada, sulu çözeltilerden Crystal Violet (CV) katyonik boyarmaddesinin uzaklaştırılması için düşük maliyetli bir biyosorbent olarak portakal kabuğu türevi grafen benzeri gözenekli

* Corresponding Author: cerenkaraman@akdeniz.edu.tr

karbonun (GCs) kullanılmasının fizibilitesi hem kesikli biyosorpsiyon deney düzeneği ile hem de yapay bir sinir ağı (YSA) yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Fizikokimyasal karakterizasyon sonuçları, sentezlenen GCs'nin $985 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ özgül yüzey alanına, $1.04 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ gözenek hacmine ve 6.50 sıfır yük noktasına (pH_{PZC}) sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Biyosorbentin biyosorpsiyon kapasitesi, başlangıç pH'ı, bisorbent dozu, başlangıç boya konsantrasyonu ve sıcaklığın fonksiyonu olarak araştırılmıştır. En yüksek biyosorpsiyon performans değerleri pH 7.5, biyosorbent konsantrasyonu $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 25°C sıcaklıkta elde edilmiştir ve burada başlangıçtaki CV'nin% 91.6'si başarıyla uzaklaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, biyosorpsiyon işleminin önemli ölçüde sıcaklığa bağlı olduğunu, ancak yaklaşık 15 dakikalık temas süresinin dengeye ulaşmak için yeterli olduğunu göstermiştir. GC'nin biyosorpsiyon performansını tahmin etmek için YSA yaklaşımı kullanılmıştır. Önerilen YSA modeli, sırasıyla gizli katmanda ve çıktı katmanlarında purelin ve tansig fonksiyonlarının aktivasyon fonksiyonu kullanılarak, Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması ile eğitilmiştir. YSA modelini optimize etmek için farklı gizli topolojiler değerlendirilmiştir. Yüksek performanslı parametrelerle (doğrusal korelasyon katsayısı, $R = 0.9995$; ortalama kare hatası, $\text{MSE} = 0.0004$) CV'nin biyosorpsiyonunu tahmin etmek için 5 ve 10 nöronlu iki gizli katman ile yapılandırılmış optimal bir YSA modeli geliştirilmiştir. Bu çalışma, deneysel verilerin YSA temelli verilerle uyumlu olduğunu ortaya koymuştur, bu nedenle önerilen YSA yaklaşımının katyonik boyarmadde biyosorpsiyonunu tahmin etmek için kullanılabilirliği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal Atık, Yapay Sinir Ağı (YSA), Biyosorpsiyon, Crystal Violet, Modelleme, Portakal Kabuğu.

1. Introduction

The exponential increase in industrialization especially in textile, leather, paper, printing, food, cosmetic, petroleum industries has led to severe contamination of groundwater due to their synthetic dye pollutants. Almost 15% of dyes are wasted during the process and *ca.*20% of them have been directly discharged to wastewater. Hence, they threaten both many of the life forms and the environment. There are almost three hundred types of dyes readily available. Amongst them, synthetic dyes are the main threat due to their non-biodegradable, highly stable and toxic nature (Karaman and Aksu, 2020). Crystal violet, one of the well-known cationic synthetic dye, is utilized in various applications such as cosmetics, veterinary medicine, textile dyeing, printing, dermatology, an additive to poultry feed. Even a trace amount of it may cause cytotoxic and carcinogenic effects on cells and severe damage to the cornea and conjunctiva, besides the adverse effects on the aquatic life. Therefore, so far number of researches have been conducted for the removal of organic pollutants to protect both human beings and the environment. In addition to conventional technologies for water treatment, the researchers have intensely focused on alternative techniques such as membrane process, electrosorption, photocatalytic oxidation, and of course adsorption which is one of the most promising candidates (Kodal and Aksu, 2017). Adsorption is considered to be one of the most feasible ones since it offers high removal efficiency, low-cost and operation simplicity, suitable for scaling-up (Karaman and Aksu, 2020; Karaman 2020). Among the variety of biomaterials that can be used as biosorbents, agricultural wastes have gained substantial prominence due to their low-cost, availability, non-toxicity, environmental benignity, and the possibility to obtain various derivatives. Among the various types of agricultural waste biosorbents, orange peel is considered to be a satisfactory biosorbent since its surface functionality and lignocellulosic structure, as well as its readily available (Karaman 2020; Liang et al., 2009; Lu et al., 2009; Pathak et al., 2016).

In the adsorption/biosorption process there are many interactions between the adsorbent/biosorbent and the adsorbates that mainly influenced by operational conditions. Especially in large-scale applications, it is vital to utilize a smart model to forecast the removal efficiency of biosorbents without conducting redundant efforts. In this sense, the ANN approach that is one of the powerful candidates to model both linear and

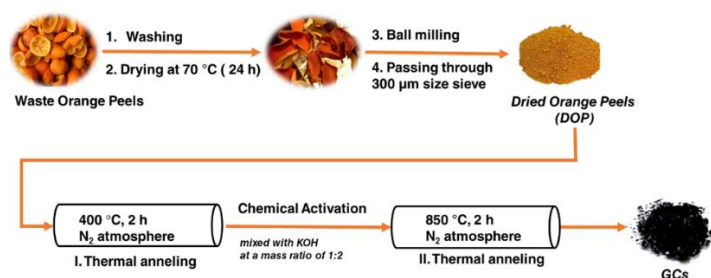
non-linear systems can be successfully applied to modeling the adsorption process, and also optimize the process (Dehghani et al., 2020; Pauletto et al., 2020). It is noteworthy that the performance of the ANN model depends on its structure such as selected backpropagation algorithm, activation function in hidden/output layers, and the number of neurons and hidden layers (Pauletto et al., 2020; Elemen et al., 2012, Fawzy et al., 2018; Ghaedi et al., 2014). Thus, it is important to optimize the proposed ANN model (Pauletto et al., 2020). There are several valuable works that get benefits from ANN to predict the adsorption behavior of the various systems. Broujeni et al. (2021) synthesized chitosan/TiO₂ nanocomposite and investigated its application as an adsorbent for removing thorium (IV) (Th⁴⁺) ion from aqueous solution. All experiments were carried out by ANN, and genetic algorithm was implemented to determine the most suitable operating condition for the adsorption of Th⁴⁺. Hanandeh et al. (2021) simulated Pb, Cu and Ni adsorption in single and multicomponent solutions by constructed different machine learning algorithms specifically ANN models. They reported that the Bayesian regularization backpropagation algorithm offered the highest accuracy amongst the others. Additionally, it was stated that the best performance was achieved by using 8 neurons in the hidden layer with symmetrical logistic transfer functions (tansig) for both the hidden and output layers. Based on the above facts, it can be speculated that related studies on biosorbent can also be applied to other optimized ANN models. Herein, a cost-natural orange-peel-derived graphene-like porous carbon has been utilized as biosorbent for removal of cationic dye from aqueous solutions. It is aimed to get further insight in the biosorption of crystal violet dye onto GCs both by conducting batch biosorption experiments and by applying the proposed ANN model to validate and forecast the removal efficiency. Even though there are plenty of reported works on the orange peel derived biosorbents for dye removal, this work is original as it highlights the biosorption of CV onto GCs by ANN approach. The maximum dye removal efficiency of the GCs and optimum process conditions have been determined by assessing the independent variables including initial pH of the solution, initial dye concentration ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), biosorbent dosage ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), and operation temperature ($^\circ\text{C}$). These independent variables have been used as input data for the proposed ANN model, whereas the removal efficiency is the output data. The ANN model has been optimized by evaluating the different hidden layer topologies. The ANN model has been trained by the Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm, by using the activation function of purelin and tansig functions at hidden and output layers, respectively. The ANN

performance has been evaluated by well-established performance metrics including mean squared error and linear determination coefficient to forecast the CV removal efficiency of the GCs by using the testing data.

2. Methodology

2.1. Synthesis of Biosorbent

The waste orange peel-derived graphene-like porous carbon biosorbents were synthesized according to our previous report (Karaman, 2020). The schematic representation of the proposed two-step production pathway was given in Scheme 1. The washed, ball-milled, and dried waste orange peels (DOP) were used as a carbon precursor to synthesize GCs. A two-step facile route consisting of thermal annealing and the chemical activation with potassium hydroxide (KOH) was applied for preparing GCs biosorbents. As-prepared powder was treated with 0.1 M hydrochloric acid (HCl) and deionized water (DI) to remove inorganic salts. Afterward, the product was dried at 70 °C in a vacuum oven, then labeled as GCs.



Scheme 1. Schematic illustration of synthesis pathway for GCs

2.2. Preparation of Crystal Violet Solution

Crystal violet solutions with determined initial CV concentrations (listed in Table 1) was prepared by from 1000 ppm stock solution of CV. Subsequently, the initial pH (range between 2.0-10.0) of dye solutions were set by using 0.1 N HCl and 0.1 N NaOH solution, followed by the biosorbent was added to the pH-adjusted dye solution.

2.3. Physicochemical Characterization of Biosorbent

The physicochemical characterization of GCs was conducted by field-emission scanning electron microscope (FE-SEM) (Hitachi S-4900) operating at 5.0 kV, and transmission electron microscope (TEM, JEM-1400F, JEOL) at 120 kV. The Brunauer–Emmett–Teller surface areas (S_{BET}) of biosorbent were obtained with the help of the N_2 adsorption/desorption measurements (at 77 K) by using Quantachrome Nova 2200 automated surface area analyzer (Quantachrome Corporation, USA). The pore size distributions (PSD) were calculated by the Barrett-Joyner-Halenda (BJH) method.

2.4. Experimental Studies of Batch Biosorption

Series of typical batch biosorption experiments were conducted as reported in the previous report (Karaman, 2020) to investigate the effect of independent variables (Table 1) on CV removal efficiency. During the experimental studies, t_0 was defined as the time when a weighed amount of GCs was first introduced to 100 mL of pH-adjusted test solution.

Subsequently, at pre-determined contact time intervals up to 120 min, periodically 5.0 mL of dye samples were taken out, followed by centrifugation at 5000 rpm for 5 min. The residual CV concentration was determined by a UV/Vis spectrophotometer (U-2800, Hitachi, Japan) at the maximum adsorption peak (λ_{opt}).

Table 1. Range of biosorption operating condition variables

Independent variables	Range
Initial pH of the dye solution	2.0, 3.5, 4.0, 5.5, 6.0, 7.5, 8.5, 10.0
Initial CV concentration (ppm)	25.0, 50.0, 100.0, 250.0, 500.0, 750.0
Dosage of GCs ($g.L^{-1}$)	1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 5.0
Operation temperature ($^{\circ}C$)	25, 35, 45

2.4.1. Evaluation of Biosorption Performance

The biosorption capacity q ($mg.g^{-1}$) (Eq. 1), removal efficiency % (Eq. 2), and biosorption rate r ($mg.g^{-1}.min^{-1}$) (Eq.3) metrics of the GCs were calculated.

$$q = \frac{(C_0 - C)}{X} \quad (1)$$

$$\text{removal efficiency \%} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

$$r = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (3)$$

where C_0 ($mg.L^{-1}$) is the initial arsenate concentration; C ($mg.L^{-1}$) is the residual arsenate concentration at any time of the biosorption process; X is the biosorbent dosage ($g.L^{-1}$); t is the time (min).

The experiments were performed in triplicate to guarantee the accuracy and the reproducibility of the data, and the average of them was used in data processing conducted by Microsoft Excel 2010. The relative standard deviations were calculated to be within $\pm 3\%$.

2.4. Artificial Neural Network Modeling

The neural network toolbox of MatLab® 9.5 (R2018b) software was utilized to train and simulate the ANN network for forecasting the CV removal efficiency of as-synthesized GCs. The proposed feedforward ANN model consisting of interconnected input, hidden and output layers was trained by the Levenberg-Marquardt (*trainlm*) backpropagation algorithm, using the activation function of purelin (Eq. 4) and tansig (Eq.5) at the hidden and the output layers, respectively.

$$y = \text{purelin}(x) = x \quad (4)$$

$$y = \text{tansig}(x) = \frac{2}{(1 + \exp(-2x)) - 1} \quad (5)$$

The experimental data were randomly divided into training data (70%), validation data (15%), and test data (15%). The data were previously normalized to the range of -1 to 1 by MatLab® function *mapminmax* to avoid the overfitting problem and maintain the generalization. The initial pH of the solution, initial dye concentration, biosorbent dosage, and the operating

temperature were the input neurons of the proposed model, whereas the removal efficiency was the neuron of the output layer. The number of artificial neurons in hidden layers is mainly responsible for feature extraction from the input to predict the output. Thus, the performance of the developed ANN model depends on the number of hidden layers and the number of artificial neurons in these layers. Therefore, different hidden layer topologies based on degrees of freedom analysis of the system were evaluated to optimize the ANN model.

The performance of the proposed model and the optimal hidden topology were chosen based on the performance metrics of MSE (Eq. 6) and R (Eq. 7) values.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (|y_{prd,i} - y_{exp,i}|)^2 \quad (6)$$

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_{prd,i} - y_{exp,i})}{\sum_{i=1}^N (y_{prd,i} - y_M)} \quad (7)$$

where $y_{prd,i}$ is the predicted value by ANN model, $y_{exp,i}$ is the experimental value, y_M is the average of experimental value, and N is the number of data.

3. Results and Discussion

3.1. Physicochemical Characterization of Biosorbent

SEM and TEM analysis were conducted to investigate the morphology and the structure of as-synthesized samples (Figure 1). The SEM micrograph of DOP (Figure 1a) suggested irregular-shaped bulk carbon monoliths. On the other hand, the SEM images of GCs sample presented silky porous network with micro and mesoporous structure (Figure 1b). As presented in Figure 1c, TEM image of GCs sample offered slightly wrinkled surface characteristics of graphene structures besides atomic-thick layered carbon material.

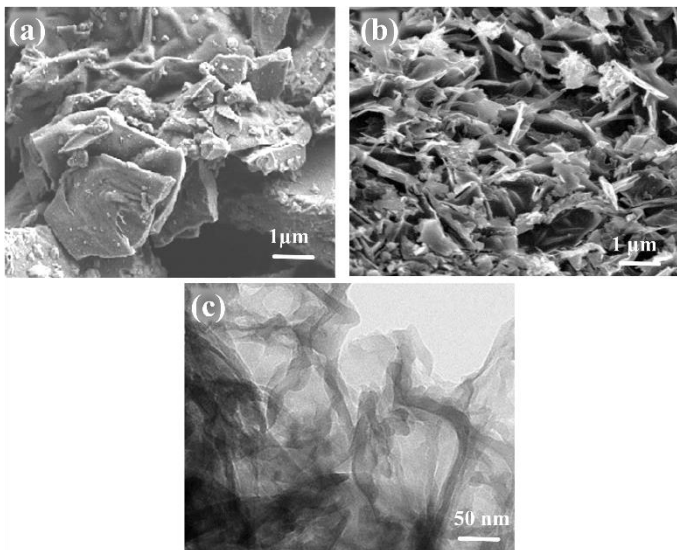


Figure 1. FE-SEM images of (a) DOP and (b) GCs, (c) TEM image of GCs

The BET surface areas (Figure 2a) and the PSDs (Figure 2b) of as-synthesized samples were calculated and tabulated in Table 2. The increment in the S_{BET} value of GCs mainly attributed to the activation of the mesopores and micropores of samples by KOH activation and thermal annealing. The observed Type-IV hysteresis loop in N_2 adsorption/desorption isotherm of GCs

suggested dominant mesoporous structures which also was confirmed by the PSD analysis. As listed in Table 2, thanks to the higher S_{BET} and hierarchically-ordered micro and mesoporous structure with large pore volume of GCs, the dye adsorption capacity of GCs was expected to be higher than DOP.

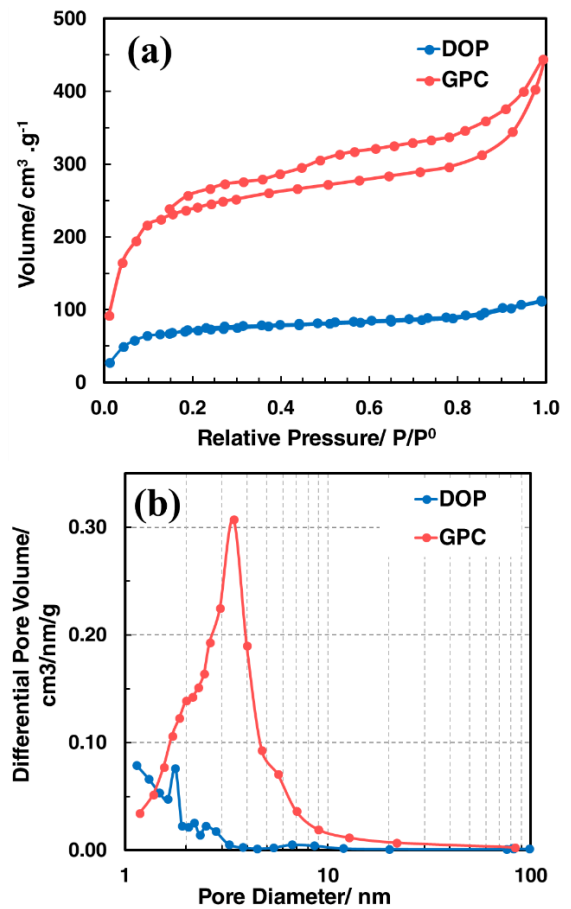


Figure 2. (a) N_2 adsorption/desorption isotherms (b) the BJH pore size distributions of DOP and GCs

Table 2. Physicochemical parameters obtained from N_2 adsorption/desorption isotherms of DOP and GCs samples

Sample ID	S_{BET} $m^2.g^{-1}$	V_{micro} $cm^3.g^{-1}$	V_{meso} $cm^3.g^{-1}$	V_{total} $cm^3.g^{-1}$	V_{micro} %	V_{meso} %
DOP	102.0	0.10	0.05	0.14	67.38	32.62
GCs	985.0	0.41	0.63	1.04	39.85	60.15

3.2. Effect of Experimental Parameters on CV Removal

3.2.1. Initial pH

The effect of solution initial pH on the biosorption of CV, a serial of batch biosorption studies were carried out over a pH range of 2.0-10.0 at 100 ppm initial CV concentration, and 1.0 g.L⁻¹ GCs dosage. The results indicated that the pH of the solution directly affect the biosorption capacities of the biosorbent (Figure 3). The dye removal efficiency of increased at the alkaline media up to pH 7.5. It has been observed that there was no remarkable change in removal efficiency. Therefore, further experiments were conducted at pH 7.5. However, it should be noted that the slight decrease in the removal efficiency at alkaline media was mainly caused by the competition of hydroxyl ions and the crystal violet oxyanions

(Abid et al., 2016; Rahaman et al., 2008). It is noteworthy to emphasize that the neutral pH values give the way for practical application for textile wastewater treatment. The results were consistent with the zeta potential measurements. The point of zero charge (pH_{PZC}) of GCs was measured as 6.50. At a higher pH value than pH_{PZC} of the sample, the surface of the biosorbent charged negatively and led to favor the biosorption of cationic species. On the other hand, the lower pH_{PZC} values, the surface protonated and prone to biosorb the anionic species (Das et al., 2007; Su et al., 2010). In the light of these findings, it could be proposed the biosorption of CV onto GCs probably occurred as a result of electrostatic interaction.

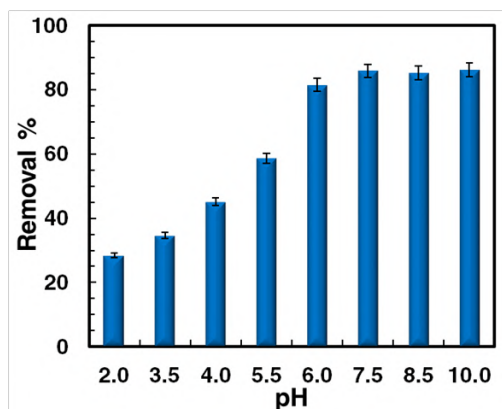


Figure 3. Effect of the initial pH of the dye solution on the removal efficiency of GCs ($C_o=100$ ppm, $X=1.0$ g.L⁻¹; $t=120$ min, $T=25$ °C).

3.2.2. GCs Dosage

Another parameter that could affect the biosorption capacity is the biosorbent dosage. Thus, the effect of biosorbent dosage range between 1.0-5.0 g.L⁻¹ on the CV removal from aqueous solution was examined at the optimum pH of 7.5 for 100 ppm dye concentration. The equilibrium uptake capacity (q_e ; mg.g⁻¹) and the removal efficiency values of the biosorbent at various biosorbent dosage was calculated and presented in Figure 4. It was realized that the biosorbent concentration frankly shifted the removal efficiency from ca.85.6 % to ca.92.0% by increasing the mass fraction of the biosorbent. This increment was mainly caused by the increasing the number of active sites. On the other hand, due to the economical and practical reasons 3.0 g.L⁻¹ biosorbent dosage was determined as the optimum biosorbent dosage since it was realized that there was no remarkable difference in removal % of 3.0 g.L⁻¹ and 5.0 g.L⁻¹ biosorbent concentration. Hence, the further experiments were conducted at pH 7.5, and 3.0 g.L⁻¹ biosorbent dosage.

3.2.3. Initial Dye Concentration

The dye removal efficiency and the adsorption rate was investigated for various initial CV concentration ranging between 25.0 ppm and 750 ppm at the optimum pH of 7.5 for 120 min at 25 °C. The biosorption of CV onto GCs was increased remarkably by increasing the initial dye concentration

since the concentration difference offers a significant driving force that could eliminate the mass transfer resistance (Figure 5a.). Figure 5a indicated that the biosorption process significantly depends on the initial dye concentration and ca.15 min of contact time is sufficient for reaching the biosorption equilibrium. Within the first 10 min of the biosorption process, it was determined that the major part of the dye species successfully transferred from the dye solution to the solid-liquid interface and adsorb onto the biosorbent active sites. Subsequently, by reaching the equilibrium the biosorption uptake capacity curve reached a plateau (Figure 5a). Moreover, as a result of increasing the number of interactions between the biosorbent and dye species at higher dye concentrations, the biosorption rate was substantially increased up to 4.5 mg.g⁻¹.min⁻¹ at 750 ppm initial CV concentration (Figure 5b). On the other hand, it was realized that the removal efficiency of GCs was not boosted by the increase of initial dye concentration since the number of available vacant active sites on the surface of the biosorbent was diminished at the higher dye concentrations.

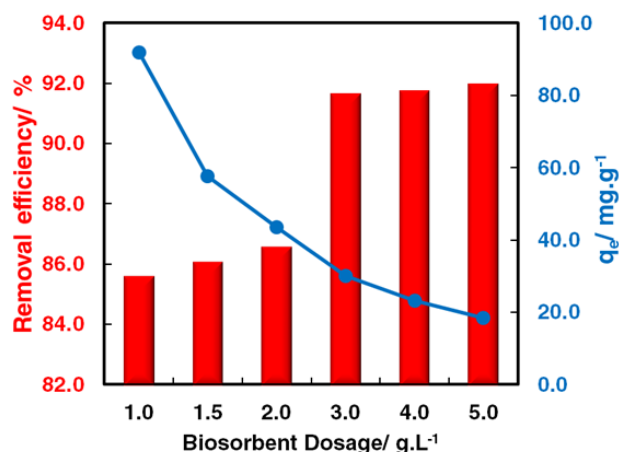


Figure 4. Effects of GCs dosage (g.L⁻¹) on uptake of CV (initial pH=7.5, $C_o=100$ ppm, $t=120$ min, $T=25$ °C)

3.2.4. Temperature

The operating temperature of the biosorption process is one of the critical parameters that affects the biosorption rate and the removal efficiency of the biosorbent. The biosorption rate, removal efficiency, and equilibrium dye uptake capacity of the GCs were evaluated at different operating temperatures of 25 °C, 35 °C, and 45 °C at optimum initial solution pH of 7.5, and 3.0 g.L⁻¹ biosorbent dosage. The temperature-dependent biosorption behavior of the GCs indicated its exothermic character since the removal efficiency and biosorption rate values were decreased with the increase of the operating temperature. The equilibrium uptake capacity (q_{eq}) of the GCs decreased from 30.5 mg.g⁻¹ to 23.9 mg.g⁻¹ by increasing the temperature from 25 to 45 °C, at pH 7.5 and 100 ppm initial CV concentration. This behavior was attributed to the weakened physical bounding at higher temperatures.

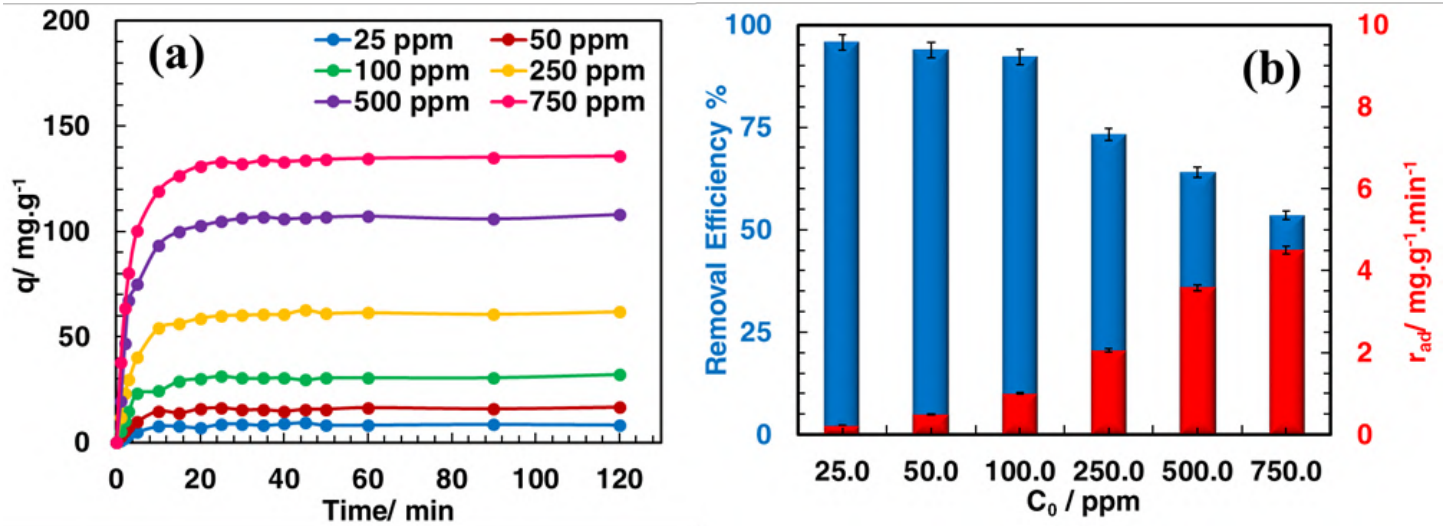


Figure 5. (a)Effect of contact time (b) initial CV concentration on uptake of CV (initial pH=7.5, X=3.0 g.L⁻¹, T= 25 °C)

Table 3. Effect of operating temperature and initial dye concentration on biosorption rate (r_{ad}), equilibrium uptake capacity (q_{eq}), and CV removal % (initial pH=7.5, X: 3.0 g.L⁻¹).

T	C_0 (ppm)	r_{ad} (mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)	q_{eq} (mg.g ⁻¹)	Removal %
25	25	0.23	8.2	98.4
	50	0.50	15.0	90.0
	100	1.02	30.5	91.5
	250	2.05	61.5	73.8
	500	3.58	107.4	64.4
	750	4.50	135.0	54.0
35	25	0.23	7.0	81.3
	50	0.44	13.2	75.6
	100	0.87	26.1	77.0
	250	1.72	51.7	61.2
	500	2.96	88.9	53.2
	750	3.72	111.6	44.5
45	25	0.19	5.6	66.9
	50	0.35	10.5	61.9
	100	0.80	23.9	71.1
	250	1.62	48.6	58.3
	500	2.49	74.7	44.7
	750	3.20	95.9	38.3

3.3. Optimal Artificial Neural Network

An optimal ANN was developed with four independent input variables including initial pH of the solution, biosorbent dosage, initial dye concentration, and operating temperature by using MatLab® software. The database was consisted of 200 experimental input and output pairs. Various hidden layer topologies were evaluated to optimize the ANN performance, and the performance metrics were listed in Table 4. The best network performance parameters were obtained for two hidden

layers with 5 and 10 neurons in each layer. It was observed that the performance of the network increased with the increasing of the number of hidden layers. The results revealed that the performance of the ANN model was deped on the number of hidden layers and the neurons. The minimum MSE and the maximum R values of testing data were calculated to be 0.0004 and 0.9995 for hidden layer topology configuration #4. Therefore, as illustrated in Figure 6., the ANN architecture 4-5-10-1, trained by the Levenberg-Marquardt backpropogation algorithm, was selected as the optimal network to forecast the CV removal efficiency of GCs.

Table 4. ANN performance for different hidden layer topologies.

Topology ID	Number of Neurons	Training		Testing	
		MSE	R	MSE	R
#1	[5]	0.0029	0.9959	0.0032	0.9944
2	[10]	0.0009	0.9996	0.0012	0.9992
#3	[5 5]	0.0010	0.9992	0.0015	0.9987
#4	[5 10]	0.0003	0.9997	0.0004	0.9995
#5	[10 5]	0.0003	0.9997	0.0007	0.9993
#6	[5 5 5]	0.0008	0.9996	0.0011	0.9994
#7	[5 5 5 5]	0.0010	0.9994	0.0010	0.9992

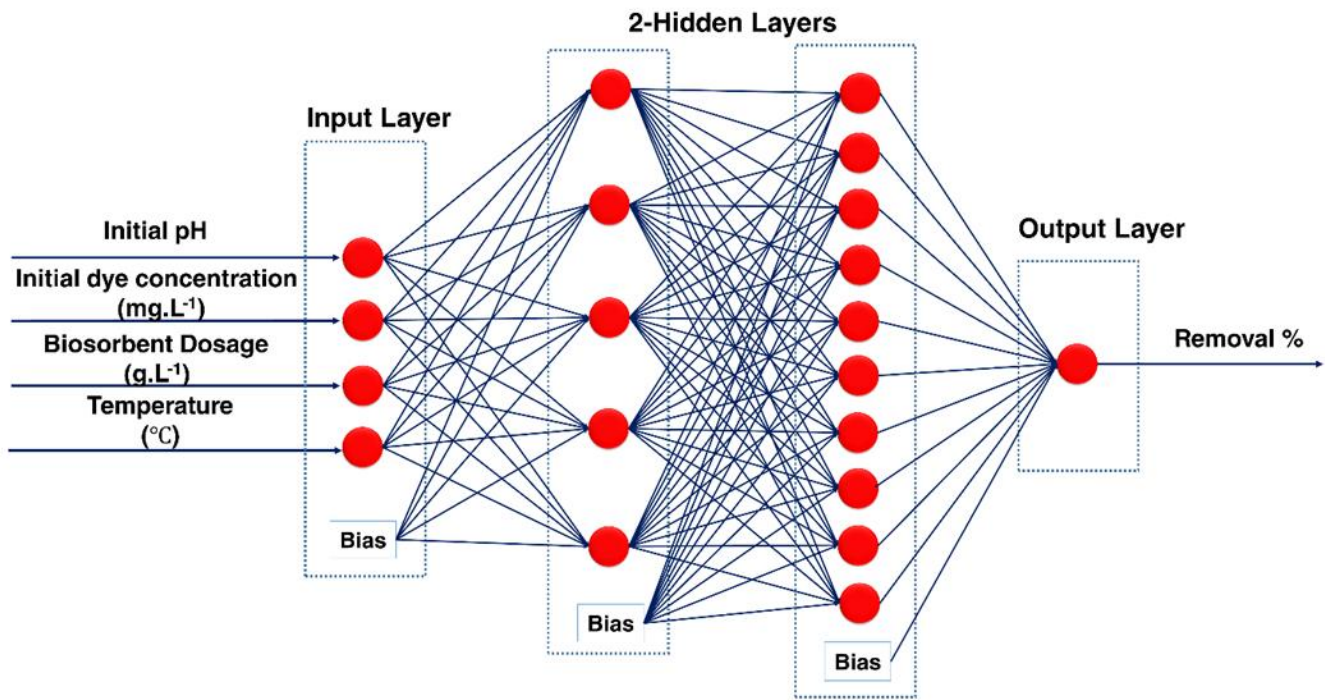


Figure 6. Structure of optimal artificial neural network model

The ANN-predicted and experimental biosorption behaviors of GCs at different operating temperatures and various initial dye concentrations were depicted in Figure 7. The graphs

corroborated with the applicability of the proposed optimal ANN in forecasting the CV biosorption onto the GCs since the experimental data and ANN-predicted data were in good agreement.

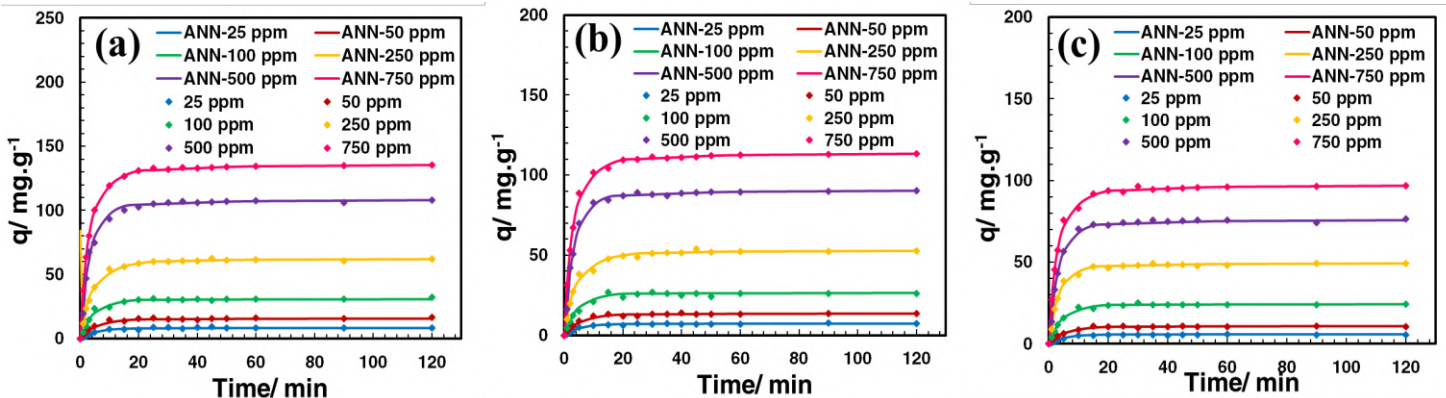


Figure 7. Experimental and ANN-predicted biosorption of CV on GC at different temperatures of (a)25 °C (b)25 °C (c) 45 °C (initial pH=7.5, X=3.0 g.L⁻¹)

Figure 8. exhibited the plot of the normalized experimental and ANN-predicted output variable for CV biosorption onto GC during the training and test stages for each input variable. The satisfying harmony between the experimental and the ANN-predicted data demonstrated the good generalization feature of the optimized ANN-model.

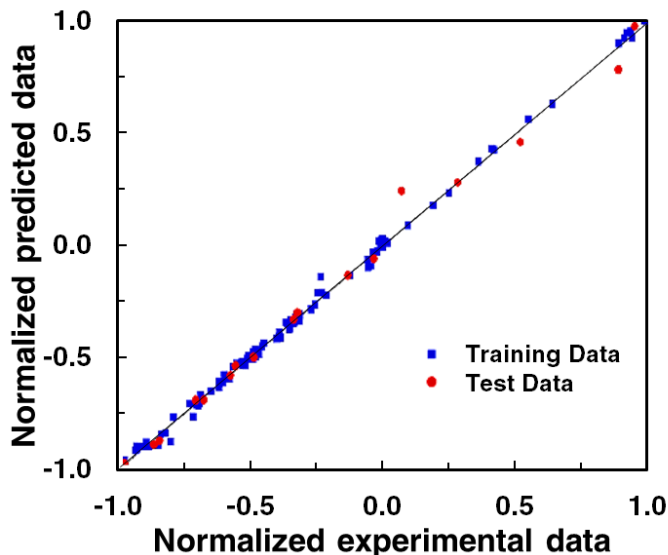


Figure 8. Comparison of the normalized experimental data with ANN-predicted data (initial pH=7.5, $C_0=100$ ppm, $X=3.0$ g.L⁻¹, $T=25$ °C)

4. Conclusions and Recommendations

This work proposed a rational route for converting agricultural waste to a value-added material to be utilized in textile wastewater treatment and developed an optimized ANN model for forecasting cationic dye removal from aqueous media. With this scope, the waste orange peel was used as a carbon precursor to produce a carbonaceous biosorbent. As a result, GC with high specific surface area and ordered micro/mesoporous structure were synthesized via an environmentally friendly two step low-cost production pathway. The effect of initial pH of the solution, initial dye concentration, the biosorbent dosage, and the operating temperature of the biosorption process on the biosorption capacity and the removal efficiency of the GC were investigated. The optimum biosorption conditions of CV onto GCs were experimentally determined to be pH 7.5, 3.0 g.L⁻¹ biosorbent dosage, and 25 °C operating temperature. At the optimal conditions, the experimental results proved that almost 92% of CV could be successfully removed from aqueous solution by utilizing GCs as biosorbent. Furthermore, the ANN approach was applied to forecast the removal efficiency of the biosorbent. Four different independent variables including initial pH of the solution, initial dye concentration, the biosorbent dosage, and the operating temperature were used as input parameters to train the ANN model. The developed ANN model was trained by the Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm. The various hidden layer topologies were tested to optimized-ANN model, and the optimal ANN model was established as 4-5-10-1 with $R=0.9995$ and $MSE=0.0004$. The simulations confirmed the proposed ANN model was able to forecast the entire experimental dataset with higher performance metrics. Thus, it can be speculated that GC can be applied as a

low-cost alternative biosorbent for removal of cationic dyes from aqueous media and the developed ANN model stands out as a high-performance technique to forecast the CV biosorption onto GC.

References

- Abid, M., Niazi, N. K., Bibi, I., Farooqi, A., Ok, Y. S., Kunhikrishnan, A., ... & Arshad, M. (2016). Arsenic (V) biosorption by charred orange peel in aqueous environments. *International journal of phytoremediation*, 18(5), 442-449.
- Broujeni, B. R., Nilchi, A., Azadi, F. (2021). Adsorption modeling and optimization of thorium (IV) ion from aqueous solution using chitosan/TiO₂ nanocomposite: Application of artificial neural network and genetic algorithm. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100400.
- Das, S. K., Das, A. R., & Guha, A. K. (2007). A study on the adsorption mechanism of mercury on *Aspergillus versicolor* biomass. *Environmental science & technology*, 41(24), 8281-8287.
- Dehghani, M. H., Yetilmezsoy, K., Salari, M., Heidarinejad, Z., Yousefi, M., & Sillanpää, M. (2020). Adsorptive removal of cobalt (II) from aqueous solutions using multi-walled carbon nanotubes and γ -alumina as novel adsorbents: Modelling and optimization based on response surface methodology and artificial neural network. *Journal of Molecular Liquids*, 299, 112154.
- Elemen, S., Kumbasar, E. P. A., & Yapar, S. (2012). Modeling the adsorption of textile dye on organoclay using an artificial neural network. *Dyes and Pigments*, 95(1), 102-111.
- Fawzy, M., Nasr, M., Nagy, H., & Helmi, S. (2018). Artificial intelligence and regression analysis for Cd (II) ion biosorption from aqueous solution by *Gossypium barbadense* waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5875-5888.
- Ghaedi, M., Ghaedi, A. M., Abdi, F., Roosta, M., Sahraei, R., & Daneshfar, A. (2014). Principal component analysis-artificial neural network and genetic algorithm optimization for removal of reactive orange 12 by copper sulfide nanoparticles-activated carbon. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(3), 787-795.
- El Hanandeh, A., Mahdi, Z., & Imtiaz, M. S. (2021). Modelling of the adsorption of Pb, Cu and Ni ions from single and multi-component aqueous solutions by date seed derived biochar: Comparison of six machine learning approaches. *Environmental Research*, 192, 110338.
- Karaman, C., Aktas, Z., Bayram, E., Karaman, O., & Kızıl, Ç. (2020). Correlation Between the Molecular Structure of Reducing Agent and pH of Graphene Oxide Dispersion On the Formation of 3D-Graphene Networks. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 9(7), 071003.
- Karaman, C., Aksu, Z. (2020). Modelling of Remazol Black-B adsorption on chemically modified waste orange peel: pH shifting effect of acidic treatment. *Sakarya University Journal of Science*, 24(5), 1127-1142.
- Karaman, C. (2020). Modeling of Biosorption of Arsenic (V) On Waste Orange Peel Derived Graphene-Like Porous Carbon by Artificial Neural Network Approach. *European Journal of Science and Technology*, 91-100.

- Kodal, Süheyla Pınar, and Zümriye Aksu. "Cationic surfactant-modified biosorption of anionic dyes by dried *Rhizopus arrhizus*." *Environmental technology* 38, no. 20 (2017): 2551-2561.
- Liang, S., Guo, X., Feng, N., & Tian, Q. (2009). Application of orange peel xanthate for the adsorption of Pb^{2+} from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 170(1), 425-429.
- Lu, D., Cao, Q., Li, X., Cao, X., Luo, F., & Shao, W. (2009). Kinetics and equilibrium of Cu (II) adsorption onto chemically modified orange peel cellulose biosorbents. *Hydrometallurgy*, 95(1-2), 145-152.
- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A., & Kulkarni, B. D. (2016). Characterizing fruit and vegetable peels as bioadsorbents. *Current Science*, 2114-2123.
- Pauletto, P. S., Dotto, G. L., & Salau, N. P. (2020). Optimal artificial neural network design for simultaneous modeling of multicomponent adsorption. *Journal of Molecular Liquids*, 320, 114418.
- Rahaman, M. S., Basu, A., & Islam, M. R. (2008). The removal of As (III) and As (V) from aqueous solutions by waste materials. *Bioresource technology*, 99(8), 2815-2823.
- Su, T., Guan, X., Tang, Y., Gu, G., & Wang, J. (2010). Predicting competitive adsorption behavior of major toxic anionic elements onto activated alumina: A speciation-based approach. *Journal of hazardous materials*, 176(1-3), 466-472.



Sağlık Teknikerliği Programı Öğrencilerinin Nükleer Fizik Kavramları ile ilgili Kavramsal Anlama Düzeylerinin Belirlenmesi

Erdoğan Özdemir^{1*}, Onur Yazar²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Optisyenlik Programı, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7943-8002), erdoganozdemir@cumhuriyet.edu.tr

²İstanbul Okan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9543-6891), onur.yazar@okan.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 4 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.879306)

ATIF/REFERENCE: Özdemir, E., Yazar, O. (2021). Sağlık Teknikerliği Programı Öğrencilerinin Nükleer Fizik Kavramları ile ilgili Kavramsal Anlama Düzeylerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 465-474.

Öz

Radyoterapi, nükleer tıp, tıbbi görüntüleme, ameliyathane hizmetleri teknikerliği meslekleri radyasyon teknolojilerini kullandıkları için nükleer fizik ile doğrudan ilişkili olan mesleklerdir. Bu araştırmada, bu programlarda öğrenim gören öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavramsal anlama düzeyi araştırılmıştır. Araştırmada karma model kullanılmıştır. Araştırmanın örneklemini 100 öğrenci oluşturmaktadır. Veriler “Kavram Yanılgısı Belirleme Testi” ve “Yarı-Yapılandırılmış Görüşmeler” ile toplanmıştır. Öğrencilerin testteki ortalama başarı puanı (14.93) “düşük başarı” kategorisinde değerlendirilmiştir. Öğrencilerin tüm kavramlarda “diğer yanıt” (boş bırakılan ve kavramsal olarak anlamlı olmayan yanıtlar) kategorisinde toplanma yüzdesi “doğru kavram” ve “kavram yanılgısı” kategorilerinde toplanma yüzdesinden fazladır. Bu sonuç, öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili yeterli kavramsal anlamaya sahip olmadıkları şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca araştırmada tespit edilen nükleer fizik ile ilgili kavram yanılgıları detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fizik öğretimi, Nükleer fizik öğretimi, Kavramsal öğrenme, Kavram yanılgısı.

Determination of Conceptual Understanding Levels of Health Technician Program Students on Nuclear Physics Concepts

Abstract

Radiotherapy, nuclear medicine, medical imaging, operating room technician professions are the professions that are directly related to nuclear physics because they use radiation technologies. In this study, the conceptual understanding level of students studying in these programs about nuclear physics concepts was investigated. The mixed model was used in this research. The sample of the study consists of 100. The data were collected through “Misconception Determination Test” and “Semi-Structured Interviews”. The achievement average point (14.93) of the students who participated in the study were evaluated in the “low success” category. In addition, the percentage of students gathering in the other answer (blank and not conceptually meaningful answers) category in all concepts is more than the percentage of “correct concept” and “misconception” categories. This result was interpreted as that students did not have a sufficient conceptual understanding of nuclear physics concepts. In addition, misconceptions about nuclear physics which were detected in this research were discussed in detail.

Keywords: Physics education, Nuclear physics education, Conceptual understanding, Misconception.

* Sorumlu Yazar: erdoganozdemir_1979@hotmail.com

1. Giriş

Fizik temel bir bilimdir. Bu nedenle, birçok meslek ile doğrudan ilişkilidir (Özdemir, Çoramık ve Ürek, 2020). Radyoterapi, nükleer tıp, tıbbi görüntüleme, ameliyathane hizmetleri fizik ile doğrudan ilişkili olan sağlık teknikerliği programlarındandır. Radyoterapi teknikeri, hastaların röntgeninin çekilmesinde ve hastalara ışın tedavisi uygulanmasında görev alır. Nükleer tıp teknikeri, tıpta kullanılan radyoaktif maddeleri hazırlar. Tıbbi görüntüleme teknikeri, röntgen ve nükleer manyetik rezonans (NMR) gibi görüntüleme cihazlarını kullanır. Ameliyathane Hizmetleri teknikeri ise ameliyathaneleri ameliyata hazır hale getirir ve ameliyatta yardımcı personel olarak çalışır. Bu sağlık teknikerliği mesleklerinin ortak özelliklerinden biri, çalışma ortamlarında radyasyon (ışın) teknolojisinin kullanılmasıdır.

Türkiye’de radyoterapi, nükleer tıp, tıbbi görüntüleme, ameliyathane hizmetleri teknikerleri önlisans düzeyinde eğitim veren yüksekokullarda iki yıllık eğitim ile yetiştirilmektedir (Yüksel, 2018). Radyasyon teknolojileri teşhiste ve tedavide sık kullanılmaktadır. Bu nedenle bu programlarda öğrenim gören öğrencilerin sağlık alan bilgisinin yanı sıra temel düzeyde fizik bilgisine de sahip olması amaçlanmaktadır ve bu programlarda temel fizik, nükleer tıp laboratuvarı, nükleer fizik, radyasyondan korunma ve radyasyon güvenliği gibi derslere yer verilmektedir (Palacı, Günay ve Yarar, 2018).

Sağlık teknikerliği programlarında öğrenim gören bu öğrencilerin mesleklerinde radyasyon teknolojilerini kullanacak olmaları radyasyonun kaynaklarından birini oluşturan nükleer fizik kavramlarını doğru öğrenmelerini önemli hale getirmektedir.

Birçok bilim öğretimi araştırması öğrencilerin kavramsal anlamalarına odaklanmıştır (Ausubel, 1968; Novak, 1993). Öğrencilerin kavramsal anlama düzeyi ile ilgili araştırmalar, öğrencilerin bilimsel kavramlar yerine çeşitli alternatif kavramlara sahip olduklarını göstermektedir (Halim, Finkenstaedt, Olsen, Gere ve Shultz, 2018). Kavram yanlışlığı olarak da adlandırılan bu alternatif kavramlar, öğrenciler tarafından doğru kabul edilen ve kişisel deneyimler ve gözlemler ile kazanılan görüşlerden oluşmaktadır (Gilbert, 1977; Palmer, 1999). Alanyazın incelendiğinde fizik kavramları ile ilgili kavram yanlışlıklarını belirlemek için birçok araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu araştırmaların büyük bölümü fiziğin alt dalları olan mekanik, elektrodinamik, optik ve termodinamik ile ilgilidir. Alanyazında nükleer fizik ile ilgili kavram yanlışlıklarını belirlemek için yapılmış az sayıda araştırmaya rastlanmıştır (Neumann, 2014). Aşağıda, bu araştırmalar ve sonuçları ilköğretim, ortaöğretim ve üniversite düzeyine göre ayrı ayrı sunulmuştur.

Klaassen, Eijkelhof ve Lijnse (1990) ilköğretim öğrencileri ile bir araştırma gerçekleştirmiştir. Araştırmada öğrencilerin radyoaktivite ile ilgili kavramları birbirine karıştırdıkları ifade edilmiştir. Öğrencilerin radyoaktivite, radyoaktif materyal ve radyasyon kavramlarını birbirini yerine kullandıkları tespit edilmiştir. Bu araştırmada öğrencilerin lazer ve ultraviyole ışını radyoaktivite olarak tanımladıkları ifade edilmiştir. Araştırmada Öğrenciler Chernobyl kazası sırasında reaktörden sızan radyasyonun rüzgar ile taşındığını, yağmur ile yeryüzüne indiğini, su ile de meyve ve sebzelere geçtiğini açıklamıştır (Eijkelhof ve Millar, 1988). Bu meyve ve sebzeleri yiyen insanların ise vücutlarında radyasyon taşımaya başladığı belirtilmiştir.

Araştırmada elde edilen başka bir bulgu ise öğrencilerin radyasyon kirliliğini yalnızca radyasyon kavramı ile açıklamalarıdır. Radyasyon öğrenciler için hastalığı çağrıştıran bir kavramdır. Ayrıca araştırmada öğrencilerin radyasyon ile korkuyu özdeşleştirdiği belirtilmiştir. Millar, Klaassen ve Eijkelhof (1990) ise ilköğretim öğrencileri ile bir araştırma gerçekleştirmiştir. Araştırmada öğrenciler radyasyon ve radyoaktif materyal kavramlarını bir kaynaktan bir şekilde yayılan ve çevresindeki diğer canlıları etkileyen tek bir kavram olarak tanımlamıştır. Öğrencilere göre bu kavramın etkisi uzaklık ile azalmaktadır, canlılar için tehlikelidir ve bir canlı tarafından soğurulduktan sonra tekrar yayılabilir. Riesch ve Westphal (1975), ilköğretim öğrencileri ile gerçekleştirdiği araştırmasında öğrencilerin radyasyon ve radyoaktif materyal kavramlarını aynı anlamda kullanılmasının aktivite ve doz kavramları ile ilgili tatmin edici açıklamalar yapamamalarına neden olduğunu ifade etmiştir. Neumann (2014), ilköğretim öğrencilerinin radyasyon kavramı ile ilgili algı düzeylerini araştırmıştır. Araştırmada öğrencilerin radyasyon ile ilgili düşüncelerini nükleer radyasyonun şekillendirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Radyasyon sözcüğünün öğrencilerde ağırlıklı olarak olumsuz çağrışım yaptığı ve öğrencilerin radyasyonu uzak durulması, kaçınılması gereken bir şey olarak düşündükleri anlaşılmıştır. Araştırmada öğrencilerin doğal radyasyon fikrine aşına olmadıkları, birçok öğrencinin radyasyonu genellikle yapay ve insan yapımı bir şey olarak tanımladıkları vurgulanmıştır. Ayrıca araştırmada hiçbir öğrencinin radyasyonun tıp ve nükleer santral dışında teknolojiye kullanımına değinmediği ifade edilmiştir.

Millar ve Gill (1996) ortaöğretim öğrencileri ile gerçekleştirdiği araştırmasında, öğrencilerin radyoaktif ışın (irradiation) ve radyoaktif bulaşma (contamination) kavramları ile ilgili kavramsal anlama düzeylerini araştırmıştır. Araştırmada yalnızca küçük bir öğrenci grubunun bu iki kavramı doğru açıklayabildikleri ifade edilmiştir. Öğrencilerin büyük bir bölümünün bu kavramları birbiri ile karıştırdığı ve bu kavramlar ile ilgili çeşitli kavram yanlışlıklarına sahip olduğu anlaşılmıştır. Araştırmada öğrencilerin radyoaktivite ile ilgili kavramları birbiri yerine kullanmalarına bağlı olarak oluşan kavram yanlışlıkları şu şekilde sıralanmıştır; (i) Radyoaktif ışın sırasında kaynaktan çevreye radyoaktif materyal yayılır. (ii) Radyoaktivite yayılabilir. (iii) Radyoaktif kaynak elektrik alan manyetik alan gibi radyoaktif bir alana sahiptir. (iv) Radyasyon rüzgar ile taşınır. (v) Radyoaktivite rüzgar ile taşınır. (vi) Radyasyon atmosferi kirlendir. Cooper, Yeo ve Zadnik (2003) ortaöğretim öğrencilerinin nükleer fizik ile ilgili konularda bilgi düzeyini araştırmıştır. 78 öğrencinin katıldığı araştırmada içerik (çevresel radyasyon, sağlık alanında nükleer uygulamalar ve nükleer güç) tabanlı öğretimin öğrencilerin nükleer radyasyon ve nükleer radyasyonun kullanımı ile ilgili düşüncelerindeki değişime etkisi araştırılmıştır. Öğretim sonrasında öğrencilerin nükleer radyasyon konusundaki düşüncelerinde değişiklik olmasına rağmen nükleer enerji konusundaki korkularının ve kaygılarının devam ettiği tespit edilmiştir. Öğrencilerin nükleer enerji ile ilgili korkularının radyoaktif madde sızıntısından mı yoksa radyasyonun suya veya havaya salınmasından mı kaynaklandığı belirlenememiştir. Araştırmacılar bu durumun öğrencilerin radyoaktivite ve radyasyon kavramlarını birbirini yerine kullanmasından kaynaklandığını düşünmüştür. Buna ek olarak öğrencilerin çoğunun öğretim sonrasında hala iyonlaştırıcı radyasyonun insan dokusu üzerindeki etkileri ile ilgili sınırlı bilgiye sahip oldukları anlaşılmıştır. Tezcan ve Erçoklu (2010) ortaöğretim öğrencilerinin katıldığı araştırmada öğrencilerin nükleer fizik ile ilgili birçok kavram yanlışlığına sahip olduğunu tespit etmiştir. Bu

araştırmada öğrencilerin radyoaktiflik, yarılanma süresi, izotoplar, çekirdek enerjisi, atom ve hidrojen bombası kavramları ile ilgili kavram yanlışları belirlenmiştir. Araştırmada öne çıkan kavram yanlışları şu şekildedir; (i) Yarılanma süresi maddenin başlangıçtaki miktarına, sıcaklığa, maddenin fiziksel haline bağlıdır. (ii) Atom bombası hidrojen bombasından daha güçlüdür. Benzer bulgulara Morgil, Yılmaz ve Uludağ (2004) ortaöğretim öğrencilerinin katılımı ile gerçekleştirdikleri araştırmada rastlamıştır. Araştırmada öğrencinin özellikle radyoaktif bozunma ve yarılanma süresi ile ilgili doğru yanıt yüzdelerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmada öğrencilerin radyoaktif maddelerin aktiviteleri, izotop kavramı, alfa ve beta ışınları ile ilgili eksik bilgileri olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak öğrencilerin yarılanma süresi ile radyoaktif maddenin kütlesi arasında bir ilişki olduğunu düşündükleri tespit edilmiştir. Nakiboğlu ve Tekin (2006) ortaöğretim öğrencilerinin nükleer kimya kavramları ile ilgili kavramsal anlama düzeyini araştırmıştır. Ortaöğretim öğrencilerinin katıldığı araştırmada öğrencilerin nükleer kimya kavramlarını anlama düzeyinin düşük olduğu saptanmıştır. Ayrıca araştırmada öğrencilerin birçok kavram yanlışlığına sahip olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen kavram yanlışlarının bir bölümü şu şekildedir; (i) Radyoizotoplar yalnızca enerji elde etmek için kullanılır. (ii) Radyoaktif bozunma düzeyi atomun fiziksel özelliklerine ve sıcaklığına bağlıdır. Mavi (2008) öğrencilerin nükleer fizik ile ilgili kavram yanlışlarını belirlemek için ortaöğretim öğrencileri ile bir araştırma gerçekleştirmiştir. Ortaöğretim öğrencileri ile gerçekleştirilen araştırmanın bulgularına göre öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavramsal anlama düzeyi düşüktür. Araştırmada tespit edilen kavram yanlışları şu şekildedir; (i) Doğal radyoaktivite yağmur, kar, basınç ve rüzgar gibi fiziksel koşullardan etkilenir. (ii) Radyasyona maruz kalan canlılar radyoaktif özellik kazanır. Yalçın ve Kılıç (2005) ortaöğretim öğrencilerinin nükleer fizik ile ilgili kavram yanlışlarını ve bu kavram yanlışlarının oluşmasında ders kitaplarının payını araştırmıştır. Araştırma sonucunda ders kitaplarında öğrencilerin sahip olduğu kavram yanlışlarının bir bölümünü destekleyen ifade ve resimlere rastlanmıştır. Araştırmada öğrencilerin bir bölümünün nükleer reaksiyonları değerlik elektronlarının değişimi ile açıkladıkları tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmada bazı öğrenciler, röntgen çekiminde kullanılan x-ışınlarının radyoaktif tepkimeler sonucu açığa çıktığını ifade etmiştir. Araştırmada öğrencilerin radyoaktiviteye karşı olumsuz bir algılarının olduğu belirtilmiştir. Öğrencilerin doğada radyoaktif madde olmadığını, radyoaktif maddelerin tamamının laboratuvar ortamında sentezlendiğini düşündükleri tespit edilmiştir. Araştırmada radyoaktif bir maddenin yarı ömür süresi sonunda radyoaktif özelliğini kaybettiği düşüncesinin yaygın olduğu vurgulanmıştır. Tüm bunlara ek olarak öğrencilerin radyoaktif maddelerin işlenerek radyoaktif özelliğini kaybetmesinin mümkün olduğunu düşündükleri ifade edilmiştir. Neumann ve Hopf (2012), ortaöğretim öğrencilerinin radyasyon ile ilgili düşüncelerini belirlemek için bir araştırma gerçekleştirmiştir. Bu araştırmada tespit edilen kavram yanlışları şu şekildedir; (i) Doğal radyasyon yoktur. (ii) Işık radyasyondan farklıdır. (iii) Tüm elektrikle çalışan cihazlar zararlı radyasyon yayar. (iv) Birçok çevresel problemin kaynağı radyasyondur. (v) Radyasyon yaşayan canlılar tarafından yayılır. Araştırma sonuçlarına göre öğrencilerin çoğu iyonize olmayan radyasyonun potansiyel riskleri hakkında yeterli bilgiye sahip değildir ve öğrenciler cep telefonları tarafından yayılan radyasyonun iyonize olmayan radyasyon olduğunu bilmemektedir.

Prather (2005) üniversite öğrencilerinin radyasyon ve radyoaktivite konularını öğrenirken yaşadıkları güçlükleri araştırmıştır. Araştırmada öğrencilerin radyoaktif kararsızlığı ve bozunmayı atomun yük durumuna ve elektronun, protonun ve nötronun enerji, hareket ve kuvvet açısından etkileşimine bağladıkları anlaşılmıştır. Bu öğrenciler radyoaktif ışınımı kararsız bir durumdaki elektronun kararlı hale geçmek için foton yayınması durumu ile açıklamıştır. Kaczmarek, Bednarek ve Wong (1987) üniversite öğrencileri ile gerçekleştirdikleri araştırmada ikinci sınıfta öğrenim gören birçok tıp öğrencisinin bir röntgen odası içindeki nesnelerin röntgen çekimi sonrasında ışıma yaptığına inandıklarını belirlemiştir. Ayaz, Karakaş ve Sarıkaya (2016) üniversite öğrencilerinin nükleer enerji kavramı ile ilgili düşüncelerini belirlemek için bir araştırma gerçekleştirmiştir. Araştırmada öğrencilerin radyasyonu iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayırmadıkları bunun yerine radyasyonu ışın olarak tek bir kavramla açıklama eğiliminde oldukları ifade edilmiştir. Araştırmada öğrencilerin radyasyonun zararı olarak radyasyonun kanser yapma özelliğini vurguladıkları, radyasyonun genetik etkilerinden ve görme bozukluklarına yol açmasından söz etmedikleri ifade edilmiştir. Yıldırım ve Kurt (2018) ortaöğretim ve önlisans öğrencilerinin radyasyon güvenliği bilgi düzeyini ve tutumunu araştırmıştır. Araştırma sonucunda araştırmaya katılan öğrencilerin radyasyon güvenliği bilgi düzeyinin düşük olduğu belirlenmiştir. Ön lisans öğrencilerinin radyasyon güvenliği bilgi düzeyinin ortaöğretim öğrencilerinin radyasyon güvenliği bilgi düzeyine göre daha yüksek olduğu fakat ön lisan ve ortaöğretim öğrencilerinin radyasyondan korunma tutumları arasında bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç araştırmacılar tarafından öğrencilerin radyasyon güvenliği tutumunun ön lisans düzeyindeki meslek eğitimi ile değişmediği şeklinde yorumlanmıştır.

İlgili alanyazın incelendiğinde nükleer fizik kavramları ile ilgili ilköğretim ve ortaöğretim düzeyindeki araştırmaların üniversite düzeyindeki araştırmalara göre daha fazla olduğu ve öğrencilerin öğretiminin her kademesinde nükleer fizik kavramlarını öğrenmede güçlük çektiği anlaşılmaktadır.

Bu araştırmada, alanyazındaki nükleer fizik kavram yanlışları ile ilgili araştırmalardan farklı olarak sağlık teknikerliği programı öğrencilerinin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavramsal anlama düzeyi araştırılmıştır. Araştırmada şu problem cümlelerine yanıt aranmıştır: Sağlık teknikerliği programı öğrencilerinin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavramsal anlamaları ne düzeydedir? Sağlık teknikerliği programı öğrencilerinin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavram yanlışları nelerdir?

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde araştırma modeli, örneklem, ölçme araçları ve verilerin analizi açıklanmıştır.

2.1. Araştırma Modeli

Bu araştırmada öğrencilerin kavramsal anlama düzeyini belirlemek için karma model kullanılmıştır. Bu modelde nicel ve nitel veriler bir arada kullanılır (Greene, Caracelli ve Graham, 1989). Bu araştırmada karma modelin tercih edilmesinin nedenlerinden biri, araştırmalarda yalnızca nitel veya yalnızca nicel verilerin kullanılmasına bağlı olarak ortaya çıkan geçerlilik sorununun üstesinden gelmektir. Araştırmada karma modelin tercih edilmesinin bir diğer nedeni ise öğrencilerin nükleer fizik

ile ilgili kavramsal anlama düzeylerinin geniş bir resmini elde edebilmektedir (Johnson, Onwuegbuzie ve Turner, 2007). Araştırmanın örnekleme uygun örnekleme yöntemi ile belirlenmiştir. Araştırmada veriler “Kavram Yanılgısı Belirleme Testi” ve “Yarı Yapılandırılmış Görüşmeler” ile toplanmıştır. Test verilerinin analizinde betimsel analiz kullanılmıştır.

2.2. Araştırmanın Örnekleme

Araştırmanın örnekleme uygun örnekleme yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemde örneklem seçiminde hem örneklemin kolay ulaşılabilir olmasına hem de örnekleme yer alan katılımcıların araştırmaya katılmak için gönüllü olmasına dikkat edilir. Bu yöntemde göre belirlenen örnekleme bir üniversitenin sağlık hizmetleri meslek yüksekokulunun Radyoterapi, Nükleer Tıp, Tıbbi Görüntüleme, Ameliyathane Hizmetleri programlarında öğrenim görmekte olan 100 öğrenci oluşturmuştur. Araştırmaya katılan tüm öğrenciler ikinci sınıf öğrencisidir ve nükleer fizik veya radyasyondan korunma derslerini başarı ile tamamlamıştır. Araştırmaya katılan öğrencilerin %3’ü nükleer tıp teknikerliği, %58’i tıbbi görüntüleme, %16’sı radyoterapi ve %23’ü ameliyathane hizmetleri programı öğrencisidir. Öğrencilerin %63’ü erkektir. %37’si ise kadındır. Öğrencilerin yaşları 19-40 arasında değişmektedir.

2.2. Ölçme Araçları

Araştırmada veri toplama aracı olarak “Kavram Yanılgısı Belirleme Testi” ve “Yarı Yapılandırılmış Görüşmeler” kullanılmıştır.

2.2.1. Kavram Yanılgısı Belirleme Testi

“Kavram Yanılgısı Belirleme Testi” Yumuşak, Maraş ve Şahin (2016) tarafından geliştirilmiştir. Ölçme aracı 18 soru içermektedir. Her bir soru iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada nükleer fizik ile ilgili bir ifadeye ve bu ifade için doğru veya yanlış şeklinde iki seçeneğe yer verilmiştir. İkinci aşamada ise seçilen yanıtın nedeni sorulmaktadır ve bu soru için dört seçenek verilmiştir. Beşinci seçenek ise verilen seçenekler dışında bir görüşü olan katılımcıların görüşlerini yazmaları için boş bırakılmıştır. Testte yer alan beş soru radyoaktif materyaller (1,2,5,8,10), bir soru radyoaktivite (12), iki soru radyasyon (4,11), iki soru çekirdek reaksiyonları (7,16), bir soru yarılanma süresi (9), beş soru radyoaktif ışınlar (3,6,13,14,15) iki soru çekirdek reaksiyonları (17, 18) ile ilgilidir. Yumuşak vd. (2016), testin KR-20 ortalama güvenilirlik katsayısını .69, ortalama madde güçlük indeksini ise .45 olarak hesaplamıştır.

2.1.2. Yarıyapılandırılmış Görüşmeler

“Yarı Yapılandırılmış Görüşmeler” için yarı yapılandırılmış görüşme formu hazırlanmıştır. Formun hazırlanması için ilk olarak “Kavram Yanılgısı Belirleme Testi” verileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları doğrultusunda yarı yapılandırılmış görüşme formunda radyoaktif materyal, radyoaktivite, radyasyon, yarı ömür, radyoaktif ışınlar ve çekirdek tepkimeleri konuları için birer soruya yer verilmiştir. Bu sorular, “Kavram Yanılgısı Belirleme Testi” bulgularında ön plana çıkan kavram yanılgıları ile ilgilidir. Yarı yapılandırılmış görüşme için oluşturulan taslak form altı sorudan oluşmaktadır.

Taslak form bir nükleer fizik ve bir de fizik eğitimi uzmanı tarafından incelenmiştir. Uzman görüşleri doğrultusunda düzenlenen form son haline getirilmiştir.

Görüşme yapılan dört öğrenci ise örnekleme yer alan her bir teknikerlik programından bir öğrenci olacak şekilde rastgele seçilmiştir. Bu dört öğrenci ile yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılarak görüşme yapılmıştır. Bir öğrenci ile yapılan görüşme ortalama 20-25 dakika sürmüştür. Görüşmeler öğrencilerden izin alınarak ses kayıt cihazı ile kaydedilmiştir.

2.3. Verilerin Analizi

Araştırma verileri başarı düzeyi için analiz, kavramsal anlama düzeyi için analiz ve kavram yanılgısı için analiz olmak üzere üç başlık altında analiz edilmiştir.

2.2.1. Başarı Düzeyi için Analiz

Araştırmada veri toplama aracı olarak kullanılan test iki aşamalı bir testtir. Bu nedenle öğrencilerin teste vermiş olduğu yanıtlar birçok kombinasyon oluşturmaktadır. Bu tür testlerin değerlendirilmesinde öğrencinin birinci aşamayı ve ikinci aşamayı doğru yanıtlamasına bağlı olarak puan aldığı bir derecelendirme ölçeğinin kullanılması önerilmektedir (Karataş, Köse ve Coşkun, 2003). Bu araştırmada, “Kavram Yanılgısı Belirleme Testi” verilerinin betimsel istatistik sonuçları aşağıdaki değerlendirme kriterlerine göre yapılmıştır.

Tablo 1. İki Aşamalı Test Derecelendirme Ölçeği

Değerlendirme Kriteri	Puan
Doğru Yanıt-Doğru Yanıt	3
Yanlış Yanıt -Doğru Yanıt	2
Doğru Yanıt- Yanlış Yanıt	1
Yanlış Yanıt-Yanlış Yanıt	0

Ölçek puanlama kriterlerine göre bir sorunun her iki aşamasını doğru yapan öğrencilere 3, birinci aşamasını yanlış ikinci aşamasını doğru yapan öğrencilere 2, birinci aşamasını doğru ikinci aşamasını yanlış yapan öğrencilere 1, her iki aşamasını yanlış yapan öğrencilere ise 0 puan verilmiştir (Karataş vd., 2003). Bu durumda testteki her bir soru için alınabilecek en yüksek puan “3” ve testin bütününden alınabilecek en yüksek puan “54” tür.

Öğrencilerin testin herbir sorusundan ve testin bütününden aldıkları puanlar öğrenci başarısı açısından üç kategoriye ayrılarak değerlendirilmiştir. Buna göre bir soru için 0.0-1.0 puan aralığı “düşük düzey başarı”, 1.1-2.0 puan aralığı “orta düzey başarı”, 2.1-3.0 puan aralığı ise “üst düzey başarı” olarak kategorize edilmiştir. Ayrıca testin bütünü için 0-18 puan aralığı “düşük düzey başarı”, 19-36 puan aralığı “orta düzey başarı” ve 37-54 puan aralığı “üst düzey başarı” olarak kategorize edilmiştir.

2.2.2. Kavramsal Anlama Düzeyi için Analiz

“Kavram Yanılgısı Belirleme Testi”nin her bir sorusuna öğrencilerin vermiş olduğu yanıtların oluşturduğu kombinasyonlar “doğru kavram”, “kavram yanılgısı” ve “diğer yanıt” olarak kategorize edilmiştir. Tablo 2’de yanıtların bu şekilde kategorilere ayrılmasının nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

Tablo 2. Kavramsal kategorilerin oluşturulmasına bir örnek: Test'in 1. sorusu için kavramsal kategorilerin oluşturulması

Soru 1: Radyoaktif bir maddeyi, fiziksel ve kimyasal birtakım işlemlere tabi tutarak bu maddenin radyoaktif olma özelliğini ortadan kaldırmak mümkündür.” ifadesi hakkında ne düşünüyorsunuz?

a. Doğru bir ifadedir. b. Yanlış bir ifadedir.

Seçtiğiniz cevabın nedeni aşağıdakilerden hangisidir?

a. Radyoaktif olmayan bir madde ile tepkimeye sokulursa radyoaktif özelliğini kaybeder.

b. Çok yüksek sıcaklığa maruz bırakılan radyoaktif bir madde radyoaktif olma özelliğini kaybeder.

c. Toprak altına gömülen radyoaktif bir madde radyoaktif olma özelliğini kaybeder.

d. Radyoaktif olma özelliği atomun çekirdeğindeki durumlara bağlı olduğundan fiziksel ve kimyasal yöntemlerle ortadan kaldırılamaz.

e.

Kategori	I. Aşama Yanıt	II. Aşama Yanıt
Doğru Kavram	b	d
I. Kavram Yanılgısı	a	a
Diğer Yanıt*	b	
II. Kavram Yanılgısı	a	b
Diğer Yanıt	b	
III. Kavram Yanılgısı	a	c
Diğer Yanıt	b	
Diğer Yanıt	Boş	Herhangi bir seçenek işaretlenmiş.
Diğer Yanıt	Herhangi bir seçenek işaretlenmiş.	Boş

*Sorunun iki aşamasına verilen yanıtların kavramsal olarak anlamsız olduğu işaretlemeler ile birlikte sorulardan birinin veya her ikisinin boş bırakıldığı işaretlemeler “diğer yanıt” olarak kategorize edilmiştir.

“Kavram Yanılgısı Belirleme Testi”nde yer alan 18 soru için öğrencilerin vermiş olduğu yanıtlar Tablo 2’de birinci soru için yapılan gruplandırma işlemine benzer şekilde gruplandırılmıştır. Herbir soru için öğrencilerin “doğru kavram”, “kavram yanılgısı” ve “diğer yanıt” kategorisinde toplanma yüzdeleri hesaplanmıştır. Aynı kavram ile ilgili olan sorular ise birlikte değerlendirilmiştir. Örneğin testin 4. ve 11. soruları radyasyon ile ilgilidir. Bu kavramla ilgili olarak öğrenci yanıtlarının 4. soru için %36’sı “doğru kavram”, %16’sı “kavram yanılgısı”, %47’si “diğer yanıt” kategorisinde toplanmıştır. 11. soru için ise %26’sı “doğru kavram”, %35’i kavram yanılgısı, %39’u diğer yanıt kategorisinde toplanmıştır. Öğrencilerin 4. ve 11. soru için kategorilerdeki yanıt yüzdelerinin ortalaması alınarak (“doğru kavram” %31, “kavram yanılgısı” %26 ve “diğer yanıt” %43) radyasyon kavramı ile ilgili tek bir dağılım yüzdesi oluşturulmuştur. Bu şekilde testte yer alan tüm konular ile ilgili kategoriler belirlenmiş ve yanıtların kategorilere dağılım yüzdeleri grafik ile sunulmuştur.

2.2.3. Kavram Yanılgısı için Analiz

“Kavram Yanılgısı” kategorisinde toplanan yanıtlar derinlemesine incelenmiştir. “Kavram yanılgısı” kategorisinde yer alan yanıtlar tek tek incelenmiş ve öğrencilerin bu kavram yanılgılarında toplanma yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu şekilde birçok kavram yanılgısı tespit edilmiştir. Fakat araştırmada kavram yanılgısı testinde yer alan her bir soru için dağılım yüzdesi en yüksek olan kavram yanılgılarına yer verilmiştir. Bu kavram yanılgıları tablo şeklinde sunulmuştur. Öğrencilerle yapılan görüşmelerde belirlenen kavram yanılgıları da benzer

şekilde sunulmuştur. Ayrıca her bir ölçme aracından elde edilen kavram yanılgıları bir arada incelenmiş ve öğrencilerin örnek cümleleri ile birlikte sunulmuştur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Araştırmanın sonuçları başarı düzeyi ile ilgili bulgular, kavramsal anlama düzeyi ile ilgili bulgular ve kavram yanılgıları ile ilgili bulgular olmak üzere üç başlık altında sunulmuştur.

3.1. Başarı Düzeyi ile ilgili Bulgular

Kavram Yanılgısı Testinden elde edilen veriler Tablo 1’deki kriterlere göre değerlendirilmiştir. Kavram yanılgısı testinde yer alan her bir soru için öğrencilerin ortalama puanları ve puanın kavramsal düzeyi aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 3. Öğrencilerin Kavram Yanılgısı Testi Sonuçları

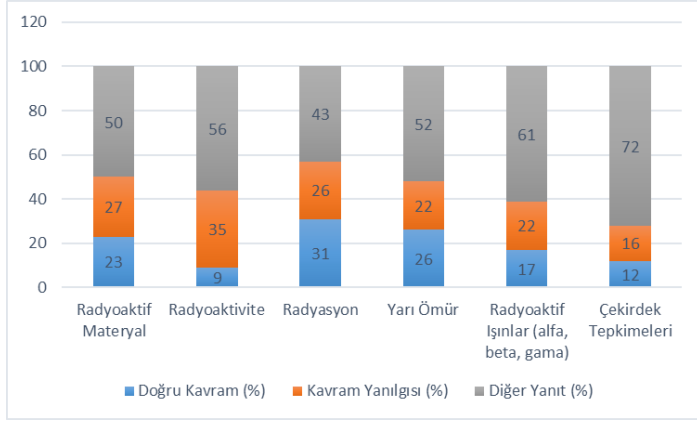
Nükleer Fizik Kavramı	Soru Numarası	Ortalama Puan	Kavramsal Düzey
Radyoaktif Materyal	1	1.49	Orta
	2	1.38	Orta
	5	0.91	Düşük
	8	0.25	Düşük
	10	0.78	Düşük
Radyoaktivite	12	0.55	Düşük
Radyasyon	4	1.25	Orta
	11	0.88	Düşük
Nükleer Reaksiyon	7	0.59	Düşük
	16	0.75	Düşük
Yarı Ömür	9	1.07	Orta
Radyoaktif Işımlar: Alfa Işıması	3	0.78	Düşük
	13	0.49	Düşük
Radyoaktif Işımlar: Beta Işıması	6	0.96	Düşük
Radyoaktif Işımlar: Gama Işıması	14	0.76	Düşük
	15	0.85	Düşük
Çekirdek Tepkimeleri: Filyon Reaksiyonu	18	0.87	Düşük
Çekirdek Tepkimeleri: Füzyon Reaksiyonu	17	0.35	Düşük
Toplam Ortalama Puan		14.93	Düşük

Tablo 3’deki veriler incelendiğinde, öğrencilerin 4 soru için “orta düzey”, 14 soru için ise “düşük düzey” başarı kategorisinde toplandığı görülmektedir. Ayrıca öğrenciler testin bütününden aldıkları ortalama puan ile “düşük düzey başarı” kategorisinde değerlendirilmiştir.

3.2. Kavramsal Anlama Düzeyi ile ilgili Bulgular

Aşağıdaki resimde öğrencilerin “Kavram Yanılgısı Belirleme Testi”ne verdikleri yanıtların her bir kavram için “doğru kavram”, “kavram yanılgısı” ve “diğer yanıt” kategorilerine dağılım yüzdelerine yer verilmiştir.

Resim 1. Yanıtların Kavramsal Kategorilere Dağılımı



Resim 1 incelendiğinde öğrencilerin tüm kavramlar için en fazla “diğer yanıt” kategorisinde toplandığı anlaşılmaktadır. Diğer yanıt boş bırakılan veya bilimsel olarak anlamsız yanıt kombinasyonlarını içermektedir. Öğrencilerin tüm kavramlar için en fazla bu kategoride toplanmaları öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili yeterli kavramsal anlamaya sahip olmadıkları şeklinde yorumlanmıştır. Çünkü öğrencilerin doğru bir kavram veya bir kavram yanılgısına sahip olabilmeleri için belirli düzeyde bilgi birikimine sahip olmaları gerekir (Yağbasan ve Gülçiçek, 2003).

Öğrencilerin doğru yanıtlarının kavram yanılgılarından fazla olduğu kavramlar şunlardır; Radyasyon ve yarı ömür. Öğrencilerin kavram yanılgılarının doğru yanıtlarından fazla olduğu kavramlar ise şunlardır; radyoaktif materyal, radyoaktivite, radyoaktif ışınlar ve çekirdek tepkimeleri. Bu bulgu öğrencilerin radyasyon ve yarı ömür kavramlarını nükleer fizik ile ilgili diğer kavramlara göre daha iyi öğrendikleri şeklinde değerlendirilmiştir.

3.3. Kavram Yanılgıları için Bulgular

Bu bölümde Resim 1’de “kavram yanılgısı” kategorisi içinde yer alan kavram yanılgıları detaylı olarak incelenmiştir.

3.3.1. Radyoaktif Materyal, Radyoaktivite ve Radyasyon Kavramları ile İlgili Kavram Yanılgıları

Aşağıdaki tabloda öğrencilerin radyoaktif materyal, radyoaktivite ve radyasyon kavramları ile ilgili ön plana çıkan kavram yanılgıları yer almaktadır.

Tablo 4. Radyoaktif materyal, radyoaktivite ve radyasyon ile ilgili kavram yanılgıları

Soru Numarası	Kavram Yanılgısı	Yanıt Kombinasyonu	Yanıt yüzdesi
Radyoaktif Materyal			
1	Çok yüksek sıcaklığa maruz bırakılan bir radyoaktif madde radyoaktif özelliğini kaybeder.	AB	13
2	Radyoaktif bir atomun kararlı bir atomla yaptığı bileşik radyoaktif özellik göstermez.	AA	13
5	Radyoaktif maddeler ancak dışardan bir etki olursa radyasyon yayarlar.	AC/BC	36
8	Bir maddenin radyoaktif olma özelliğini o maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri etkiler. Çünkü fiziksel ve kimyasal değişimler sonucunda atomun hem iç hem de dış yapısı değişir.	AD	39
10	Yapay radyoaktif maddeler doğal radyoaktif maddelere göre insan sağlığı için daha zararlıdır.	BD	36
Radyoaktivite			
12	Kararsız atomlar radyoaktivite olayı sonucunda son yörüngelerindeki elektronlarını salarak kararlı hale geçer.	AA	35
Radyasyon			
4	Düşük enerjili radyoaktif ışımaya maruz bırakılan canlılar, radyoaktif kaynaktan uzaklaşsa bile radyoaktif hale gelir. Çevresine radyasyon yaymaya başlar. Çünkü radyasyon canlının hücreleri tarafından emilir daha sonra salınır.	AD	16
11	Bütün radyasyon çeşitleri zararlıdır. Çünkü bütün radyasyon çeşitlerinin kaynağı radyoaktif maddelerdir.	AA	35

Radyoaktif materyal, radyoaktivite ve radyasyon kavramları ile ilgili öne çıkan kavram yanılgıları Tablo 4’te yer almaktadır. Araştırmada radyoaktif materyal ile ilgili beş, radyoaktivite ile ilgili bir ve radyasyon ile ilgili iki kavram yanılgısı belirlenmiştir. Radyoaktif materyal ile ilgili en sık rastlanan kavram yanılgısı şu şekildedir; “Bir maddenin radyoaktif olma özelliğini o maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri etkiler. Çünkü fiziksel ve kimyasal değişimler sonucunda atomun hem iç hem de dış yapısı değişir. Radyoaktivite ile ilgili en sık rastlanan kavram yanılgısı şu şekildedir; “Kararsız atomlar radyoaktivite olayı sonucunda son yörüngelerindeki elektronlarını salarak kararlı hale geçer”. Radyasyon kavramı ile ilgili en sık rastlanan kavram yanılgısı ise

şu şekildedir; “Bütün radyasyon çeşitleri zararlıdır. Çünkü bütün radyasyon çeşitlerinin kaynağı radyoaktif maddelerdir”.

Öğrencilerle yapılan görüşmelerde de radyoaktif materyal ile ilgili kavram yanlışlarına rastlanmıştır. Bu kavram yanlışları, yanıt sıklığı ve örnek öğrenci görüşleri ile birlikte aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 5. Yarı yapılandırılmış görüşmeler ile elde edilen radyoaktif materyal, radyoaktivite ve radyasyon ile ilgili kavram yanlışları

Kavram Yanlışları	Öğrenci Sayısı	Yüzde (%)
Tüm radyoaktif maddeler güçlü ve tehlikelidir.	4	100
Yapay radyoaktif maddeler doğal radyoaktif maddelerden daha zararlıdır.	4	100
Radyoaktivite sırasında çekirdeğin proton ve nötron sayısı değişmez. Radyoaktivite elektron alışverişi ile gerçekleşir.	4	100
Radyoaktif madde ışımaya yaptığı kimyasal yapısı bozulmaz.	3	75
Radyoaktif ışımaya maruz kalan bir canlı radyoaktif özellik kazanır.	3	75
Radyasyon yayan cihazlar radyoaktif materyallerden üretilir.	2	50

Bu kavram yanlışlarına ek olarak “Yarı Yapılandırılmış Görüşmeler”de öğrencilerin radyoaktif materyaller ile ilgili olumsuz bir algıya sahip olduğu belirlenmiştir. Öğrenciler tüm radyoaktif maddelerin güçlü ve tehlikeli olduğunu düşünmektedir. Bu görüşe sahip bir öğrenci ile yapılan görüşmede öğrenci düşüncelerini şu şekilde ifade etmiştir.

A: *Radyoaktif materyaller ile ilgili düşüncelerini paylaşır mısın?*

Ö1: *Radyoaktif materyaller güçlü ve tehlikelidir. Bu nedenle bu materyallerden korunmamız gerekir.*

A: *Sağlığımız için zararı olmayan radyoaktif materyal var mıdır?*

Ö2: *Bildiğim kadarıyla yoktur.*

Araştırmada karşılaşılan ve yaygın olan kavram yanlışlarından bir diğeri yapay radyoaktif maddelerin doğal radyoaktif maddelerden daha zararlı olduğudur. Bu düşünceye sahip bir öğrenci düşüncesini şu şekilde ifade etmiştir.

A: *Yapay ve doğal radyoaktif materyallerden söz ettin. Bu iki radyoaktif materyali insan sağlığı açısından değerlendirdiğinde neler söyleyebilirsin?*

Ö3: *Yapay radyoaktif materyallerde daha fazla radyasyon var. İnsan vücudu doğal radyoaktiviteye uzun süre maruz kaldığı için direnç kazanmıştır. Fakat insan vücudu yapay radyoaktiviteye karşı dirençli değildir.*

Bu öğrencinin ifadelerinden anlaşılacağı gibi öğrenci doğal ve yapay radyoaktiviteyi doğal ve yapay kelimelerinin çağrıştırdığı genel algıya göre yorumlamaktadır. Bu genel algıya göre yapay olan doğal olana göre daha zararlıdır. Öğrencilerin radyasyonun insan sağlığına etkileri ile ilgili bir başka düşüncesi ise radyoaktif ışımaya maruz kalan bir canlının radyoaktif bir kaynak gibi ışımaya yaptığı görüşüdür. Bir öğrenci bu düşüncesini şu cümlelerle açıklamıştır.

Ö2: *İşımaya maruz kalan hastalar genellikle ışımaya yapar. Bu nedenle bu hastalara çocuklara sarılmayın denir. Bu hastalardan bir gün boyunca çocuklardan uzak durması istenir. Örneğin e-ISSN: 2148-2683*

tomografi çektiren birinin bir süre başkalarından uzak durması gerekir.

Görüşmelerde öğrencilerin radyoaktif materyal ile ilgili olumsuz algılarının yanı sıra radyoaktivitenin kökeni ile ilgili yanlış bir algıya sahip oldukları tespit edilmiştir. Öğrenciler radyoaktivitenin elektron alışverişi ile gerçekleşen bir olay olduğu düşünmektedir. Bu görüşe sahip bir öğrenci düşüncelerini aşağıdaki cümleler ile ifade etmiştir.

Ö1: *Radyoaktivite elektron geçişi ile ilgili bir özelliktir. Elektron bir üst enerji seviyesinden alt enerji seviyesine geçerken radyasyon yayar...*

Bu görüş öğrencinin radyoaktif ışımaya uyarılmış bir atomun foton yayarak daha düşük bir enerji seviyesine geçişi ile karıştırmaktadır. Öğrencilerin, radyoaktif materyal radyasyon yayan cihaza denir şeklindeki görüşünün temelinde bu düşünce vardır. Örneğin radyoaktif madde ışımaya yaptığı kimyasal yapısı bozulmaz görüşünü savunan bir öğrenci aşağıdaki açıklamayı yapmıştır.

Ö1: *Röntgen çekimi sırasında x tüpünü sürekli kullanıyoruz. Yapısı değişseydi bir kez kullanırdık.*

Öğrencinin ifadelerinden anlaşıldığı gibi öğrenci röntgen cihazlarından yayılan x-ışınlarının radyoaktivite sonucu oluştuğunu düşünmektedir.

Radyasyon yayan cihazların radyoaktif materyalden üretildiği görüşünü savunan bir öğrenci ise aşağıdaki açıklamayı yapmıştır.

Ö1: *Radyoaktif materyal radyasyon yayan cisimlere denir. Materyal alet gibi bir şeydir. Görüntüleme cihazlarının içinde radyoaktif madde vardır. x-ışınını bu madde verir.*

Yukardaki açıklamayı yapan bu öğrenci röntgen cihazından yayılan x-ışınının radyoaktif bir kaynaktan yayıldığı görüşüne sahiptir. Bu öğrenci bu konudaki düşüncesini aşağıdaki cümleler ile açıklamıştır.

Ö1: *“Röntgen çekilen bir ortamda ışınlar odanın duvarlarına çarparak odanın içinde kalır. Işınların duvarlara çarpması sonucu hızı sürekli azalır ve en son toz bulutuna dönüşür. Odadaki hava sirkülasyonu ile bu radyasyon dışarı atılır böylece odadaki radyasyon mümkün olan en az seviyeye çekilir. Bu nedenle bizlerden hastaya doğru pozisyon vermemiz ve az sayıda çekim yapmamız istenir. Böylece odada biriken radyasyondan daha az etkilenmiş oluruz.”*

Yarı yapılandırılmış görüşme sonucu ortaya çıkan veriler bir arada değerlendirildiğinde öğrencilerin radyoaktif materyal kavramı ile ilgili olarak tüm radyoaktif materyaller tehlikelidir düşüncesine sahip oldukları anlaşılmaktadır. Ayrıca öğrenciler yapay radyoaktivitenin doğal radyoaktiviteden daha tehlikeli olduğunu düşünmektedir. Buna ek öğrenciler radyoaktif ışımının kaynağının atomun elektronlarının enerji seviyeleri arasındaki geçişi olduğu düşünmektedir.

3.3.2. Yarı Ömür, Radyoaktif Işımlar ve Çekirdek Tepkimeleri ile İlgili Kavram Yanlışları

Aşağıdaki tabloda öğrencilerin yarı ömür, radyoaktif ışımalar ve çekirdek tepkimeleri kavramları ile ilgili ön plana çıkan kavram yanlışları yer almaktadır.

Tablo 6. Öğrencilerin yarı ömür, radyoaktif ışınlar ve çekirdek tepkimeleri ile ilgili kavram yanılgıları

Soru Numarası	Kavram Yanılgısı	Yanıt Kombinasyonu	Yanıt yüzdesi
Yarı Ömür			
9	Bir radyoaktif çekirdeğin yarılanma süresi çekirdeğin başlangıçtaki miktarına bağlıdır.	BB	22
Radyoaktif Işınlar (Alfa, Beta ve Gama Bozunması)			
3	Alfa ışınları yapan bir çekirdek sadece enerjisini kaybeder başka bir elemente dönüşmez.	BD	21
13	Alfa bozunması için çekirdeğin radyoaktif bir madde ile etkileşmesi gerekir.	BD	25
6	Beta bozunmasında atomun elektron kabuklarındaki elektronlar yayınlanır.	BD	15
14	Gama ışınları alfa ve beta ışınları gibi girici olduğu için kütleli vardır.	AA	33
15	Gama ışınları yapan bir çekirdeğin atom ve kütle numarası değiştiği için başka bir elemente dönüşür.	AA	18
Fisyon ve Füzyon Tepkimeleri			
17	Füzyon kararsız radyoaktif çekirdeklerin nötronlarla bombardıman edilerek iki tane kararlı radyoaktif çekirdek oluşturması olayıdır.	AA	21
18	İki çekirdeğin birleşmesi için dışarıdan alınan tüm enerji kullanıldığından nükleer kaynaşma reaksiyonlarında enerji açığa çıkmaz.	AD	11

Yarı ömür, radyoaktif ışınlar, fisyon ve füzyon tepkimeleri kavramları ile ilgili öne çıkan kavram yanılgıları Tablo 6'da yer almaktadır. Yarı ömür ile ilgili en sık rastlanan kavram yanılgısı bir çekirdeğin yarılanma süresinin çekirdeğin başlangıçtaki miktarına bağlı olduğudur. Radyoaktif ışınlar ile ilgili en sık rastlanan kavram yanılgısı gama ışınlarının kütleli olduğudur. Fisyon ve füzyon tepkimeleri ile ilgili en sık rastlanan kavram yanılgısı ise füzyonun kararsız çekirdeklerin nötron ile bombardımanı sonucunda gerçekleştiğidir.

Öğrencilerle yapılan görüşmelerde tespit edilen kavram yanılgıları ve örnek öğrenci görüşleri aşağıda yer almaktadır.

Tablo 7. Öğrencilerin yarı ömür, radyoaktif ışınlar ve çekirdek tepkimeleri ile ilgili kavram yanılgıları

Kategori	Öğrenci Sayısı	Yüzde (%)
Yarılanma süresi çekirdeğin başlangıçtaki miktarına bağlıdır.	3	75
Gama ışınları kütlelidir.	2	50
Fisyon için gerekli enerji füzyon için gerekli enerjiden daha fazladır.	2	50

Görüşmelerde öğrencilerin çekirdeğin yarılanma süresinin çekirdeğin başlangıçtaki miktarına bağlı olduğunu düşündükleri tespit edilmiştir. Bir öğrenci bu düşüncesini şu şekilde açıklamıştır.

Ö2: Nükleer çekirdeğin başlangıç miktarı ne kadar fazla ise yarılanma süreside o kadar fazla olur.

A: Bozunmaya uğrayan radyoaktif bir materyalin zamanla yarılanma süresi değişir mi?

Ö2: İlk başta çok çekirdek olduğu için çekirdek miktarının yarıya düşmesi için uzun bir süre geçer. Daha sonra bu süre sürekli kısalır. Örneğin ilk başta çekirdek miktarının yarıya inmesi için 6 yıl geçiyorsa daha sonra 3 yıl daha sonra 1 yıl geçebilir.

A: Senin ifadelerinden anladığıma göre bir radyoaktif izotopun sabit bir yarılanma süresi olmadığını düşünüyorsun. Öyle mi?

Ö2: Evet. Radyoaktif materyalin bozunmayan çekirdek miktarına göre yarılanma süresi değişir.

Öğrenci çekirdeğin başlangıçtaki miktarının yarılanma süresini etkilediğini düşünmektedir. Bu bulgular öğrencinin nükleer çekirdekler için aktiflik kavramı ile yarılanma süresi kavramını birbirine karıştırdıklarını göstermektedir.

Görüşmelerde belirlenen bir başka kavram yanılgısı ise gama ışınlarının kütleli olduğudur. Bu görüşe sahip olan bir öğrenci düşüncesini aşağıdaki cümlelerle açıklamıştır.

Ö4: "Gama ışınlarının kütleli var. Fakat bu kütle alfa ve beta ışınlarının kütlelerinden daha küçüktür. Bu sayede kaynaktan daha uzağa gidebilmekte ve bu ışınlar diğerlerine göre daha girici olabilmektedir."

Öğrencinin ifadelerinden anlaşıldığı gibi öğrenci gama ışınlarının kütleli olduğunu düşünmektedir.

Görüşmelerde belirlenen bir başka kavram yanılgısı ise fisyon için gerekli enerjinin füzyon için gerekli enerjiden daha fazla olduğudur. Bir öğrenci çekirdek reaksiyonları ile ilgili görüşlerini aşağıdaki cümleler ile açıklamıştır.

Ö3: Füzyon reaksiyonları hakkında çok fazla bilgiye sahip değilim. Fakat fisyon reaksiyonlarını biliyorum. Amerika'nın Japonya'ya attığı atom bombaları bu reaksiyonlara örnektir. Fisyon reaksiyonlarında çok yüksek enerji açığa çıkar. Bundan daha güçlü bir enerji açığa çıkarma yöntemi olmadığını düşünüyorum.

Öğrencinin fisyon reaksiyonları ile ilgili bilgilerinin genel kültür bilgileri olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca öğrenci fisyon reaksiyonu konusunda füzyon reaksiyonu konusuna göre daha fazla bilgiye sahiptir.

Yarı yapılandırılmış görüşme sonucu ortaya çıkan veriler bir arada değerlendirildiğinde öğrencilerin yarı ömür, radyoaktif ışınlar ve çekirdek tepkimeleri ile ilgili bilgi düzeylerinin düşük

olduğu anlaşılmıştır. Öğrenciler yarılanma süresinin çekirdeğin başlangıçtaki miktarına bağlı olduğunu ve gama ışınlarının kütesinin olduğunu düşünmektedir. Ayrıca öğrencilerin füzyon konusundaki bilgi düzeyi yetersizdir.

4. Sonuç

Bu araştırmada, sağlık teknikerliği programlarında öğrenim gören öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavramsal anlama düzeyi ve kavram yanlışları araştırılmıştır. Araştırmada öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavramsal anlama düzeyi “düşük düzey” olarak sınıflandırılmıştır. Bu bulgu, araştırmanın yapıldığı meslek yüksekokulunun radyoterapi, nükleer tıp, tıbbi görüntüleme ve ameliyathane hizmetleri programlarında öğrenim gören öğrencilerinin nükleer fizik kavramlarını anlamada güçlük çektiğini göstermektedir. Öğrencilerin nükleer fizik kavramlarını anlamada güçlük çektiği başka araştırmacılar tarafından da belirlenmiştir. Morgil vd. (2004) öğrencilerin özellikle radyoaktif bozunma ve yarılanma süresi ile ilgili doğru yanıt yüzdelerinin düşük olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca bu araştırmada öğrencilerin aktivite, izotop, alfa ve beta bozunmaları ile ilgili eksik bilgileri olduğu belirtilmiştir. Nakiboğlu ve Tekin (2006) ise öğrencilerin radyoaktif izotop ve radyoaktif bozunma kavramları ile ilgili eksik bilgileri ve kavram yanlışları olduğunu ifade etmiştir.

Araştırmada ayrıca öğrencilerin yanıtları “doğru kavram”, “kavram yanlışlığı” ve “diğer yanıt” olarak üç kategoriye ayrılarak incelenmiştir. Öğrencilerin radyoaktif materyal, radyoaktivite, radyasyon, yarı ömür, radyoaktif ışınlar ve çekirdek tepkimeleri konularının tümünde en fazla “diğer yanıt” kategorisinde toplandığı tespit edilmiştir. “Diğer yanıt” kategorisinde içinde boş bırakılan veya bir kavram yanlışlığı içinde değerlendirilemeyen yanıtlar yer almaktadır. Öğrencilerin tüm kavramlar için en fazla bu kategoride toplanmaları öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili yeterli bilgi birikimine sahip olmadıkları şeklinde yorumlanmıştır. Çünkü öğrencilerin doğru bir kavrama veya bir kavram yanlışlığına sahip olmaları için belirli düzeyde bilgi birikimine ve yaşamışlığına sahip olması gerekir (Yağbasan ve Gülçiçek, 2003). Ayrıca öğrencilerin nükleer fizik kavramlarını birbirini yerine kullanmalarının (Klaassen vd., 1990) da “diğer yanıt” kategorisinde toplanmalarında etkisi olduğu söylenebilir. Buna ek olarak öğrencilerin radyasyon ve yarı ömür kavramları için “doğru kavram” kategorisinde toplanma yüzdelerinin “kavram yanlışlığı” kategorisinde toplanma yüzdelerinden fazla olduğu tespit edilmiştir. Fakat öğrencilerin radyoaktif materyal, radyoaktivite, radyoaktif ışınlar ve çekirdek tepkimeleri için “kavram yanlışlığı” kategorisinde toplanma yüzdeleri “doğru yanıt” kategorisinde toplanma yüzdelerinden fazladır. Ayrıca öğrencilerin “doğru yanıt” kategorisinde toplanma yüzdesinin en yüksek olduğu kavram radyasyon, en düşük olduğu kavram ise radyoaktivitedir. Bu bulgu öğrencilerin en iyi öğrendikleri kavramın radyasyon, öğrenmede en fazla güçlük çektikleri kavramın radyoaktivite olduğunu göstermektedir. Öğrencilerin radyoaktivite kavramını öğrenmede güçlük çekmelerinin temelinde radyoaktif ışınmayı Bohr atom modeli ve enerji düzeyleri teorisini kullanarak açıklamaları yatmaktadır (Prather, 2005).

Araştırmada öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavramsal anlama durumu derinlemesine incelenmiştir. Araştırmada radyoaktif materyal ile ilgili en sık rastlanan kavram yanlışlığı bir maddenin radyoaktif olma özelliğinin o maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olduğudur. Bu kavram

yanlışlığı Mavi (2008) tarafından da tespit edilmiştir. Bu araştırmada öğrencilerin maddelerdeki doğal radyoaktiviteyi yağmur, kar, basınç ve rüzgar gibi fiziksel koşullardan etkilenen bir özellik olarak tanımladıkları ifade edilmiştir.

Araştırmada radyasyon kavramı ile ilgili en sık rastlanan kavram yanlışlığı ise bütün radyasyon çeşitlerinin zararlı, güçlü ve tehlikeli olduğudur. Öğrenciler radyasyon çeşitlerinin tümünün kaynağının radyoaktif madde olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca öğrencilere göre yapay radyoaktivite doğal radyoaktiviteden daha tehlikelidir. Araştırmanın bu bulguları öğrencilerin radyoaktivite kavramını olumsuz duygular ve korku ile özdeşleştirdiğini göstermektedir (Tezcan ve Erçoklu, 2010). Birçok araştırma benzer şekilde öğrencilerin nükleer fizik kavramlarına karşı olumsuz duygular geliştirdiğini belirlemiştir. Cooper vd. (2003) öğrencilerin nükleer enerji konusunda korkularının ve kaygılarının olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca araştırmacılar öğrencilerin iyonlaştırıcı radyasyonun insan dokusu üzerindeki etkileri ile ilgili sınırlı bilgileri olduğunu ifade etmiştir. Millar vd. (1990) öğrencilerin radyasyonu ve radyoaktif materyali tek bir kavram olarak ele aldıklarını ve bu ortak kavramın canlılar için tehlikeli olduğunu düşündüklerini belirtmiştir. Neumann (2014) radyasyon sözcüğünün öğrencilerde ağırlıklı olarak olumsuz çağrışım yaptığını ve öğrencilerin radyasyonu uzak durulması kaçınılmazı gereken bir şey olarak tanımladıklarını belirtmiştir. Araştırmada öğrencilerin doğal radyasyon fikrine aşına olmadıkları, birçok öğrencinin radyasyonu genellikle yapay ve insan yapımı bir şey olarak tanımladıkları vurgulanmıştır. Ayrıca araştırmada hiçbir öğrencinin radyasyonun tıpta ve nükleer santraller dışında teknolojiye kullanımına değinmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırmada öğrencilerin yarı ömür ile ilgili öne çıkan kavram yanlışlığı yarı ömrün çekirdeğin kararlılığına ve başlangıç miktarına bağlı olduğudur. Tezcan ve Erçoklu (2010) öğrencilerin yarılanma süresini maddenin başlangıçtaki miktarı, sıcaklığı ve fiziksel hali ile değişen bir özellik olarak tanımladıklarını ifade etmiştir. Morgil vd. (2004) öğrencilerin yarılanma süresi ile ilgili doğru yanıt yüzdesinin düşük olduğunu ve öğrencilerin yarılanma süresi ile radyoaktif maddenin kütesi arasında bir ilişki kurduğunu tespit etmiştir. Yalçın ve Kılıç (2005) ise öğrencilerin radyoaktif bir maddenin bir yarılanma süresi sonunda radyoaktif özelliğini kaybettiğini düşündüklerini ifade etmiştir.

Araştırmanın ilginç bulgularından biri ise sağlık teknikerliği programı öğrencilerinin radyasyona maruz kalan canlıların radyoaktif kaynağa dönüşeceği yanlışlığına sahip olmasıdır (Mavi, 2008). Öğrencilerin bu kavram yanlışlığının staj ve klinik uygulama eğitimlerinde edindikleri deneyimlerini, eksik nükleer fizik ve görüntüleme teknikleri bilgileri ile harmanlamaları sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Çünkü eksik nükleer fizik bilgisi bu konu ile ilgili birçok kavram yanlışlığının oluşmasına sebep olmaktadır. Örneğin öğrencilerin radyoaktif ışına (irradiation) ve radyoaktif bulaşma (contamination) kavramlarını birbirini yerine kullanmaları radyoaktif ışına sırasında kaynaktan çevreye radyoaktif materyal yayıldığı, radyoaktivitenin yayılabildiği, radyoaktif kaynağın elektrik alan manyetik alan gibi radyoaktif bir alana sahip olduğu, radyasyonun rüzgar ile taşındığı, radyasyonun atmosferi kirlettiği gibi düşüncelerin oluşmasına neden olmaktadır (Klaassen vd. 1990). Radyasyona maruz kalan canlıların radyoaktif kaynağa dönüşmesi ile ilgili olan kavram yanlışlığını Kaczmarek vd. (1987)’de belirlemiştir. Araştırmacılar öğrencilerin bir röntgen odası içindeki nesnelere röntgen çekimi sonrasında ışına yaptığını inandıklarını belirlemiştir.

Bu araştımda sağlık teknikerliği programlarında öğrenim gören öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavramsal anlama düzeyleri araştırılmıştır. Araştırma sonuçları ilgili alanyazınla ilişkilendirilerek detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu yönü ile bu araştırma nükleer fizik kavram yanlışları ile ilgili araştırma yapmak isteyen araştırmacılara ışık tutacak niteliktedir. Ayrıca nükleer fizik öğretiminin bu kavram yanlışlarını giderecek içerik, materyal ve öğretim teknikleri ile planlanması durumunda, bu araştırmanın bulgularının fizik öğretmenlerine mesleki açıdan katkı sağlayacağı söylenebilir.

Araştırma bulgularına dayanarak sağlık teknikerliği önlisans programlarının öğretim programlarında yer alan temel fizik, nükleer fizik ve radyasyondan korunma gibi derslere verilen önemin artırılması önerilmektedir. Çünkü bu programlarda öğrenim gören öğrenciler mezun olduktan sonra sağlık kurumlarında radyasyon içeren ortamlarda çalışacaktır. Öğrencilerin nükleer fizik kavramları ile ilgili kavram yanlışları meslek hayatlarında kendilerinin ve çevrelerinin radyasyon güvenliği açısından risk oluşturabilir.

Kaynakça

- Ausubel, D. (1968). Educational psychology: a cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ayaz, E., Karakaş, H., ve Sarıkaya, R. (2016). Sınıf öğretmeni adaylarının nükleer enerji kavramına yönelik düşünceleri: Bağımsız kelime ilişkilendirme örneği. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 37, 43–54.
- Cooper, S., Yeo, S., and Zadnik, M. (2003). Australian students' views on nuclear issues: Does teaching alter prior beliefs? *Physics Education*, 38, 123–129.
- Eijkelhof, H.M.C., and Millar, R. (1988). Reading about Chernobyl: The public understanding of radiation and radioactivity. *School Science Review*, 70, 251, 35–41.
- Gilbert, J. K. (1977). The study of student misunderstandings in the physical sciences. *Research in Science Education*, 7, 165–171.
- Greene, J. C., Caracelli, V. J. and Graham, W. F. (1989). Toward a conceptual framework for mixedmethod evaluation designs. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 11(3), 255–274.
- Halim, A. S., Finkstaedt-Quinn, S. A., Olsen, L. J., Gere, A. R., and Shultz, G. V. (2018). Identifying and remediating student misconceptions in introductory biology via writing-to-learn assignments and peer review. *CBE- Life Science Education*, 17(2), 1–13.
- Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., and Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(2), 112–133.
- Kaczmarek R., Bednarek, D.R., and Wong R. (1987). Misconceptions of medical students about radiological physics. *Health Phys.*, 52, 106–1077.
- Karataş, F.Ö., Köse, S., ve oştu, B. (2003). Öğrenci yanlışlarını ve anlama düzeylerini belirlemede kullanılan iki aşamalı testler. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1(13), 54-69.
- Klaassen, C.W.J.M., Eijkelhof, H.M.C., and Lijnse, P.L. (1990). Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: a central problem in secondary science education. Chapter: Considering an alternative approach to teaching radioactivity. CD-Beta Press. Edit: P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos, A.J. Waarlo.
- Mavi, M. (2008). Lise öğrencilerinin radyasyon konusundaki kavram yanlışlarının tespiti. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Millar and Gill (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. *Physics Education*, 31(1). 27–33.
- Millar, R., Klaassen, K., and Eijkelhof, H. (1990). Teaching about radioactivity and ionising radiation: an alternative approach. *Physics Education*, 25. 338-342.
- Morgil, İ., Yılmaz, A., ve Uludağ, N. (2004). Lise kimya 2 ders kitabında yer alan radyoaktivite konusunun incelenmesi, öğrencilerin bu konudaki bilgilerinin araştırılması ve öneriler. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27, 206–215.
- Nakiboğlu, C., and Tekin, B.B. (2006). Identifying students' misconceptions about nuclear chemistry. *Chemical Education Research*, 83(11), 1712–1718.
- Neumann, S. (2014). What Students Think About (Nuclear) Radiation-Before and After Fukushima. *Nuclear Data Sheets*, 120, 166–168.
- Neumann, S., and Hopf, M. (2012). Students' conceptions about 'radiation': Results from an explorative interview study of 9th grade students. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 826–834.
- Novak, J. D. (1993). How do we learn our lesson? Taking students through the process. *The Science Teacher*, 60(3), 50–55.
- Özdemir, E., oramık, M. and Ürek, H. (2020). Determinantın of Conceptual Understanding Levels Related to Optics Concepts: The Case of Opticianry. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 8(1), 53–64.
- Palacı, H., Günay, O., ve Yazar, O. (2018). Türkiye'de Radyasyon Güvenliği ve Korunma Eğitiminin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14, 249–254.
- Palmer, D.H. (1999). Exploring the between students' scientific and nonscientific conceptions. *Science Education*, 83, 639–653.
- Prather, E. (2005). Students' beliefs about the role of atoms in radioactive decay and half-life. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 345–354.
- Riesch, W. and Westphal, W. (1975) Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioactiver Strahlung. *Der Physikerunterricht*. 9(4). 75-85.
- Tezcan, H., ve Erçoklu, H.F. (2010). Geleneksel anlatım ve yapılandırıcı yaklaşımın radyoaktivite öğretiminde başarıya etkilerinin karşılaştırılması ve ilgili yanlış kavramaların giderilmesindeki etkileri. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 8(1), 201–225.
- Yağbasan, R., ve Gülecek, . (2003). Fen öğretiminde kavram yanlışlarının karakteristiklerinin tanımlanması. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1(13), 102–120.
- Yalçın, A., ve Kılıç, Z. (2005). Öğrencilerin yanlış kavramları ve ders kitaplarının yanlış kavramlara etkisi örnek konu: radyoaktivite. *GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 25(3), 125–141.
- Yıldırım, S. A., ve Kurt, B. (2018). Lise ve üniversite radyoloji öğrencilerinin radyasyon güvenliği hakkında bilgi düzeyleri ve tutumları. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 5(4), 311–317.
- Yumuşak, A., Maraş, İ., ve şahin, M. (2016). Radyoaktivite konusunda kavram yanlışlarını belirlemeye yönelik iki aşamalı bir teşhis testinin geliştirilmesi. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 12(3), 810-828.
- Yüksel, A. (2018). Sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu öğrencilerinin uygulamalı derslere ilişkin görüşleri. *Sağlık Hizmetleri ve Eğitimi Dergisi*, 2(2), 72–77.



Fotobiyoreaktörde Işığın ve Beslemenin Alglerin Büyümleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması

Nergiz Uçmaz¹, Batuhan Sert¹, Cemalettin Aygün², Oğuz Yunus Sarıbiyik^{1*}

^{1*} Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9735-8735), oysaribiyik@gumushane.edu.tr

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6033-3558), caygun@ktu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 5 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.859107)

ATIF/REFERENCE: Uçmaz, N., Sert, B., Aygün, C. & Sarıbiyik, O. Y. (2021). Fotobiyoreaktörde Işığın ve Beslemenin Alglerin Büyümleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 475-480.

Öz

Dünya nüfusunun çoğalmasına bağlı olarak gıda ve enerji ihtiyaçları da artmaktadır. Enerji ve gıda tüketimi karbondioksit salınım miktarının yükselmesi ile yakından alakalıdır. Karbondioksit miktarının artması Sera gazı etkisi göstererek küresel ısınmaya sebep olmakta böylece doğal afetler yaşanmaktadır. Sera gazı etkisinin azaltılması için fosil kaynaklara alternatif enerji kaynakları bulunmalı ve atıkların sürdürülebilir şekilde kontrol edilerek geri dönüşüme kazandırılması gerekmektedir. Alternatif enerji kaynakları olarak biyogaz, biyodizel, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları yoğun şekilde araştırılmaktadır. Algler, alternatif gıda ve enerji ihtiyacını karşılamak için araştırılan kaynaklar arasında yer almaktadır. Bu canlılar, genel olarak ökaryotik fotosentez yapabilen canlıların genel tanımlamasıdır ve bu sınıf içerisinde çok farklı alt türleri bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, 1 kg kuru alg oluşumu sırasında 1.83 kg CO₂ tükettiği, yağ protein kaynağı ve organik gübre olarak kullanılabilirdiği görülmüştür. CO₂ tüketim miktarının yüksek olması, alternatif besin ve yenilenebilir enerji kaynağı gibi farklı amaçlar için kullanılma potansiyelinden dolayı Alglerin uygun yaşam alanlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada, hava karıştırılmalı kolon tipi pilot fotobiyoreaktör imalatı yapılmıştır model alg üzerinde, ışığın ve beslemenin büyüme üzerine etkileri araştırılmıştır. Model alg olarak "*Cladhopora glomerata*" kullanılmıştır. Besleme için, inorganik tuzlar, %17'lik doğal kaynaklardan elde edilen amino asit çözeltisi ve 425 nm dalga boyuna sahip ışığın alglerdeki kütle artışı üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, alglerin 425 nm dalga boyundaki (mor ışık) kütle artışı gün ışığındaki ışığa göre kıyaslandığında daha fazla kütle artışı gözlemlenmiştir. Bunun dışında alglerin kütle artışı beslemelerine göre kıyaslandığında %17 lik doğal amino asit kaynağı ile besleme yapıldığında inorganik tuzlara göre kütlece artışının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotobiyoreaktör, *Cladhopora glomerata*, Biyoyakıt.

The Effect of the Light and Feeding on Growth of Algae in Bioreactor

Abstract

The energy and food requirements have been increased depending on the growth of the world populations. The consumption of the food and energy cause for rising the carbon dioxide emissions. The increase of the greenhouse gases develops global warming therefore natural disaster occurred. In order to decrease of the effect of the greenhouse gases, the waste should sustainably be controlled and they should be managed for recycling. In consequence, such as an alternative energy resources biodiesel, wind power, biogas, sun have intensively been investigated. Algae have been considered as an alternative sources supplier for investigating food stock and energy requirements. Algae is a general definition of organism can make a eukaryotic photosynthesis, and there are many sub-species in this class. In previous studies, 1.83 kg of CO₂ have been consumed for production of 1 kg of dry algae and they can be used as fertilizer or bio-oil sources. Therefore, appropriate habitats of Algae along with the various features is necessary to investigate.

In this study, the two air bubble column type pilot scale photo-bio reactor 4L were designed for investigation of optimum living condition for "*Cladhopora glomerata*". Moreover, the effect of different feeding such as inorganic salts, and 17 percent natural amino acids were investigated on the growth of Algae. The results showed that the algae have developed their weight better at the 425 nm wavelength (purple light) compared to daylight. Also, 17 percent natural amino acid is better than the inorganic salts.

Keywords: Photo-bioreactor, *Cladhopora glomerata*, Biofuel.

* Sorumlu Yazar: oysaribiyik@gumushane.edu.tr

1. Giriş

Dünya nüfusunun artmasına ve teknolojinin gelişimine bağlı olarak enerji ve gıda tüketimi artmaktadır (K. M. Nazmul et al., 2021). Enerji talebini karşılamak üzere kullanılan fosil kaynaklı yakıtlardan oluşan karbondioksit istatistiklere göre 1900 yılında 290 ppm iken 2021 yılı verilerine göre 410 ppm olarak ölçülmüştür (Lindsey, 2021). Bu farklılık küresel ısınmanın artmasına sebep olurken bunun yanısıra ormanlık alanların azalması kuraklık, sel vb. çeşitli doğal afetlerin gözle görülür şekilde canlıları etkilemesine sebep olmaktadır (Corrie & Fernando, 2020; JeanCalleja et al., 2020; Yaduvanshi et al., 2021). Meydana gelen doğal afetlere bağlı olarak gıda üretimi de etkilenerek azalmakta böylece süreç bir kısır döngü haline gelmektedir (Shuirong et al., 2021). Küresel ısınmayı kontrol altına alabilmek ve doğaya salınan karbondioksit miktarının azaltılması için alternatif yenilenebilir çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi, biyodizel, biyogaz, rüzgâr, dalga enerjisi gibi alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir olması küresel ısınmanın etkilerini azaltarak dünya ekosisteminin tekrar düzeltilebilmesine olanak sağlamaktadır (Bedoi et al., 2020; Oğuz Yunus et al., 2010; Patel et al., 2020; Zhang et al., 2020; Zhou et al., 2021). Alternatif kaynakların eldesinde küresel ısınmaya sebep olan karbondioksitin Sera gazı etkisini azaltabilmek için kullanılan yöntemlerinde sürdürülebilir olması gerekmektedir. Biyodizel üretiminde gıdasal yağların kullanılması yağ fiyatlarının artmasına ve yağ karaborsasına sebep olduğundan yenilenemeyen alternatif kaynaklardan biyodizel üretilmesi gerekmektedir (Oğuz Yunus et al., 2010). Karbondioksit salınımını azaltmak için CO₂'nin çimento üretiminde kullanılması gibi çözümler olsa da bu yöntemler pek sürdürülebilir görünmemektedir (Lopamudra et al., 2015). Bunlara ek olarak nüfus artışına bağlı oluşan atıklarında sürdürülebilir ve uygulanabilir şekilde yönetilebilmesi gerekmektedir. Özellikle akarsu ve içme sularına karışan atık yağların kontrol edilmesi, şehirselleşen organik kökenli katı atıkların düzenli yönetimiyle istenmeyen koku, görüntü ve bulaş riskinin azaltılması gerekmektedir. Sürdürülebilir alternatif kaynakların eldesinde hem karbondioksit salınımını azaltılmasının hem de atıkların faydalı şekilde bertarafı Küresel ısınmanın düzene girmesine yardımcı olabilmektedir. Bu amaçlara uygun olarak kullanılan yöntemlerden birisi de Algler gibi basit canlıların kullanılmasıdır. Algler değişik şartlar altında hayatlarına devam edebilen türlerine göre içeriklerinde yağ ve protein miktarları farklılık gösteren tek hücreli sucul canlılar olarak bilinmektedir ve yüksek karbondioksit tüketme özelliğine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı yoğun şekilde araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, yüksek sıcaklıklarda yapısı bozularak biyo yağ elde edilip sürdürülebilir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Hasan et al., 2020; Mehran et al., 2018; Wenhua et al., 2017). Ayrıca, hidrotermal gazlaştırma (Farid et al., 2016), fenolik bileşikler ve antioksidan kaynağı (Karolina et al., 2020), hayvan besini olarak (Dineshbabu et al., 2019) veya organik gübre üretimi, sulardaki nitrat ve fosfatların giderilmesi (Uthirapandi et al., 2018; Zamilloa et al., 2013), ağır metallerin uzaklaştırılması (A. Ruiz et al., 2012) gibi çok farklı amaçlar için kullanılabilirler görülmektedir. Algler yaşam şartlarına bağlı olarak üretim maliyetlerinin düşük olması ve normal yapraklı ağaçlara göre CO₂ kullanımının 10-100 kat fazla oluşu onlara duyulan ilginin daha da artmasını sağlamaktadır (Junchen et al., 2020). Yapılan araştırmalarda alglerin yaşamları için gerekli olan sıcaklığın, ışık miktarının ve farklı şekildeki fotobiyoreaktör

tasarımlarının Alglerin büyümeleri üzerine etkileri olduğu görülmektedir (Junchen et al., 2020; Satendra Pal Singh & Priyanka, 2015). Alglerin gelişimlerinde CO₂ çözünürlüğünün önemli olmasından dolayı bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Alglerin özellikle atıklarla beslenmesi ve bunların büyüme üzerine etkilerinin incelenmesi alglerin genel karakterlerinin belirlenmesinde ve atıklardan faydalı ürünler elde edilmesi günümüzde yaşadığımız çevresel felaketlerin çözümüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmadan elde edilebilen sonuçlar ile hem küresel ısınmaya sebep olan karbondioksit salınımını azaltılmış olacak hemde doğal protein atıklarından elde edilen amino asitler Algerin gelişimlerinde kullanılarak faydalı ürünlere dönüştürülmüş olacaktır. Bu bağlamda çalışmanın sürdürülebilir ve alternatif kaynakların elde edilmelerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışmada, laboratuvar boyutlarında iki adet hava karıştırmalı foto-biyo reaktör kullanılarak "*Cladhopora glomerata*"nın büyümesine farklı dalga boylarındaki ışığın etkileri ve atık protein kaynaklarından elde edilmiş %17 amino asit içeren besin kaynağı ile beslemenin alglerin kütleli artışları üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, 425 nm (mor ışık) dalga boyuna sahip ışığın diğer dalgaboylarından daha etkin olduğu ve doğal kaynaklı amino asidin geleneksel besleme (N, P, K) ortamına göre daha etkin olduğu görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Besi yeri oluşturmak için N/P/K (kütlece 15-N/15-P/15-K) Toros Gübre üretimi gübre kullanılmıştır. Deneysel olarak kullanılan %17 doğal kökenli amino asit içeren besi ortamı ise Serin Arge limited şirketinden satın alınmıştır. Deneysel olarak kullanılan *Cladhopora glomerata* kültürü Gümüşhane İli merkezi Bağlarbaşı mevkiindeki doğal ortamı olan Harşit çayından Eylül ayında temin edilmiştir. Fotobiyoreaktörler, 4 Litre hacimde iki adet polimer molekül ağırlığı 350,000.00M_w olan, düşük yüzey pürüzüne sahip 0.0010–0.007 µm poly(methyl methacrylate) şeffaf silindirik polimerden üretilmiştir. Reaktörlerden birisi deney diğeri ise kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Reaktör boyutları 9 cm çapında 100 cm uzunluğunda olarak tasarlanmış ve reaktörün dış ortam ile yalıtımı sağlamak için siyah renkli sıkıştırılmış ahşap yapıdan imal edilen 40L'lik kabin kullanılmıştır. Hava beslemesi için 4W gücünde 2×4.5 L/dk Hailea Aco-6604 motor ve reaktör tabanında sabitlenmiş 3 cm büyüklüğünde küresel hava dağıtıcı taş disk kullanılmıştır buna bağlı reaktördeki CO₂ miktarı 36.63x10⁻⁴ L/dk olarak belirlenmiştir. Işıklandırma için RGB (54 led/m) sistemi 425 nm (~670-750 THz) dalga boyunda ışık yaymaktadır ve 94 W (12 V-7.8 A) gücünde iki reaktör içinde eşit ve spiral olarak 4200 lüks ışık sağlayacak şekilde hesaplanmıştır. Işıklandırma süresi modeli için (16:8) 16 saatlik ışıklandırmada gündüz modeli yapılarak 8 saat gece karanlığı gece modeli uygulanmıştır. Algerin incelenmesinde Nikon E200 marka mikroskoba bağlı Nikon fotoğraf makinasının 1-J1 modeli kullanılmıştır.

2.1.1. Metot

Yapılan çalışmada besi ortamı için reaktörlere 4.5 L saf su ilave edilerek hazırlanmıştır. Çalışmalar 21-23 °C arasında sıcaklık kontrollü olarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalar için kullanılan Algler doğal ortamlarından alındıktan sonra 5 defa saf

su ile yıkandıktan sonra 40 °C deki etüvde 24 saat boyunca bekletildikten sonra 20 mg tartılarak reaktöre ilave edilmiştir (Minoo & Palsson, 1991). Reaktörlerde ışıklandırma yapay gün dönemi (16 saat açık), gece dönemi (8 saat kapalı) olarak yapılmış ve inkübasyon 7 gün boyunca gözlemlendikten sonra oluşan algler hasat edilip süzgeç kâğıdında süzülüp 24 saat boyunca etüvde 40 °C bekletildikten sonra tartım alınarak kütle artışı belirlenmiştir (Wahidin et al., 2013). Alglerin beslenmelerinde deniz suyu tuzluluk oranı temel alınarak; N/P/K ağırlık olarak %15/15/15 gübresinden 20gr/4.5L, doğal amino asit kaynağı (Glisin, Threonin, Lizin, Prolin, Tirozin, Aspartik a., Alanin, Valin, Arginin, Methionin, Triptofan, Glutamik a., Serin, Lösin, Histidin, Fenilalanin, Glutamin) ise 10gr/4.5L seyreltilerek kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Biyoreaktörler kullanılan organizmaların çeşidine göre ihtiyaç duyduğu yaşam şekli farklılık göstermektedir. Yapısında klorofil bulunan ve fotosentez yapabilen Alglerin fotosentetik etkinliklerini artırmaları için tasarlanan hava kaldırmalı fotobiyo reaktörlerde en önemli noktalar; ışık miktarı, beslenmeyle birlikte karıştırma şeklidir (Bahadur et al., 2013; Franz et al., 2000; Vree et al., 2015). Karıştırma şekline bağlı olarak suda çözünmüş karbondioksit miktarının artırılması ve fotosentez sonucu artan oksijen miktarının uzaklaştırılması ayrıca Alglerin hareket ettirilerek ihtiyaç duydukları ışığa ulaşmaları hedeflenmektedir (Jianke et al., 2014; Molina et al., 2001). Bu sebeple atmosferik CO₂ çözünürlüğünü artırmak için çok farklı reaktör tasarımları ve çalışmalar yapılmaktadır (Dalle & Arnaudis, 2017; Franz et al., 2000; Minoo & Palsson, 1991). Bunlara bağlı olarak Junchen ve arkadaşları tarafından tasarlanan reaktörde kabarcığın hızını yavaşlatarak CO₂ çözünürlüğünü artırabilmek için boru şeklindeki reaktörde spiral ayırıcılar kullanılarak kabarcıkların hızı %190 yavaşlatılmış ve verim % 40 oranında artırılmıştır (Junchen et al., 2020). Buna benzer bir başka çalışmada ise düz panel tipli hava kaldırmalı biyoreaktörde reaktör tabanına paralel düz plakalar konup hava kabarcıklarının reaktör içersinde aldığı yol uzatılarak reaktör içersindeki atmosferik CO₂ çözünürlüğü artırılmıştır (Jörg et al., 2001; Lin-lin et al., 2014).

Tablo-1 Fotobioreaktörde Işığın Büyüme Üzerine Deney Şartları

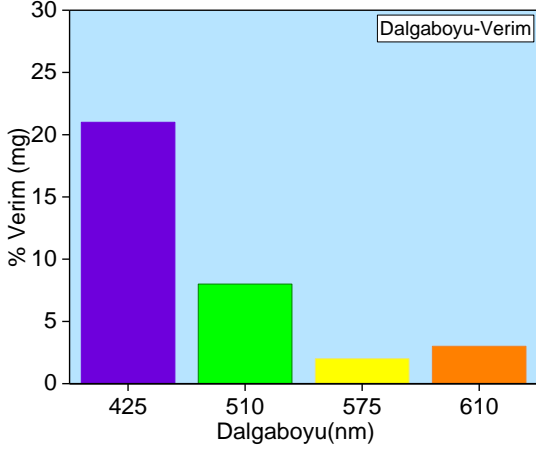
Deney Şartları	Deney grubu (ışıklı)	Kontrol grubu (ışıksız)
Işık	Mor(425 nm)	Güneş Işığı
Besi	N/P/K 20g/L	
Debi	2.5 x 10 ⁵ m ³ /s	
pH	8.3(bazik)	
Sıcaklık	20°C-23.1°C	20°C-21°C
Kültür	<i>Cladhopora glomerata</i> (100mg)	

Alg yetiştirmek için, yatay veya dikey borsal fotobioreaktörler, düz panel tipli fotobioreaktörler gibi veya bunların modifiye edilmeleriyle elde edilen fotobioreaktörler kullanılmaktadır (Vree et al., 2015). Panel tipli ve köşegene sahip reaktörlerde köşe kısımların karışımı, beslenmesi ve ışık ihtiyacı pek karşılanamamaktadır. Bu sebeplerle yapılan çalışmada borsal silindirik düşük yüzey pürüzüne sahip fotobioreaktör kullanılmıştır ve yapılan uygunlaştırma çalışmalarında Alglerin strese girmeden büyüdükleri görülmüştür. Bu sebeple yapılan çalışmada daha çok atıkların besin olarak Alglerin büyümeleri üzerine odaklanılmıştır (Bahadur et al., 2013; Mohsenpour & Willoughby, 2013). Alglerin büyümesinde ve hücre içi yapılarında meydana gelen kimyasalların içeriğine etki eden en önemli noktalardan bir diğeri ise yeterli ışığın olmasıdır (Kim et al., 2014; Molina et al., 2001). Bu sebeple, hem gün ışığı kullanılarak üretim yapılan reaktörler hem de kapalı alanlarda üretim için tasarlanmış reaktörler Alglerin ışık kaynaklarına yeterince ulaşmaları göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Farklı ışık kaynaklarından beslenen Alglerdeki hücre içi yağ asidi ve amino asit içerikleri değişiklik gösterebilmektedir (James et al., 1989; Michael et al., 2015; Mohsenpour et al., 2012; Wahidin et al., 2013; Yoshioka et al., 2012).

Deney Şartları	Deney grubu (ışıklı)	Kontrol grubu(ışıksız)
Işık	425 nm Mor Işık	Güneş Işığı
Besi	17 Farklı Aminoasit (10 gr/ 4.5 L)	
Debi	2.5 x 10 ⁵ m ³ /s	
pH	8.3(bazik)	
Sıcaklık	20°C-23.1°C	20°C-21°C
Kültür	<i>Cladhopora glomerata</i> (100mg)	

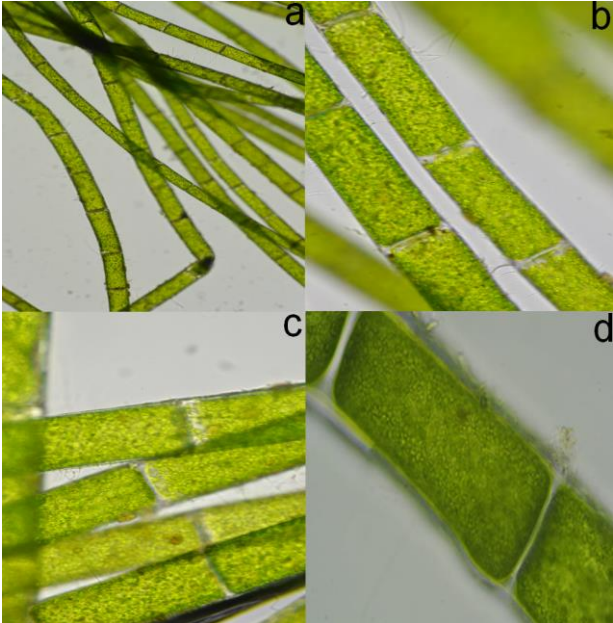
Tablo-2 Fotobioreaktörde Beslenmenin Büyüme Üzerine Deney Şartları

Bunların dışında gün ışığından faydalanmak için tasarlanan ve ışık kaynağı reaktörün içinden sağlanan farklı çalışmalarda mevcuttur (Mohsenpour & Willoughby, 2013). Satthong ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada *Chlorella vulgaris*'in floresan ışık ve farklı dalga boylarındaki (light emitting diodes(LED)) gelişimleri incelemişler ve LED ışık kaynağının floresana göre daha iyi büyüme etkisi gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır (Satthong et al., 2019). Benzer bir diğer çalışmaya göre *Chlorella vulgaris* en iyi gelişimini LED ışıkta hücre büyüklüğüne mavi ışıkta ve hücre çoğalmasımı ise kırmızı ışık altında göstermiştir (Kim et al., 2014). Önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre; Alglerin büyümesinde sabit dalga boyunun ve iki farklı dalgaboyunun karışımının aynı anda uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar, karışık dalga boyunda diğer dalga boylarına göre daha yüksek verim elde edildiğini göstermiştir (Tae Hyeong et al., 2013).



Grafik-1 Dalga Boyu Büyüme ilişkisi

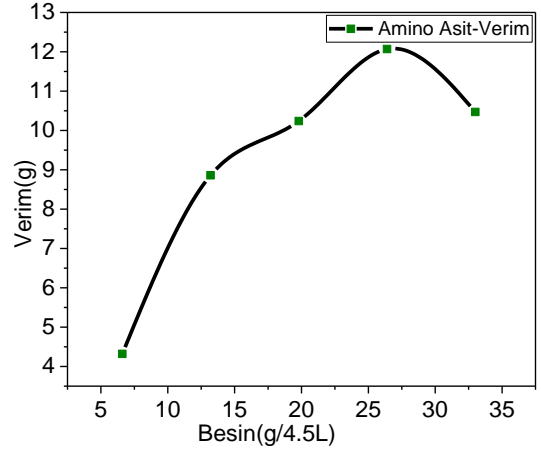
Bu sebeple yapılan deneysel çalışmalarda, en uygun ışık kaynağının dalgaboyunu belirlemek için sarı ışık (575 nm), yeşil ışık (510 nm), turuncu ışık (610 nm) ve mor ışık(425 nm) gibi farklı dalga boylarındaki ışık kaynakları kullanılarak bu ışıkların *Cladhopora glomerata*'nın gelişmeleri üzerine etkileri de araştırılmıştır (**Grafik-1**). Önceki çalışmalara paralel olarak *Cladhopora glomerata*'nın en iyi gelişimi 425 nm dalgaboyuna sahip mor ışıkta elde edilmiş ve diğer çalışmalarda aynı dalga boyu kullanılmıştır (Mohsenpour et al., 2012; Molina et al., 2001; Sathong et al., 2019; Satendra P. Singh & Singh, 2015; Tae Hyeong et al., 2013). Yapılan bu çalışmada tasarlanan reaktörde ışık kaynağı silindirik reaktörün çevresinden sağlandığı için ışığı eşit miktarda almıştır. Mor ışık kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlara göre gün ışığında aynı besi şartları altındaki örnek % 100 kütleli artış göstermiştir (**Tablo-1**).



Şekil-1 *Cladhopora glomerata*'nın Mikroskop Görüntüleri

Algerin farklı dalga boylarındaki gelişimleri ve hücre içi yağ asidi içerikleri farklılık göstermektedir. Algler uygulanan ışık kaynaklarının etkilerine benzer şekilde, Algerin farklı beslenmelerine bağlı olarak büyümeleri de değişiklik göstermektedir. Algerin büyümelerinde beslemenin etkileri fosfat, azot ve potasyum gibi besinlerle araştırılmış olsa da bunların

dışında Algerin gelişmek için vitaminlere de ihtiyaç duyduğu anlaşılmıştır. Beslenme farklılıklarına göre Algerin yağ asidi içerikleri ve kuru ağırlıkları değişmektedir (Breuer et al., 2012; Schmidt et al., 2016; Sun et al., 2014; M. Warren et al., 2007).



Grafik-2 Algerin Beslenme - Verim Grafiği

Bu çalışmaların dışında Algerin beslenmede farklı stratejiler geliştirilerek bazı bakteri türleri ile B12 gibi vitaminlerini karşılamak için ortaklaştıkları bulunmuştur (M. Warren et al., 2007). Elde edilen sonuçlara göre, Algerin büyümelerinde sadece inorganik tuzlar değil vitaminler ve benzer moleküllerinde önemli rol oynadığı açıkça görülmektedir. Bu sebeple farklı besi ortamlarında gelişen Algerin büyüme hızları farklılık gösterebilmektedir (Daume et al., 2003; Feng et al., 2012; Gobler et al., 2007; James et al., 1989).

Önceki çalışmalar incelendiğinde Algerin büyüme ve gelişmelerinde sadece inorganik tuzların ve vitaminlerin etkin rol oynamadığı hatta glutamik asit ile beslenen Algeride de büyümede gelişme görülmüştür (Abdelhakeem et al., 2019). Bu verilere dayanarak yapılan çalışmada farklı derişimlerde amino asit kullanılarak fotobiyoreaktörde aynı şartlar altında *Cladhopora glomerata*'nın kütleli büyümesi incelenmiştir (**Tablo-2**). Amino asit kaynağı olarak beslenme amaçlı kullanılmayan kıl, tüy, sakatat gibi protein kaynaklarından elde edilmiş içerisinde % 17 oranında amino asit içeren besi kullanılmıştır. Amino Asit içeriği doğal protein kaynaklarından elde edildiği için oransal olarak diğer canlılarla eşit yüzdeye sahip olduğundan dolayı herhangi bir uyumsuzluk görülmemiştir (**Şekil-1**). Kontrol grubu ile birlikte yapılan çalışma sonuçlarına göre 7 günlük süreç sonucunda Algerin diğer şartlara oranla mükemmel gelişim gösterdikleri anlaşılmıştır. Amino Asitlerin miktarlarının artışına bağlı olarak en uygun derişimin 26.4g/4.5L olduğu görülmektedir. Bu derişimden sonra beslenmede doymunluğa ulaşarak gelişim hızının düşmeye başladığı görülmüştür (**Grafik-2**).

Yapılan çalışmalarda bulunan bir diğer ilginç sonuç ise Algerin doğal ortamlarından alındığında görüntülenen Protozoa'lardır (**Şekil-2**) (Finlay & Esteban, 2013; A. Warren et al., 2016).



Şekil-2 Protozoaların mikroskop görüntüleri

Yapılan çalışmalarda Protozoaların bulunduğu ortamlarda Algerin gelişim göstermediği ve belirli bir süre sonunda hücre duvarlarının parçalandığı görülmüştür. Sonuçta, yapılan detaylı incelemelerde ise Protozoaların Algerin hücre duvarını parçalayarak yaşamına son verdiği görülmüştür. Algerin Protozoalarla rekabetçi bir yaşam biçimi gerçekleştirdiği ve Algerin gelişimlerini engellediği görülmüştür. Diğer bir çalışma konusu ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

4. Sonuç

Ekolojik dengenin sağlanabilmesi için sürdürülebilir çözümlerin bulunması gerekmektedir. Bu çözümler ise öncelikle Küresel ısınmaya sebep olan sera gazı CO₂ miktarının azaltılmasıdır. Algler yaşam şartlarının kolay olması bol bulunmaları ve yüksek CO₂ tüketme kapasitesine sahip canlılar olarak alternatif enerji üretiminde ve benzer birçok alanda kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada *Cladhopora glomerata*'nın yaşam şartlarına uygun hava karıştırmalı fotobiyoreaktör başarılı şekilde imal edilmiştir. *Cladhopora glomerata*'nın gelişim gösterdiği en uygun ışık (425nm mor ışık) belirlenerek gün ışığı ile karşılaştırılmış, diğer dalgaboyları ve gün ışığına göre gelişiminin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun dışında atık protein kaynaklarından üretilen doğal kaynaklı Amino Asit karışımları kullanılarak Algerin kütleli gelişimleri üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırmalarda Amino Asit miktarının artan değişimi ile Algerin gelişimlerinin 26.4g/4.5L derişime kadar doğru orantılı şekilde ve çok yüksek verimde gerçekleştiği görülmüştür.

Sonuçta atık protein kaynakları kullanılarak Algerin gelişimlerinin hızlandırılabilirdiği böylece hem atıkların faydalı bertarafının gerçekleştirilebileceği hem de sera gazının etkilerinin azaltılarak Alternatif sürdürülebilir çözümler üretilebileceği görülmüştür.

Kaynakça

- A. Ruiz, M., Garcia, N. M., Romero, I., Seco, A., & Ferrer, J. (2012). Microalgae cultivation in wastewater: Nutrient removal from anaerobic membrane bioreactor effluent. *Bioresource Technology*, 126, 247–253.
- Abdelhakeem, E., Abou-Zaid, A., & Eissa, M. A. (2019). Thompson Seedless Grapevines Growth and Quality as Affected by Glutamic Acid, Vitamin B, and Algae. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 725-733.
- Bahadur, A., Zubair, M., & Khan, M. B. (2013). Design, construction and evaluation of solarized airlift tubular photobioreactor. *Journal of Physics: Conference Series*, 439, 012036.

- Bedoi, R., Juri, F., Cosi, B., Puksec, T., Cucek, L., & Duic, N. (2020). Beyond energy crops and subsidised electricity e A study on sustainable biogas production and utilisation in advanced energy markets. *Energy*, 201, 117651.
- Breuer, G., Lamers, P. P., Martens, D. E., Draaisma, R. B., & Wijffels, R. H. (2012). The impact of nitrogen starvation on the dynamics of triacylglycerol accumulation in nine microalgae strains. *Bioresource Technology*, 124, 217-226.
- Corrie, M., & Fernando, D. S. (2020). Impacts of global warming on southern California's winegrape climate suitability. *Advances in Climate Change Research*, 11, 279-293.
- Dalle, M. A., & Arnaudis, J. (2017). France Patent No.: W. (PCT).
- Daume, S., Long, B. M., & Crouch, P. (2003). Changes in amino acid content of an algal feed species (*Navicula* sp.) and their effect on growth and survival of juvenile abalone (*Haliotis rubra*). *Journal of Applied Phycology*, 15, 201-207.
- Dineshbabu, G., Goswamia, G., Kumara, R., Sinhaa, A., & Das, D. (2019). Microalgae–nutritious, sustainable aqua- and animal feed source. *Journal of Functional Foods* 62, 103545.
- Farid, S., Omid, N., & Ahmad, T. (2016). Hydrothermal gasification of *Cladophora glomerata* macroalgae over its hydrochar as a catalyst for hydrogen-rich gas production. *Bioresource Technology* 222, 232-241.
- Feng, P., Deng, Z., Fan, L., & Hu, Z. (2012). Lipid accumulation and growth characteristics of *Chlorella zofingiensis* under different nitrate and phosphate concentrations. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 114, 405-410.
- Finlay, B. J., & Esteban, G. F. (2013). Protozoa. In (Vol. 6). Elsevier: Encyclopedia of Biodiversity.
- Franz, B., Retze, A., Schmid-Staiger, U., Trösch, W., & Zastrow, A. (2000). E. P. Office.
- Gobler, C. J., Norman, C., Panzeca, C., Taylor, G. T., & Sañudo-Wilhelmy, S. A. (2007). Effect of B-vitamins (B1, B12) and inorganic nutrients on algal bloom dynamics in a coastal ecosystem. *Aquatic Microbial Ecology*, 49, 181-194.
- Hasan, N., Ahmad, T., & Sajedeh, J. (2020). Investigating the influence of acid washing pretreatment and Zn/activated biochar catalyst on thermal conversion of *Cladophora glomerata* to value-added bio-products. *Energy Conversion and Management* 225, 113392.
- James, C. M., Al-Hinty, S., & Salman, A. E. (1989). Growth and m3 Fatty Acid and Amino Acid Composition of Microalgae Under Different Temperature Regimes. *Aquaculture*, 77, 337-351.
- JeanCalleja, A., Kathleen, E., & Neville, C. (2020). The effect of global warming on mortality. *Early Human Development*, in press.
- Jianke, H., Li, Y., Wan, M., Yan, Y., Feng, F., Qu, X., Wang, W. (2014). Novel flat-plate photobioreactors for microalgae cultivation with special mixers to promote mixing along the light gradient. *Bioresource Technology*, 159, 8-16.
- Jörg, D., Uebele, A., Retze, A., Trösch, W., & Schmid-Staiger, U. (2001). A novel airlift photobioreactor with baffles for improved light utilization through the flashing light effect. *Journal of Biotechnology*, 92, 89-94.
- Junchen, X., Jun, C., Xin, K., Xu, J., & Yang, W. (2020). Developing a Spiral-Ascending CO₂ Dissolver to Enhance CO₂ Mass Transfer in a Horizontal Tubular Photobioreactor for Improved Microalgal Growth. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(51), 18926–18935.
- K. M. Nazmul, I., Kenway, S. J., Marguerite, A. R., Ka Leung, L., & Thomas, W. (2021). A review of the water-related energy

- consumption of the food system in nexus studies. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123414.
- Karolina, K., Bogusława, Ł., & Piotr Paweł, W. (2020). Isolation and determination of phenolic compounds from freshwater *Cladophora glomerata*. *Algal Research*, 48, 101912.
- Kim, D. G., Lee, C., Park, S.-M., & Choi, Y.-E. (2014). Manipulation of light wavelength at appropriate growth stage to enhance biomass productivity and fatty acid methyl ester yield using *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology* 159, 240-248.
- Lin-lin, W., Tao, Y., & Mao, X.-z. (2014). A novel flat plate algal bioreactor with horizontal baffles: Structural optimization and cultivation performance. *Bioresource Technology* 164, 20–27.
- Lindsey, R. (2021). *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. Retrieved from
- Lopamudra, P., Bhattacharjee, V., Mitra, R., Bhattacharya, I., & Chowdhury, R. (2015). Biosequestration of CO₂ using power plant algae (*Rhizocloniumhieroglyphicum* JUCHE2) in a Flat Plate hotbio-Bubble-Reactor –Experimental and modeling. *Chemical Engineering Journal*, 275, 381-390.
- Mehran, P., Hamoon, J., Maryam, P., Reza, G., & MohammadAli, A. (2018). Hydrothermal liquefaction of *Gracilaria gracilis* and *Cladophora glomerata* macro-algae for biocrude production. *Bioresource Technology*, 250, 26-34.
- Michael, C., Ninno, M. d., Gross, M., & Wen, Z. (2015). Use of wavelength-selective optical light filters for enhanced microalgal growth in different algal cultivation systems. *Bioresource Technology*, 179, 473-482.
- Minoo, J., & Palsson, B. (1991). High-Density Photoautotrophic Algal Cultures: Design, Construction, and Operation of a Novel Photobioreactor System. *Biotechnology and Bioengineering*, 1182-1189.
- Mohsenpour, S. F., Richards, B., & Willoughby, N. (2012). Spectral conversion of light for enhanced microalgae growth rates and photosynthetic pigment production. *Bioresource Technology*, 125, 75-81.
- Mohsenpour, S. F., & Willoughby, N. (2013). Luminescent photobioreactor design for improved algal growth and photosynthetic pigment production through spectral conversion of light. *Bioresource Technology*, 142, 147-153.
- Molina, E. G., Fernandez, J., Acien, F. G., & Chisti, Y. (2001). Tubular photobioreactor design for algal cultures. *Journal of Biotechnology* 92, 113-131.
- Oğuz Yunus, S., Mustafa, Ö., Hasan, S., Serin, S., & Kadir, A. (2010). Biodiesel production from *ricinus communis* oil and its blends with soybean biodiesel. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 56(12), 811-816.
- Patel, R. P., Nagababu, G., Kumar, S. V. V. A., M., S., & Kachhwah, S. S. (2020). Wave resource assessment and wave energy exploitation along the Indian coast. *Ocean Engineering* 217, 107834.
- Satthong, S., Saego, K., Kitrunloadjanaporn, P., Nuttavut, N., Amornsamankul, S., & Triampo, W. (2019). Modeling the effects of light sources on the growth of algae. *Advances in Difference Equations*, 170.
- Schmidt, J. J., Gagnon, G. A., & Jamieson, R. C. (2016). Microalgae growth and phosphorus uptake in wastewater under simulated cold region conditions. *Ecological Engineering* 95, 588-593.
- Shuirong, T., Cheng, W., Hu, R., Guigue, J., Hattori, S., Tawaraya, K., Hasegawa, T. (2021). Five-year soil warming changes soil C and N dynamics in a single rice paddy field in Japan. *Science of the Total Environment* 756, 143845.
- Singh, S. P., & Priyanka, S. (2015). Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 431-444.
- Singh, S. P., & Singh, P. (2015). Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50, 431-444.
- Sun, X., Cao, Y., Xu, H., Liu, Y., Sun, J., Qiao, D., & Cao, Y. (2014). Effect of nitrogen-starvation, light intensity and iron on triacylglyceride/carbohydrate production and fatty acid profile of *Neochloris oleoabundans* HK-129 by a two-stage process. *Bioresource Technology*, 155, 204-212.
- Tae Hyeong, K., Lee, Y., Han, S.-H., & Hwang, S.-J. (2013). The effects of wavelength and wavelength mixing ratios on microalgae growth and nitrogen, phosphorus removal using *Scenedesmus* sp. for wastewater treatment. *Bioresource Technology* 130, 75-80.
- Uthirapandi, V., Suriya, S., Boomibalagan, P., Eswaran, S., Ramya, S. S., Vijayanand, N., & Kathiresan, D. (2018). Bio-fertilizer potential of seaweed liquid extracts of marine macro algae on growth and biochemical parameters of *Ocimum sanctum*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3), 3528-2532.
- Vree, J. H. d., Bosma, R., Janssen, M., Barbosa, M. J., & Wijffels, R. H. (2015). Comparison of four outdoor pilot-scale photobioreactors. *Biotechnology for Biofuels*, 8, 215.
- Wahidin, S., Idris, A., & Shaleh, S. R. M. (2013). The influence of light intensity and photoperiod on the growth and lipid content of microalgae *Nannochloropsis* sp. *Bioresource Technology*, 129, 7-11.
- Warren, A., Esteban, G. F., & Finlay, B. J. (2016). Protozoa. In *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*.
- Warren, M., Deery, E., Warren, M., Croft, M., & Smith, A. (2007). Algae acquire Vitamin B12 through a symbiotic relationship with bacteria. *Nature*, 438, 90-93.
- Wenhua, G., Kefu, C., Jinsong, Z., Jun, X., & Bin, W. (2017). Thermal pyrolysis characteristics of macroalgae *Cladophora glomerata*. *Bioresource Technology*, 243, 212–217.
- Yaduvanshi, A., Bendapudi, R., Nkemelang, T., & New, M. (2021). Temperature and rainfall extremes change under current and future warming global warming levels across Indian climate zone. *Weather and Climate Extremes*, 31, 100291.
- Yoshioka, M., Yago, T., Yoshie-Stark, Y., Arakawa, H., & Morinaga, T. (2012). Effect of high frequency of intermittent light on the growth and fatty acid profile of *Isochrysis galbana*. *Aquaculture* 338, 111-117.
- Zamalloa, C., Boon, N., & Verstraete, W. (2013). Decentralized two-stage sewage treatment by chemical–biological flocculation combined with microalgae biofilm for nutrient immobilization in a roof installed parallel plate reactor. *Bioresource Technology* 130, 152–160.
- Zhang, Q. L. Y., Mieghem, A. V., Chen, Y.-C., Yu, N., Yang, Y., & Yin, H. (2020). Design and experiment of a sun-powered smart building envelope with automatic control. *Energy & Buildings*, 223, 110173.
- Zhoua, B., Or, S. W., Chan, K. W., Duan, H., Wu, Q., Wang, H., & Meng, Y. (2021). Short-term prediction of wind power and its ramp events based on semisupervised generative adversarial network. *Electrical Power and Energy Systems* 125, 106411.



Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi

Onur Selçukhan¹, Abdullah Ekinci²

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, KKK, İnşaat Mühendisliği Programı, Güzelyurt, Mersin 10, Türkiye (ORCID: 0000 -0001-7107-0485), selcukhan.onur@metu.edu.tr

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, KKK, İnşaat Mühendisliği Programı, Güzelyurt, Mersin 10, Türkiye (ORCID: 0000 -0002-6787-9983), ekincia@metu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 5 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.881603)

ATIF/REFERENCE: Selçukhan, O., & Ekinci, A. (2020). Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 481-496.

Öz

Zemin iyileştirme Milattan önce 3000 yılına dayanan en eski inşaat mühendisliği uygulamalarından biridir. Artan dünya nüfusuna paralel olarak yapılaşmaya olan talep artmakta ve yapılaşma için uygun zeminlerin bulunması zorlaşmaktadır. Ortaya çıkan talep doğrultusunda yapılar için elverişsiz zeminler kullanılmaya başlanmıştır. Bahse konu zeminlerde genellikle taşıma kapasitesi, oturma, şişme veya deprem durumunda sıvılaşma problemleri yaşanmaktadır. Gelişen teknoloji ve artan araştırma geliştirme olanakları neticesinde problemlerli zeminlerin yapılara elverişli duruma getirilmesi için yeni teknikler geliştirilmektedir. Bu derleme Türkiye ve yakın coğrafyamızda yaygın olarak inşaat endüstrisi tarafından kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerini incelemektedir. Yaygın kullanılan yöntemler yanında son yıllarda araştırmacılar tarafından çalışmaları süren yenilikçi, sürdürülebilir uygulamalardan da bahsedilmektedir. Çalışmanın neticesinde mevcut yaygın kullanılan yöntemler zemin türü, kullanım alanı, kullanım sıklığı, uygulama süresi, maliyet ve kontrol gerekliliği göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda oluşturulan çizelge neticesinde uygulayıcıların karar verme sürecine yardımcı olmak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zeminde İyileştirme, Maliyet, Taşıma Gücü, Oturma, Sıvılaşma

The Interpretation of Ground Improvement Techniques: State-of-the-Art

Abstract

Ground Improvement is one of the oldest civil engineering disciplines dating back to 3000 BC. Population increases results in demand in shelter and infrastructure needs resulting in lack of availability of suitable grounds. Therefore, structures are being build on soils which have bearing capacity, settlement, swelling or liquefaction problems. Nevertheless, with advancements in technology and research methods are being developed to improve such soils. In this review paper ground improvement techniques widely used in Turkey have been evaluated. In addition to widely available techniques, innovative, sustainable, and environmentally friendly were also investigated. Findings have been evaluated in light of soil type, suitability, cost, monitoring requirements, availability and proposed use. As a result, a guide has been proposed to be used during decision process of ground improvement.

Keywords: Ground Improvement, Cost, Bearing Capacity, Settlement, Liquefaction

* Sorumlu Yazar: ekincia@mtu.edu.tr

1.Giriş

En eski inşaat mühendisliği uygulamalarından biri olan zemin iyileştirme yöntemleri, son yıllarda en hızlı gelişen sektörlerden biri haline gelmiştir. Geoteknik mühendisliğinin alt çalışma alanlarından biri olması nedeniyle gerek ulusal gerekse uluslararası konferans ve sempozyumlarda en fazla ilgi gören ve araştırmacıları cezbeden araştırma alanı durumundadır. Bu kapsamda (Van Impe 1989; Holtz ve diğ. 1991; Bergado ve diğ. 1996; Mitchell and Jardine 2002; Bo ve diğ. 2003; Smolczyk 2003; Moseley ve Kirsch 2004; Indraratna ve Chu 2005; Woodward 2005; Kitazume 2005) kitaplar yayınlanmıştır. Bunlara ek olarak zemin iyileştirme alanında birçok makale ve teknik yayınlar bulunmakta, her geçen gün bu alanda yapılan çalışmalar artmaktadır.

Etkili bir zemin iyileştirme projesinin gerçekleştirilebilmesi için mühendislik sanatını kullanarak tasarlanan yöntemin rasyonel bir yol ile hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu sadece zemin iyileştirme projeleri değil mühendisliğin her dalında izlenmesi gereken yoldur.

Başarılı bir zemin iyileştirme projesi için, mühendisin zeminin temel davranış ilkeleri, çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri, zemin ile yapı arasındaki etkileşim, donanım ve maliyetle ilgili kapsamlı bilgi dağarcığına sahip olması gerekmektedir. Buna ek olarak mühendislik alanında yaşanmış olan tecrübeler önem arz etmekte, tasarımda ve uygulamada avantaj sağlamaktadır.

Teknik ve pratik bilgilerin bir araya gelmesi ile de ana tasarım ortaya çıkartılır. Sonuç olarak bir veya birden fazla yöntem ele alınarak problemlili zeminin iyileştirilmesi sağlanır.

Zemin iyileştirme, konsept, parametreler ve ekipmanların birlikte kullanılarak hayata geçirilen işlemlerdir. Zemin iyileştirme çalışma alanlarının gelişmesindeki en büyük katkı ise bu ekipmanları geliştiren ve sürekli yenilikler getiren üretici firmalardır.

Zemin iyileştirme yöntemleri birçok bilim insanı tarafından farklı şekillerde yorumlanmıştır. Bunlar içerisinde ise, geoteknik camiası tarafından Mitchel (1981) raporu en fazla ilgiyi görmekte ve referans verilmektedir. Bu rapor zemin iyileştirme yöntemlerini altı ana başlığa ayırmıştır.

Kohezyonsuz zeminin yerinde derin kompaksiyonu.

On ve fazla yüklem.

Enjeksiyon ve Harç (Derz) dolgu.

Katkı maddeleri.

Termal iyileştirme.

Geotekstil ve Geosentetik ile güçlendirme.

Terashi ve Jaran (2000) yapmış oldukları kendi çalışmalarına benzer sınıflandırmayı adapte edip yeni bir kategori olan "Değiştirme" yöntemini bilim dünyasına kazandırmışlardır. Bu sınıflandırmayı yaparken farklı bir maddenin toprağın mevcut yapısı ile değiştirilip değiştirilmediğine bakarak yapıldığı belirtilmiştir.

Uluslararası Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Topluluğu, Zemin İyileştirme Teknik Komitesi (TC211) tüm bu sınıflandırmaları değerlendirilip Geoteknik camiasının hemfikir olduğu bir sınıflandırma geliştirmiştir. Bu sınıflandırma aşağıdaki şekildedir.

Kohezyonsuz zeminin katkı maddeleri kullanılmadan iyileştirilmesi.

Kohezif zeminin katkı maddeleri kullanılmadan iyileştirilmesi.

Katkı maddeleri ile zemin iyileştirme.

Harç türü katkı maddeleri ile zemin iyileştirme.

Zemin Takviyesi.

Zemin İyileştirme Teknik Komitesi tarafından oluşturulan sınıflandırma, zemin davranışındaki değişimlere (Ör. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminin değişik durumlardaki tepkilerine bakılarak) ve katkı maddesi kullanılıp kullanılmadığına bakılarak oluşturulmuştur.

Zeminin davranışındaki değişimleri yoğun bir şekilde gözlemleyerek ve kalite kontrolü ile denetimleyerek, katkı maddesi kullanılmadan zemin iyileştirme uygulanmıştır. Örneğin bu kategoride bulunan dinamik kompaksiyon yöntemi, geniş saha kalibrasyonlarının yapılması ile güvenilir tasarımlar elde edilmesi sağlanmaktadır. Diğer yandan katkı maddeleri ile yapılan iyileştirmede, başarılı bir tasarım için doğru katkı maddesi, donanım boyut seçimi gibi ön hazırlıkların gereksinimine dikkat çekilmiştir.

Zemin İyileştirme Teknik Komitesi tarafından sınıflandırılan başlıklar altına yerleştirilebilen yöntemler bu derlemede incelenmiştir. Yine aynı sınıflandırmalar altında ülkemizde fazla kullanımı bulunmayan ancak son zamanlarda araştırmacılar tarafından geliştirilen yenilikçi, sürdürülebilir ve çevre dostu yöntemlerde her başlık altında oluşturulan diğer yöntemler bölümünde özet olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilmesi düşünülen tasarımın ortaya çıkartılabilmesi için derleme kapsamında, ülkemizde uygulaması yaygın olarak görülen çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri tek tek ele alınarak zemin türü, kullanım alanı, kullanım sıklığı, uygulama süresi, maliyet ve kontrol gerekliliği göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Değerlendirme sonucunda, uygulanabilecek yöntem veya yöntemlerin belirlenmesinde yol gösterici olması amacı ile çizelge oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Metotlar

2.1. Kohezyonsuz zeminin katkı maddeleri kullanılmadan iyileştirilmesi

2.1.1. Dinamik Kompaksiyon

Ağır bir cismin belli bir yükseklikten bırakılarak granüler zeminin sıkıştırılması ile yapılır. Dinamik kompaksiyon granüler, gevşek ve yumuşak zemin çeşitleri için uygundur (kohezyonlu). Temel amaç, zeminin enerji verilerek sıkıştırılması sağlanarak taşıma kapasitesinin artırılması, oturmaların azaltılması ve zeminin sıvılaşma potansiyelinin düşürülmesidir. Zeminde istenilen sıklık değerlerine ulaşabilmek için gerekli teknik bilgi ve tecrübeye sahip olmak gerekmektedir. Şengezer (2010)'in dinamik kompaksiyon üzerine yaptığı çalışmalara göre dinamik kompaksiyon işlemi teknik açıdan iyi kontrol edilmez ise zeminin altında düzgün sıkıştırılmamış zemin oluşabilir ve işlem tekrarlanmak durumunda kalınabilir. Dinamik kompaksiyon yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, kompaksiyonun maliyeti ve uygulama süresi açısından diğer yöntemlere göre daha uygun bir yöntem olduğu ispatlanmıştır. Yee ve Aun (2010)'a göre 20.000 metrekare (m^2) alanlı bir dinamik kompaksiyon çalışmasında ortalama bir metrekare başına 35.5 kilogram (kg) karbondioksit gazı (CO_2) doğaya salınır. Aşağıda Nice Havaalanının zemin iyileştirilmesinde kullanılan dinamik kompaksiyon yöntemi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Nice Havaalanı yapımında kullanılan dinamik kompaksiyon. (Jian Chu, 2009)

2.1.2. Vibro Kompaksiyon (Flotasyon)

Vibro kompaksiyon derin ve kohezyonsuz zeminlerde (kum, çakıl) zemine yerleştirilen bir sondanın enerji titreşimleri ile zemini sıkıştırarak istenilen zemin özelliklerine ulaşılması sağlanan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Yatay verilen titreşimler sonrasında kalın, ince ve iri daneliler arasında geçici sürtünme kaybı yaşanır. Granüler zeminlerde sondayı çevreleyen zeminde sıvılaşma gerçekleşir. Bu sıvılaşma sonucunda ani ve hızlı oturmalar olur. Zeminde çökmeler oluşur ve bu sebeple sonda etrafındaki zeminde sıkışma gerçekleşmiş olur. Sonda (Vibratör) sürekli su jeti ile beraber çalışır bu şekilde rölatif sıklık %70 ile %85 arasındaki değerlere yükseltilebilir. Demiröz ve Karaduman (2009) uygulama öncesi ve sonrası sahada yapılan kalite kontrol ile uygulamanın istenilen iyileştirmeyi yapıp yapmadığı kontrol edilir bu kontroller içinde deneyimli bir kişiye ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir. Vibro kompaksiyon yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Uygulama maliyeti olarak diğer yöntemlere göre aynı seviyededir. Uygulama süresi kısadır. Yee ve Aun (2010)'a göre vibro kompaksiyon dinamik kompaksiyona

kıyasla daha fazla CO_2 salınımı yapar. Şekil 2' de Dubai Palm projesinde kullanılan çok sayıda titreşimli sonda gösterilmiştir.



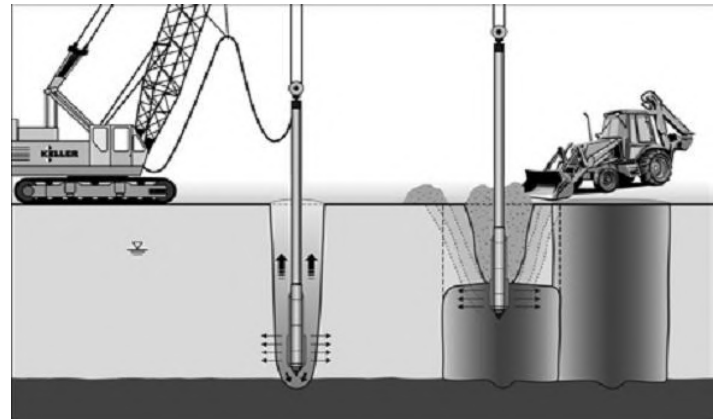
Şekil 2. Dubai Palm projesinde kullanılan titreşimli sondalar. (Wehr, 2007)

Vibro kompaksiyon son yıllarda birçok mega yapı projesinde kullanılmıştır. Bunlar arasında yer alan Changi East Projesi ve Şekil 3' teki Dubai Palm projesi en ünlüleridir.



Şekil 3. Dubai Palm Projesi. (Wehr, 2007)

İlerleyen teknoloji sayesinde yıllar içerisinde vibro kompaksiyon yöntemi geliştirilmiş ve 60 metre derinliğe kadar kara veya denizde bu yöntem kullanılarak iyileştirmeler yapılabilir duruma gelmiştir. Bu uygulamanın şeması 4. şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. Vibro Kompaksiyon yönteminin uygulama şeması. (Raju ve Sondermann, 2005)

2.1.3. Patlatma ile Kompaksiyon

Patlayıcıların patlama etkisi dolayısı ile ortaya çıkan şok dalgaları ve titreşimlerin zeminin sıkılaşması ve sıvılaşmasına yol açtığı yöntemdir. Patlama tekniği ile yumuşak zeminlerin oturmaları hem de granüler zeminlerin taşıma kapasitesi artırılabilir. Rölatif yoğunlukta %35 - %85 artış sağlanabilmektedir. Granüler zeminlerde patlama ile taşıma kapasitesinin artırılmasının başarılı olabilmesi için zeminin tam doygun olması gerekmektedir. Zeminde ne kadar hava varsa taşıma kapasitesinin iyileştirilmesi o kadar yetersiz kalmaktadır Tumluer (2006) patlatma üzerine yaptığı çalışmalara göre, patlama yönteminin en büyük avantajları ekonomik olması ve diğer yöntemlerde mümkün olmayan derinliklerde kullanılabilir olmasıdır. 40 metre derinliğe kadar başarılı patlatma ile kompaksiyon sonuçları elde edilmektedir. Uygulama süresi kısadır ancak bu yöntem çok tercih edilmemektedir çünkü teorik bilgiden çok tecrübeye dayalı uygulanmaktadır, yanlış kullanımı güvenlik açısından risk teşkil etmektedir ve doğaya çok zararlıdır.

2.1.4. Yüzey Kompaksiyonu

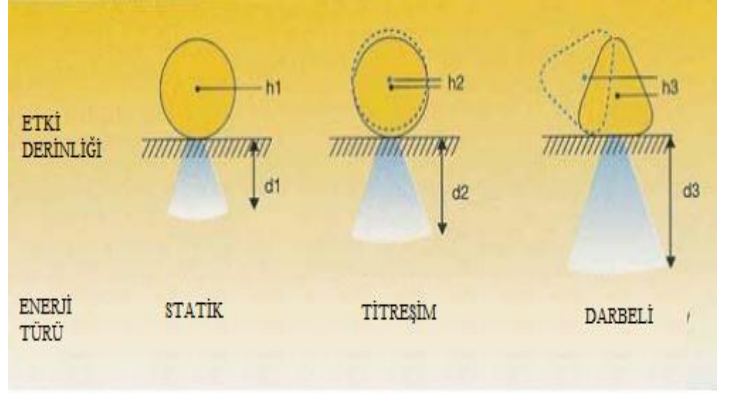
Kohezyonlu zeminlerde yüzey kompaksiyonunun en iyi biçimde sağlanabilmesi için zemin içinde ideal miktarda su bulunması gerekmektedir. Bu su miktarı farklı zemin türleri için değişiklik göstermektedir. Aynı zeminler içinde kullanılan kompaksiyon ekipmanına ve uygulanan enerjiye göre de ideal su miktarı farklılık gösterir. Özaydın (1999)'ın çalışmalarına göre, kohezyonsuz zeminlerin sıkıştırılmasında bu ideal su miktarı daha az önem taşır çünkü kohezyonsuz zeminlerde danelerin boyutu büyük olduğundan zemindeki havanın çıkması kolaydır. Yüzey kompaksiyonu için kullanılan birçok silindirik geleneksel makine vardır. Şekil 5' de bazıları gösterilmiştir. Bu makineler:

- Düz ayaklı silindirler
- Lastik tekerlekli silindirler
- Keçi ayaklı silindirler
- Titreşimli silindirler
- Darbeli sıkıştırma araçları
- Demir bandajlı silindirler
- Pnömatik silindirler

Yüzey kompaksiyonunda hangi tip silindirlerin kullanılacağı:

- Zemin cinsi
- Sıkıştırma derecesi
- İşin büyüklüğü
- Silindir tipleri kapasitesi

Şartlarına bağlıdır.



Şekil 5. Yüzey kompaksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması. (Mengé,2007)

Bunun yanında Ekinci (2019) killi zeminlerin yumru şeklinde büyük parçalar halinde sıkıştırılmasının zeminin doğal mikro yapısına benzer bir mikro yapı oluşturacağına değinmiştir. Oluşan yeni mikro yapının killi zeminin toz haline getirildikten sonra istenen su muhtevasına ulaştırılarak sıkıştırılmasından daha güçlü bir yapı oluşturacağına değinmiştir. Pengthamkeerati ve diğ. (2005)' yüzey kompaksiyonunun birçok açıdan doğaya zararlı olduğunu belirtmişlerdir.

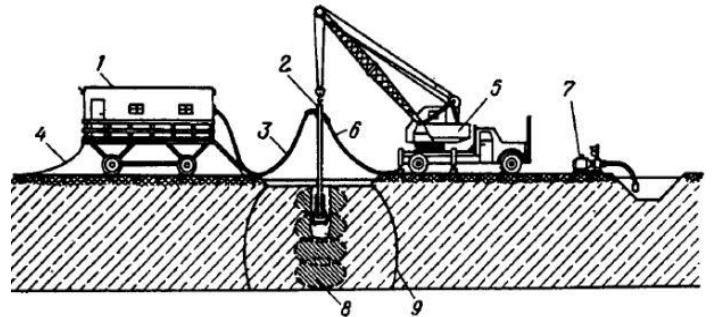
Özaydın (1999)'ın çalışmalarına göre, yüzey kompaksiyonu iyileştirilecek zeminin derin olmayan bölgelerde uygulanması uygun olan bir yöntemdir bu sebeple sıkıştırılan tabaka arttıkça homojen bir sıkışma elde etmek güçleşir ve sıkışma miktarı azalır. Eldeki mevcut silindire göre, zeminin cinsine ve tabaka kalınlığına göre sahada deneyimli birinin sıkışma kontrolünü gerçekleştirmesi gerekir. Yüzey kompaksiyonu zeminin taşıma gücünü artırır oturmaları ve geçirimsizliği azaltır ama derinde diğer yöntemler kadar etkili değildir. Maliyeti düşüktür ancak daha fazla zaman alır.

2.1.5. Diğer Yöntemler

Diğer yöntemlerde ülkemizde kullanımı fazla yaygın olmayan zemin iyileştirme yöntemleri sıralanmıştır.

2.1.5.1. Elektrik Sinyali ile Kompaksiyon

Yüksek elektrik voltajının yarattığı şok dalgaları vasıtası ile granüler zeminin sıkıştırılması vasıtası ile yapılan zemin iyileştirme işlemidir. Yüksek maliyetlerinden ötürü fazla tercih edilen bir yöntem değildir. Maliyetlerin düşürülebilmesi için günümüzde bu alandaki araştırmalar kapsamlı bir biçimde devam etmektedir. Lumize ve diğerleri (1973) elektrik sinyali ile kompaksiyonu şemalandırmıştır. Şekil 6' da bu şema gösterilmektedir.



Şekil 6. Elektrik sinyali ile kompaksiyon. (Lomize ve diğ., 1973)

2.2. Kohezif zeminin katkı maddeleri kullanılmadan iyileştirilmesi

2.2.1. Mevcut Zeminin Hafif Madde ile Değiştirilmesi

Uygulanacak yapı yükünü taşıyamayan, yüksek oturma beklentisi bulunan, yapılacak yapı için uygun olmayan mevcut yumuşak killi (kohezif) zeminin sıyrılarak kaliteli kum veya çakıl ile yer değiştirmesi yöntemidir. Bu yöntem özellikle istinat duvarı inşaatlarında, istinat duvarına aktarılan basıncın azaltılması için mevcut zeminin daha hafif ancak daha dayanıklı madde ile değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Temellerin altında bulunan problemlili zeminler bu yöntem ile iyileştirilebilir. Zemin değiştirme yöntemi, bilinen en eski yöntemlerden olup, günümüze kadar bu alanda birçok yenilik yapılmış ancak araştırmalar eski yöntemlerin revize edilmesinden daha fazla ileriye gidememiştir. Altun (2010) çalışmasında bu yöntemin uygulanabilecek hızlı ve kontrol gerekliliği düşük yöntemlerden biri olduğunu ancak değiştirilecek zemin miktarına göre ekonomik açıdan pahalıya gelebileceğinden bahsetmiştir. Buna ek olarak doğaya en çok zarar veren yöntemlerden biridir. Yee ve Aun (2010)'a göre 100.000 m² alanda yapılan bir uygulamada ortalama doğaya bir m² başına 37.4 kg CO₂ gazı salınır.

2.2.2. Yatay Drenler ile Ön Yükleme

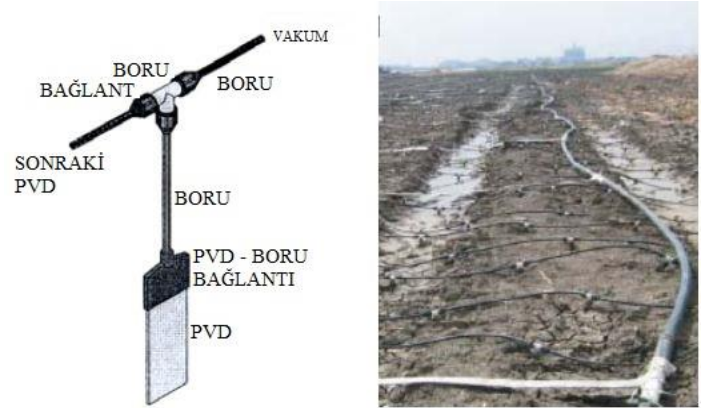
Bu yöntem, yumuşak kil tabakalarının taşıma gücünü artırmak ve geçirimsizlik katsayısı düşük zeminlerinde inşa edilecek olan yapının konsolidasyon oturmasını azaltmak için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Ön yükleme yapının inşaatından önce en az yapı yükü kadar olmak şartı ile zemine kum ve çakıl dolgu yüklenmesi ile gerçekleştirilir. Yüklenen ağırlık ile oluşacak gerilmeler ile zemin tabakalarının konsolide olması sağlanmaktadır. Zeminin taşıma gücü, uygulanan ağırlık ve konsolidasyon basıncı doğrultusunda artırılmaktadır. Belli bir süre bekleyip istenilen oturma sağlandıktan sonra dolgu malzemesi kaldırılarak yapının inşaatına başlanabilir. Bildik (2017)'in yatay drenler üzerine yaptığı çalışmalara göre, maliyeti düşük, kontrol gerekliliği istenilen oturma miktarı dikkate alınarak uzman tarafından yapılması gereken ancak zaman alan bir yöntemdir. Önceden hazırlanmış yatay veya kum drenler ön yükleme yöntemine ek olarak kullanılmaktadırlar. Ön yükleme aşamasında drenler zemin gözeneklerinde biriken aşırı su basıncının, drenler aracılığı ile zeminin diğer bölgelerine yayılmasını sağlar. Böylece sıkıştırılma daha çabuk ve etkili yapılmış olmakla birlikte zamandan kazanç sağlanır. Yee ve Aun (2010)'a göre 100.000 m² alanda gerçekleştirilen yatay dren uygulamasında ortalama bir m² başına 13.6 kg CO₂ gazı doğaya salınır. Şekil 7'de deniz zemininde yapılan benzer çalışmalar görülmektedir.



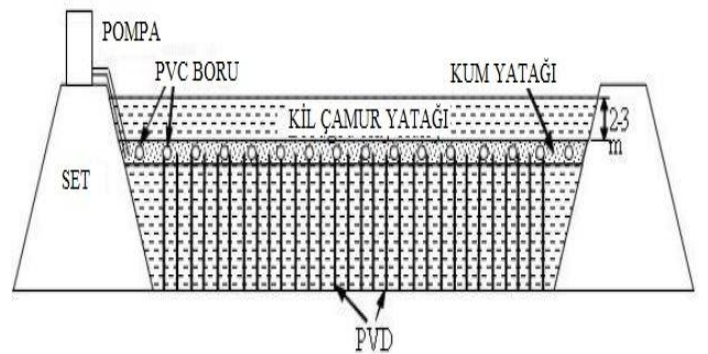
Şekil 7. Denizde yapılan iyileştirmede yatay drenlerin yerleştirilmesi. (Yan ve diğ.,2009)

2.2.3. Vakum ile Ön Yükleme

Vakum ile ön yükleme, mevcut zemin kapasitesinin üzerinde yükleme yapabilmek için sıkıştırılabilir zeminin 90kPa kadar vakum basıncı ile ön yükleme yapılması ile elde edilen zemin iyileştirme yöntemidir. Ön yükleme yapılacak zeminlerde dolgu malzemesinin alana getirilmesinin ekonomik olmayacağı durumlarda ve yumuşak, çok yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan alternatif bir yöntemdir. Yan ve diğ. (2009) çalışmalarına göre, yöntemin etkileri boşluk suyu basıncı değerleri kontrol edilerek yapılır. Gerçekleşen konsolidasyon oturması deneyimli kişiler tarafından analiz edilmelidir. Bu yöntem ile dengesizlik potansiyeli olan yükleme ihtiyacı elimine edilir. Oturma oranları ve değerleri kontrol edilebilir. Ön yüklemeye göre zaman tasarrufu sağlar ve bazı durumlarda daha ekonomik olabilir. Griffin ve O' Kelly (2014)' e göre vakum ile ön yükleme doğaya en zararsız zemin iyileştirme metotlarından biridir. 120 günde gerçekleştirilen bir havaalanı uygulamada doğaya ortalama bir m² başına 16.3 kg CO₂ gazı salınır. Şekil 8' de yöntemin saha uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 8. Vakum ile ön yükleme uygulaması. (Yan ve diğ., 2009)



Şekil 9. Şematik alan uygulaması. (Chu ve diğ.,2008)

2.2.4. Diğer Yöntemler

2.2.4.1. Arttırılmış Dren Sayısı ve Vakum ile Dinamik Konsolidasyon

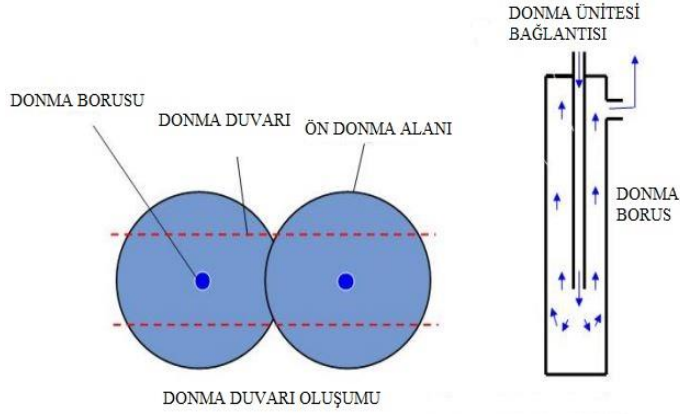
Dinamik konsolidasyona ek olarak yatay ve dikey direnlerin kullanılması ile konsolidasyon sırasında biriken aşırı su basıncının önüne geçilir ve konsolidasyon süreci kısaltılmış olur. Öztoprak (2016) bazı istisnalar haricinde bu yöntem ince tanecikli zeminlerde kullanılabilirdiğinden bahsetmiştir. Ancak çok yaygın bir yöntem değildir.

2.2.4.2. Elektro-Osmos veya Elektro Kinetik Konsolidasyon

Zemine yerleştirilen elektrotlar aracılığı ile aktarılan DC akımı sayesinde zemin sularının veya zemin içerisindeki solüsyonların anotlardan katotlara doğru hareket ettirilerek zemin konsolidasyonunun sağlandığı yöntemdir. Akyıldız (2019)'a göre katotlara yerleştirilmiş drenler vasıtası ile boşluklardaki sular dağılır ve bu sayede topraktaki su miktarının azaltılması vasıtası ile daha yüksek kesme dayanımı ve az miktarda sıkıştırılabilirlik sağlanır. Yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir.

2.2.4.3. Isıtma ve Dondurma Yöntemi ile Termal İyileştirme

Zeminin fiziksel veya mekaniksel özelliklerinin ısıtılma veya dondurma yolu ile geçici veya kalıcı olarak değiştirilme yöntemidir. Isıtma yöntemi zeminin özelliklerini kalıcı olarak değiştirip daha sert ve dayanıklı zemin elde edilmesini sağlar. Öztoprak (2016) zemin dondurma yöntemi ise geçici iyileştirme yöntemlerinin gerektiği yer altı kazılarında tercih edilen bir yöntemdir olduğundan bahsetmiştir. Maliyetleri çok yüksektir. Şekil 10' da zemin dondurma yöntemi şeması gösterilmiştir. Şekil 11' de ise saha alanındaki uygulaması gösterilmiştir.



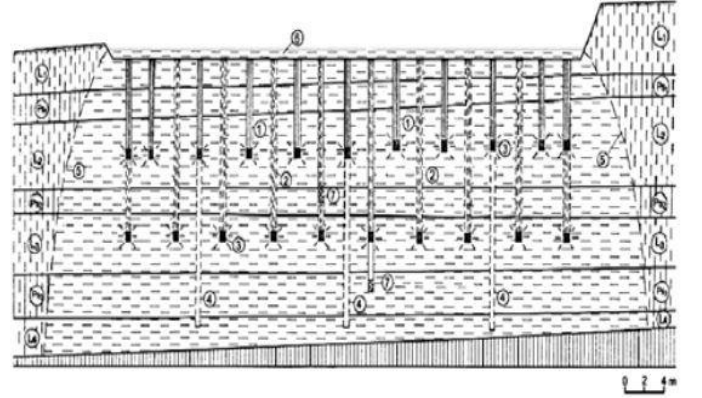
Şekil 10. Şematik Zemin Dondurma Yöntemi. (Yang, 2008)



Şekil 11. Zemin Dondurma Yöntemi Uygulama Alanı. (foam-tech,2008)

2.2.4.4. Hidro Patlatma ile Kompaksiyon

Hidro patlatma yöntemi ilk olarak Bulgaristan' da killi ve kumlu balçıktan oluşan nehir yataklarının iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Jefferson ve diğ. (2005)'e göre bu yöntemde sondaj kuyuları kullanılarak zeminin derinliklerine su pompalanması ile zeminin çökmesi sağlanır. Bunun ardından sondaj kuyularına yerleştirilen patlayıcılarla zeminin kompaksiyonu sağlanır. Şekil 12' de balçıklı yumuşak zeminde hidro patlatma yöntemi gösterilmiştir.

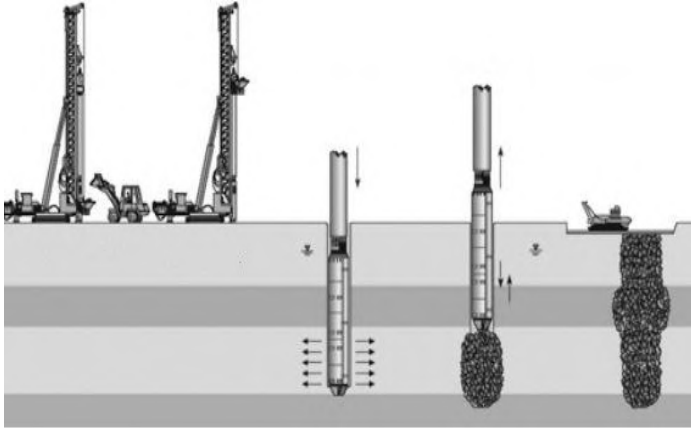


Şekil 12. Balçıklı Alanda Hidro Patlatma Yöntemi. (Jefferson ve diğ., 2005)

2.3. Katkı Maddeleri ile İyileştirme

2.3.1. Vibro Değiştirme ve Taş Kolonlar

Şekil 13'te şematik olarak görülen taş kolonlar, yumuşak ve gevşek zeminlerin iyileştirilmesinde tercih edilen bir yöntemdir. Taş kolonlar yardımı ile projeye bağlı olarak zeminin taşıma kapasitesi artırılmakta, oturma süresi azaltılmakta ve deprem sırasında sıvılaşan veya taşıma kapasitesini yitiren zeminler sağlamlaştırılmaktadır. Demiröz ve Karaduman (2009) taş kolonların genellikle yumuşak veya orta katı kil zeminlerde ve iyileştirilecek zeminin 10m derinliği geçmeyen koşullarda tercih edildiğinden bahsetmiştir. Taş kolonlar sayesinde oturma problemi %50-60 oranında azaltılabilmekte taşıma kapasitesi ise çok daha yüksek oranlarda artırılabilir. Taş kolonlar zeminin su jeti ile ve doğrudan delinerek granüler malzemenin yerleştirilmesi sonrası vibrasyon ile sıkıştırılması sonucu elde edilir. Bu yöntemle iyileştirilen zeminlerin vibrasyon etkisi ile sıkıştırılması sağlanarak yoğunluk artışı elde edildiğinden dolayı taşıma gücü, kayma dayanımı ve dren kabiliyetlerinde artış sağlanmaktadır. Taş kolonlar dren özelliği de sergilediği için konsolidasyonu hızlandırmaktadır. Çok hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Yee ve Aun (2010)' a göre uygulama doğaya en çok CO₂ salınımına sebep olan zemin zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir.



Şekil 13. Taş Kolon Uygulamasının Şematik Anlatımı. (Raju ve Sonderman, 2005)

2.3.2. Kum Kompaksiyon Kazıkları

Killi ve kumlu zeminlerde özel olarak kullanılabilen kum kompaksiyon kazıkları ilk olarak Japonya' da kullanılmaya başlamıştır ve daha sonra Asya bölgesine yayılarak günümüzde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Kum kompaksiyon kazığı gevşek kum tabakalarına zeminin yoğunluğunu arttırmak için çakılan yer değiştirme kazığıdır. İnce kumun sıvılaşma potansiyelini azaltmada yumuşak çökeltilerin, siltlerin taşıma gücünü arttırmada sıklıkla kullanılır. Kum kazıkları, kolay ayrılabilir bir temel plaka ile birlikte kaplama borusu çıkarılarak meydana getirilir. Daha sonra aşamalı olarak kaplama borusunun geri çekilmesi ile boru içindeki kum dolgu malzeme sıkıştırılır. Kum zeminlerde bu etki kum suya tam doymuş veya kuru olduğunda en fazla olur. Kum kazıklarının aralarındaki uzaklık genellikle 1 ile 1,5 m arasında değişir. Demiröz (1992)'e göre kum kompaksiyon kazıkları ince taneli zeminlerde maliyet ve iyileştirme uygunluğu açısından uygun bir metottur. Ayrıca suya doymuş zeminlerde çok etkili bir yöntemdir. Karada olduğu kadar Şekil 14' de görüleceği üzere deniz ortamında da kullanılmaktadır.



Şekil 14. Kum Kompaksiyon Kazıklarının Denizde Yerleştirilmesi. (Kitazume, 2007)

2.3.3. Geotekstil ile Güçlendirilmiş Kolonlar

Geotekstiller son yıllarda çok kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Demiröz ve Karaduman (2009)'a göre yumuşak killer üzerine oturan dolguların takviyesinde ve zemin iyileştirmesinde kullanılmaktadır. Zeminin geçirgenliğini azaltmak ve taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Geotekstil ile güçlendirilmiş kolonlar 80 santimetre (cm) çapında çelik gömleğin sürülme veya titreşme vasıtası ile zemine yerleştirildikten sonra oluşturulan sondaj kuyusuna aynı genişlikteki 200-400 kilonewton (kN)/m çekme dayanımına sahip geotekstil "çorabın" yerleştirilip kum ile doldurulması yöntemi ile yapılırlar. Bu yöntemdeki amaç zayıf zemindeki yükün zeminin yapısını bozmadan hafifletmektir. Şekil 15' te geotekstil yöntemi ile yapılmış kolon gösterilmiştir.

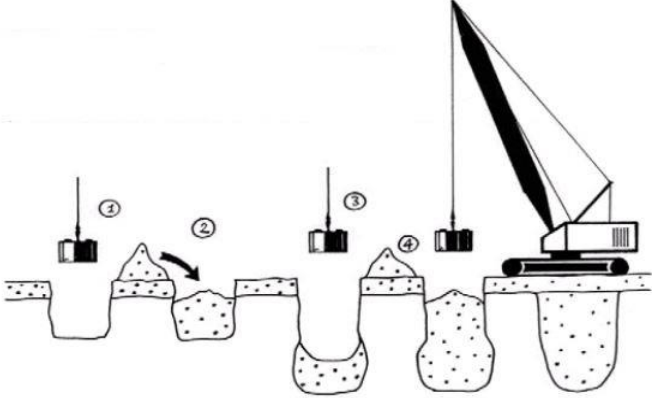


Şekil 15. Tamamlanmış Kolon Görünümü. (Raithel ve diğ., 2005)

2.3.4. Diğer Yöntemler

2.3.4.1 Dinamik Değiştirme

Dinamik değiştirme zeminin taşıma kapasitesini arttırmak için kullanılan bir yöntemdir. Dinamik değiştirme yönteminde, işlemin uygulanacağı alan üzerine ağırlıkları 15 ile 30 ton arasında değişebilen "Pounder" yüklerin 9m ile 36m arasında değişebilen (zemin durumuna göre) yükseklikten bırakılması ile yapılır. Altun (2010)'a göre bu düşürülen ağırlıklar alana önceden getirilen ve yerleştirilen granüler malzemeyi istenilen derinliğe kadar ulaştırmaya ve sıkıştırmaya zorlar. Bu yöntem sayesinde zemin sağlamlaşır ve drenaj şartlarını iyileştir. Şekil 16' da dinamik değiştirme yönteminin basamakları gösterilmiştir.



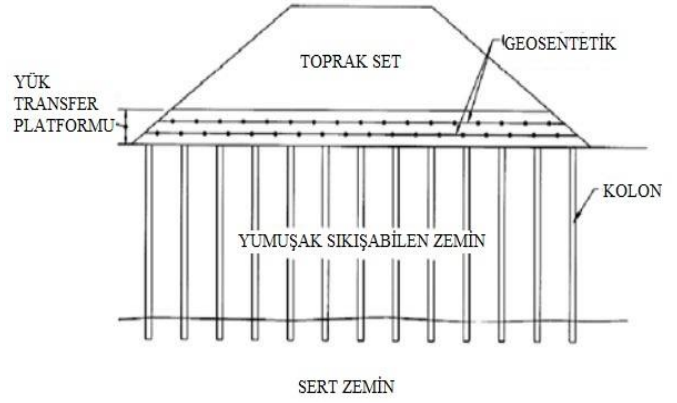
Şekil 16. Dinamik Değiştirme. (Lacazedieu, 2004)

2.3.4.2 Rijit İlaveler

Genel olarak zeminin taşıma gücünü arttırmak ve çökmeyi azaltmak için rijit veya yarı rijit kolon veya nesnelerin zemine sürülmesi vasıtası ile uygulanan iyileştirmedir. Geniş bir bakış açısı ile bakıldığı zaman kum kompaksiyon kazıkları, geotekstil ile güçlendirilmiş kolonlar ve taş kolonlar ile aynı kategoride gözükseler de farklı sınıflandırılmışlardır. Bunun nedeni diğer yöntemlerde kullanılan maddelerin tanecikleri (kum, çakıl, taş) birbirlerinden ayrık durumdadır ve yanal mesnet olmadan tek bir vücut halinde duramazlar. Bal ve Öner (2015)'e göre rijit ilave yöntemi kazıklar ile benzerlik gösterebilir de ekonomik sebeplerden dolayı rijit ilavelerin dayanımı ve direngenliği kazıklara göre daha azdır. Bunun yanında birbirlerinden mekanik olarak ayrılıklar göstermektedirler. Rijit ilaveler zemindeki çökme farklılıklarını ve genel çökmeyi, zayıf yüklerin maruz kaldığı yükleri (%60-90) azaltarak engellemeye çalışır. Kazıklar ise yapıdan aktarılan tüm yükü zayıf zeminin altında bulunan, dayanımı yüksek ve güçlü zemine ileterek iyileştirmeyi sağlarlar.

2.3.4.3. Geosentetiklerle Desteklenmiş Kolonlar ve Kazıklar

Geosentetikler plastik ve cam yününden imal edilen malzemelerdir. Bu ürünler zemin güçlendirmede, erozyon kontrolünde, güçlendirilmiş dolgu duvarlarda, şev kontrolünde, köprü ayaklarında, yol veya tren raylarının inşası esnasında gereken toprak dolguların güçlendirilmesinde kullanılır. Bu yöntemde önceki bölümlerde belirtilen rijit kolonlar, güçlendirilen zemin üzerine geosentetiklerden oluşan ve yük transferini sağlayan platformların inşası ile yapılır. Şekil 17' de geosentetikler ile desteklenmiş zemin iyileştirme yönteminin seması gösterilmiştir.



Şekil 17. Geosentetiklerle Desteklenmiş Kolon Uygulamasının Şematik Anlatımı. (Collin ve diğ., 2005)

Liu (2009)'ya göre yük transferini sağlayan platform 0.4-1m kalınlığında tek bir veya birden fazla geogridin yatay tabakalar şeklinde sıkıştırılmış, kırılmış veya çakıl arasına yerleştirilmesi ile uygulanır. Şekil 18' de saha uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 18. Platformda Uygulanan Geosentetik. (H.L.Liu, 2009)

Şekil 19' da erozyona uğramış bir köprü dolgusu altında yukarıda anlatılan yöntemin yapısını görebilirsiniz.



Şekil 19. Erozyona uğramış dolgu. (Huesker,2008)

2.3.4.4 Mikrobiyolojik Yöntemler

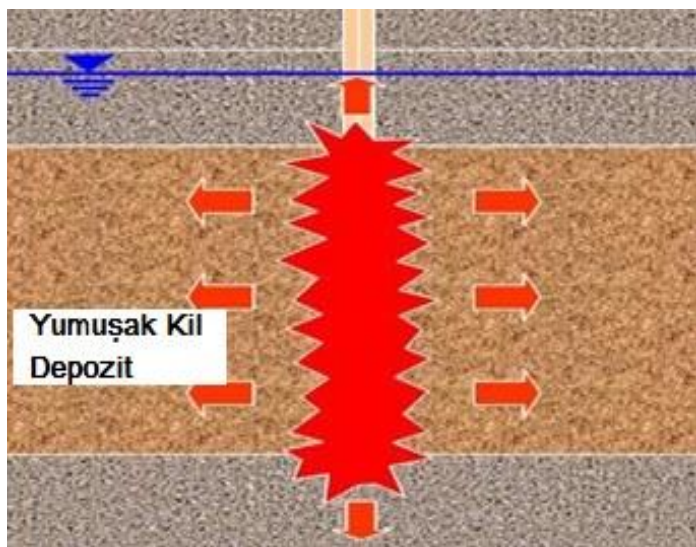
Mikrobiyolojik yöntemler günümüzde yeni olmasına rağmen araştırmacıların ilgisini çeken yöntemlerden biridir. Avrupa araştırma merkezlerinin araştırılmasını teşvik ettiği en önde gelen alanlardan biri durumundadır. Mitchell ve Santamarina (2005) prensipte mikrobiyolojik yöntemlerin, mikro organizmaların zemine karıştırılarak zemin daneleri arasında bağ ve sementasyon oluşturarak kesme ve gerilmenin artırılıp, geçirgenliğin azaltılmasını sağladığından bahsetmiştir. Bu yöntemle ilgili en büyük endişe ise mikro organizmaların salgılayacağı zararlı maddelerin içme suyuna karışıp insan sağlığı için tehlike oluşturmasıdır. Şekil 20' de mikrobiyolojik yöntemin yapısı ve laboratuvar deneyi gösterilmiştir.



Şekil 20. Mikrobiyolojik Yapının Oluşturduğu Yapı ve Bu Yapının Laboratuvar Deneyi. (Mitchell ve Santamarina, 2005)

2.3.4.5 Patlatma Yöntemi ile Kum Kazık Çalışması

Patlayıcı madde kullanarak kum kazıkları oluşturulması kullanılan diğer yöntemlerden biridir. Gohl ve diğ. (2000) bu yöntem sondaj kuyularına ardı arkasına dizili birden çok patlayıcının yerleştirilerek birbirlerini tetikleyecek şekilde patlatılması ile kum zeminin sıkışarak iyileştirilmesi ile gerçekleştirilir. Şekil 21' de yöntemin şeması gösterilmiştir.



Şekil 21. Patlayıcı Yönteminin Şematik Anlatımı. (Dembicki ve diğ., 2006)

2.4. Harç Türü Katkı Maddesi ile Zemin İyileştirme

2.4.1. Mineral Katkılı Harçlar

Ekinci ve diğ. (2020'a) kohesif malzemelerin iyileştirilmesi üzerine yaptığı çalışmada birden fazla mineral katkının zeminde bulunan boşluklardaki su ile reaksiyona girip pelteli (jel) veya katı çökelti oluşturarak zeminin güçlenmesine veya geçirgenliğinin azaltılmasına katkı sağladığını belirtmiştir. Zemin içerisinde oluşan kimyasal reaksiyon yaklaşık olarak 1 yıl süre ile devam eder. Kireç, bu kullanılan mineral harçlardan biri olup, bilinen en eski iyileştirme malzemesidir. Kireç kullanımı toprağın taşıma kapasitesini artırır. Özdemir (1994)'e göre toprağa ilave edilen kireç uzun dönemde toprak aşınımını önler ve toprağın asitlik değerini azaltmasına yardımcı olur. Değişik zemin türüne göre değişik mineral katkı harçlar tercih edilir. Bu mineraller arasında odun külü, bakır cürufu ve uçucu kül yaygın kullanılan malzemelerdir (Ekinci ve diğ 2020b). Mineral katkı harçlar daha yaygın olarak killi zeminlerden yapılan dolgularda özellikle yol inşaatlarında tercih edilmektedir. Aşağıdaki 22. şekilde zemin türüne göre tercih edilen mineral katkı harçlar gösterilmektedir.

Çakıl	Kum		İri Silt	Plastik Olmayan Silt
	ince	İri		
		Orta	ince	Kil
				Çimento
				Bentonit
				Poliüretan ve Poliakrilamid
				Yüksek Yoğunluklu Silikat
				Düşük Yoğunluklu Silikat
				Aminoplast
				Fenoplast
				Akrilatlar
				Akrilamid
				Sıkıştırılmış Hava

Şekil 22. Zemin Türüne Göre Tercih Edilen Mineral Katkılı Harçlar. (Karol, 2003)

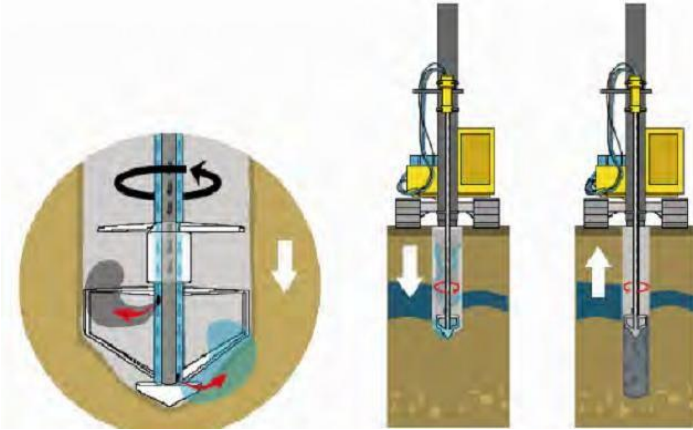
2.4.2. Katkı Malzemeleri ile Karıştırma Yöntemi (Derin Karıştırma)

Katkı malzemeleri ile karıştırma tekniği kullanılarak yapılan iyileştirme, yapının zemine kolay uyum sağlanması açısından önemli bir yöntemdir. Katkı maddesi için kireç, çimento, asfalt başta olmak üzere bazı atık malzemelerde kullanılmaktadır. Katkı maddeleri ile atık malzemelerin beraber kullanılması toprağa ve doğaya çok zarar verir. Önalp (1983)'e göre katkı maddeleri etkinlikleri yanında, ucuzluk ve gereksinim duyulduğunda kolayca bulunabilme özelliğine göre belirlenir. Katkı maddeleri zeminde laboratuvar testlerinde çok yararlı görünürken, arazi kullanımında etkin karıştırma güçlükleri, çevre koşulları nedeniyle bu olumlu durumu yitirebilir. Şekil 23'te saha uygulaması görülen çimento ile derin karıştırma yöntemi sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Karıştırma işlemi isteğe göre sıkıştırma ile veya sıkıştırma yapılmadan uygulanabilir. Zeminin taşıma kapasitesinin artırılması, oturma azaltılması ve sıvılaşma potansiyelinin azaltılması için tercih edilen bir yöntemdir. Su yapılarında da kullanımı giderek artmaktadır. Hafif yapıların temelleri de bu yöntemle sertleştirilebilir.



Şekil 23. Çimento ile Karıştırma Yönteminin Kullanıldığı Alan. (Burgos ve diğ., 2007)

Birçok yöntemde olduğu gibi bu yöntemde de yenilikler ve araştırmalar devam etmektedir. Bu yeniliklerden en yakın zamanda uygulanmaya başlanılan Gunther ve diğ. (2004) ün İsveç' te geliştirdiği Kuru Karıştırma yöntemidir. Şekil 24'te kuru karıştırma yönteminin şeması gösterilmiştir.



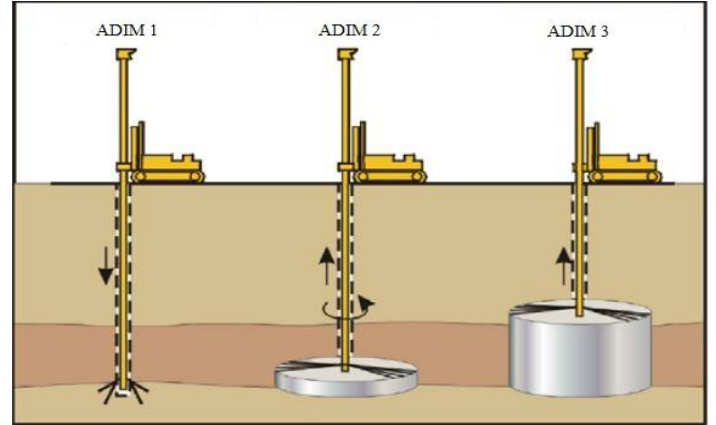
Şekil 24. Kuru Karıştırma Yöntemi Şematik Anlatımı. (Gunther ve diğ., 2004)

Şekil 24'te gözüktüğü gibi araç çubuğu zemine doğru hareket ederken, kılavuz çubuğunun bir boşluğundan su bir diğerinden ise kuru malzeme verilir. Kelly marka Koaksiyal sondaj ekipmanı ile zemin karıştırılır.

2.4.3. Jet Harç Enjeksiyonu

Jet harç enjeksiyonu iyi bir karışım ile homojen bir şerbet haline getirilen çimentonun 90-130 milimetre (mm) çapında tijin zemine itilmesinden sonra yüksek basınçlı (200 bar) harç kullanılarak, toprağın kemirilip yerine 1-1,5 m çapında dairesel kolonların inşa edilmesi aracılığı ile yapılmaktadır. Jet harç metodu tek bir tijle uygulanabilirken iki, üç tij ile uygulanması daha etkili bulunmuştur. Erol ve Bayrama (2018) bahse konu yöntemin birçok zemin türünde uygulanabilir bir yöntem olduğunu söylemiştir. Jet harç enjeksiyonunun uygulanması günümüzde en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi olup, maliyeti düşük, uygulanması kısa ve kolay, mevcudiyeti yeni bir yöntem olması nedeni ile düşüktür. Jet harç enjeksiyonu zeminin taşıma gücünü artırmakta ve oturumları, sıvılaşma riskini ve geçirirmliliği azaltmaktadır. Harç karışımının hazırlanması, zemin içine enjekte edilmesi tamamen otomatik makineler yardımı ile yapılır. Tecrübeli kişiler tarafından uygulanması ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Hanafi ve diğ. (2020)' ne göre 1 kg çimento üretimi için 0.74 kg CO₂ gazı doğaya salınır ve e-ISSN: 2148-2683

çimentonun uygulama alanına nakliyesi başta olmak üzere uygulamanın kendisinde göz önünde bulundurulunca doğaya en çok zarar veren yöntemlerden biridir. Şekil 25'te jet harç enjeksiyonu ile zemin iyileştirme yöntemi gösterilmiştir.

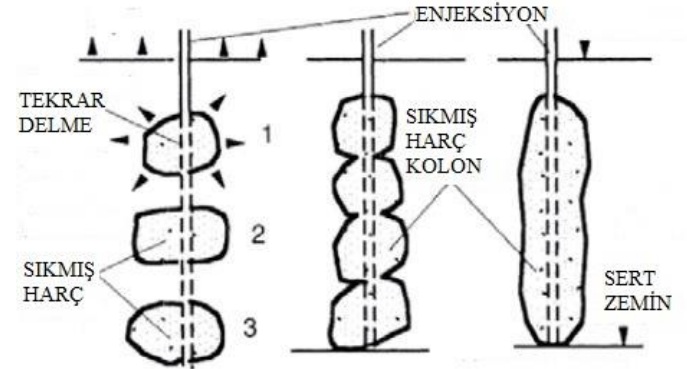


Şekil 25. Süper Jet Yöntemi Şeması. (Welsh ve Burke, 2000)

2.4.4. Diğer Yöntemler

2.4.4.1. Harç ile Kompaksiyon

Harç ile kompaksiyon yöntemi katı harcın yüksek basınç ile birbirinden soyut derinlikteki zayıf zemine pompalanması ile yapılır. Pompalanan harç katılığı dolayısı ile zemindeki boşluklara kaçamayıp homojen bir biçimde kaldığından etrafındaki bölgelerin kontrollü bir biçimde sıkışmasının sağlayıp alüvyon olan zeminleri iyileştirmede kullanılır.



Şekil 26. Harç ile Kompaksiyon Yöntemi. (Woodward, 2005)

Şekil 26. şekilde gözüktüğü üzere harç ile kompaksiyon yöntemi zemine doğru hareket ve zeminden dışarıya doğru hareket olmak üzere iki yöntemle uygulanır. Zeminden dışarıya doğru olan yöntem daha çok tercih edilmektedir.

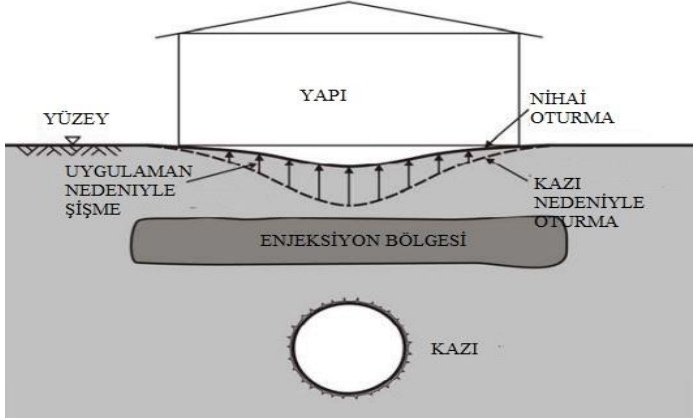
Bu metodun aşamaları aşağıda belirtildiği gibidir.

- Sondaj deliğinin açılıp çelik gömleğin yerleştirilmesi.
- Sıkı harcın kademeli pompalanması
- Kademelerin tamamlanması ile gömleğin çekilmesi.

Woodward (2005) bu yöntemin her türlü granüler, gevşek ve boşluklu dolgu zeminlerde kullanıldığını yazmıştır. Amacı zemindeki sıkışmayı önlemektir.

2.4.4.2. Harç ile Koruma

Harç ile koruma yöntemi yeraltında inşa edilen tünel veya benzeri kazılarda zemin üzerinde bulunan yapıların korunması için geliştirilmiş bir yöntemdir. Prensip gereği miktarda harç bir önceki belirttiğimiz yöntemlerle kazının yapıldığı bölgenin üzerine pompalanarak, kazıdan dolayı meydana gelecek yapısal zararların veya zeminin çökmesini engellemek için yapıldığı bir yöntemdir. Tünel kazılarında kullanılan tipik kullanım şeması 27. şekilde görülmektedir.



Şekil 27. Harç ile Koruma Yönteminin Tünel Projesinde Uygulanması. (Kummerer,2003)

Harç ile koruma daha çok ince granüllü zeminlerde kullanılan bir yöntem olsa da granüler zeminlerde de başarılı kullanıldığı raporlanmıştır.

2.4.4.3. Biyo Enjeksiyon

Lin ve diğ. (2016)' ne göre biyo enjeksiyon, çevre dostu, sürdürülebilir ve düşük maliyetli bir zemin iyileştirme tekniğidir. Yöntem uygulanırken mikrobik kaynaklı karbonat çökeltisi kullanılır. Daha çok yeni geliştirilen bir enjeksiyon yöntemi olduğundan ülkemizde kullanımı mevcut değildir.

2.5. Zemin Takviyesi

2.5.1. Geosentetikler ile Mekaniksel İyileştirme

Önceki yöntemler arasında arkasında büyük bir tarih yatan en önemli yöntemdir. Ekinci ve Ferreira (2012)'de Babilonların milattan önce 3000'li yıllarda hurma dalları kullanıp kil tuğlaları güçlendirdikleri belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada, bahse konu yöntem ile günümüze kadar gelmiş birçok tarihi eser inşa edildiği, bunlar arasında en önemlisinin Şekil 28'de görülen Irak'taki Ziggurat tapınağı olduğu belirtilmiştir.



Şekil 28. Irak'taki Ziggurat Tapınağı (Hann ve diğ.,2015)

Ekinci ve Ferreira (2012) Babilonlardan sonra Romalıların kereste parçalarını kullanarak istinat duvarları inşa ettiklerini belirtmiştir. Bu yapılar arasında günümüzde görülebilen en önemli eserler ise Londra nehri boyunca inşa edilmiş iskeleler ve İtalya'nın üç büyük nehri olan Tiber'in kıyılarının güçlendirilmesi için inşa edilmiş eserlerdir. Şekil 29' da Londra'da inşa edilmiş istinat duvarı gösterilmiştir.



Şekil 29. Londra İskelesi. (Greater London Industrial Archaeology Society,2017)

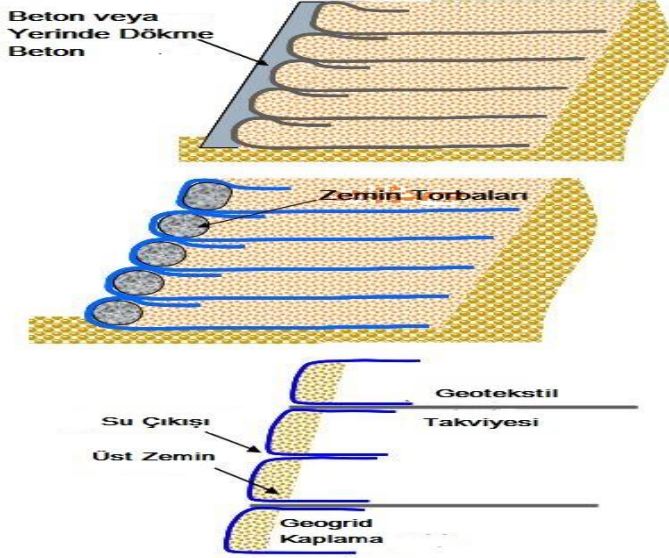
Bu iki ulusu takriben Çinliler ağaç dallarını kil ve çakıl ile karıştırarak Çin Seddi'nin inşasında kullanmışlardır. Şekil 30' da Çin Seddi gösterilmiştir.



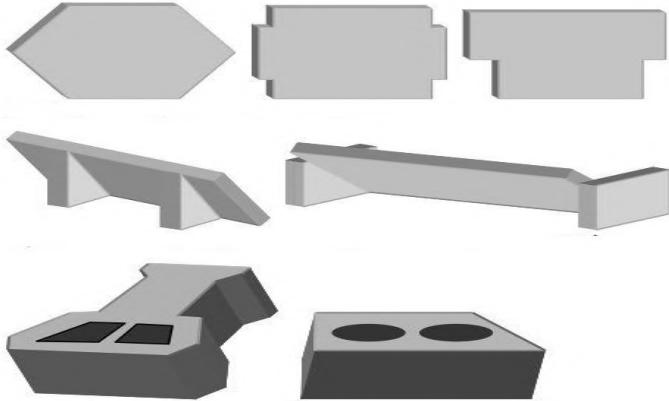
Şekil 30. Çin Seddi (James,2009)

En yakın geçmişte ise (1822) İngiliz Kraliyet ordusu albay Pasley benzer tekniği kullanarak istinat duvarı arkasındaki zayıf zemini çalı, tahta parçaları ve tekstil artıkları ile güçlendirmiştir. 1960'lı yıllara gelindiğinde ise Vidal tarafından bu konu ile ilgili ilk bilimsel araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Tarihten bu yana zemin iyileştirme yöntemleri arasında en fazla ilgi gösterilen yöntem olmasına rağmen Vidal 'in öngördükleri dışında çok büyük atılım olmamıştır. Yine de gelişen teknoloji analitik ve deneysel çalışmalar ile birleştiği zaman bu yöntem inşaat alanında 20. yüzyılın en önemli yeniliği durumuna gelmiştir. Şekil 31' de yüzeyde kullanılan yeni yöntemler gösterilmiştir.

Günümüzde bu yöntem için dizayn kodları ve standartlar geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Ekinci ve Ferreira (2012)'ya göre mekaniksel iyileştirme yöntemi yol, temel, zemin dolgu, yol kesitleri veya istinat duvarları için dolgu zeminin çekme dayanımı yüksek olan çelik maddeler veya geosentetikler ile kesme dayanımının artırılması ile yapılmaktadır. Bu kategoriye giren birçok uygulama aşağıdaki şekil 31 ve 32' de gösterilmektedir.



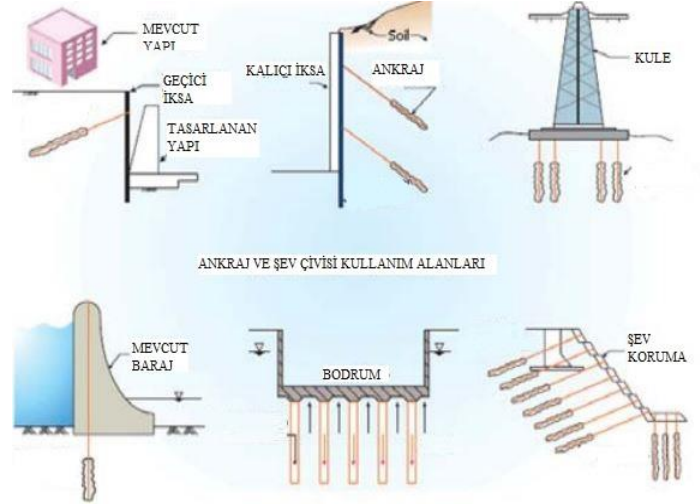
Şekil 31. Yüzeysel Yöntem Örnekleri (Menge, 2007)



Şekil 32. Geosentetik Uygulama Alanları. (Sankey ve diğ. 2008)

2.5.2. Zemin Ankortları ve Çivileri

De Cock (2008) zemin ankortları, yerçekimi kullanılarak desteklediği yapıları zemin içerisine yerleştirilen ankortlar sayesinde gerilme gücü kullanılarak zeminin temellerde veya yapılarda oluşturduğu itme veya kaldırma gücüne karşılık eğimler, kuleler, tüneller ve daha birçok yapıda kullanılması vasıtası ile yapılır. Şekil 33'te zemin ankortları ve çivilerinin kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 33. Zemin Ankortları ve Çivilerinin Kullanım Alanları. (De Cock, 2008)

Zemin çivileri, zemin ankortları ile aynı görevi görürler ancak bunlar daha önceden açılmış sondaj kuyularına harç ile tutturulurlar. Bir diğer farklılıkları ise ankortlara göre daha kısa ve daha küçük oluşlarıdır. Ayrıca ankortlar yerleştirildikten sonra ön gerilmeye tabi tutulurlar.

2.5.3. Biyolojik Yöntemler

Bahse konu problemleri alan ekilen bitkiler vasıtası ile zemin içerisinde gelişen köklerle zeminin erozyonu engellenir. Buna ek olarak zemindeki suyu çeken bitkiler toprağın emme gücünü artırarak yerinde durmasını sağlar. Vegetasyonun sağladığı bu katkılar sayesinde eğimi az veya dayanıklılığı yüksek olan zeminlerin iyileştirilmesi sağlanır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Metotlar kısmında açıklanan ve ülkemizde uygulanabilir olmasına göre bilgileri kaynaklar doğrultusunda sağlanabilen zemin iyileştirme yöntemleri, yukarıda aktarılan bilgiler dahilinde ve sahada zeminin sağlaması gereken koşulların önem sırasına göre, aşağı kısımda yıldız sistemi ile önem sırasına göre etkinlik ölçeklendirmesi yapılmış (tablo1) ve bu ölçeklendirme kriterlerine göre hangi iyileştirme metodunun hangi koşula göre seçileceğine yardımcı olmak amacı ile bir değerlendirme ölçeği hazırlanmıştır (tablo2). Hazırlanan bu tablonun amacı, uygulanacak zemin iyileştirme metodunun saha şartları ve zemin türüne göre daha doğru bir şekilde belirlenmesine yardımcı olmaktır.

Tablo 1'in ilk kısmı iyileştirme yöntemlerinin, zeminin hangi özelliğini iyileştirirken daha etkin olmasına göre üç yıldız uygun, iki yıldız orta uygun, bir yıldız az uygun ve uygun değil şeklinde sınıflandırılmıştır. Yöntemin kullanım sıklığı, uygulama süresi, maliyeti ve kontrol gerekliliği ise üç yıldız yüksek, iki yıldız orta ve tek yıldız az olmak üzere sınıflandırılmaya alınmıştır.

Tablo 2 de zemin iyileştirme çalışması ile elde edilmek istenilen önceliklere göre bu yöntemler yetkili kişiler tarafından değerlendirilip hangi iyileştirmenin uygulanacağına karar verme aşamasında bu sonuçların yardımcı olması hedeflenmiştir.

Örneğin tablo 2'de görüldüğü üzere taş kolonlar kohezyonsuz zeminlerde yüksek uygulama sıklığına sahipken kohezif zeminlerde de kullanımı mevcuttur. Zeminin taşıma kapasitesini yüksek miktarda iyileştirdiği gibi orta etkinlik seviyesinde

oturmaları önleyip az etkinlik seviyesinde ise sıvılaşmayı önlemektedir. Kullanım sıklığı yaygın olan taş kolonlar istinat yapılarında geçirimsizliği önlemekte kullanılmamaktadırlar.

Tablo 1. Yıldız sistemine göre zemin iyileştirme ölçeklendirilmesi

Sembol	Oturma, Sıvılaşma, Geçirim	Kohezif, Kohezyonsuz	Kullanım Sıklığı	Uygulama Süresi	Maliyet	Kontrol Gerekliği	Sürdürülebilirlik
	<i>Problemlerini iyileştirmeye uygun</i>	<i>Zeminlerinde kullanımı uygun</i>					
***	Yüksek		Yüksek				
**	Orta		Orta				
*	Az		Az				
-	Uygun değil		Bilinmiyor				

Tablo 2. Zemin iyileştirme yöntemleri değerlendirme tablosu

Sınıflandırma	Yöntemler	Zemin		AMAÇ					Kullanım Sıklığı	Uygulama Süresi	Maliyet	Kontrol Gerekliği	Sürdürülebilirlik	
		Kohezif	Kohezyonsuz	Taşıma Kapasitesi	Oturma	Sıvılaşma	Geçirimsizlik	İstinat Yapıları						
2.1.	Dinamik Kompaksiyon	-	***	***	**	***	-	-	**	**	*	***	*	Şengezer, 2010. Yee ve Aun, 2010.
	Vibro Kompaksiyon	-	***	***	**	**	-	-	**	*	**	***	*	Demiröz ve Karaduman, 2009. Yee ve Aun, 2010.
	Patlatma ile Kompaksiyon	**	***	**	**	**	-	-	*	*	*	***	*	Tumluer, 2006.
	Yüzey Kompaksiyonu	**	**	***	**	-	**	-	***	***	**	***	*	Özaydın, 1999. Pengthamkeerati ve diğ., 2005.
2.2.	Hafif Madde ile Yer Değiştirme	***	-	**	**	-	-	-	**	**	*	*	*	Altun, 2010. Yee ve Aun, 2010.

	Yatay Direnler ile Önyükleme	***	-	**	***	-	-	-	*	***	**	**	**	Şengezer, 2010. Yee ve Aun, 2010.
	Vakum ile Önyükleme	***	-	***	***	-	-	-	*	**	**	**	***	Cui Yan ve diğ., 2010. Griffin ve O' Kelly, 2014
2.3.	Taş Kolonlar	**	***	***	**	**	-	-	***	*	*	*	*	Demiröz ve Karaduman, 2009. Yee ve Aun, 2010.
	Kum Kompaksiyon Kazıkları	***	***	***	*	***	-	-	*	**	**	**	-	Demiröz, 1992.
	Geotekstil ile Güçlendirilmiş Kolonlar	***	-	***	*	-	-	-	*	**	**	**	-	Demiröz ve Karaduman, 2009.
2.4.	Katkı Maddeleri ile (Derin) Karıştırma	***	***	***	**	**	**	-	*	*	**	**	*	Önalp, 1983.
	Jet Harç Enjeksiyonu	**	***	***	**	***	**	-	***	*	*	**	*	Erol ve Bayram, 2008. Ekinci ve diğ., 2020.
2.5.	Geosentetikler ile Mekaniksel İyileştirme	**	***	**	*	-	-	***	**	***	**	*	-	Ekinci, Ferreire, 2012.
	Zemin Ankör ve Çivileri	**	**	*	*	-	-	***	***	***	***	**	-	De Cock, 2008.

4. Teşekkür

Bu araştırmanın gerçekleştirilmesinde yardımcı olan meslektaşlarımıza ve kaynaklarını kullandığımız tüm yazar ve araştırmacılara teşekkür ederiz.

5. Kaynakça

- Akyıldız, H. (2019). Elektroosmoz ve Isıl İşlemler Yöntemleri Zeminlerin İyileştirilmesi ve Stabilizasyonu. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10 (3), 1137-1144. DOI: 10.24012/dumf.562993
- Altun, S. (2010). Zemin iyileştirme yöntemleri, derin temeller ve uygulama örnekleri. Ege Üniversitesi, İMO.
- Bal, E., Öner, L., Çetin, K. (2015). Darbeli Kırmataş Kolonlar ile İyileştirilen Atıksu Arıtma Tesisi Sahasında Oturma Davranışının Gözlemlenmesi. 6. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, 26-27 Kasım 2015, Adana.
- Bergado, D. T., & Lorenzo, G. A. (2005). A full-scale study on cement deep mixing in soft Bangkok clay. In Elsevier Geo-Engineering Book series (Vol. 3, pp. 305-325). Elsevier.
- Bergado, D. T., Anderson, L. R., Miura, N., & Balasubramaniam, A. S. (1996). Soft ground improvement in lowland and other environments. ASCE.
- Bildik, S. 2017. Zemin İyileştirme Yöntemleri. İstanbul.
- Burgos, M., Samper, F., & Alonso, J. J. (2007). Improvements carried out in very soft dredged mud soil in the port of Valencia (Spain). In Proceedings of the 14th European Conference SMGE, Madrid, Spain (Vol. 4, pp. 2091-2103).
- Chu, J., Bo, M. W., & Arulrajah, A. (2009). Soil improvement works for an offshore land reclamation. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering, 162(1), 21-32.
- Chu, J., Low, B. K., & Choa, V. (2003). Soil improvement: Prefabricated vertical drain techniques. Thomson Learning Asia.
- Chu, J., Yan, S., & Indrarana, B. (2008). Vacuum preloading techniques—recent developments and applications. In GeoCongress 2008: Geosustainability and Geohazard Mitigation (pp. 586-595).
- Collin, J. G., Han, J., & Huang, J. (2005). Geosynthetic reinforced column support embankment design guidelines. In Proceedings, the North America Geosynthetics Society Conference (pp. 1-15).
- Cui, X. (2010). Real-time diagnosis method of compaction state of subgrade during dynamic compaction. Geotechnical Testing Journal, 33(4), 299-303.
- De Cock, F. (2008). Ground anchors: overview of types, installation methods and recent trends. Proc. Int. Symp. On Ground Anchors, 1, 14.
- Demiröz, A. (1992). Zemin İyileştirme Metotları. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Demiröz, A., & Karaduman, M. (2009). Zemin İyileştirme Metotları. Selçuk-Teknik Dergisi, 8(3), 176-192.
- Ekinci, A., Hanafi, M., & Aydin, E. (2020a). Strength, Stiffness, and Microstructure of Wood-Ash Stabilized Marine Clay. Minerals, 10(9), 796.
- Ekinci, A., Scheuermann Filho, H. C., & Consoli, N. C. (2020b). Copper slag-hydrated lime-Portland cement stabilised marine-deposited clay. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement, 1-13.
- Ekinci, A. (2019). Effect of preparation methods on strength and microstructural properties of cemented marine clay. Construction and Building Materials, 227, 116690.
- Ekinci, A., & Ferreira, P. M. V. (2012). Effects of fibre reinforcement in the shrinkage behaviour of compacted clay. 3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Erol, O., Bayram, Z. (2018). Jet Enjeksiyon Yöntemi. Ankara. Foamtech Insulation Solutions. (2008). Distribution & Fabrication of Specialist Thermal Insulation Products. <https://www.foam-tech.co.uk>
- Gohl, W. B., Jefferies, M. G., Howies, J. A., & Diggle, D. (2000). Explosive compaction: design, implementation and effectiveness. Geotechnique, 50(6), 657-665.
- Greater London Industrial Archeology Society. (2017, Feb 22). Plans For Regent's Wharf. <http://friendsofregentscanal.org/features/property-devt/Kings-Cross/Regents-Wharf/GLIAS-objection.html>
- Griffin, H., & O'Kelly, B. C. (2014). Sustainability of combined vacuum and surcharge preloading. In Geo-Congress 2014: Geo-characterization and Modeling for Sustainability (pp. 3826-3835).
- Gunther, J., Holm, G., Westberg, G., & Eriksson, H. (2004). Modified Dry Mixing (MDM)—a new possibility in Deep mixing. In Geotechnical Engineering for Transportation Projects (pp. 1375-1384).
- Hanafi, M., Aydin, E., & Ekinci, A. (2020a). Engineering Properties of Basalt Fiber-Reinforced Bottom Ash Cement Paste Composites. Materials, 13(8), 1952.
- Hanafi, M., Ekinci, A., & Aydin, E. (2020). Triple-Binder-Stabilized Marine Deposit Clay for Better Sustainability. Sustainability, 12(11), 4633.
- Hann, G., Dabrowska, K., & Townsend-Greaves, T. (2015). Iraq: The Ancient Sites and Iraqi Kurdistan. Bradt Travel Guides.
- Holtz, R.D., Jamiolkowski, L.R., & Pedroni, R. 1991. Prefabricated Vertical Drains: Design & Performance. CIRIA Ground Engineering Report, Butterworth-Heinemann Ltd., London.
- James, K. (2009). Great Wall of China.
- Jefferson, I., Rogers, C., Evstatiev, D., & Karastanev, D. (2005). Treatment of metastable loess soils: Lessons from Eastern Europe. In Elsevier geo-engineering book series (Vol. 3, pp. 723-762). Elsevier.
- Karol, R. H. (2003). Chemical grouting and soil stabilization, revised and expanded (Vol. 12). Crc Press.
- Kitazume, M. (2005). The Sand Compaction Pile Method, Port and Airport Research Institute, Yokosuka, Japan.
- Kitazume, M. (2007). Design, execution and quality control of ground improvement in land reclamation. In Proceedings of the 13th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Kolkata (pp. 135-149).
- Kummerer, C. (2003). Numerical modelling of displacement grouting and application to case histories. Doktora Tezi, Graz Teknik Üniversitesi.
- Lin, H., Suleiman, M. T., Jabbour, H. M., & Brown, D. G. (2018). Bio-grouting to enhance axial pull-out response of pervious concrete ground improvement piles. Canadian Geotechnical Journal, 55(1), 119-130.
- Liu, H. L., Chu, J., & Ren, Z. (2009). New methods for measuring the installation depth of prefabricated vertical drains. Geotextiles and Geomembranes, 27(6), 493-496.

- Lomize, G. M., Kirillov, A. A., Semushkina, L. A., Kirillov, Y. A., & Abramkin, A. V. (1973). Tests of application of the electric spark method for compaction of the subsiding loess soils. *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*, 6, 22-25.
- Menge, P. (2007). Surface compaction of hydraulic fills of limited thickness. In Presentation made at TC 17 Workshop at 14ECSMGE, Madrid (pp. 24-27).
- Mitchell, J. K. (1981). Soil improvement state-of-the-art report [C]. In Proceedings 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (pp. 509-521). Balkema.
- Mitchell, J. K., & Santamarina, J. C. (2005). Biological considerations in geotechnical engineering. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 131(10), 1222-1233.
- Önalp, A. (1985). Samsun Liman Sahasında Dinamik Konsolidasyon Uygulaması. Türkiye İnşaat Mühendisliği 8.Teknik Kongresi, p. 189-208, Ankara.
- Özaydın, K. (1999). Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi. İstanbul.
- Özdemir, N. (1994). Kirecin giderilmesinin toprağın aşınmaya karşı duyarlılık parametresi üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2).
- Öztoprak, S. (2016). Zemin İyileştirilmesi Yöntemlerine Genel Bir Bakış. İMO İstanbul Karaköy.
- Pengthamkeerati, P., Motavalli, P. P., Kremer, R. J., & Anderson, S. H. (2005). Soil carbon dioxide efflux from a claypan soil affected by surface compaction and applications of poultry litter. *Agriculture, ecosystems & environment*, 109(1-2), 75-86.
- Rahardjo, P. P. (2005). The use of bamboo and bakau piles for soil improvements and application of pile raft system for the construction of embankment on peats and soft soils. In Elsevier Geo-Engineering Book Series (Vol. 3, pp. 899-921). Elsevier.
- Raithel, M., Kirchner, A., Schade, C., & Leusink, E. (2005). Foundation of constructions on very soft soils with geotextile encased columns-state of the art. *Innovations in Grouting and Soil Improvement*, 1-11.
- Raju, V.R., & Sondermann, W. (2005). Application of the vacuum preloading method in land reclamation and soil improvement projects. Chapter 21, *Ground Improvement - Case Histories*. B. Indraratna & J. Chu (Eds.), Elsevier, 601-638.
- Sankey, J.E, Bailey, M.J. & Chen, B. (2008). SeaTac third runway: Design and performance of MSE tall wall. *New Horizons in Earth Reinforcement – Otani, Miyata & Mukunoki (eds), Taylor & Francis: 151-156.*
- Slocombe, B.C. (2004). Dynamic compaction. In M.P.Moseley & K. Kirsch (Eds.), *Ground improvement*, 2nd Ed.: Spon Press.
- Smoltzyk, U. (2003). Ground dewatering. *Geotechnical Engineering Handbook – Volume 2: Procedures*, Ernst and Son Verlag, Germany, 365-398.
- Şengezer, L. (2010). Granüler Zeminlerde Dinamik Kompaksiyon Uygulaması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Terashi, M., & Juran, I. (2000). Ground Improvement-State of the Art, *Proceedings of GeoEng2000*. Melbourne, Australia. 1: 461-519.
- Topolnicki, M. (2004). Insitu soil mixing. In M. P.Moseley & K.Kirsch (Eds.), *Ground improvement*, 2nd Ed.: Spon Press.
- Tumluer, G. (2006). Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Tunçdemir, F. (2004). Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniğiyle İyileştirilmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 430.
- Van Impe, W. F. (1989). *Soil improvement techniques and their evolution*: Taylor & Francis.
- Wehr, J. (2007). *Vibro Compaction of reclaimed land*, TC 17 Workshop at 14ECSMGE, Madrid, 27 Sept.
- Welsh, J. P., & Burke, G. K. (2000). Advances in grouting technology. In *ISRM International Symposium*. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Wong, P. K., & Lacazedieu, M. (2004). Dynamic Replacement Ground Improvement–Field Performance Versus Design Predictions for the Alexandria City Centre Project in Egypt. In *Advances in geotechnical engineering: The Skempton conference: Proceedings of a three day conference on advances in geotechnical engineering*, organised by the Institution of Civil Engineers and held at the Royal Geographical Society, London, UK, on 29–31 March 2004 (pp. 1193-1204). Thomas Telford Publishing.
- Woodward, J. (2005). *An introduction to geotechnical process*: Taylor & Francis.
- Woodward, J. (2005). *An introduction to geotechnical processes*. CRC Press.
- Yan, S. W., & Chu, J. (2005). Soil improvement for a storage yard using the combined vacuum and fill preloading method. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(4), 1094-1104.
- Yang W.W.& Chen, S., (2008). Three-dimensional Mechanical Analysis of Artificial Ground Freezing Method in Cross-adit Construction [J]. *Tunnel Construction*, 3.
- Yee, K., & Aun, O. T. (2010). *Ground Improvement—A Green Technology towards a Sustainable Housing, Infrastructure and Utilities Developments in Malaysia*. *Geotechnical Engineering*, 41(1), 123.



Determination of Hazards and Risks in a Solar Power Plant Using the Matrix Risk Analysis

Berna Gür^{1*}, Şenol Yavuz², Ahmet Doğan Çakır³, Dursun Ali Köse⁴

^{1*} Hitit University, European Journal of Science and Technology, Department of Property Protection and Security, Çorum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0674-4612), bernagur@hitit.edu.tr

² Hitit University, Osmancık Ömer Derindere Vocational School, Department of Property Protection and Security, Çorum, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6261-9296), senolyavuz@hitit.edu.tr

³ Hitit University, Hitit Vocational School of Technical Sciences, Department of Property Protection and Security, Çorum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2233-5069), ahmetdogancakir@hitit.edu.tr

⁴ Hitit University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Çorum, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4767-6799), dalikose@hitit.edu.tr

(First received 16 February 2021 and in final form 5 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.881614)

ATIF/REFERENCE: Gür, B, Yavuz, Ş., Çakır, A. D. & Köse, D. A. (2021). Determination of Hazards and Risks in a Solar Power Plant Using the Matrix Risk Analysis. *European Journal of Science and Technology*, (23), 497-511.

Abstract

Electric power generation from renewable energy sources such as solar energy, wind energy and geothermal energy is an alternative option to energy generation from fossil fuels. Renewable energy sources are more advantageous when we consider the environmental damage caused by fossil fuels during energy generation. Our country is rich in terms of renewable energy resources with its location. When we consider the daily sunshine duration and the wind force in the flat plains, the number of power plants that generate electrical energy without harming the environment with solar panels and wind turbines is increasing day by day. In this study, as a result of field observations of a power plant that converts solar energy into electrical energy with solar panels in Çorum by instructors who have class B OHS certificate and field experience, the risk score was calculated by determining the hazards and risks by 5x5 L-type Matrix Risk analysis which is a qualitative risk assessment. According to the calculated risk score, twenty-four risks which include four high level risks, fifteen medium-level risks, and five low-level risks were identified and recommendations were made. We think that this study will make a positive contribution to the power plants to be established and to the actively ongoing plants in terms of occupational health and safety.

Keywords: Solar energy, Occupational health and safety, Risk analysis, Matrix Method

Güneş Enerjisi Santralinde Matris Risk Analiz Yöntemiyle Tehlike ve Risklerin Belirlenmesi

Öz

Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi fosil yakıtlardan enerji üretimine alternatif seçenek olmaktadır. Fosil yakıtların enerji üretimi sırasında çevreye verdiği zararları dikkate aldığımızda yenilenebilir enerji kaynakları daha avantajlıdır. Ülkemiz sahip olduğu konumu ile yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengindir. Günlük güneşlenme süresi ve düzlük ovalardaki rüzgâr şiddetini dikkate aldığımızda güneş panelleri ve rüzgâr gülleri ile çevreye zarar vermeden elektrik enerjisi üreten santrallerin her geçen gün sayısı artmaktadır. Bu çalışmada, B sınıfı İSG belgesine sahip, saha tecrübesi olan öğretim elemanları tarafından Çorum ilinde güneş panelleriyle güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren bir santralin saha gözlemleri sonucu, tehlike ve riskler kalitatif bir risk değerlendirmesi olan 5x5 L tipi Matris Risk analizi ile belirlenerek risk skoru hesaplanmıştır. Hesaplanan risk skoruna göre dört tane yüksek düzeyde risk, on beş tane orta düzeyde risk ve beş tane düşük düzeyde risk olmak üzere yirmi dört tane risk tespit edilerek önerilerde bulunulmuştur. Yapılan bu çalışma ile bundan sonraki kurulacak santrallere ve aktif olarak devam eden santrallere iş sağlığı ve güvenliği yönünden olumlu katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, İş sağlığı ve güvenliği, Risk analizi, Matris Yöntemi

*Corresponding Author: bernagur@hitit.edu.tr

1. Introduction

Solar energy is one of the world's renewable energy sources, alternative to fossil fuels and not harming nature in terms of waste. The occurrence of formations in nature, the flow of matter and energy are due to solar energy [1,2]. Due to the location of our country, solar energy potential is high. Therefore, energy generation plants consisting of solar panels have been established in many of our provinces to generate electrical energy from solar energy [3].

It is very important to examine the hazards and risks caused by dangerous movement and situations in terms of occupational health and safety by using the heat and light effect of the Sun instead of manpower in solar energy plants where have very little human factors. It may be possible to prevent work accidents and occupational diseases as a result of identifying the existing hazards and risks with proactive approaches. Hazard is defined as the potential for harm of anything. This potential could be a situation or a behavior. Risk, on the other hand, refers to the probability of events such as death, injury, and loss of limb that may occur as a result of an event [4,5].

The aim of occupational health and safety services is to adopt proactive approaches against work accidents and occupational diseases by providing a healthy and safe work environment for employees. Preventing work accidents and occupational diseases is possible with regulatory preventive measures by identifying hazards and risks as a result of risk assessment in workplaces[6].

According to the Occupational Health and Safety Law No.6331, employer / employer representatives are obliged to make a risk assessment or have them done in order to ensure the health and safety of their employees and the continuity of production in the workplace. With risk assessment, it will be possible to prevent work accidents and occupational diseases, and if they cannot be prevented, to reduce their rate [5,7].



Fig. Risk Assessment Process Stages

During the identification of hazards and risks of a business , risk assessment is divided into two in terms of quality and quantity [8]. In the risk assessment application, a change is observed from qualitative approaches to semi-quantitative and traditional quantitative approaches [9]. According to Altenbach (1995), there are differences in the way of implementing risk assessment due to various reasons such as manpower, time, management perception, opinion of the OHS expert, applicability and understandability [10].

In the literature, risk analysis methods are divided into three groups as numerical (quantitative), verbal (qualitative) and mixed. Mathematical theorems are used when calculating the risk score with quantitative risk analysis, while performing qualitative risk analysis, the probability of occurrence of the threat and its potential effect in case of existence are calculated and the results obtained are processed with mathematical and logical methods and the risk score and degree are obtained [11]. Some of the risk analysis methods in the literature are classified as follows by dividing them into two groups as qualitatively and quantitatively[12],

Qualitative Risk Assessment Analysis;

- ✓ Preliminary Hazard Analysis – PHA ,
- ✓ Job Safety Analysis – JSA,
- ✓ What if ?
- ✓ Risk Assessment Decision Matrix
- ✓ Failure Mode and Effects Analysis - FMEA
- ✓ Hazard and Operability Studies - HAZOP
- ✓ Fault Tree Analysis - FTA
- ✓ Event Tree Analysis - ETA
- ✓ Hazard Analysis and Critical Control Points
- ✓ Preliminary Risk Analysis - PRA
- ✓ Preliminary Risk Analysis Using Checklists - PRA
- ✓ Safety Audit

Quantitative Risk Assessment Analysis;

- ✓ Monte Carlo Simulation
- ✓ Markov Analysis,
- ✓ Bayesian Networks,
- ✓ Decision Tree,

Occupational health and safety experts in our country use qualitative 5x5 Matrix and Finney-Kinney Risk analysis in identifying hazards and risks, calculating the risk score and categorizing the results, creating regulatory and preventive action plans [14].

1.1.1. *Matris Risk Analysis*

Although the matrix risk analysis X-Matrix is shown in 5x5 Matrix and L-Matrix shapes, it is the same in logic. It occurs only when the difference is calculated with 5x5 and the results are shown different in shape [13-14]. Matrix risk analysis is a method used to explain the relationship between two or more variables. It is an easier method in terms of being understandable and evaluating the results by the risk assessment team [15].

1.1.2. *L-Type Matris Risk Analysis*

It is a simple understandable method used in interpreting cause and effect relationship [16]. L matrix is implemented as 3 * 3, 4 * 4, 5 * 5. It is a method based on evaluating the data obtained as a result of multiplying probability and severity each other which are the concrete components of risk analysis, within a logical framework. In this method, probability and severity factors are taken into account while the risk score is calculated.

It is calculated as Risk Value (R) = Probability (P) X Severity (degree of damage).

Probability, the state that a danger occurs in a timeframe; violence, on the other hand, is defined as the degree of damage to the workplace if danger occurs [15-18].

Table 1. L-Type Matrix Analysis Probability Table

Value	Categorization	Frequency
1	Very low	Once a year
2	Low	Once every three months
3	Medium	Once a months
4	High	Once a week
5	Very high	Every day

Table 2. L-Type Matrix Analysis Loss Level Table

Value	Result	Rating
1	Insignificant	No loss of working hour requiring first-aid
2	Minor	No loss of working day, requiring first-aid
3	Moderate	Mild injury requires treatment
4	Major	Death, Serious injury, occupational disease
5	Catastrophic	Multiple deaths, permanent incapacity

1.1.3. X Type Matrix Risk Analysis

It is a risk analysis that requires a disciplined work done as a team with the establishment of a risk team. L type matrix and X type matrix risk analysis are similar. There is only a difference in

Tablo 3. L-Type Risk Score Rating Matrix

		Result (Severity)				
		5	4	3	2	1
Probability	5	Critical	Severe	Moderate	Minor	Negligible
	5	Very High	25	20	15	10
4	High	20	16	12	8	4
3	Medium	15	12	9	6	3
2	Low	10	8	6	4	2
1	Very Low	5	4	3	2	1

1-2 Points: Insignificant risk. Risks that do not matter much and can be accepted.

3-6 Points: Tolerable risk. It is a tolerable risk group that requires attention in the long term.

8-12Points: Moderate risk. They are significant risks that need to be taken measures in the short term.

15-16 Points: Significant risk. It is the risk group that is extremely important and should be taken measures immediately

20-25 Points: Not tolerable risk. It is the risk group that it is not accepted to start work without any measures.

The fields shown with red color in the risk matrix indicate unacceptable risks and mean that measures must be taken as soon as possible. The fields shown in yellow express risks that need to be fixed as soon as possible. The fields shown in green express nonurgent risks that need to be fixed in the long term.

shape. The most preferred in practice is 5x5 Risk Matrix Analysis. The risk score is the same in both methods, but the order and shape are different from each other.

Table 4. A Sample Risk Assessment Analysis

Risk no	Sample photos	Activity / Risk area/ department	Work done / hazard / risk	Impact \ Result	Before the measure is taken		Measure s to be taken	Contact person	Deadline	Result	Sinature	After the measure is taken			
					P	S						SCORE	P	S	SCORE
1		FIRE EXTINGUISHERS	Lack of fire extinguisher	Aggravation of the situation	4	5	20	The type and number of portable extinguishers should be determined according to the existing situation and risks.	COMPANY	IMMEDIATELY			1	5	5

1.2. Fine Kinney Risk Analysis

It is one of the risk analysis methods used in occupational health and safety. Although it is a bit more complicated than the matrix risk analysis, it is a more ordered risk analysis in terms of separating the business lines from each other by frequency factor. It was first put forward by Fine in 1971, and then, in 1976, Fine's proposal was developed by Kinney and Wiruth and became a risk analysis method [19]. It was first used to protect against explosives in the military field, and then became the most preferred risk analysis method in dangerous and very dangerous enterprises such as construction and mining when it began to be used in the OHS profession.[19-20].

Although Fine Kinney Risk Analysis is more complex than Matrix risk analysis, it has higher accuracy and frequency factor. In this analysis method, the risk score is obtained by multiplying three variables, namely probability (P), severity (S) and frequency (F).

Table 5. Risk Score Calculation Table

RISK=PXSXF	R: Size of the Risk
	P: Possibility of Hazard Occurrence
	S: Potential Violent Damage of the Hazard
	F: frequency of repetition of work

Table 6. Probability Value Chart

Probability Value	Definition	% Probability
10	Expected / Certain	50
6	High / Quite Possible	10
3	Possible	1
1	Rarely but Possible	10—3
0,5	Unexpected but Possible	10—4
0,2	Practically Not Possible	10—5
0,1	Only Theoretically Possible	10—6

Table 7. Severity value definition table

S Value	Severity – Scoring The Damage / Element (V) (Estimated damage to human and / or environment)	
	Definition	
	Loss of work	Material loss
100	Multiple fatal accidents environmental disaster	> 10.000.000
40	Fatal accident / Serious environmental damage	1.000.000 – 10.000.000
15	Permanent damage / injury, loss of work	100.000 – 1.000.000
7	Creating environmental barriers, significant damage / injury from the immediate environment, getting external first aid	10.000 – 100.000
3	Minor damage, injury, internal first aid, limited environmental damage on land	1.000 – 10.000
1	Escape with little or no harm / no environmental damage	100 – 1.000

Table 8. Frequency value definition table

Frequency Scoring (F)	
F Value	Definition
10	Almost continuously (several times in an hour)
6	Frequently (once or several times a day)
3	Occasionally (once or several times a week)
2	Not often (once or several times a month)
1	Rarely (several times a year)
0,5	Hardly ever (once a year or less)

Table 9. Risk Score Definition Table

Risk Identification			
Risk Rating	R Value	Risk Class	What to Do
1	$R \leq 20$	Minor risk	Precaution is not a priority
2	$20 < R \leq 70$	Acceptable risk	Should be applied under observation
3	$70 < R \leq 200$	Moderate risk	Should be improved in the long term
4	$200 < R \leq 400$	Significant risk	Should be improved in the short term (within a few months)
5	$R > 400$	Unacceptable risk	Necessary precautions should be taken immediately or the facility, building, production or its surroundings should be closed.

2. Material And Method

This study was made as a result of the field observations of OHS experts who have Class B occupational safety certificates in the profession of occupational health and safety of a power plant consisting of solar panels where manpower is not used. It is a study that consists of calculating the risk scores of the hazards and

risks identified as a result of the observations using the 5x5 Matrix qualitative risk analysis method and recommending regulatory preventive actions. Calculation method for 5x5 Matrix Risk score analysis is as follows

Tablo 10. Risk Score Calculation Table

Risk Factor Calculation System: The one with a higher risk parameter will be taken.					
Probability (Exposure-Incident frequency)			Severity (Possible Losses)		
Parameter	Probability	Occurrence Frequency	Parameter	Severity	Rating (For Human)
1	Very low	Once a year	1	Negligible	Absent
2	Low	Once every three months	2	Minor	First-aid required
3	Medium	Once a months	3	Moderate	Loss of labour force <3 Days
4	High	Once a week	4	Severe	Death, Loss of limb
5	Very high	Every day	5	Critical	Multiple deaths

Tablo 11. Risk Score Definition Table

Risk Score	Severity				
	1 (Negligible)	2 (Minor)	3(Moderate)	4 (Severe)	5 (Critical)
1(Very low)	Meaningless 1	Low 2	Low 3	Low 4	Low 5
2 (Low)	Low 2	Low 4	Low 6	Medium 8	Medium 10
3(Medium)	Low 3	Low 6	Medium 9	Medium 12	High 15
4 (High)	Low 4	Medium 8	Medium 12	High 16	Very High 20
5(Very high)	Low 5	Medium 10	High 15	Very high 20	Not tolerable 25

Table 12. Acceptability Values of Results and Order of Priority



Not tolerable Unbearable Risks (20, 25) –Priority 1	The work should not be started until identified risk is reduced to an acceptable level, and if there is an ongoing action, it should be stopped immediately. If it is not possible to reduce the risk in despite of the measures taken, the action should be prevented.
Significant Risks (15,16) - Priority 2	The work should not be started until the identified risk is reduced, if there is an ongoing action, it should be stopped immediately. If the risk is related to the continuation of the work, urgent measures should be taken and as a result of these measures, it should be decided to continue the action.
Moderate Risks (8,9,10,12) - Priority 3	Actions should be started to reduce the identified risks. Risk reduction measures can take time.
Tolerable Risks (2,3,4,5,6) – Priority 4	Additional control processes may not be needed to eliminate identified risks. However, existing controls should be continued and it should be checked that these controls are continued.
Minor Risks (1) – Priority 5	It may not be necessary to plan control processes and keep records of actions to be carried out to eliminate identified risks.


Risk Score = Probability X Severity


In the light of the above data, the hazards and risks identified in the solar power plant, the regulatory and preventive actions to




be taken and the risk score that can be reduced as a result of the actions are as follows. . There are no part-time or full-time employees in this solar power plant. Only technical personnel coming from outside can enter the power plant. The system is remotely controlled.

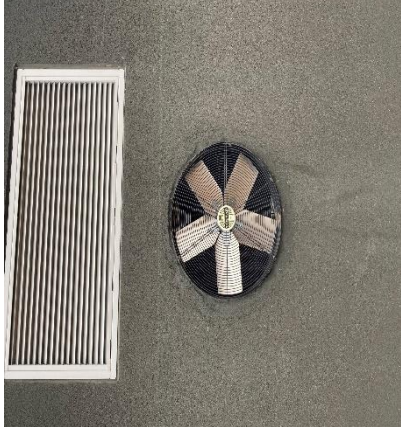
Table 13. Acceptability Values of Results Matrix risk analysis data applied to the solar power plant


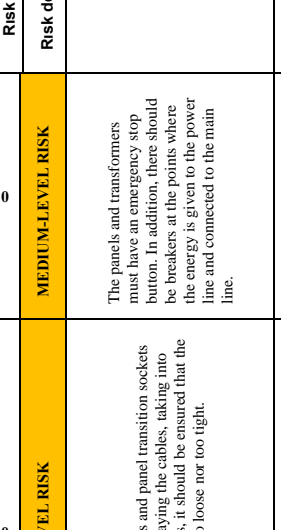
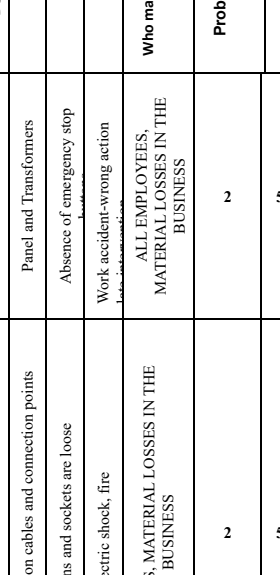
No	Department	Action	Hazard	Risk	Risk value				Measures to be taken	Contact person	Deadline	Explanation / situation	Risk assessment after measures			
					Who may be affected by the risk	Probability	Severity	Risk score					Probability	Severity	Risk score	Risk definition
2	WORKING AREA (GENERAL)	Maintenance- Repair	Maintenance and repair done by unauthorized and uninformed persons	Electric shock, fire, injury, death	ALL EMPLOYEES	4	2	5	10	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	in a month at the latest	 <p>A warning sign is posted in the maintenance section. Panel and transformers are kept locked. There are attention-enhancing signs stating that unauthorized persons should not interfere. It is recommended to surround the panels and transformers in a way that prevents approaching.</p>	2	5	10	MEDIUM LEVEL RISK
						5	5	25	5				5	25		
						20	2	5	10				2	5	10	
						HIGH-LEVEL RISK										
1	WORKING AREA (GENERAL)	Emergencies	Fire extinguishers are not in suitable places, have obstacles in front of them, fire extinguishers are not indicated with signs, expiration dates of fire extinguishers loss of functionality	. In case of emergencies, as a result of delay fire fighting injury, death, damage to machinery-equipment-materials	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	3	3	4	12	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	In a month at the latest	 <p>In the facility, there are a total of 15 pieces DCP fire extinguishers of 6 kg which include 12 pieces next to inverters and 3 pieces in the transformer buildings. Controls and maintenance of tubes should be done at regular intervals. Besides, FE with Carbon Dioxide, which is a more effective fire extinguisher in electrical fires, is recommended for the facility. In addition, it is recommended to use automatic fire extinguishing systems that can extinguish the fire in the case of fire in transformers.</p>	3	4	12	MEDIUM- LEVEL RISK
						5	4	20	4				4	16		
						15	3	4	12				3	4	12	
						HIGH-LEVEL RISK										
						3	3	4	12				3	4	12	
						5	4	20	4				4	16		
						15	3	4	12				3	4	12	
						HIGH-LEVEL RISK										

No	Department	Action	Hazard	Risk	Who may be affected by the risk	Risk value				Measures to be taken	Contact person	Deadline	Explanation / situation	Risk assessment after measures			
						Probability	Severity	Risk score	Risk definition					Probability	Severity	Risk score	Risk definition
4	WORKING AREA (GENERAL)	Entering the facility	Entry of third parties to the field	Lack of personal protectors	ALL EMPLOYEES	3	3	9	MEDIUM-LEVEL RISK	In order to ensure the safety of visitors during the visit of the work environments, visitors should be given personal protective equipment and these protectors should not be removed during the visit. People who have not taken security measures by the security unit should be warned and taken out. Visitors should be ensured to reach the interview area safely within the framework of precautions.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	In a month at the latest	Visitors are not given personal protective equipment. Visitors should be given the necessary personal protective equipment to be used during the field visit.	3	3	9	MEDIUM-LEVEL RISK
3	WORKING AREA (GENERAL)	Underground Cables	The route of underground cables inside the facility is unknown	Injury, loss of limb, death	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	2	5	10	MEDIUM-LEVEL RISK	The locations of the AC cables going underground should be located and prevented harm in uncontrolled excavations.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	In a month at the latest	 The AC cables from the inverters to the transformer center go under the in-house vehicle road. However, the place where the line crosses is not marked. In addition, it is recommended to use remarkable materials such as sand around the cables.	2	5	10	MEDIUM-LEVEL RISK


No	Department	Action	Hazard	Risk	Who may be affected by the risk	Risk value				Measures to be taken	Contact person	Deadline	Explanation / situation	Risk assessment after measures			
						Probability	Severity	Risk score	Risk definition					Probability	Severity	Risk score	Risk definition
5	WORKING AREA (GENERAL)	Electric transmission cables and connection points	Wearing off cables and loosening of their connections Electric shock, fire		ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	2	5	10	MEDIUM-LEVEL RISK	The strength of the connection points of the electrical cables should be checked continuously. Deformed cables and fasteners should never be used and should be replaced as soon as possible. Electrical installation checks should be carried out periodically.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	In a month at the latest	 Cable and cable fasteners in the enterprise should be checked continuously. It is recommended that the protective faces of the cables are laid in a sun-proof manner in order not to be damaged by the sun.	2	5	10	MEDIUM-LEVEL RISK

No	Department	Action	Hazard	Who may be affected by the risk	Probability	Severity	Risk score	Risk definition	Measures to be taken	Contact person	Deadline	Explanation / situation	Probability	Severity	Risk score	Risk definition
6	WORKING AREA (GENERAL)	Transformer Section	Transformers' cabins are not clean Electric shock, fire	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	3	4	12	MEDIUM-LEVEL RISK	Foreign materials should not be put in the panel cabinets and pollutions such as spider web should be cleaned.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE	In a month at the latest		3	4	12	MEDIUM-LEVEL RISK
7	WORK AREA (GENERAL)	Electricity	No insulating mat in front of the panels, not immobilized to the floor Electric shock, fire, injury, death	ALL EMPLOYEES	2	5	10	MEDIUM-LEVEL RISK	There should be an insulating mat in front of the panels and transformers.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	In a month at latest		2	5	10	MEDIUM-LEVEL RISK
8	WORKING AREA	Emergencies	Lack of fire detection and Being late in the intervention	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	3	5	15	MEDIUM-LEVEL RISK	Fire sensing detectors (heat and smoke sensitive detectors) and the siren system must be placed in the entire work area at certain intervals.	EMPLOYER /	In a month at the latest	It is thought that it would be beneficial to establish a system that sends a warning to the fire sensing detector and remote control system in order to notice and interfere in the fire early.	2	5	10	MEDIUM-LEVEL RISK
9	WORKING AREA (GENERAL)	Electricity	Non-control of grounding Electric shock, fire, injury, death	ALL EMPLOYEES	3	5	15	HIGH LEVEL RISK	All grounding installations (including static electricity grounding) should be checked by authorized technical personnel every year, and a report should be prepared by specifying the control values.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE	It must be kept under control continuously.	There are groundings in panel, transformers and lightning rods throughout the enterprise. Conformity checks are done with annual periods.	1	5	5	LOW RISK
10	WORKING AREA (GENERAL)	Transformer Section	Transformers' cabins are not clean Electric shock, fire	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	3	4	12	MEDIUM-LEVEL RISK	Foreign materials should not be put in the panel cabinets and pollutions such as spider web should be cleaned.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE	In a month at the latest		3	4	12	MEDIUM-LEVEL RISK



No	Department	13	12	11	10
	WORKING AREA (GENERAL)	WORKING AREA (GENERAL)	WORKING AREA (GENERAL)	TRANSFORMER SECTION	TRANSFORMER SECTION
Action	Panel Cleaning	Entering the facility	Battery Room	Transformer section	Transformer section
Hazard	Not using pure water	Not determining the operating area. Intrusion of third parties	Fire, explosion, deflagration	Unauthorized persons entering and	Unauthorized persons entering and
Risk	Electric shock, fire	Exposure to accidents of third parties and employees,	Injury, loss of limb, death	Injury, loss of limb, death	Injury, loss of limb, death
Who may be affected by the risk	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	ALL EMPLOYEES	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	ALL EMPLOYEES, THIRD PARTIES, CONTRACTOR COMPANIES	ALL EMPLOYEES, THIRD PARTIES, CONTRACTOR COMPANIES
Probability	2	2	3	3	3
Severity	4	4	5	5	5
Risk score	8	8	15	15	15
Risk definition	MEDIUM-LEVEL RISK	MEDIUM-LEVEL RISK	HIGH-LEVEL RISK	HIGH-LEVEL RISK	HIGH-LEVEL RISK
Measures to be taken	It is recommended to use pure water for cleaning the panels.	The Visitor Security instruction must be applied. The purpose of this instruction should be to determine the Occupational Health and Safety issues to be applied in the parts where dangerous works are performed in the workplace and to ensure that the works are done according to these provisions. In order to prevent intrusions into the business, the business is surrounded by a wire fence and its door is kept locked. It is also monitored by business security cameras.	Use of ex-proof (flame-proof) installation material Having outward-opening doors and windows, Switches, sockets and fuses are outside. Providing suitable ventilation, Not using a discharge panel in the battery room, Fixing the battery groups against earthquakes and shakes , Ensuring the use of appropriate PPE	People who do not have the qualifications specified in Article 60 of the EKAT Regulation will not be allowed into the transformer section. Visitors can enter after getting permission from the authorities and signing the relevant forms and in accordance with the regulations.	People who do not have the qualifications specified in Article 60 of the EKAT Regulation will not be allowed into the transformer section. Visitors can enter after getting permission from the authorities and signing the relevant forms and in accordance with the regulations.
Contact person	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER
Deadline	It must be kept under control continuously.	It must be kept under control continuously.	It must be kept under control continuously.	It must be kept under control continuously.	It must be kept under control continuously.
Explanation / situation	 <p>Panels get dirty over time and their efficiency decreases. Therefore, they must be cleaned at regular intervals. In the case of using conductive mains water during cleaning, being cracks in the panels or cables, a chassis may cause fire and / or electric shock. It is recommended to use insulating pure water during cleaning.</p>	 <p>At the entrance of the business, there is a sign that "no one can enter but the authority". The business is surrounded by a wire fence. It is monitored by security camera. Safety instructions should be created for visitors.</p>	 <p>It is made in accordance with the standards. Doors open to outside. There is a ventilation. There is also a ventilation fan that works when the temperature rises above 23 degrees.</p>	<p>The transformer section is kept closed and access of unauthorized persons is prevented.</p>	
Probability	1	1	1	1	1
Severity	3	3	5	5	5
Risk score	3	3	5	5	5
Risk definition	LOW RISK	LOW RISK	LOW RISK	LOW RISK	LOW RISK

No	Department	Action	Hazard	Risk	Who may be affected by the risk	Risk value			Measures to be taken	Contact person	Deadline	Explanation / situation	Risk assessment after measures				
						Probability	Şiddet	Risk score					Probability	Severity	Risk score	Risk definition	
17	WORKING AREA (GENERAL)	Electric transmission cables and connection points	Connections and sockets are loose	Electric shock, fire	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	2	5	10	MEDIUM-LEVEL RISK	MPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	It must be kept under control continuously.		Due to there is a risk of fire as a result of the inverter, AC cable connections and panel transition sockets being loose, these points should be kept under constant control. In addition, it is recommended to clean the inverter fans at certain intervals.	1	5	5	LOW RISK
16	WORKING AREA (GENERAL)	Panel and Transformers	Absence of emergency stop	Work accident-wrong action	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	2	5	10	MEDIUM-LEVEL RISK	MPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	It must be kept under control continuously.	The panels and transformers in the enterprise have emergency stop buttons. In addition, a control system is used so that it can stop and start the remote system. In addition, there is a separator at the point where the energy is connected to the main line.	1	5	5	LOW RISK	
15	WORKING AREA (GENERAL)	Routine Work	Personnel getting higher in the work area	Falling, injury	ALL EMPLOYEES	2	4	8	MEDIUM-LEVEL RISK	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	It must be kept under control continuously.		It is stated that the cleaning of the panels is done from the ground. In cases where panels and platforms need to be climbed, appropriate ladders and KKD should be used for people who climb high.	1	4	4	LOW RISK
14	WORKING AREA (GENERAL)	Panel and Transformers	Intra-business divisions are not specified, and no authorization is	work accident	ALL EMPLOYEES	2	4	8	MEDIUM-LEVEL RISK	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	It must be kept under control continuously.		Warning signs "no one can enter but the authority" are hung on the panels and transformers in the business.	1	4	4	LOW RISK


18	WORKING AREA (GENERAL)	Lightning rod	Stroke of lightning Injury, work accident, fire	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	2 5 10	MEDIUM-LEVEL RISK	It should be ensured that it is the lightning rod positioned in the most suitable place in the business. It should be ensured that lightning rods (active system) are placed in a suitable place by the authorized units. It should be ensured that the conductivity tests of the lightning rod are done continuously.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	It must be kept under control continuously.	There are two lightning rods in the business.	1 5 5	LOW RISK
----	------------------------	---------------	--	--	--------------	-------------------	--	---	---	---	-------------	----------

No	Department	Action	Hazard	Risk	Who may be affected by the risk	Risk value				Measures to be taken	Contact person	Deadline	Explanation/ situation	Risk assessment after measures			
						Probability	Severity	Risk score	Risk definition					Probability	Severity	Risk score	Risk definition
19	ELECTRIC PANELS	Electrical panels / Fuse boxes	Electricity	Electric shock, work accident, injury	ALL EMPLOYEES, MATERIAL LOSSES IN THE BUSINESS	2 5 10	MEDIUM-LEVEL RISK	Electrical Safety Instructions need to be implemented. Electric fuses must be thermal-magnetic (automatic). Precautions should be taken for materials such as switch that is at risk of burning.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	It must be kept under control continuously.	In order to prevent fires that may be caused by switch burns that frequently occur in the facility, studies have been started to monitor the system with a thermal camera.	1 5 5	LOW RISK				
20	WORKING AREA (GENERAL)	Transformer-Panel Section	Not supply and not being in use of occupational safety materials and hazard warning signs	Injury, loss of limb, death	ALL EMPLOYEES	2 5 10	MEDIUM-LEVEL RISK	Preparing the suitable safety material specification. Choosing the suitable safety material for the job. Applying the habit of using occupational safety material with adequate field inspections. Hanging the necessary danger and warning signs in the transformer center, wire fences, panel area and all necessary places in accordance with the regulations.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	It must be kept under control continuously.	 The suitable warning signs are posted in the necessary places in the business. People who do not have the necessary personal protective equipment are prevented from interfering with the electricity generation equipment of the enterprise.	1 5 5	LOW RISK				

21	ELECTRICAL PANEL	routine work	Waste collection	Biological-chemical risk, work accident	ALL EMPLOYEES	3 2 6	LOW RISK	The waste parts and scrap materials generated during and after production must be stored separately in appropriate waste collection depots.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	in 2 Months at the Latest	 At some points in the business, random material stocks were made. These materials should be stored properly so that they do not cause accidents.	3 2 6	LOW RISK
----	------------------	--------------	------------------	---	---------------	-------------	----------	---	---	---------------------------	--	-------------	----------

No	Department	Action	Hazard	Risk	Who may be affected by the risk	Probability	Severity	Risk score	Risk definition	Measures to be taken	Contact person	Deadline	Explanation / situation	Probability	Severity	Risk score	Risk definition
24	WORKIN AREA (GENERAL)	Weather conditions	Climatic and weather conditions Diseases that may require outpatient treatment	ALL EMPLOYEES, MATERIAL	2 3 6	2 3 6	2 3 6	LOW RISK	The place where the business is established should be evaluated in terms of the frequency of weather conditions such as storm, snow and hail. The use of broken panels should be prevented in order to prevent the panels from breaking due to hail and causing fire.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF EMPLOYER	It must be kept under control	The area where the business is established has been evaluated and selected in terms of exposure to the storm. In addition, the fixings made throughout the enterprise should be constantly checked to prevent damage in case of a storm. In case of hail in the area where the business is located, the panels should be checked and they should be replaced in case of damaged.	1 3 3	3 3 3	3 3 3	LOW RISK	
23	WORKIN AREA (GENERAL)	General Work	Lack of road allocated for safe walking in Work accident, fall	ALL EMPLOYEES	2 3 6	2 3 6	2 3 6	LOW RISK	A road should be allocated for safe walking in the work area.	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF EMPLOYER	In 2 months at the latest	 The roads used to access the boards and panels within the enterprise are covered with soil and grass. Suitable walking paths are recommended for access to these points.	2 3 6	3 3 3	3 3 3	LOW RISK	
22	WORKING AREA (GENERAL)	Pest Control	Pest, insect, gnawing animals, tick Contagious disease, biological risk, damage by gnawing on electrical cables due to lack of hygiene	ALL EMPLOYEES	2 3 6	2 3 6	2 3 6	LOW RISK	All kinds of measures will be taken to prevent pests, insects and gnawing animals in the workplace. All kinds of measures will be taken to destroy, insecticides and rodenticides required for their destruction will be used, the conditions that facilitate reproduction will be destroyed. Since it is in the business area, it should be also disinfected against the Crimean Congo hemorrhagic fever disease caused by ticks. Rodents should be prevented from gnawing on the cables.		in 2 Months at the Latest	 No precaution has been taken for ticks and rodents in the business. Nests of rodents were seen in the business. It is recommended to struggle with rodents against the risk of these rodents entering transformers, panels and cutting cables. It is recommended to pass the cables through the laryngeal tube.	2 3 6	3 3 3	3 3 3	LOW RISK	

No	Department	Action	Hazard	Risk	Who may be affected by the risk	Probability	Severity	Risk score	Risk definition	Measures to be taken	Contact person	Deadline	Explanation / situation	Probability	Severity	Risk score	Risk definition
----	------------	--------	--------	------	---------------------------------	-------------	----------	------------	-----------------	----------------------	----------------	----------	-------------------------	-------------	----------	------------	-----------------

25	WORKING AREA (GENERAL)	Panel and Panel Platforms	Metal Burrs	Injury	ALL EMPLOYEES, VISITORS	3	2	6	LOW RISK	Cleaning to prevent damage caused by metal burrs	EMPLOYER / REPRESENTATIVE OF THE EMPLOYER	In 2 months at the latest		There are metal burrs on some panels and platform parts in the enterprise. These burrs should be cleaned and their damages such as pricking and cutting should be prevented. In addition, unnecessary metal parts must be cut.	3	2	6	LOW RISK
----	-------------------------	---------------------------	-------------	--------	-------------------------	---	---	---	----------	--	---	---------------------------	--	--	---	---	---	----------

3. Results And Discussion

Due to its location, Turkey has high potential in terms of solar energy. Our country has an average of 7.5 hours of sunshine per day [21]. In the works done during the conversion of solar energy into electrical energy through energy panels, fixed electrical circuits and panels are used rather than manpower. There are no insured and full time employees. However, during the control of the system, the occupational safety of the technical staff who come to the power plant during outsourcing should be ensured in order to install new technological circuits and solve various problems caused by the environment.

Various hazards and risks are at stake during the installation of panels based on energy generation in the solar power plant, doing periodic controls and the installation of new panels by technical staff. These hazards and risks can be evaluated with a 5x5 L type Matrix risk analysis and work accidents and occupational diseases can be prevented by taking the necessary measures. The aim of occupational health and safety practices is to provide employees with a healthy and safe working environment by showing the necessary proactive approaches to work accidents and occupational diseases.

As a result of the 5x5 L type Matrix risk analysis, high-level risks were shown as four and red, medium-level risks as fifteen and yellow, low-level risks as five and green. The probability score was calculated for the identified risks and the regulatory and preventive action was specified. Hazards such as the lack of location, number and control of fire tubes, unauthorized and uninformed persons coming to the power plant for technical support, not taking measures against the possibility of fire and explosion in the battery room, and lack of grounding installation that should be done once a year at the latest or not being checked constitute high -level risks. Regulatory measures should be taken in a short time.

Risks arising from dangerous movements and situations such as not showing the passage route of the cables in the ground inside the facility, the entrance of people from outside the power plant to the power plant, loosening, abrasion and breakage of the electrical transmission cables and connections, the transformer cabinets are not in compliance with hygiene rules, the lack of insulating mats in front of the panels, the lack of fire detection and siren system in emergency situations or not working, not using pure water during cleaning of solar panels, not taking the

necessary measures when working at height in the power plant, the lack of emergency stop buttons and lightning rod are included in the medium-level risk group. Regulatory and preventive actions should be taken in the medium term to control these risks and prevent their harm.

Failure to store waste in the work area, to pest control and spraying, lack of a suitable walking corridor for employees and visitors in the work area, sunstroke in summer due to weather conditions, and lack of suitable place in case of cold and freezing in winter, damage caused by metal burrs in and around panel poles are defined as a low- level risk. Necessary measures should be taken in the long term.

Although the degree of risks identified may vary according to the prediction and interpretation of the observing occupational health and safety expert, the risk level remains the same. The necessary measures should be taken for identified risks and should be followed regularly. The risks identified in solar power plants are also close to each other in other solar and wind power plants. They are plants with low human factors. The risk analysis performed is a qualitative risk analysis. The response of the data obtained is expressed verbally as low, medium and high levels. In our country, occupational health and safety experts working actively in the field have difficulties in applying and interpreting Fine Kinney, which is not a quantitative analysis but a qualitative analysis. Therefore, 5x5 Matrix risk analysis is used to identify hazards and risks in the profession of occupational health and safety.

A study was done by Dündar and Ethem (2016) on the issues related to the measures to be taken in terms of occupational health and safety during the installation and field phase of solar power plants [22,24]. Çelik and Utku (2013) contributed to the literature on OHS in energy studies by working on the examination of possible situations to be experienced during the installation phase of the wind power plant in terms of occupational health and safety [23].

4. Acknowledge

I would like to thank Ahmet AKTAŞ, the owner of the solar power plant, and Asist.Prof.Dr. Berna GÜR and lecturer Ahmet Doğan ÇAKIR, who supported the preparation of the article.

References

- Külekcı, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 1(2), 83-91.
- Varınca, K. B., ve Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 270-275.
- Varınca, K. B., ve Varank, G. (2005). Güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, İçel, 24-25.
- Samantra, C., Datta, S., Mahapatra, S.S., (2017). Analysis of occupational health hazards and associated risks in fuzzy environment: a case research in an Indian underground coal mine. Int. J. Inj. Contr. Saf. Promot. 24 (3), 311-327.
- Gül, M., Ak, M. F., (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. Journal of Cleaner Production 196, 653-664.
- Yavuz, Ş., Gür, B., Yavuz, A. (2020). İmalat işlerinde çalışanlarda iş sağlığı ve güvenliği algı düzeyinin incelenmesi, Journal of Social and Humanities Sciences Research, 7(59), 2618-2627.
- Samantra, C., Datta, S., Mahapatra, S.S., (2017). Analysis of occupational health hazards and associated risks in fuzzy environment: a case research in an Indian underground coal mine. Int. J. Inj. Contr. Saf. Promot. 24 (3), 311-327.
- İlbarhar, E., Karas, an, A., Cebi, S., Kahraman, C., (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. Saf. Sci. 103, 124-136.
- Elmonstri, M. (2014). Review of the strengths and weaknesses of risk matrices, Journal of Risk Analysis and Crisis Response, Vol. 4, No. 1, 49-57.
- Altenbach, T (1995). “A comparison of risk assessment Techniques from qualitative to quantitative”, proceedings of the joint ASME/JSME pressure vessels and piping conference, Honolulu HI.
- Ekşioğlu, M. (2014). Türkiye’de iş sağlığı ve güvenliğinin genel durumu, öneriler ve sistem yaklaşımı. Ge-li-yo-rum Diyen Facia – Boğaziçi Üniversitesi Soma Araştırma Grubu Raporu, 167-181.
- International Organization for Standardization. (2009). ISO 31000:2009 Risk Management – Principles and Guidelines on Implementation.
- Tixier J., Dusserre G., Salvi O., Gaston D., (2002). Review of 62 Risk Analysis Methodologies of Industrial Plants, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 15(4), 291-303.
- Şenol, M. Yılmaz, N. (2017). İş Sağlığı Ve Güvenliği Risk Değerlendirme Süreci İçin Bulanık Çok Kriterli Bir Model Ve Uygulaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (1) , 0-0 . DOI: 10.17341/gazimmfd.30059
- Ölçücü, H, Ersöz Kaya, İ. (2019). Tehlikeli Atık Bertaraf Tesislerinde Meslek Hastalığı ve Biyolojik Faktörler Açısından Risk Değerlendirmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (17) , 1375-1382. DOI: 10.31590/ejosat.668653
- Erten, B, Utlu, Z. (2017). İlaç lojistik sektöründe risk analizi yapılarak 5x5 Matris, Fine Kinney ve FMEA yöntemleri ile risk değerlendirmelerinin karşılaştırılması: bir firma örneği. Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi, 12 (48), 1-14. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/abmyoder/issue/55975/767522>
- Aytekin, O., Kaya, M. Ü., Kuşan, H. (2015) Yapı İşlerinde Proje Tipi Çalışma Verilerine Uygun İSG Risk Değerlendirme Yönteminin Seçimi İçin Öneriler. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı. 127-136
- Usanmaz, D. Köse, E. (2019). Karşılaştırmalı Risk Analizi Metodlarının Bir Araştırma Merkezi İçin Uygulanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi, 2. International Mediterranean Symposium, 1, 140-158, Mersin, Türkiye.
- Birgören, B. (2017) Fine Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi. 9(1), 19-25.
- Aytekin, O., Kaya, M. Ü., Kuşan, H. (2015) Yapı İşlerinde Proje Tipi Çalışma Verilerine Uygun İSG Risk Değerlendirme Yönteminin Seçimi İçin Öneriler. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı. 127-136
- Taktak, F, İl, M . (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. Geomatik, 3 (1), 1-21. DOI: 10.29128/geomatik.329561
- Dündar, U. Ertem, M. (2016) Güneş Enerjisi Santrallerinin Kurulumu İçin Risk Değerlendirme Rehberi. Ankara: TMMOB.
- Çelik Ö., Utlu, Z. (2013). Rüzgâr Enerji Santrallerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Uygulamaları. İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, Yıl; 5, Sayı; 19, ss. 57/64.
- Acar, B. Sönmez, İ. (2020). Güneş Enerji Santralleri Kurulum Aşamasında Alınacak Olan İş Sağlığı Ve Güvenliği Önlemleri. Doğu Fen Bilimleri Dergisi, 3 (2), 95-108 .<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dfbd/issue/56837/78281>



Lojistik Etkinlik: Türkiye ve OECD

Mehmet Fatih Acar^{1*}

^{1*} İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7388-8720), mehmet.fatih.acar@ikc.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 6 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.826918)

ATIF/REFERENCE: Acar, M.F. (2021). Lojistik Etkinlik: Türkiye ve OECD. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 512-517.

Öz

Küreselleşme ile birlikte, şirketlerin tedarikçilerini de kapsayan değer zincir performansı oldukça önem kazanmıştır. Firmaların düzenli ve etkin çalışması, tedarikçileri ile olan uyumuna bağlıdır. Bu konuda sıkıntı yaşayan bir organizasyon, her ne kadar kurum içi performansı yüksek olsa bile, çeşitli problemler ile karşılaşabilir. Lojistik günümüz ticari hayatının en önemli işletme konularından biridir. Şirketler ve devletler, lojistik alanında kendilerini geliştirmeye ve bu konuda etkin olmaya çalışmaktadırlar. Bu bağlamda, Dünya Bankası 2007 yılından beri belli aralıklarla ülkelerin lojistik performansını gösteren Lojistik Performans İndeksi (LPI)'ni yayınlamaktadır. Bu indeksin “gümrük”, “altyapı”, “uluslararası sevkiyat”, “lojistik hizmetlerinin kalitesi”, “izleme / takip” ve “zamanındalık” gibi altı farklı alt boyutu vardır. Çalışmanın amacı 2007-2018 yılları arasında Türkiye'nin lojistik etkinliğini analiz etmektir. Araştırmada, 2007 yılından beri yayınlanan LPI sonuçları baz alınarak Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi kullanılmıştır. Bulunan lojistik etkinlik değerleri bakımından Türkiye ile Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) üye ülkeleri arasında karşılaştırma yapılmış ve Türkiye'nin düşük lojistik etkinliğe sahip olduğu bulunmuştur. Türkiye, başta altyapı olmak üzere LPI'nin tüm alt boyutları konusunda gerekli teknik ve yasal düzenlemeleri yapmalıdır. İlk olarak “gümrük” alt boyutu için bakıldığında, yürürlükte olan yasalar ve mevzuatlar günümüz şartlarına göre değiştirilmelidir. “Altyapı” için Türkiye ilgili yatırımlarını hızla devam ettirilmeli, “lojistik hizmetlerin kalitesi ve uluslararası sevkiyat” konularında da Türkiye kendini geliştirmelidir. “Takip ve izleme” alanında ise devlet tarafından uydu haberleşme, telekomünikasyon, radyo frekans sistemleri gibi teknolojik altyapının verimli kullanılması sağlanmalı, özel sektör tedarik zinciri operasyonları için takip ve izlemeye yönelik faaliyetlere özendirilmeli, gıda ve ilaç gibi soğuk zincir gerektiren sektörlerde yeni yasal düzenlemeler yapılmalıdır. “Zamanındalık” konusunda ise firmalar kendilerini iş etiği alanında geliştirmelidir.

Anahtar Kelimeler: Tedarik Zinciri, Lojistik, Lojistik Performans Endeksi, Türkiye, Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD).

Logistics Efficiency: Turkey and OECD

Abstract

With globalization, value chain performance, which includes both internal performances and suppliers, has gained importance for companies. The regular, efficient and effective operation of the companies depends on their compatibility with their suppliers. An organization that cannot coordinate with its suppliers may experience various problems, even though its internal performance is high. Logistics is one of the most important business issues of today's commercial life. Companies and governments improve themselves in logistics and try to be effective in this regard. In this context, the World Bank has been publishing the Logistics Performance Index (LPI), which shows the logistics performance of the countries periodically since 2007. This index has six different sub-dimensions such as "customs", "infrastructure", "ease of shipment arrangement", "quality of logistics services", "tracking and tracking" and "timeliness". The aim of this study is to analyze the logistics efficiencies of Turkey between the years 2007-2018. In this study, the logistic efficiency values found by using Data Envelopment Analysis (DEA) method according to LPI results published since 2007 are compared among the member countries of Organization for Economic Development and Cooperation (OECD). At the end of the study, in terms of logistics activities, Turkey was found to be in last places in OECD members. Turkey should make necessary technical and legal arrangements in all sub-dimensions of LPI.

Keywords: Supply Chain, Logistics, Logistics Performance Index, Turkey, Organization for Economic Development and Cooperation (OECD).

* Sorumlu Yazar: mehmet.fatih.acar@ikc.edu.tr

1. Giriş

Hızla artan rekabet ile birlikte lojistiğin önemi her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla organizasyonlar lojistik operasyonların önemini göz önünde bulundurmalıdır (Aktürk, 2019; Gelmez, 2020; Baki, 2019). Lojistik, ürün ve hizmetlerin bir yerden farklı bir noktaya akışını sağlamak için tedarik zinciri faaliyetlerinin planlanması ve yönetilmesi ile ilgilidir. Günümüzde devletler ve şirketler girdi maliyetlerini azaltarak finansal pozisyonlarını daha iyi duruma getirmek için, ürünlerin ve hizmetlerin doğru yerde doğru zamanda olmasını sağlayamaya ve transfer operasyonlarını en verimli hale getirmeye çalışmaktadırlar (Talay, 2020; Yılmaz ve Eryılmaz, 2020).

Küreselleşmenin sonucunda, ülkelerin ve şirketlerin tedarik zinciri faaliyetleri, zaman ve para açısından verimliliğe ulaşmada kritik bir öneme sahiptir. Günümüz ticari hayatında, gerçek rekabet firmalar arasında değil, tedarik zincirleri arasındadır (Christopher, 1992). Bu sebepten, yalnızca transfer faaliyetleri değil, aynı zamanda üretim planlama, stok yönetimi gibi değişik tedarik zinciri operasyonları da önemli hale gelmiştir. Örnek olarak; ulaşım altyapısı, yasalar, karayolları ve limanların kapasitesi direkt olarak lojistik faaliyetlerin verimliliğini etkiler. Bununla birlikte, firmalar için, personelin niteliği, depoların kapasiteleri, karayolu veya tren gibi farklı ulaşım kanallarının kullanılması ise tedarik zinciri performansının etkinliğini belirler.

Dünya Bankası'nın 2007 yılından itibaren belirli aralıklarla Lojistik Performans İndeksi'ni (LPİ) yayınlaması ile, ülkelerin lojistik faaliyetlerindeki etkinliğin karşılaştırılması daha kolay olmuştur. Bu indeks, ülkelerin lojistik faaliyetlerine ilişkin durumlar hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bu veriler, ülkelerin gümrük düzenlemeleri, lojistik maliyetleri ve kara-deniz-hava taşımacılığında kullandığı altyapının durumu ile ilgili genel bir perspektif sağlamaktadır.

LPİ, anket yöntemini kullanarak ülkelerin lojistik durumlarını altı farklı alt boyutta değerlendirmektedir. İndeksin boyutları; "gümrükler", "altyapı", "uluslararası sevkiyat", "lojistik hizmetlerin kalitesi", "izleme / takip" ve "zamanında teslimat"tır. (<https://lpi.worldbank.org/international>; erişim 12.05.2020).

Bu çalışmada, Türkiye ile OECD üye ülkeleri için LPİ'nin ilk yayınlandığı 2007 yılından son yayınlandığı 2018 yılına kadar olan veriler göz önünde bulundurulmuştur. Bununla birlikte, Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi kullanılarak ülkelerin lojistik etkinlik değerleri bulunmuş ve ülkeler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Araştırmada temel olarak cevapları aranan sorular şunlardır;

- 1)Türkiye'nin lojistik etkinliği süreç içinde nasıl değişmiştir?
- 2)Türkiye ile OECD ülkeleri kıyaslamasında, Türkiye artan lojistik etkinliğe sahip midir?
- 3)Türkiye, OECD ülkelerine kıyasla hangi alanlara öncelik vermelidir?

Makalenin devamı şu şekilde düzenlenmiştir; 2. bölümde LPİ ve Türkiye hakkında literatür taraması yapılmış, 3. bölümde ise Veri Zarflama Analizi ve Malmquist konusunda teknik bilgiler verilmiştir. 4. bölümde Türkiye ve OECD ülkeleri için etkinlik sonuçları gösterilmiş, 5. bölümde ise ilgili konu Türkiye açısından tartışılmıştır. Son kısım olan 6. Bölüm ise sonuçtur.

2. Literatür Taraması

LPİ ve Türkiye hakkında yapılan araştırmalar fazla olmamakla birlikte, son yıllarda farklı istatistik yöntemleri kullanılarak Türkiye ile çeşitli ülkeler arasında kıyaslama yapan makalelerin sayısı artmaktadır. İris ve Tanyaş (2011), 2010 LPİ verilerini baz alarak, Türkiye'nin lojistik verimliliğini tartışmışlar ve ilgili performansı artırmak için atılması gereken adımlardan bahsetmişlerdir. Danacı ve Nacar (2017), Türkiye ve Avrupa Birliği'ni göz önünde bulundurarak inceleme yapmışlar ve ülkelerin lojistik performansları ile Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiyi göstermişlerdir. Güner ve Coşkun (2012) ekonomik ve sosyal faktörlerin LPİ'yi etkisini incelemişler ve bu faktörler ile LPİ arasında anlamlı bir ilişki bulmuşlardır.

Ünal ve Yaraklı (2016), LPİ verilerine göre Türkiye'nin performans olarak ilerleme kaydettiğini ama sıralama anlamında çok fazla bir değişikliğin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Uca ve diğerleri (2015) ise çalışmasında Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) ile LPİ'yi göz önünde bulundurmışlar, LPİ'nin alt boyutları olan "gümrüklerin ve gümrükleme süreçlerinin verimliliği" ve "ticaret ve taşımacılıkla ilgili altyapı kalitesi" ile GSMH arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulmuşlardır. Erdoğan (2015), Türkiye'nin LPİ sonuçlarını göre ülkenin lojistik verimliliğini artırmak için nelerin yapılabileceğini tartışmışlardır. Erkan (2014), Küresel Rekabet Gücü İndeksi ve LPİ'yi beraber değerlendirmiş, teknolojik altyapı ve pazar büyüklüğünün LPİ'yi etkilediğini göstermiştir. Orhan (2019), Türkiye ile AB ülkeleri için LPİ verilerini incelemiş ve bunun için Entropi ağırlıklı Edas yöntemini kullanmıştır. Güngör ve diğerleri (2019) ise LPİ ve lojistik faaliyetlerin Akdeniz ülke ekonomileri için önemine bakmış ve "altyapı" ile "gümrük" boyutlarının yüksek GSYİH için önemli oldukları sonucuna ulaşmışlardır. Pekmezci ve Mutlu (2018) ise yazdıkları detaylı literatür taraması ile LPİ ve Türkiye konulu makalelerden bahsetmişlerdir

3. Materyal ve Metot

VZA, karar birimlerinin kendilerine göre göreceli etkinlik analizi için Charnes ve diğerleri (1978) tarafından geliştirilen matematiksel programlama ile kurgulanmış bir yöntemdir. Karar değişkenleri genellikle VZA terminolojisinde karar verme birimleri (KVB) olarak adlandırılır. VZA, geleneksel yöntemlere göre birçok avantaja sahip olduğundan değişik akademik araştırmalarda sık sık kullanılmaktadır. İlk olarak, VZA, her birim için karşılaştırılabilir bir puan vermekte ve birçok benzer birim arasında karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamaktadır. VZA verimli ve verimsiz birimleri tanımlamak için bir sınır (frontier) belirleyerek, KVB'ler arasında karşılaştırma yapılmasını sağlar. VZA, değişik ölçü birimlerine sahip farklı sayıda girdi ve çıktıyı göz önünde bulundurabilir. VZA'nın diğer bir avantajı, üretim işlevinin doğası hakkında herhangi bir varsayım ihtiyacı yoktur. VZA, girdi ve çıktılarının her biri için kaynakları ve verimsizlik düzeyini ortaya çıkarmaya olanak tanıyan göreceli etkinlik performansı verir (Sevklı vd., 2007).

3.1. Charnes-Cooper (CCR) Modeli

Farklı VZA modelleri, değişik senaryolar için çeşitli ihtiyaçlara göre ayrı ayrı sonuçlar verebilir. İki önemli VZA modeli, CCR (Charnes ve diğerleri, 1978) ve BCC (Banker ve diğerleri, 1984) modelleridir. Bu çalışmada, genel verimlilik dikkate alındığı ve ölçüğe göre sabit getiri varsayıldığı için CCR

modeli kullanılmıştır. BCC modeli ise saf teknik verimliliğini önemsemekte ve ölçüğe göre değişken getiriler varsaymaktadır.

VZA modeli, girdi veya çıktı odaklı olabilir. Girdi odaklı modeller, bir karar biriminin VZA açısından verimli hale gelmesi için girdi miktarını belirlemeyi amaçlar. Buna karşılık, çıktı odaklı model ise bir karar biriminin belirli girdilerinin VZA açısından verimli hale gelmesi için potansiyel çıktıları belirlemeye odaklanır. Kısacası girdi üzerinde değişiklik yapmak daha uygunsa girdi odaklı, eğer çıktılar üzerinde değişiklik yapmak daha uygunsa çıktı odaklı analiz yapmak gerekmektedir. Bu çalışmada amaç, lojistik performansın mevcut girdilerle nasıl artırılacağını belirlemek olduğu için çıktı odaklı VZA modeli kullanılmıştır.

Temel VZA modelini (CCR) matematiksel olarak göstermek istenirse, her bir karar verme biriminin (KVB'ler) belirli bir teknoloji seviyesinde n çıktının üretimi için m adet girdi kullanıldığı varsıldığında, X_{ij} , j'inci KVB'nin ($j = 1, 2, \dots, k$) m adet girdisinin i'inci ($i = 1, 2, \dots, m$) girdisini gösterirken, Y_{sj} ise, j'inci KVB ($t = 1, 2, \dots, k$) tarafından üretilen n adet çıktının s'inci ($s = 1, 2, \dots, n$) çıktısını temsil eder. u_r ($r = 1, 2, \dots, n$) ve w_i ($i = 1, 2, \dots, m$) değişkenleri sırasıyla her çıktının ve girdinin ağırlıklarıdır. Herhangi bir karar biriminin verimliliği ağırlıklandırılmış çıktı toplamlarının, ağırlıklandırılmış girdi miktarına oranıdır. Etkinliğin matematiksel model olarak gösterimi aşağıda verilmiştir (Acar, Erkoc ve Yılmaz; 2015).

$$Max = \frac{\sum_{r=1}^n u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m w_i X_{i0}} = 1 \quad (1)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^n u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m w_i X_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, 2 \dots k \quad (2)$$

$$u_r, ve w_i \geq 0 (r = 1, 2, \dots, n) ve (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

Bu model en iyi etkinlik değeri için etkinlik skorlarının en fazla 1 olduğu kısıtı altında en uygun u ve w değerlerini bulmaya çalışır. Sonsuz tane sonuçtan kaçınmak (Coelli ve diğerleri, 2005:163) için kurgulanan Charnes-Cooper modeli aşağıda gösterilmiştir (Acar vd., 2015).

$$Max = \sum_{r=1}^n \mu_r Y_{r0} \quad (4)$$

Kısıtlar ;

$$\sum_{i=1}^m w_i X_{i0} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^n \mu_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m w_i X_{ij} \leq 0 \quad (6)$$

$$\mu_r, ve w_i \geq 0 (r = 1, 2, \dots, n) ve (i = 1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

3.2. Malmquist İndeks (Mİ)

Malmquist indeksi, bir KVB'nin iki değişik zaman için, verimlilik değişimini değerlendirir. Bu "Yakalama Etkisi" ve "Sınır Değiştirme Etkisi" terimlerinin bir parçası olarak tanımlanabilir. "Yakalama Etkisi" değeri bir KVB'nin farklı iki zamandaki verimliliklerinin birbirine bölümüdür.

$$Yakalama Etkisi = \frac{KVB(O)'ın t2 zamanındaki verimliliği}{KVB(O)'ın t1 zamanındaki verimliliği} \quad (8)$$

Bir KVB'nin iki farklı zamandaki etkinliklerinin oranı bize tam olarak bir anlam ifade edemeyebilir. Çünkü belirli bir KVB'nin etkinlik sınırı (frontier) değişik zamanlarda ve farklı girdi/çıktı kümesine sahip KVB'lere göre belirlenir ve etkinlik sınırları benzer olmayabilir. Bu sebeple, farklı zamanlardaki etkinlik değerlerini aynı etkinlik sınırında buluşturmak için "sınır değiştirme" etkisi bulunur. Sınır değiştirme etkisi şu şekilde hesaplanır;

$$A1: \frac{KVB(O)'ın t1'deki girdiler ile t1 verimlilik sınırına göre verimliliği}{KVB(O)'ın t1'deki girdiler ile t2 verimlilik sınırına göre verimliliği} \quad (9)$$

$$A2: \frac{KVB(O)'ın t2'deki girdiler ile t1 verimlilik sınırına göre verimliliği}{KVB(O)'ın t2'deki girdiler ile t2 verimlilik sınırına göre verimliliği} \quad (10)$$

$$Sınır Değiştirme Etkisi = \sqrt{A1 * A2} \quad (11)$$

Formülden de anlaşılacağı üzere sınır değiştirme etkisi, A1 ve A2'nin geometrik ortalamasıdır. Malmquist İndeks (Mİ) ise Yakalama Etkisi ile Sınır Değiştirme Etkisi'nin çarpımıdır.

$$Mİ = Yakalama Etkisi * Sınır Değiştirme Etkisi \quad (12)$$

Mİ'nin 1'den büyük olması, zaman içinde etkinliğin arttığını, 1'e eşit olması zaman içinde etkinliğin değişmediğini, 1'den küçük olması ise zaman içinde etkinliğin azaldığını gösterir (Saitech, 2018).

4. Bulgular

Bu çalışmada CCR-çıktı tabanlı VZA modeli kullanılmıştır. Değişik araştırmalarda ve literatürde yer aldığı üzere (Arvis, 2007; Marti, 2017) LPİ'nin altı farklı boyutundan "gümrükler", "altyapı", "lojistik hizmetlerin kalitesi" girdi olarak, "uluslararası sevkiyat", "izleme / takip" ve "zamanında teslimat" ise çıktı olarak düşünülmüştür. LPİ verileri 2007 ile 2018 yılları arasında yayımlandığı için ayrıca Malmquist indeks değerleri de hesaplanmıştır. Veri olarak OECD'ye üye ülkeler ile Türkiye'nin LPİ değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Araştırmada yer alan analiz sonuçları DEA Solver 13 yazılımı ile elde edilmiştir.

Tablo 1'de ilgili yıllar için OECD'ye ülkeler arasında lojistik etkinlik değeri en yüksek beş ülke gösterilmiştir. Örnek olarak, 2007 yılında Avusturya, Danimarka, Almanya ve Hollanda, etkinlik değeri 1 olarak en etkin ülkeler olmuşlardır. Bu ülkeleri sırasıyla Japonya (0,96) izlemiştir. 2007-2018 yıllarına genel olarak bakıldığı zaman bazı ülkeler lojistik etkinlik bakımından öne çıkmaktadır. Özellikle Almanya, Hollanda ve Belçika çoğunlukla en etkin 5 ülke arasında yer almıştır. Bu ülkeler arasında da Almanya her sene en etkin ülke olarak kendini göstermiştir.

Tablo 2'de OECD'ye üye ülkeler için lojistik etkinlik değeri en düşük beş ülke 2007-2018 periyodu için gösterilmiştir. Örnek olarak, 2007 yılı için etkinlik anlamında en başarısız ülke Litvanya (0,37) olmuş, bu ülkeyi sırasıyla Slovenya (0,40),

Meksika (0,41), Letonya (0,42) ve Polonya (0,44) izlemiştir. 2007-2018 yıllarına genel olarak bakıldığında bazı ülkelerin lojistik etkinlik değerinin düşüklüğü bakımından sık sık son beş ülke arasında yer aldığı gözlenmiştir. Bu ülkeler Litvanya, Letonya, Slovenya ve Yunanistan'dır. Özellikle Litvanya, Letonya ve Slovenya, değişik yıllarda etkinlik değeri en düşük ülkeler olmuştur.

Tablo 3, Türkiye'nin yıllara göre lojistik etkinlik değerlerini, etkinlik değerine göre sıralamasını, Yakalama Etkisi (YE), Sınır Değiştirme Etkisi (SDE) ve Malmquist İndeks (Mİ) değerlerini göstermektedir. Mİ1, ardışık iki yıl için Malmquist İndeks değerini gösterirken, Mİ2 2007-2018 yılları arasındaki direkt Malmquist değerini gösterir.

Türkiye'nin etkinlik değeri 2007 yılında 0,62 iken, 2012 yılında 0,64 olmuştur. Türkiye'nin lojistik etkinliği, 2007-2018 yılları arasında dalgalı bir seyir izlemiş, özellikle 2018 yılında lojistik etkinlik puanı (0,33) oldukça düşük bulunmuştur. Türkiye'nin lojistik etkinlik bakımından OECD ülkeleri arasındaki sıralaması benzer şekilde dalgalı bir seyir izlemiş, 2007 yılında Türkiye 21. sırada iken 2018 yılında 34. sıraya kadar düşmüştür. Tablo 3'de YE, SDE, Mİ1 ve Mİ2 değerleri de gösterilmiştir. Mİ1 değerleri 2012 ve 2014 yıllarında 1'in üzerinde çıkmıştır. Bu durum Türkiye'nin 2012 ve 2014 yıllarında lojistik etkinliğinin bir önceki yıla göre arttığını göstermektedir. Her ne kadar 2014 yılında YE değeri (0,89) 1'in altında olsa bile, SDE etkisinin hesaba katılması ile gerçekte lojistik etkinliğin 2014 yılında 2012'ye göre arttığı söylenebilir. Fakat diğer yıllarda Mİ1 değeri 1'in altında kalmıştır. Mİ2 değeri (0,68) ise aynı şekilde 1'in altında kalmış ve Türkiye'nin 2007'den 2018'e kadar olan süreçte lojistik etkinliğinin azaldığı bulunmuştur.

5. Tartışma

Tedarik zinciri kavramı, artan ticari rekabet ile birlikte hem hükümetler hem de firmalar açısından çok önemli bir hale gelmiştir. Günümüzde firmalardan ziyade tedarik zincirleri birbiri ile rekabet etmektedir. Bu anlamda Dünya Bankası'nın yayınladığı Lojistik Performans İndeksi (LPİ), hükümetler açısından kendilerini değerlendirme adına değerli bir veri kaynağıdır. Bu çalışmada, Türkiye ve OECD'ye üye ülkelerin 2007-2018 yılları arasında yayınlanan LPİ verilerine göre VZA yöntemi ile hesaplanan etkinlik değerleri karşılaştırılmıştır.

Alt boyutlar için düşünüldüğünde Türkiye'nin etkinlik değerleri maalesef düşük seyretmiş ve zaman içinde lojistik etkinliği gerilemiştir. Bu sebepten, Türkiye LPİ alt boyutlarına göre kendini geliştirmelidir. İlk olarak "gümrük" alt boyutu için bakıldığında, yürürlükte olan yasalar ve mevzuatlar günümüz şartlarına göre değiştirilmelidir. Gümrükteki bürokratik işlemlerin azaltılması, vergi oranlarının düşürülmesi ve gümrük kapılarının çoğaltılması ile Türkiye'nin lojistik etkinliği artırılabilir. "Altyapı" için, Türkiye ilgili yatırımlarını hızla devam ettirilmeli, yarım kalan projeler bitirilerek, yeni projeler geliştirilmeli ve lojistik faaliyetleri kolaylaştırıcı (lojistik köyler vb.) adımlar atılmalıdır. "Lojistik hizmetlerin kalitesi ve uluslararası sevkiyat"

konularında da Türkiye kendini geliştirmelidir. Türk lojistik piyasasında yeterince rekabet koşullarının oluşması sağlanmalı özellikle demir ve deniz yolu taşımacılığında piyasa, altyapı ve hukuki sorunlara çözüm bulunarak çeşitli alternatif yolların lojistik operasyonlarda daha etkin kullanılması sağlanmalıdır. Örneğin, deniz taşımacılığında daha verimli olmak adına Kabotaj Kanunu güncellenmeli ve demiryollarının özel firmalar tarafından işletilmesi konusunda hukuki ve yasal anlamda gerekli adımlar atılmalıdır. "Takip / İzleme" alanında Türkiye kendini daha fazla geliştirmeli, özellikle devlet tarafından uydu haberleşme, telekomünikasyon, radyo frekans sistemleri gibi teknolojik altyapının verimli kullanılması sağlanmalıdır. Özel sektör, tedarik zinciri operasyonları için takip ve izlemeye yönelik faaliyetlere özendirilmeli, gıda ve ilaç gibi soğuk zincir gerektiren sektörlerde yeni yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Bununla birlikte, soğuk zincirde sürdürülebilirliği sağlamak adına kurumlar daha fazla denetlenmeli, özel şirketlerin ilgili alanda yeni yatırımlar yapabilmesi için çeşitli kredi ve teşvik sistemleri hayata geçirilmelidir. Zamanındalık konusu da diğer önemli bir konudur. Birçok konuda olduğu gibi, bu alanda da devletin ve özel sektörün yapması gerekenler vardır. Devlet tarafından, yol ve köprü gibi altyapı ihtiyaçları hızlıca giderilmelidir. Ayrıca gümrük mevzuatı ve çeşitli vergi düzenlemeleri gibi tedarik zinciri operasyonlarını yavaşlatan süreçleri hızlandırmak adına, günümüz şartlarına uygun kanuni ve hukuki adımlar atılmalıdır. Özel sektör tarafında ise, şirketler öncelikle iş ahlakı ve etik konusunda kendilerine daha fazla dikkat etmeli, ilgili konularda çalışanlarına eğitim vermelidir. Bu şekilde kurumlar, şirket ve ülke imajını arttırmaya çalışmalıdırlar. Firmalar, zamanında teslimat konusunda gerekirse çalışanlarına yaptırım uygulamalı ve bu konuda mümkün olduğunca hassas davranmalıdırlar.

6. Sonuç

Tedarik zinciri, ürünlerin ve hizmetlerin bir noktadan diğerine etkin ve zamanında transferini sağlamak için olan faaliyetlerdir. Küreselleşen ticaret ile birlikte, lojistik daha önemli hale getirmiştir. Bu durum ile bağlantılı olarak, Dünya Bankası ülkelerin lojistik operasyonları için 2007 yılından beri Lojistik Performans İndeksi'ni yayımlamaktadır. LPİ'nin "gümrük", "altyapı", "uluslararası sevkiyat", "lojistik hizmetlerinin kalitesi", "izleme / takip" ve "zamanındalık" olmak üzere altı farklı alt boyutu vardır. Bu çalışmada, yayınlanan tüm LPİ'ler için OECD ülkeleri ile Türkiye arasında, VZA yöntemi ile hesaplanan lojistik etkinlik değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak, Türkiye'nin genel anlamda lojistik etkinliğinin düşük seyrettiği bulunmuş ve Türkiye adına yapılması gereken düzenlemelerden bahsedilmiştir. Bu araştırmanın sınırlı yanı parametrik olmayan yöntem kullanılmasıdır ve lojistik verimliliklerini hesaplarken sadece gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerin dikkate alınmasıdır. Gelecekteki çalışmalarda, verimlilik değerleri oluşturmak için dünya çapında daha fazla ülke göz önünde bulundurulabilir ve ülkeler arası verimlilikleri karşılaştırmak için Stokastik Sınır Yöntemi gibi parametrik yöntemler kullanılabilir.

Tablo 1: Yıllara Göre Lojistik Etkinlik Değeri En Yüksek Beş Ülke

2007		2018	
Ülkeler	Etk. Değ.	Ülkeler	Etk. Değ.
Avusturya	1,00	Almanya	1,00
Danimarka	1,00	İsveç	0,97
Almanya	1,00	Japonya	0,87
Hollanda	1,00	Danimarka	0,84
Japonya	0,96	Belçika	0,82

Tablo 2: Yıllara Göre Lojistik Etkinlik Değeri En Düşük Beş Ülke

2007		2018	
Ülkeler	Etk. Değ.	Ülkeler	Etk. Değ.
Polonya	0,44	Litvanya	0,35
Letonya	0,42	Slovakya	0,33
Meksika	0,41	Türkiye	0,33
Slovenya	0,40	Meksika	0,33
Litvanya	0,37	Letonya	0,29

Tablo 3: Türkiye'nin Yıllara Göre VZA Sonuçları

	2007	2010	2012	2014	2016	2018
Etkinlik Değeri	0,62	0,39	0,64	0,58	0,42	0,33
Sıralama	21	35	27	25	34	34
YE		0,63	1,66	0,89	0,74	0,77
SDE		1,05	0,74	1,35	1,12	1,03
Mİ1		0,66	1,23	1,21	0,82	0,80
Mİ2						0,68

Kaynakça

- Acar, M. F., Erkoç, T. E., & Yılmaz, B. Türk Bankacılık Sektörü İçin Karşılaştırmalı Performans Analizi. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2(2), 1-11.
- Aktürk, C . (2019). Lojistik Maliyetlere Göre Teslim Tarihi Belirleme ve Bir Karar Modeli Önerisi . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (16) , 1-7 . DOI: 10.31590/ejosat.541481
- Arvis, Jean-François, Mónica Mustra, John Panzer, Lauri Ojala, and Tapio Naula (2007). Connecting to compete: Trade logistics in the global economy. The World Bank, Washington DC.
- Baki, R. (2019). The Impact of Information Technologies and Top Management Support on Supply Chain Performance: An

Empirical Approach for Turkey . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (17) , 916-926 . DOI: 10.31590/ejosat.654828

- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Models for estimating technical and returns-to-scale efficiencies in DEA. Management Science, 30(5), 1078-1092.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European journal of operational research, 2(6), 429-444.
- Christopher, M.L. (1992), Logistics and Supply Chain Management, Pitman Publishing, London.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. springer science & business media.
- Danacı, T. ve Nacar, R. (2017). "Comparing The Foreign Trade and Logistic Performance of Turkey and EU Members With

- Clusteer Analysis". Global Business Reshearch Congress (GBRC). 24-25 Mayıs 2017. İstanbul.
- Erdoğan, A. (2015). "Performance of Turkey in Logistics and Suggestions For Solutions to Improve Performance". Social Sciences Reshearch Journal. 4(1). 1-7.
- Erkan, B. (2014). Türkiye'de lojistik sektörü ve rekabet gücü. *Assam Uluslararası Hakemli Dergi*, 1(1), 44-65.
- Gelmez, E . (2020). The Mediation Role of Environmental Performance in the Effects of Green Supply Chain Management Practices on Business Performance . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (19) , 606-613 . DOI: 10.31590/ejosat.740202
- Güner, S. ve Coskun, E. (2012). "Comparison of Impacts of Economic and Social Factors on Countries' Logistics Performans: A Study With 26 OECD Countries". *Research in Logistics and Production*. 2(4). 329-343.
- Güngör, Ş., Dursun, E., & Karaoğlan, A. Lojistik Faaliyetlerin Akdeniz Ülke Ekonomileri İle İlişkisi. *İktisat Politikası Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 91-106.
- İris, Ç. ve Tanyaş, M. (2011). "Analysis of Turkish Logistics Sector and Solutions Selection to Emerging Problems Regarding Criteria Listed in Logistics Performance Index(LPI)". *International Journal of Business and Management Studies*. 3(1). 93-102.
- Martí L, Juan Carlos Martín & Rosa Puertas (2017) A Dea-Logistics Performance Index, *Journal of Applied Economics*, 20:1, 169-192, DOI: 10.1016/ S1514-0326(17)30008-9
- Uca, N. vd., (2015). "The Effect of The Components of Logistics Performance Index on Gross Domestic Product: Conceptual Model Proposal". *Eurasian Academy of Sciences Eurasian Business and Economics Journal*. 1(4). 86-93.
- Ünalın, M. S. ve Yapraklı, T.Ş. (2016). "Küresel Lojistik Performans Endeksi ve Türkiye'nin Son 10 Yıllık Lojistik Performansının Analizi". <http://hdl.handle.net/11508/8945>
- Orhan, M. (2019). Türkiye ile Avrupa Birliği ülkelerinin lojistik performanslarının Entropi ağırlıklı EDAS yöntemiyle karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1222-1238.
- Pekmezci M. Ve Mutlu M. (2018), "Türkiye'yi konu alan "lojistik performans indeksi" çalışmalarına yönelik bibliyometrik bir analiz" ıv. International Caucasus-Central Asia Foreign Trade and Logistics Congress, Didim/Aydın
- Sevklı, M., Lenny Koh, S. C., Zaim, S., Demirbag, M., & Tatoglu, E. (2007). An application of data envelopment analytic hierarchy process for supplier selection: a case study of BEKO in Turkey. *International Journal of Production Research*, 45(9), 1973-2003.
- Talay, I., (2020). Soğuk Zincir Lojistiği Gerektiren Uluslararası Ticarete Nesnelere İnternetinin Kullanımı, Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 55(2), 1169-1187
- World Bank, <https://lpi.worldbank.org/international>. Erişim tarihi: 05.07.2020
- World Bank, <https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI%20Methodology.pdf>, Erişim tarihi: 05.07.2020
- World Bank, <https://lpi.worldbank.org/about>, Erişim tarihi: 05.07.2020
- www.saitech-inc.com/index.asp
- Yılmaz, D. – Eryılmaz, F. 2020. Dünya Ticaret Korumacılığının Finansal Piyasalara Etkisi: Türkiye için Bir Analiz, Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 55(1), 616-635



Probiyotikler ve Kadın Sağlığı Üzerine Etkileri

Hatice Kübra Yılmaz^{1*}, Kübra Derya İpek²

^{1*} Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7750-6024>), kubrayilmaz@halic.edu.tr

² Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1037-4095>), kubraderya@halic.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 5 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.827669)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz, H. K., Derya İpek, K. (2021). Probiyotikler ve Kadın Sağlığı Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 518-523.

Öz

Probiyotikler, ağız yoluyla yeterli miktarda alındığında konakçısının sağlığına faydalı olan sindirim kanalı mikroorganizmalarıdır. Probiyotikler; insan kaynaklı olup patojen ve toksijenik olmama, bağırsak hücre epiteline tutunabilme, antimikrobiyal özellikte salgı yapabilme, mide asidi ve safraya dirençli olma ve konakçının sağlığına olumlu etki yapabilme gibi özelliklere sahip olarak patojen mikroorganizmaların inhibisyonunu sağlar, gastrointestinal mikrobiyotayı iyileştirerek gıdaların sindirilebilirliğini artırır, immün sistemi destekler, kan kolesterol seviyesini düşürür ve prebiyotiklerin emilimini artırıcı etki gösterir. Laktik asit bakterileri; probiyotiklerin tüketicinin sağlığı üzerinde yarattığı etkilerin en ayrıntılı olarak araştırıldığı mikroorganizma grubudur. Mikrobiyota, belirgin bir ekolojik yer veya çevre içerisinde bulunan mikroorganizmalar topluluğu olarak tanımlanmaktadır. Kadın üreme sistemi mikroorganizma florası; üreme sağlığı, gebelik ve yeni doğan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Mikrobiyota gelişimine etkisi olan temel faktörlerin başında doğum şekli, annenin mikrobiyotası, anne sütü alımı, antibiyotik/probiyotik kullanımı, beslenme ve bakterilere çevresel maruziyet bulunmaktadır. Probiyotikler, gebelik komplikasyonlarının ve maternal metabolizma ile ilgili olumsuz sonuçların önlenmesi için güvenli bir terapötik araç olacak potansiyele sahip olduğu çalışmalar ile desteklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Mikrobiyota, Probiyotik, Sağlık.

Effects of Probiotics on Women's Health

Abstract

Probiotics are digestive tract microorganisms that, when taken orally, are beneficial to the health of their host. Probiotics; It is of human origin, not being pathogenic and toxigenic, holding on to the intestinal cell epithelium, having antimicrobial properties, being resistant to gastric acid and bile and having a positive effect on the health of the host, it provides inhibition of pathogenic microorganisms, improves the digestibility of food by improving the gastrointestinal microbiota, supports the immune system, It reduces the blood cholesterol level and increases the absorption of prebiotics. Lactic acid bacteria; It is the microorganism group in which the effects of probiotics on the health of consumers are studied in the most detailed way. Microbiota is defined as a community of microorganisms found in a specific ecological location or environment. Microorganism flora of the female reproductive system; It is very important for reproductive health, pregnancy and newborn health. The main factors affecting the development of microbiota are the mode of delivery, the mother's microbiota, breast milk intake, antibiotic / probiotic use, nutrition and environmental exposure to bacteria. Probiotics are supported by studies that have the potential to be a safe therapeutic tool for preventing pregnancy complications and negative consequences related to maternal metabolism.

Key words: Health, microbiota, probiotic.

1. Giriş

Bir toplumun sağlık durumu, sağlıklı bireylerin varlığı ile değerlendirilir. Kadın sağlığı, öncelikle ailelerin ve toplumun sağlık durumuyla yakından ilişkili olduğu için ele alınmalı, korunmalı ve geliştirilmelidir. Çünkü kadın sağlığı ve beslenmesinden kaynaklanan sorunlar çocuklar aracılığı ile gelecek nesillere aktarılır. Sağlıklı bir yaşam sürdürmede beslenme alışkanlıkları önemli bir rol oynamaktadır. Beslenme, yaşam döngüsü boyunca sağlığı ve büyümeyi destekleyen kilit bir unsurdur. Yaşamın her döneminde dengeli ve yeterli beslenme önemli olduğu gibi gebelikte de büyük önem taşımaktadır (İrge, Timur, Zincir, Oltuluoğlu & Dursun 2005).

Gebelik süresince annenin yaşam şekli ve beslenme durumu kendi sağlığını etkilediği gibi bebeğin sağlığı için de büyük öneme sahiptir. Gebelik süresince, annenin aldığı besin öğelerinin plasenta ile bebeğe taşınmasıyla bebek büyür. Bebeğe taşınan bu besin öğeleri annenin kendi gereksinimine ek olarak düşünülmelidir (Baysal 2000). Yetersiz beslenmede; bebek ihtiyaçlarını annenin depolarından karşılamaktadır. Fakat; gebe kadının yetersiz ve dengesiz beslenmesi fetüste ölüme, prematüre doğuma, konjenital bozukluklara, mental ve fiziksel geriliklere de neden olabilmektedir. Anne adayında ise aşırı kilo alma veya zayıflama, diş çürükleri, anemi, osteomalasi gibi birçok hastalığa sebep olabilmektedir (Baysal 2000).

İnsan vücudu, her ne kadar bakterilere karşı koruyucu bir mekanizmaya sahip olsa da özellikle bazı vücut bölümleri mikroorganizmaların yaşamını devam ettirebilmesi için doğal bir ekosistemdir. Gastrointestinal sistemde mikroorganizmalar en fazla kalın bağırsakta yer alır ve bunların büyük çoğunluğunu bakteriler oluşturur. Bakteriyel kolonizasyon doğum ile başlamaktadır. Normal doğum ile (vajinal yolla) doğan bebeklerin bağırsak florası annenin vajen florasıyla uyumlu olup Laktobasillus ağırlıklı iken, sezaryen ile dünyaya gelen bebeklerin ise bağırsak florası Clostridium ağırlıklıdır. Bebek bir yaşına gelesiyeye kadar bağırsak florasında Actinobacter ve Proteobacter yoğunlukludur, 2 yaş civarında ise artık erişkin florasına benzer hale gelmektedir. Sağlıklı birey mikrobiyotası denildiğinde; bağırsak mikrobiyotasındaki mikroorganizmaların metabolik ve başka moleküler düzeyde bütüncül bir biçimde sağlıklı işlevselliğini devam ettirmeleri anlamı çıkarılmaktadır. Bu mikroorganizmaların çeşitleri ve birbirlerine oranları kişiden kişiye değişiklik gösterebilmektedir (Ersöz & Gülerman 2019).

Antimikrobiyal tedaviler, aşılama, dezanfektan temizlik ürünlerinin yoğun şekilde tüketimi ve beslenme alışkanlıkları değişiklikleri gibi modern yaşamdaki gelişimle beraber mikrobiyomda derin ve kalıcı etkiler oluşmaktadır. Bağırsak mikrobiyotasındaki değişimler Clostridium difficile enfeksiyonu, irritabl bağırsak sendromu, metabolik bozukluklar ve obezite, alerjik ve otoimmün hastalıklar, otizm gibi nöropsikiyatrik bozukluklara neden olmaktadır (Evensel & Ceylan 2015). Artan kanıtlar bu hastalıklar ile mücadelede, mikroorganizma, yani probiyotik içeren gıdaların tüketiminin sağlık için faydalı olduğunu göstermektedir (Narayan, Jalgaonkar., Shahani & Kulkarni 2010).

2. Probiyotikler

Probiyotik kavramı Yunancada “pro bios” kelime köklerinden oluşmakta ve “yaşam için” anlamına gelmektedir. Yeterli miktarda alındığında konakçı üzerinde sağlığa faydalı

etkiler sağlayan canlı mikroorganizmalar olarak ifade edilmektedir (Yurttaş & Yılmaz 2017).

Probiyotik bakteriler mukoza epitellerine yerleşerek patojenlerin buraya tutunmalarını önlemektedir (Baysal 2000). Laktik asit bakterileri; probiyotiklerin sağlık üzerine etkilerinin en ayrıntılı olarak araştırıldığı mikroorganizma grubudur. Hayvanlar ve insanların bağırsaklarında izole edilen Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus paracasei ve Bifidobacterium türleri, bu amaçla en sık kullanım alanına sahip bakteriler olarak karşımıza çıkmaktadır (Uymaz 2010). Probiyotik bakteriler vücuda alınarak kolana ulaştıklarında, intestinal mikrobiyel dengeyi geliştirerek zenginleştirmekte, alıcı reseptörlere bağlanarak patojen mikroorganizmaların yaşam alanını daraltmakta, patojen ajanların ise dışkı ile vücuttan atılmasına olanak vermektedir. Probiyotik bakterilerin biyoterapötik etki gösterebilmesi için; konakçı canlıının vücuduna alması gereken bakteri konsantrasyonunun minimum 106 kob/g, kabul edilebilir düzey olarak ise 107-108 kob/g arasında olması gerektiği belirtilmektedir (Delikanlı & Özcan 2014).

2.1. Probiyotik Bakterilerde Bulunması Gereken Özellikler

Probiyotik bakterilerin, üründe yeterli sayıda canlı biçimde yaşayabilmeli, patojen ve toksijenik olmaması gerekmektedir. Bununla birlikte; klinik etkinliğinin ortaya konulmuş olmalı, mikrobiyotaya içinde kolay tanımlanabilir olmalı, depolamaya dayanıklı olmalı, ürünün lezzet ve tadına olumsuz etki etmemeli, bağırsak mukozasına tutunarak çoğalabilmeli, antimikrobiyal özellikte salgı yapabilmeli, sindirim sisteminde geçici olarak kolonize olabilmeli, konakçıda immünolojik duyarlılık, sistemik toksisite ve dirençli mikroorganizmaların gelişmesine sebep olmamalı, gastrointestinal sistemdeki düzensizlikleri kontrol altına alabilmeli, mikroorganizmanın adaptasyon yeteneğini kolaylaştırmak için insan orijinli suşlar seçilmeli ve bununla birlikte metabolik aktiviteyi düzenleyebilmelidir (Baysal 2000, Delikanlı & Özcan 2014, Ceyhan & Aliç 2012).

2.2. Probiyotiklerin Etki Mekanizmaları ve Faydaları

Besinlerin besleyici değeri içinde bulunan besin öğelerinin yeterli oranda emilebilir ve sindirilebilirliğine bağlı bulunmaktadır. Probiyotikler; karbonhidrat, protein ve yağların bakteriler tarafından oluşturulan birçok farklı enzim ile bir ön fermente işleminin yapılmasını sağlamakla birlikte onların besin değerini artırıp sindirimlerinin kolaylaşmasına imkan vermektedir. Örneğin; fermantasyon işlemi görmüş süt ürünlerinde bulunan çeşitli mineraller ve kalsiyumun daha iyi absorbe edildiği ve ürünün biotin, folat, pantotonic asit, niasin, B12, B6 gibi B grubu vitaminleri bakımından süte kıyasla daha zengin olduğu belirtilmektedir (Kadooka, Y., Sato, M., Ogawa, A., Miyoshi, M., Uenishi, H., Ogawa & Tsuchida 2013). Probiyotik bakterilerin; bağırsak florasında olması gereken düzeyde yer aldıklarında, vitamin ve amino asit sentezledikleri ifade edilmektedir. Bu bakteriler tarafından üretilen vitaminlerin en önemlileri ise; tiyamin (B1), riboflavin (B2), piridoksin (B6) ve naftokinon (K) olarak belirtilmektedir (Çetinbaş, Kemeriz, Göker, Biçer & Velioğlu 2017).

Probiyotik bakteriler, bağışıklık sisteminin düzenlenmesinde de önemli etkiye sahiptir. Buna ek olarak, vücuda zararlı etkiye sahip mikroorganizmalarla yarışarak onların bağırsak epitellerinden dolaşım sistemine girişini engellemek için yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte bu mikroorganizmaların alerjik hastalıklara karşı hem koruyucu rol oynamakla birlikte tedavi edici özellikler taşıdığı da belirtilmektedir. Örneğin "atopik dermatit" olarak adlandırılan, temasla bağlı alerjilerin, probiyotiklerin kullanımı ile başarılı olarak tedavi edildiği birçok çalışma ile desteklenmektedir. Probiyotiklerin grip, nezle, sinüzit, orta kulak iltihabı gibi üst solunum yolu enfeksiyonları ile zatürre, bronşit gibi alt solunum yolu enfeksiyonlarının tedavisinde etkili bir şekilde başarılı olduğu ve mevcut hastalıklara karşı koruyucu etki gösterdiği çalışmalarla desteklenmiştir (Çetinbaş, Kemeriz, Göker, Biçer & Velioglu 2017).

Probiyotiklerin; rotavirus veya antibiyotiğe bağlı ishal ve laktöz intoleransındaki yakınmaları önleme ve azaltma, sağlıklı insanlarda gastrointestinal yakınmaları önleme ve azaltma, inflamatuvar bağırsak hastalığı ile Helikobakter pileri enfeksiyonu ve bakteriyel aşırı büyümedeki mikrobiyal dengesizlikleri azaltma, inflamasyon ve diğer yakınmaları azaltma, bebeklerde alerji ve atopik hastalıkların alevlenmesini önleme gibi insan sağlığını önemli ölçüde etkilediği çalışmalarla desteklenmiştir (Koca 2015).

2.3. Probiyotiklerin Kullanım Biçimleri

Probiyotik bakteriler; doğal probiyotik içeren besinler (fermente süt ürünleri, turşu gibi), besinlere ve içeceklere bu bakterilerin canlı hücrelerinin eklenmesiyle (meyve suları, çikolata, et ürünleri vb.) ve probiyotik bakterilerin canlı hücrelerinden hazırlanan farmakolojik ürünler olarak tablet veya kapsüllerin hazırlanması şeklinde üç temel kaynaktan sağlanmaktadır. Oldukça önemli probiyotik süt ürünlerinden biri yoğurttur. Buna ek olarak; Lactobacillus acidophilus içeren diğer süt ürünleri olan Acidophilus'lu süt, Acidophilus'lu tereyağı, Acidophilus'lu süt tozu da bu grupta yer alan diğer ürünler arasında bulunmaktadır. Düzenli olarak yoğurt ile beslenme ile organizmaya patojen bakteri bulaşımının azaldığı çalışmalarla saptanmıştır (Ceyhan & Aliç 2012).

Yoğurtla benzerlik gösteren kefirin yapısında da Lactobasil türü bakteriler çoğunlukta olmak üzere çeşitli bakteriler ve mayalar bulunmaktadır. Kefirdeki yararlı mikroorganizmalar bağırsak mukozasına yerleşir ve burada bulunan zararlı maya ve bakterilerin temizlenmesine yardım eder ve gastrointestinal kanalda yararlı bakterilerin artışına ve gelişimine katkı sağlar. Escherichia coli gibi patojenler ve bağırsak parazitlerine karşı vücut direncinin daha etkin hale gelmesinde etkilidir (Karademir & Yücel 2008). Laktobasiller, Bifidobakteriler, Enterococcus, Streptococcuslar'ın kullanıldığı fermente yoğurtlar ile peynir, turşu, ekmek, şarap, bira, kırmız ve kefir probiyotiklerin önemli besinsel kaynaklarıdır (İnanç, Şahin & Çiçek 2005).

2.4. Kadın Üreme Sistemi Mikrobiyotası

İnsan, %10 insan hücresi ve %90 mikrobiyal hücrelerin bileşiminden oluşan bir süperorganizmadır. İnsan vücuduyla simbiyotik olan bu bakteri topluluğu "İnsan Mikrobiyom Projesi" ile beraber mikrobiyotaya olarak tanımlanmaktadır (İsmailoğlu & Öngün Yılmaz 2019).

İnsan vücudunda; yaklaşık 1014 mikroorganizmanın yani insanın kendi mevcut hücre sayısının en az on katı olacak

şekilde vücutta yer aldığı, bunların yüzde yetmişinden fazlasının da kolona yerleştiği ve gastrointestinal sistemde 35.000'den daha fazla bakteri türünün yaşadığı düşünülmektedir. İntestinal mikrobiyotaya; daha çok Bacteroides ve Firmicutes'ların bulunduğu anaerob bakterilerden meydana gelmekle birlikte beslenme başta olmak üzere vücuttaki fizyolojik, metabolik, immünolojik ve nöral işlevlerde etkin olarak bulunmaktadır (Güney & Çınar 2017).

Mikrobiyotaya gelişiminde etken olan başlıca yer alan faktörler arasında; doğum şekli, annenin mikrobiyotası, anne sütü alımı, bakterilere çevresel maruziyet, antibiyotik, probiyotik kullanımı ve beslenme yer almaktadır. Mikrobiyotaya gelişimi tamamlandıktan sonra da mikrobiyotanın kompozisyonu ve fonksiyonu aynı şekilde benzer etmenlerden etkilenmektedir. Beslenme, mikrobiyotada oluşan pek çok değişikliğin başlıca sorumlusu olarak karşımıza çıkmaktadır ve düzenlenebilir bir etmen olması sebebiyle de oldukça göz önünde bulundurulmaktadır (Derya İpek & Öngün Yılmaz 2018). Filogenetik analizler dikkate alındığında, üreme çağındaki kadınların vajinal mikrobiyotasının beş farklı hakim mikroorganizma ile gruplaşma (community state types (CSTs)) eğiliminde olduğu gösterilmektedir. Bu 4 topluluk sırasıyla; Lactobacillus (L) crispatus, L. gasseri, L. iners ve L. jensenii olarak sıralanmaktadır. Beşinci olarak flora gruplarından biri olan; Anaerococcus, Peptoniphilus, Prevotella, Streptococcus, Atopobium ve Gardnerella da dahil olmak üzere çeşitli anaerobların hakim olduğu ve daha düşük sayılarda Lactobacillus türleri bulunan bir gruptur. Menopozu takiben, östrojen azalması ve vajinal atrofi gelişimi bağlantısında Lactobacillus türlerinin azalmasının, diğer mikroorganizmalar açısından çeşitliliğin artışına sebep olduğu düşünülmektedir. Birden çok etnik gruba sahip gebe olmayan, üreme çağındaki kadınlarda sağlıklı bir vajinal mikrobiyomun göstergesi, Lactobacillus türünün etkisidir. Bu bakteri anaerobik nişlerde gelişmekte olup laktik asit üreterek vajinal çevreye destek olmaktadır. Cinsel yolla bulaşan enfeksiyon ve idrar yolu enfeksiyonları gibi artan enfeksiyonlardan uterusun korunmasına Lactobacillus gibi laktik asit üreten türlerin destek olduğu düşünülmektedir (Örüklü & Hotun Şahin 2018).

Mikrobiyal topluluklar, her bireyin eubiosis statüsünde önemli bir rol oynamaktadır. Doğal durumunda (disbiyoz) bir değişikliğin, bakteriyel vajinoz, polikistik over sendromu (PCOS), endometriyal hiperplazi ve endometriozis gibi endokrin ve metabolik bozukluklara ve obezite ve diyabet gibi çeşitli komorbiditelere katkıda bulunduğu gösterilmiştir (López-Moreno & Aguilera 2020).

Laktobasiller; kadın genital kanalının sağlığının korunması ile genitoüriner enfeksiyonların önlenmesinde büyük bir role sahiptir. Vajinal disbiyosis, daha az laktobasil yükü ya dalaktobasil olmayan polimikrobiyal popülasyonların mevcudu ile karakterizedir. Vajinal disbiyosis ile ilişkili klinik durumlardan olan bakteriyel vajinozis (BV); vajinal mikrobiyomun en iyi tanımlanmış ve en yaygın dengesizliklerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Sağlıklı vajinal çevre Lactobacillus türlerinden çoğunlukla L. crispatus ve L. jensenii baskın olduğu bir ortamdır fakat BV, Lactobacillus türlerinin'nin hakim olduğu normal asidik ortamı değiştiren Gardnerella Vaginalis gibi artan sayıda anaerob ve fakültatif anaeroblarla heterojen mikrobiyal bir ortam ile karakterize olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte BV'in gebe kalabilme oranında azalma ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. BV tedavisinde laktobasil içeren probiyotik

suşlarının bulunduğu çeşitli farmasötik formülasyonların kullanıldığı çalışmalarda, laktobasil içeren probiyotikler BV belirtilerini azaltarak, vajinal mikroflora profilini iyileştirmekle birlikte çoğunlukla iyi tolere edilmiştir (Yuvacı & Cevrioğlu 2017).

Günümüzde bakteriyel vajinoz (BV), vajinal disbiyozun en yaygın formlarından biridir ve spontan preterm doğum, kürtaj ve endometrit gibi jinekolojik komplikasyonlarda rol oynar. BV, probiyotikler kullanılarak vajinal mikrobiyota ortamının yeniden düzenlenmesi ile tedavi edilebilir (López-Moreno & Aguilera 2020).

2.5. PKOS Tedavisinde Probiyotik Kullanımı

Polikistik over sendromu, santral sinir sistemi, hipofiz, overler, adrenal bezler ve ekstra glandüler dokular arasında etkileşimlerin bozulması ile ilişkili olarak yaşamın herhangi bir döneminde sıklıkla ortaya çıkabilen, kronik seyrederek yaşam kalitesini olumsuz olarak etkileyebilen karmaşık bir hastalık olarak karşımıza çıkmaktadır. PKOS'ta ilaç tedavisine ek olarak beslenme tedavisinin yapılması da oldukça önemli bir etkiye sahiptir (Bıyıklı & Şanlıer 2013).

Probiyotiklerin potansiyel yararları son dönemde özellikle gastro-intestinal ve genito-üriner kommensal flora üzerinde oynadıkları düzenleyici rol nedeni ile yoğun olarak üzerinde çalışılan bir konu olmuştur. Vajinal yolla uygulanan kapsüllerin kullanımı lokal *Lactobacillus* yoğunluğunu arttırmak için etkili bir yöntemdir. Oral formların etkinlik gösterebilmesi için ise gastro-intestinal sistem boyunca bütünlüğün korunması gerekir. Oral formlar 28-60 gün içinde etkisini gösterirken, vajinal formlarda 3 gün içerisinde vajinal bakteriel kolonizasyon sağlanmaktadır. Fakat, yapılan çalışmalar oral formların kullanımında tekrarlama, direnç ve uzun dönem koruyuculuk açısından daha iyi sonuçlar elde edildiğini vurgulamaktadır. PKOS ve özellikle alt instestinal mikrobiota arasındaki ilişki net olmakla beraber, tedavi planlanmasına katkısı açısından daha detaylı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Sert & Bozkurt 2018).

2.6. Gebelik ve Laktasyon Dönemi Probiyotik Kullanımı

Gebelikte birlikte; annenin vücudunda birçok değişiklik meydana gelmekte ve mikrobiyotasında da farklılaşma meydana gelmektedir. İntestinal ve süt bezlerindeki mikrobiyotanın değiştiği, gebeliğin son dönemlerindeki anne sütünde bazı bakterilerin bulunduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışmalar, gebelik ve laktasyon dönemi boyunca annenin instestinal mikrobiyotasında bulunan bakterilerin instestinal immün hücreler ile ilişkili bir mekanizma ile süt bezlerine ulaştığını desteklemektedir. Annenin beslenmesi gastrointestinal, vajinal ve anne sütü mikrobiyotası üzerinde fazlasıyla önemli etki göstermektedir. Gebeliği boyunca antibiyotik ve probiyotik kullanan annenin instestinal mikrobiyotası ile bebeğinin mikrobiyotası etkilenmektedir. Anne sütü mikrobiyotasının geliştirilmesine yönelik gebelik ve laktasyon sürecinde anneye uygulanan probiyotik ve prebiyotik takviyelerin anne sütü mikrobiyotasını etkilediği saptanmıştır. Fakat bu girişimin bebek mikrobiyotasının gelişimi ve sağlığı üzerindeki etkisini inceleyen daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Güney & Çınar 2017).

Gebelerde doğumdan 2 ay önce başlanan ve emzirmeyi takip eden 2 ay boyunca devam eden probiyotik kullanımı ve plasebo verilen grupların çalışmasında *Lactobacillus rhamnosus* + *Bifidobacterium longum* ve *Lactobacillus paracasei* + *Bifidobacterium longum* desteği alan gebelerin çocuklarında doğumdan itibaren 2 yıl süreyle egzema gelişimine karşı koruma saptanmıştır. Yapılan iki randomize kontrol çalışmasında probiyotik suplementasyonunun gestasyonel diyabet riskini önlemede etkisi olduğu belirtilmiştir. Gebelikte probiyotik kullanımının gebe üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada ise sindirim sistemi üzerine olumlu etkileri gözlenmiştir (Uzdil & Özenoğlu 2015).

Gestasyonel diyabeti olmayan sağlıklı hamile kadınlar ile yapılan bir çalışmada 9 hafta boyunca probiyotik yoğurt tüketiminin tüm lipid seviyelerinde önemli bir düşüşe yol açtığı gözlenmiştir. Buna ek olarak probiyotik alımının, anti-inflamatuar etkileri, artmış bakteriyosin üretimi ve butirik asit gibi kısa zincirli yağ asitleri üretimi ve inflamasyonu azaltarak gestasyonel diyabet hastalarında insülin direnci belirteçlerini ve lipid profillerini iyileştirebileceği de birçok çalışma ile desteklenmektedir. (Karamalı., Dadkhah, Sadrkhanlou, Jamilian, Ahmadi, Tajabadi-Ebrahimi & Asemi 2016).

Gebe kadınlarla bakteriyel vajinozis tedavisinde probiyotik yoğurdun etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada probiyotiklerin hamilelikte bakteriyel vajinozisin tedavisinde, daha sonraki preterm doğum yükünün azalmasına yol açan olumlu bir etki gösterdiği saptanmıştır (24). Yapılan başka bir çalışmada; gebelerde probiyotik kullanımı ile genital enfeksiyon riskinde %81 azalma olduğu belirtilmiştir. Ancak, erken doğum ve komplikasyonları üzerinde herhangi bir etkiyi göstermek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Kramer & Kakuma 2000).

Probiyotik içeren besinlerin tüketiminin gebelik komplikasyonlarının olumsuz sonuçlarının önlenmesinde etkili olduğu saptanmıştır. Ayrıca; gestasyonel diyabet gelişme riskini azaltmakla birlikte glisemik kontrolün iyileştirilmesinde de etkili olduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır. (Küçükkaraca & Samur 2018).

Probiyotiklerin gestasyonel diyabet tanısı konulduktan sonra alındığında etkisini araştıran çalışmalar azdır fakat gestasyonel diyabetin önlenmesinde etkisi olduğunu ve olumsuz gebelik sonuçları için umut verici olduğunu gösteren birçok çalışma mevcuttur (Dolatkhah, Hajifaraji, Abbasalizadeh, Aghamohammadzadeh, Mehrabi & Abbasi 2015).

Prebiyotiklerin obezite yönetiminde önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir. İnsanlarda yapılan randomize kontrollü deneylerden elde edilen veriler, prebiyotik tüketiminin tokluk hissini artmasına ve enerji alımının azalmasına neden olduğunu göstermektedir. Hamileliğin kilo alımına yol açacağı ve bazı durumlarda obeziteye ve diyabet dahil diğer metabolik komplikasyonlara neden olabileceği bilinmektedir. İmmon ve arkadaşları, probiyotik destekli diyet danışmanlığının hamilelik öncesi ve sonrası annenin antropometrik ölçümleri üzerinde bir etkisi olup olmadığını araştırmıştır. Araştırmacılar, probiyotik takviyeli diyet uygulamanın "obezitenin önlenmesi ve yönetimi için yeni bir yol sunabileceği" sonucuna varmıştır (Burton-Shepherd 2015).

Preeklampsi, gestasyonel diabetes mellitus, vajinal enfeksiyonlar, anne ve bebek kilo alımı ve alerjik hastalıklarda koruyucu bir rol için endikasyonlar mevcuttur. Probiyotik

takviyelerinde, obezite ve diyabette ortaya çıkan dengesiz mikroflora kompozisyonunun düzenlenmesine yardımcı olabileceğine dair pek çok çalışma mevcuttur (Gomez, Barrett, Callaway & Nitert 2015).

Laktasyon; hamilelik boyunca salgılanan hormonlar ile meme dokusunda oluşan değişikliklerle birlikte meme bezlerinin gelişip olgunlaşması ve sütün salgılandığı dönem olarak belirtilmektedir. Bu dönemde anne şayet beslenme örüntüsünde diyet çeşitliliğine dikkat etmezse, yeterli ve dengeli beslenmeyi sağlayamaz. Bunun sonucunda hem annenin hem de bebeğin sağlığı olumsuz etkilenebilir. Gebeliğin son döneminden itibaren yapılan probiyotik ilavesinin (laktobasillus rhamnus ve bifidobakterium laktis) kolostrum adiponektin düzeyine etkisinin incelendiği bir çalışmada, katılımcılara diyet ve probiyotik, diyet ve plasebo uygulanmış ve kontrol grubu ile karşılaştırma yapılmıştır. Diyet müdahalesi yapılan gruplarda kontrol grubuna göre kolostrum adiponektin konsantrasyonunda anlamlı bir artış görülürken, probiyotik kullanan ve kullanmayan gruplar arasında anlamlı bir fark gösterilmemiştir (Uçar & Öngün Yılmaz 2020).

3. Sonuç

Bağırsak mikroflorası kendi içinde bir homeostazisi olan bir mikroekosistem olup metabolizma, patojenlerden korunma, immün sistemin olgunlaşması ve sağlığın korunmasında önemli bir etkiye sahiptir. Tek bir bakterinin bağırsak epiteli ile olan etkisini büyük bir metabolik sürece sebep olmaktadır. Antibiyotik kullanımı, diyet şekli, kişinin yaşam biçimi bu mikrofloranın kompozisyonunu değiştirebilmektedir. Probiyotiklerin gebelikte ve yenidoğan sürecinde kullanımı bir dönem tartışılmış ve başlangıçta özellikle güvenilirlik yönünden çeşitli endişelere neden olmuştur. Fakat çalışmaların artmasıyla birlikte güvenli olmanın yanı sıra etkili de oldukları görülmektedir. Günümüzde özellikle gelişmiş toplumlarda gebelik ve emzirme sürecinde probiyotik kullanımının sağlık profesyonelleri tarafından önerilmekte olduğu ve toplum tarafından benimsendiği belirtilmektedir. Yapılan çalışmalar ile intestinal mikrobiyotanın önemi daha iyi anlaşılmış olup intestinal mikrobiyota kompozisyonundaki değişikliklerle pek çok hastalığın ilişkilendirilmesi, patogenezi tam olarak açıklanamamış hastalıkların tedavisi için de oldukça umut vericidir. Ayrıca; anne sütü mikrobiyotasının geliştirilmesi amacı ile gebelik ve laktasyon dönemi boyunca anneye uygulanan probiyotik ve prebiyotik takviyelerin anne sütü mikrobiyotasını etkilediği çalışmalarla desteklenmektedir. Ayrıca, vajinal mikrobiyom desteklendiğinde komşuluk yolu ile üst genital mikrobiyotanın da olumlu olarak etkilenebileceği ve bağışıklık sistemi üzerindeki olumlu etkileri de göz önünde bulundurularak özellikle infertilite için probiyotiklerin fayda sağlayabileceği düşünülmektedir. Ancak bu konuda yapılacak daha geniş kapsamlı ve çok merkezli araştırmaların planlanması fazlasıyla önemli olacaktır.

Kaynakça

Baysal A. Beslenme, Hatipoğlu Yayınevi, Ankara, 2000, 419-428.
Bıyıklı, E. T., & Şanlıer, N. Polikistik Over Sendromu ve Beslenme. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 2013, 41(3), 253-257.
Burton-Shepherd, A. (2015). Prebiotics and probiotics as novel therapeutic agents for obesity. *Nurse Prescribing*, 13(3), 136-139.

Ceyhan, N., Alıç H. Bağırsak mikroflorası ve probiyotikler. *Turkish Journal of Scientific Reviews*, 2012; 5(1), 107-113.
Çetinbaş, S., Kemeriz, F., Göker, G., Biçer, İ., & Velioglu, Y. S. (2017). İnsan Mikrobiyomu: Beslenme ve Sağlık Üzerindeki Etkileri. *Academic Food Journal/Akademik GIDA*, 15(4).
Delikanlı B., Özcan T. Probiyotik İçeren Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2014; Cilt 28, Sayı 2, 59-70.
Derya İpek K., Öngün Yılmaz H. Diyetin ve Karbonhidrat İçeriğinin Mikrobiyotaya Etkisi, Cumhuriyet Üniv. Sağ. Bil. Enst. Derg. 2018; 3(2):29-39.
Dolatkhah, N., Hajifaraji, M., Abbasalizadeh, F., Aghamohammadzadeh, N., Mehrabi, Y., & Abbasi, M. M. (2015). Is there a value for probiotic supplements in gestational diabetes mellitus? A randomized clinical trial. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 33(1), 1-8.
Ersöz A.B, Gülerman F. Otizm Spektrum Bozukluğunda Bağırsak Mikrobiyotasının Rolü, *Türk Psikiyatri Dergisi*. 2019; 30(3):210-9.
Evrensel, A., & Ceylan, M. E. (2015). Bağırsak Beyin Eksen: Psikiyatrik Bozukluklarda Bağırsak Mikrobiyotasının Rolü. *Current Approaches in Psychiatry/Psikiyatride Guncel Yaklasimler*, 7(4).
Gomez, A. L., Barrett, H. L., Callaway, L. K., & Nitert, M. D. (2015). Probiotics and pregnancy. *Current diabetes reports*, 15(1), 567.
Güney, R., & Çınar, N. Anne sütü ve mikrobiyota gelişimi. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 2017; 1, 17-24.
İnanç, N., Şahin, H., & Çiçek, B. Probiyotik ve Prebiyotiklerin Sağlık Üzerine Etkileri. *Erciyes Tıp Dergisi*. 2005; 27 (3), 122-127.
İrge E, Timur S, Zincir H, Oltuluoğlu H, Dursun S. Gebelikte Beslenmenin Değerlendirilmesi. *STED*. 2005; 14(7): 157-160.
İsmailoğlu Ö., Öngün Yılmaz H. Probiyotik Kullanımının Bağırsak Mikrobiyotası Üzerine Etkisi, Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 2019;1(1):38-56).
Kadooka, Y., Sato, M., Ogawa, A., Miyoshi, M., Uenishi, H., Ogawa, H., & Tsuchida, T. Effect of Lactobacillus gasseri SBT2055 in fermented milk on abdominal adiposity in adults in a randomised controlled trial. *British Journal of Nutrition*. 2013; 110(9), 1696-1703.
Karademir, G., & Yücel, Ü. Broilerde Kefirin Probiyotik Amaçla Kullanılması. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 2008; 49(1), 47-54.
Karamali, M., Dadkhah, F., Sadrkhanlou, M., Jamilian, M., Ahmadi, S., Tajabadi-Ebrahimi, M., & Asemi, Z. (2016). Effects of probiotic supplementation on glycaemic control and lipid profiles in gestational diabetes: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Diabetes & metabolism*, 42(4), 234-241.
Koca, T. Bağırsak mikroflorasının inflamatuvar hastalık patogenezindeki yeri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*. 2015; 24(1), 78-91.
Kramer MS, Kakuma R. Balanced protein/energy supplementation in pregnancy. *Cochrane database syst Rev*. 2000; 2.
Küçükkaraca, H., & Samur, F. G. (2018). Gebelik ve Laktasyon Döneminde Probiyotiklerin Kullanımı ve Sağlık Üzerine

- Etkileri. *Jinekoloji Obstetrik ve Neonatoloji Tıp Dergisi*, 15(4), 179-183.
- López-Moreno, A., & Aguilera, M. (2020). Probiotics Dietary Supplementation for Modulating Endocrine and Fertility Microbiota Dysbiosis. *Nutrients*, 12(3), 757.
- Narayan, S. S., Jalgaonkar, S., Shahani, S., & Kulkarni, V. N. Probiotics: current trends in the treatment of diarrhoea. *Hong Kong Med J*. 2010; 16(3), 213-218.
- Örüklü, C., & Hotun Şahin, N. (2018). Erken Doğum ve Mikrobiyota İlişkisi. İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 4, s:383-392.
- Sert, Ü. Y., & Bozkurt, N. İnsan Mikrobiotası ve Jinekolojik Hastalıklara Olan Etkisi. *Jinekoloji Obstetrik ve Neonatoloji Tıp Dergisi*, 2018; 16(4), 244-249.
- Uçar Z, Öngün Yılmaz H. Laktasyon döneminde beslenme: Enerji ve Makro Besin Öğeleri. *J Health Pro Res* 2020; 2(1):37-46.
- Uymaz, B. Probiyotikler ve Kullanım Alanları. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*. 2010; 16(1).
- Uzdil Z, Özenoğlu A. Gebelikte çeşitli besin öğeleri tüketiminin bebek sağlığı üzerine etkileri. *Balıkesir Sağlık Bil Dergisi*, 2015; 4(2): 117-121.
- Yurttaş M, Yılmaz A. Sağlık Yüksekokulu Öğrencilerinin probiyotik ürünler hakkında bilgi düzeyinin ve tüketim durumunun belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2017; 6.2: 64-69.
- Yuvacı, H. U., & Cevrioğlu, A. S. (2017). Kadın üreme sistemi mikrobiyotası. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 1, 95-103.



Ülkemizde ve Bazı Ülkelerde Sulama Şebekelerinin Finansmanı ve Sulama Suyu ücretleri

Cengiz Koç^{1*}, Nedim Özdemir²

^{1*} Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000 0001 7310 073X) cengizko9@gmail.com

² Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7410-6113) ata.dadaoz@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 20 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 7 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.865591)

ATIF/REFERENCE: Koç, C. & Özdemir, N. (2021). Ülkemizde ve Bazı Ülkelerde Sulama Şebekelerinin Finansmanı ve Sulama Suyu ücretleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 524-533.

Öz

Sulama şebekeleri işletme-bakım ve yönetiminde (İBY) finansal yönetimin amaçları, sulama organizasyonuna ait mülklerin etkin kullanımını sağlamak ve kolaylaştırmak, üyelerinin yararı için finansal varlıkları yönetmek, organizasyonun finansal durumunu belirlemek, üyelerinin güvenini kazanmak ve korumak, organizasyonun varlığını ve sürdürülebilirliğini sağlamak olarak sıralanabilir. Sulama şebekeleri işletme-bakım ve yönetim organizasyonları projeden yaralanan su kullanıcılarından sulama şebekeleri İBY hizmetleri için finansal kaynakları harekete geçirmede sulama ücretlerini kullanmaktadır. Sulama ücretlerini hesaplama yöntemleri ülkelere göre farklılık göstermesine karşın, sulama şebekelerinin büyük bir çoğunluğunda belirlenen sulama ücretleri sulanmış alanı temel almaktadır. Kullanılan suyun fiyatını temel alan sulama ücret yöntemi oldukça az örnekte yer almaktadır. Dağıtılan suyun güvenilirliği ve İBY gelirlerini sağlamak için yararlanılan sulama ücretleri farklı yöntemler ile belirlenmektedir. Dağıtılan suyun maliyeti, bitki çeşidi, toprak yapısı, suyun miktarı ve iklim gibi tarımsal ve hidrolojik etmenler ile bazı özel fiziki koşulların fonksiyonundan oluşmaktadır. Sorumlu İBY organizasyonu, yatırım giderlerini geri almak, İBY ve sistem iyileştirme giderlerini karşılamak için bir sulama ücret yöntemini belirlemelidir. Diğer yandan, toplanan gelirler elde edildikleri aynı projede kullanılır ve güçlü bir İBY organizasyon yapısı oluşturulduğunda, sulama ücretleri, sulama sisteminin yönetim aktivitelerini iyileştirmede olumlu bir etkiye sahip olmaktadır. Bu çalışma, ülkemizde ve diğer ülkelerde sulama sistemleri İBY finansmanı, sulama ücret çeşitleri, sulama ücreti belirleme yöntemleri, İBY organizasyon performansı ve sulama performansı üzerine sulama ücretlerinin etkisini incelemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sulama İBY finansmanı, Sulama ücreti hesaplama, Sulama ücret yöntemleri, Sulama ücreti ve performans.

Financing of Irrigation Schemes and Irrigation Charges Practiced in Some Countries and our Country

Abstract

The objectives of financial management in the irrigation scheme Management-Operation and Maintenance (MOM) can be listed as facilitating the efficient use of assets belonging to the irrigation organization, managing financial assets for the benefit of its members, determining the financial status of the organization, establishing and protecting the trust of its members, and ensuring the existence and sustainability of the organization. MOM organizations of Irrigation schemes use irrigation fees to mobilize financial resources for the irrigation scheme MOM services from water users benefiting directly from the project. Although the methods of calculating irrigation charges differ according to countries, in most irrigation schemes, irrigation charges are based on irrigated area. There are very few examples of irrigation charges based on the price of water used. Irrigation charges used to increase the reliability of the water supplied and the incomes of MOM are determined by different methods. The cost of distributed water consists of the function of some special physical conditions and both agricultural and hydrological factors such as plant type, soil structure, amount of water and climate. The responsible MOM organization must establish a charge method to recover investment and depreciation expenses, and meet the costs of MOM and system improvement. On the other hand, irrigation charges have a positive effect on improving the management activities of the irrigation system when the collected revenues are used in the same project from which they were

* Sorumlu Yazar: cengizko9@gmail.com

generated, and a strong MOM organizational structure is established. The aim of this study is to examine the MOM financing of irrigation scheme, irrigation charge methods and the effects of irrigation charges on irrigation performance in our country and other countries.

Keywords: Irrigation MOM financing, Irrigation charge calculate, Irrigation charge methods, Irrigation charge and performance

1. Giriş

Su kaynaklarını geliştirmek ve inşa edilen sulama şebekelerinin İşletme-Bakım ve Yönetim (İBY) hizmetlerini yürütmek için kamu veya özel sektör tarafından sağlanan finansal destekler uzun süredir popüler bir politika aracı olmuştur (Tiwari & Dinar, 2002). Bu durum, sulu tarımın en önemli girdilerinden biri olan su kaynaklarının desteklenmesine neden olmuştur (Scheierling vd., 2006; Fan vd., 2008; Ward, 2010). Su kaynaklarının giderek azalması (FAO, 2012), gıda güvenliğine ilişkin sorunlar (FAO, 2015) ve su ile ilgili çevresel baskılar (Gilboa vd., 2015; Guse vd., 2015) birçok tartışmaya neden olmasına karşın, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini geliştirebilmek için gerekli çabalar halen devam etmektedir. Bilim insanları son yirmi yılda sulama altyapısının bozulmasıyla ilgili endişelerini belirtmişlerdir (OECD, 2009; Mishra vd., 2011; Brelle & Dressayre, 2014). Bu endişe, sulama sistemlerinin bakımı, rehabilitasyonu ve tipini değiştirmek için gerekli fonların yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Giderleri karşılama hedefleri çok düşük tutulduğu için birçok ülke sulama İBY hizmetlerini yeterince finanse edememektedir. Ayrıca, genel finansal kısıtlamaların sıklaşması devlet bütçelerinden daha fazla fon tahsis edilmesini engellemektedir (Raju & Gulati, 2008; Molle, 2009). Ayrıca, Raju & Gulati (2008), fonlardaki azalma eğiliminin sulama sektörünü sıkıntıya soktuğunu, bu durumun, potansiyel gıda üretimini tehdit ettiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, sulama suyunun yanlış kullanımı, israf edilmesi (Molle & Berkoff, 2007; Molle, 2009) ve sürdürülemez kullanımı (Ward & Pulido-Velazquez, 2009) gibi sorunlar devam etmektedir. Sulama finansmanı için yaklaşımlarda bir ülkenin sulama konularıyla ilgisinin anlaşılması gerekmektedir. Bu konular; ulusal gıda üretiminin, hükümet gelirlerinin ve su kaynaklarından yararlanma etkinliğinin artırılması, bölgesel ve ülkesel amaçların yerine getirilmesi ve tarımdan geçimini sağlayan çiftçilerin üretimlerinin yükseltilmesini içermektedir (Rogers vd., 1998). Sulu tarım alanları, yeryüzünde işlenebilir alanların %20'sini oluşturmaktadır. İnsanlığın gıda ve lif ihtiyacının %40'ı sulu tarım alanlarından sağlandığı için sulama İBY hizmetleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Gelecek 50 yılda, gıda ihtiyacını karşılamak, kötü beslenme koşullarını azaltmak ve artan dünya nüfusunu karşılayabilmek için mevcut tarımsal üretimin üç katına çıkarılması gerekmektedir (Gerards, 1994; Rogers & Bhatia, 2002). Sulu tarıma yeni maliyetler getiren Su Çerçeve Direktifi (SÇD)'nin devam eden uygulamaları sulama teknolojileri ve su tasarrufu sağlayan yöntemlerin benimsenmesini teşvik etmektedir (Cornish vd., 2004; Gómez-Limón & Riesgo, 2012; Medellín-Azuara vd., 2012; Levidow vd., 2014). Ancak, teknolojinin benimsenmesi sulayıcıların su fiyatı değişikliklerine olan duyarlılığına bağlıdır. Yapılan çalışmalar, çiftçilerin su kullanım kararlarının sulama suyu ücretlerine tepkisiz olduğunu, bu nedenle, su fiyatlarındaki bir artışın modern sulama teknolojilerinin benimsenmesi için yeterli teşvikleri yaratamayacağını desteklemektedir (Fraiture & Perry, 2007). Su kullanımı belirli bir fiyat eşliğinin ötesinde elastik hale gelmektedir (Fraiture & Perry, 2007). Tüm dünyada, su kaynaklarını geliştirme projeleri kamu veya özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu yatırımların fonksiyonunu

sürdürebilmesi için İBY hizmetlerine gereksinim duyulmaktadır. Su kaynakları İBY hizmetlerindeki eksikliklerin sürmesi yapılan yatırımların sürdürülebilir ekonomik ömrü için bir tehdit oluşturmaktadır (Koç, 2015). Finansal analizlerin yapılmasında veya su kaynakları işletmeciliğinde üretilecek mal ve hizmetlere uygulanacak fiyatın belirlenmesi önemlidir. Uygulanacak fiyatın finansal ve ekonomik olmak üzere iki boyutu vardır. Finansal boyutu, projenin amacı olan mal ve hizmetin üretilmesi veya yerine getirilmesi için gerekli finansmanın sağlanması; ekonomik boyutu ise pazar talebine uygun olarak üretilen mal ve hizmetlerin belirli bir fiyata sunulmasıdır. Fiyat belirlemede finans ve ekonomik konuların birlikte yerine getirilmesi gerekmektedir. Ancak, fiyat politikasının ekonomik ve finans amaçları dışında çok yönlü bir konumu da bulunmaktadır. Öncelikle, uygulanacak fiyat, belirlenen kullanım için yararlanılanların ödeme gücünü aşmamalıdır. Bu bağlamda, sulama için uygulanacak sulama ücreti de su kullanıcıların ödeme güçlerinden fazla olmamalıdır. Aksi durumda, ulusal ekonomi yönünden kuru tarımdan sulu tarıma geçilmesi nedeniyle milli gelirden bir artış beklenirken proje kapsamında yer alan çiftçi ailelerinin yaşam standartlarında bir düşme bile söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle, özellikle sulama suyu ücretleri belirlenirken öncelikle su kullanıcıların ödeme güçleri göz önüne alınmalıdır (Karataban, 1976; Ward, 2010). Sulama ücretlerinin belirlenme yöntemi ve seviyesi, su kullanıcılar ve sulama İBY organizasyonları için önemli bir konudur. Sulama ücretlerinin çok düşük olması, sulama yönetimine katılım için çiftçilerin isteğini olumsuz yönde etkilemekte, ayrıca, sulama sistemlerinin düzenli İBY hizmetleri için yeterli finansal kaynağın harekete geçirilmesini engellemektedir. Bu durum, sulu tarımın zayıf performansına ve hükümetin mali yükünün artmasına neden olmaktadır. Diğer yandan, sulama ücretlerinin yüksek olması, çiftçilerin ödeme yeteneğini ve sulama yönetimine çiftçi katılımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, çiftçilerin ekonomik yükünü azaltan ve sulama sistemleri İBY hizmetleri için yeterli finansal kaynakları sağlayan uygun bir sulama ücretinin belirlenmesi gerekmektedir (Xiugui & Xulai, 1994; Raju & Gulati, 2008). Sulama ücretleri, sulama sistemleri İBY hizmetlerini yürütmek için ihtiyaç duyulan İBY giderleri ile suyun depolanması ve dağıtımını için gerekli mühendislik çalışmalarına kamu kurumunca yapılan yatırım giderleri geri ödemesinden oluşmaktadır (FAO, 1986). Sulama İBY finansmanı doğrudan ve doğrudan olmayan yöntemleri içermektedir. Sulama İBY hizmetleri için su kullanıcıların etkilendiği ücretleri gerekli kılan doğrudan yöntemler sulama hizmet ücretleri olarak isimlendirilmektedir. Sulama hizmet ücretleri su fiyatları ve sulanmış araziye temel alan ücretler olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrudan olmayan gelir yöntemleri, mutlak ve olası vergiler ile ikincil gelirlerden oluşmaktadır (IIMI, 1989). Bu makalede, farklı bölgelerden seçilmiş ülkelerin mevcut su fiyatlandırma politikaları, sulama suyunun maliyet bileşenlerindeki farklılıklar, su kullanıcılara yönelik destekler, sulama İBY organizasyon finansmanı, sulama ücret yöntemleri ve sulama ücreti belirleme yöntemlerini incelenmiş, önemli sonuçlar çıkarılmış ve karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Toplama ve Değerlendirme

Sulama için su fiyatlandırması ve su ücretleri hakkında incelenen uluslararası deneyimlerin çoğu fiyatlandırma yöntemlerine ve su için fiyat seviyesinin belirlenmesine odaklanmaktadır (Tsur & Dinar, 1995; Dinar & Subramanian, 1997; Tsur & Dinar, 1997; Dinar & Mody, 2004; Parker & Speed, 2010; Berbel vd., 2007; EEA 2013; Garrido vd., 2014). Yapılan çalışmaları ve gözden geçirilecek ilgili belgeleri bulmak için akademik veri tabanları, araştırma kurumları, Dünya Bankası, IWMI, OECD, FAO ve ADB gibi geliştirme kuruluşlarının kapsamlı bir araştırması yapılmıştır. Diğer bilgi kaynakları arasında ülke raporları, ulusal ve uluslararası makaleler ve konferans bildirileri yer almaktadır.

3. Ülkemizde ve Bazı Ülkelerde Sulama Sistemleri Yatırım ve İBY Maliyeti

Sulama suyu ücret politikasının maliyeti düzenleme ve talep yönetimi olmak üzere iki amacı vardır. Maliyeti düzenleme, çiftçi organizasyonları, sulama birlikleri, kooperatifler ve çiftçi grupları için sulama sisteminin İBY giderleri, borçların geri ödenmesi, sistemin geliştirilmesi ve düzenlenmesi için yeterli finansal kaynakları sağlama yönünden önem taşımaktadır. Talep yönetimi ise daha az su kullanımı için su kullanıcıların özendirilmesini içermektedir (FAO, 1991). Su kullanıcıardan finansal kaynakları toplama, değerlendirme ve denetleme arasında organik bir bağın kurulduğu finansal özerk İBY organizasyonları; sulama ücretleri, daha etkin İBY hizmetlerini özendirme, daha fazla finansal kaynak sağlama ve sistem performansını iyileştirme yönünde bir potansiyele sahip olmakta, finansal özerklik koşullarının mevcut olmadığı koşullarda sulama ücretleri sulama performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmamaktadır (Small, 1987; Xulai, 1994). Sulamaya ilişkin yapılan çalışmalar, çok çeşitli su fiyatlandırma yöntemleri olmasına karşın, uygulamada su fiyatlarını değiştirmenin zorluklarına dikkat çekmektedir (Johansson vd., 2002; Tsur vd., 2004; Tsur, 2005). Johansson vd (2002), sulama suyunun tahsisine yönelik çeşitli yöntemleri ve sulama suyunun fiyatlandırılmasına ilişkin teorik ve pratik konuları kapsamlı olarak incelemişler, fiziksel, sosyal ve kurumsal faktörlerin farklı ülkelerde kullanılan fiyatlandırma politikaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Tsur vd (2004), suyun verimli kullanımını özendirmek için su fiyatlandırma politikalarını tasarlarlarken talep yönetiminin merkezi bir noktada olması gerektiğini vurgulamışlardır.

Geleneksel olarak sulama suyunun tam maliyeti basit olarak sulama suyu sağlamanın finansal maliyeti olarak tanımlanmaktadır. Ancak, sulamanın çevresinden fayda sağlayan diğer ekonomik aktörlere de maliyet getireceği kabul edilmektedir. Bu nedenle, sulama maliyetinin çağdaş tanımı, kaynak maliyeti ile su sağlamanın çevresel maliyetini dikkate almaktadır (Değirmenci & Aslan, 2018). Suyun tam maliyeti yaklaşımı detaylı olarak Rogers vd (1998) tarafından incelenmiş, daha sonra çok sayıda araştırmacı tarafından yaygın olarak desteklenmiştir (Rogers vd., 2002; Ward & Pulido-Velazquez, 2009; Bithas vd., 2014). Yapılan bir dizi ampirik çalışma su fiyatlarındaki bir artışın gübre kullanımında önemli bir azalmaya yol açtığını, bu durumun çevre kalitesinde iyileşmelerle sonuçlandığını göstermektedir (Berbel & Jómez-Limón, 2000; Gómez-Limón & Riesgo, 2004b; Gómez-Limón & Riesgo,

2004a; Manos vd., 2006; Bartolini vd., 2007; Bartolini vd., 2010). Sulama için su fiyatlandırması ve su ücretleri konusunda uluslararası düzeyde yürütülen çalışmaların çoğu fiyatlandırma yöntemlerine ve su için fiyat seviyesinin belirlenmesine odaklanmaktadır (Tsur & Dinar, 1995; Dinar & Subramanian, 1997; Tsur & Dinar, 1997; Dinar & Mody, 2004; Berbel vd., 2007; EEA 2013; Garrido vd., 2014). Fransa'da su fiyatları üç ana endişeyi yansıtacak şekilde artırılmakta olup, bunlar, finansal istikrar, çevre kirliliği ve yaz veya kuraklık dönemlerinde çeşitli havzalardaki su baskısıdır (Garrido & Calatrava, 2010). EEA (2013) tarafından yapılan bir değerlendirmede, Avrupa Birliğini (AB) oluşturan farklı devletlerindeki mevcut politikaların SÇD ile uyumlu tam maliyet amacına ulaşmada başarısız olduğunu ortaya koymuştur. SÇD'nin uygulanması sulama suyu fiyatlarında önemli bir artışa neden olmuştur. Kıbrıs'da hacimsel sulama ücretleri %41 artarken, alan başına sabit ücretler yaklaşık üç kat artmıştır. Ancak, su kullanıcılara ek maliyetler getirme konusundaki siyasi iradenin olmaması nedeniyle henüz bu oranlar alınamamaktadır. Çiftçiler sulama suyu fiyatlarının yükselmesini bir ceza olarak görmektedir (Molden vd., 2010; Levidow vd., 2014). Portekiz'de Alentejo bölgesindeki çiftçiler, tüm masrafların geri alınması yerine sadece % 30'unu karşılayan düşük bir sulama ücreti ödedikleri için tüm masrafların geri alınmasını sağlayacak sulama ücreti artışını erteleyebilmek için yetkililer ile lobi yapmaktadırlar (Levidow vd., 2014). Yunanistan'da sulama ücretlerinin mevcut maliyet yapısı finansal maliyet, kaynak maliyeti ve çevresel maliyeti içermektedir (Garrido & Calatrava, 2010). Kanada'da sulama suyunun fiyatı sulama altyapısını desteklemek amacıyla zaman içerisinde önemli ölçüde artmıştır. Ancak, kaynak ve çevresel maliyeti yansıtmamaktadır (Renzetti & Dupand, 2015). Avustralya'da hükümet su reformuna yönelik sürekli ilerleme kaydetmiştir. Bu reformların önemli bileşeni kentsel ve sulama sektöründe şirketleşme ve özelleştirmenin yapılmasıdır (Saleth & Dinar, 2004). Yeni Zelanda'da 49 kamu sulama projesinin özel mülk sahiplerine satışı gerçekleştirilmiş, mevcut durumda su fiyatları, yatırım giderleri, İBY giderleri ve çeşitli giderler için küçük bir fazlalığı içermektedir (Jenkins, 2015). Gelişmiş ülkelerde daha yüksek su ücretlerine yönelik eğilimler net olmasına karşın, sulamaya yönelik destekler bir dereceye kadar birçok hükümet tarafından uygulanmaktadır. ABD'de, sulama ıslah projelerinde "ödeme yeteneği" ilkesi uygulanmaktadır (Ward, 2010). Bu durum, yapılan tüm masrafların geri alınması kavramı ile çelişmektedir. İspanya'ya 2006 yılında uygulamaya konulan sulama sistemleri modernizasyonu için yaklaşık 2 milyar Euro destek sağlanmıştır. İtalya'da tarımın geleneksel rolü gıda ve lif üretimini güvence altına almaktır. Ancak, yapılan masrafların geri alınmasına yönelik politik düşüncenin karar süreci hala devam etmektedir (Bartolini vd., 2010). Avustralya'da sulama tesislerinin işletilmesinde önemli bir farklılık ortaya konmaktadır. Hükümet tarafından "yetenekli" sulama altyapısı için gerçekleştirilen yatırımlar kullanıcılara tam olarak yansıtılmamaktadır. Ulusal hükümetin sulama 'yenilenmesi' için 5,8 milyar US\$ daha harcamaya hazır olmasına karşın, sulu tarım için gerçekleşen tüm masrafların geri alınmasına ilişkin şüpheler devam etmektedir (Pawsey & Crase, 2012). Japonya'da, sulama için su ücretleri İBY ve yatırım giderlerinin bir kısmını karşılamaktadır. Yatırım masraflarını karşılayan ücretler % 3-25 arasında değişmektedir (Nickum & Ogura, 2010). Gelişmekte olan ülkelerde, sulama için kullanıcılardan alınan ücretler genellikle tam maliyetin oldukça altında kalmaktadır. Çiftçilerden tam İBY giderlerini talep eden çok az ülke bulunmakta ve çoğu ülke

yatırım maliyetlerini tamamen gözardı etmektedir. Bazı ülkeler (Mısır, Tayland ve Vietnam) sadece hükümetin desteğiyle su sağlamaya devam etmektedir. Yapılan incelemeler sulu tarımın önemi, hükümet politikalarının önceliği ve çiftçileri destekleme isteği arasındaki ilişkilere dikkat çekmektedir. Gelişmiş dünyanın incelemesinden görüleceği gibi "gıda güvenliği" nin kendisi kötü tanımlansa da gıda güvenliği konusu hükümetlerin sulamaya yönelik tutumlarını şekillendirmede önemli bir rol oynamaktadır. Gelişmiş ülkeleri İBY maliyetini iyileştirme yolunda bazı ilerlemeler göstermektedir. Bazı ülkelerde su fiyatları yapılan masrafların tüm unsurunu kapsamaktadır. Yunanistan gibi birkaç ülke, fiyatlandırma yapısına kaynak ve çevresel maliyetleri dahil eden yöntemleri uygulamaktadır. Ancak, birçok ülke günümüzde sulama altyapısının yatırım maliyetlerine bazı destekler veren politikaları uygulamaktadır. Gelişmiş ülkelerde sulama suyunun tam maliyetini geri almaya yönelik politikalar izlediğine ilişkin net eğilimler olmasına karşın, bu durum hala beklentilerden uzaktır. Gelişmiş ülkelerde sulama sektörü için tam maliyetin geri alınma uygulanması kuraldan çok istisna gibi görünmektedir. Avustralya ve Güney Kore'deki son politika değişiklikleri bu duruma örnek teşkil etmektedir. Yapılan birçok çalışma, su ve su hizmetleri için yapılan masrafları geri almayı amaçlayan fiyatlandırmanın çeşitli düzeylerde başarısız olduğunu ortaya koymaktadır. Çoğu ülke, sulama sektöründeki su kullanıcılarına bir tür destek uygulamaktadır. EC (2015), Almanya, Avusturya, Danimarka, Finlandiya, Macaristan, İsveç ve Birleşik Krallık dahil olmak üzere birçok AB ülkesinin sulama için su tüketimini bir 'su hizmeti' olarak gördüğünü, bu nedenle, zorunlu geri ödeme rejimleri uygulamadığını belirtmektedir.

Birkaç ülke, çiftçilere sulama suyunu neredeyse ücretsiz olarak sağlamaktadır. Mısır'da, yüzey suyunu sulama kanallarının üzerinde yer alan tarlalara ileten pompaların önemli masrafları olmasına karşın, Mısır'da kanallardan sulama suyu temini ücretsizdir (Luzi, 2010). Tayland'da, ortaya çıkan su kıtlığından bağımsız olarak çiftçileri desteklemek için su tarıma ücretsiz olarak sağlanmaktadır (Molle, 2007). Vietnam'da, 2008 yılından bu yana sulama sistemlerinin ana unsurlarından olan sekonder kanallara kadar çiftçiler su ücreti ödememektedir (François & Hoanh, 2011). Birçok ülke, sulama suyu kullanıcılarına büyük ölçüde destek sağlamaktadır. Hindistan'da su ücretleri yüksek oranda desteklenmekte ve sulama ücretlerinden elde edilen gelir İBY giderlerinin çok altındadır (Reddy, 2009). Saleth & Amarasinghe (2010), Hindistan'ın birçok eyaletinde mevcut su ücretlerinin İBY giderlerinin %20'sinden az olduğunu belirtmektedir. Pakistan'da, sulama suyu için çiftçilerden nominal bir ücret alınmakta, bu ücret ortalama olarak sulama sistemlerinin toplam İBY giderlerinin %25'ini karşılamaktadır (Bell vd., 2014). Meksika'da, 1998 yılında yapılan su reformlarının uygulanmasından önce su kullanıcılar toplam İBY giderlerinin %60-%80'ini ödemekteydi. Ancak, reformlar ile devlet tarafından inşa edilen ve işletilen sulama sistemleri su kullanıcı organizasyonu olan Sulama Birliklerine devredildikten sonra su ücretleri artırıldı ve birçok bölgede kullanıcıların İBY giderlerinin %100'ünü ödediği bildirildi (Wilder & Lankao, 2006). Şili'de, Sulama Birlikleri tarafından yönetilen sulama sistemlerinde su ücretleri tüm İBY giderlerini karşılamakta, ancak yatırım giderlerini kısmen karşılamaktadır. Güney Afrika'da, devlet tarafından finanse edilen sulama altyapısı için su ücretleri tüm İBY ve yatırım giderlerinin bir kısmını karşılamaktadır (Schreiner, 2015). Ancak, Güney Afrika'da, özellikle sosyal hedefler, gıda güvenliği ve kırsal kalkınma temelinde küçük sulama

sistemlerine önemli hükümet destekleri devam etmektedir (Speelman vd., 2009). Fas, suyun özel bir mal olarak kabul edildiği gelişmekte olan bir ülkedir. Tarım Fas'ta önemli bir sektördür ve hükümetin desteğiyle su kaynaklarının geliştirilmesine büyük yatırımlar yapılmıştır (Faysse vd., 2010). Ancak, 1983 yılındaki ekonomik kriz ve ekonomik serbestliği artırma kararı su politikası ve yönetiminde büyük reformlar ile sonuçlanmıştır (Doukkali, 2005). Fas'da sulama için su ücretleri üç unsurdan oluşmaktadır. Bunlar, yatırım masraflarının geri alınması (tarla büyüklüğüne göre toplam maliyetin %30-40), hacimsel fiyatlandırma yoluyla İBY giderlerinin tam olarak geri alınması, ve İBY giderlerinin sabit kısmını karşılamak için minimum tüketim ücretidir.

Ülkemizde kamu kurumu (DSİ) tarafından inşa edilen sulama şebekelerinin İBY hizmetleri Sulama Birlikleri (%85,9) ve Sulama Kooperatiflerine (%5,8) devredilmiştir. Su Kullanıcı Organizasyonları, bir yıl için beklenen İBY giderleri ve yatırım maliyetine göre sulama ücretlerini belirlemektedir. Uygulanan sulama ücretleri ekimi yapılan bitki cinsine göre sullanmış alanı temel almaktadır. Su kullanıcı organizasyonları, hektar başına ücreti, izleyen sulama sezonu için beklenen İBY giderlerini sullanılan toplam alana bölerek hesaplar. Ürün deseninin farklılığına bağlı olarak, sulama organizasyonları hektar başına veya ekili ürüne bağlı olarak sabit bir ücret belirlemektedir. Ülkemizde evsel ve endüstriyel kullanımda hacimsel fiyatlandırma yaygın olmasına karşın sulamada hacimsel ücret kullanılmamaktadır (Koç, 1998; Koç, 2001; Koç, 2015; Koç & Bayazıt; 2015).

4. Sulama Ücret Yöntemleri

Sağlanan suyun güvenilirliği ve gelirlerin artırılması için gereksinim duyulan sulama ücretlerini belirlemede göz önüne alınan değişik seçenekler bulunmaktadır. Dağıtılan suyun maliyeti; bitki çeşidi, toprak yapısı, suyun bolluğu ve iklim gibi tarımsal ve hidrolojik etmenler ile birçok özel fiziki konumun bir fonksiyonundan oluşmaktadır. Sorumlu İBY organizasyonları, yatırım giderleri, yatırım amortismanı, İBY, iyileştirme veya sistemi genişletme giderlerini geri almak için istedikleri bir sulama ücret yöntemini belirlemektedir. Sagardoy vd (1986) ve Sagardoy (1980), sulama ücreti olarak ödenen miktarı belirlemede birkaç yöntemin olduğunu ve bunların farklı ekonomik teorileri temel aldığını belirtmiştir. Fransa, ABD ve İspanya gibi ülkelerde gerçek su ücretinin hesaplanan teorik su ücretlerini tümüyle karşılandığını, ancak birçok ülkede ödenen su ücretlerinin teorik ücretlerin çok azını karşıladığını veya hesaplanan ücretler ile bir ilgisinin bulunmadığını ortaya koymuştur. Bu durum, su ücretlerinin teknik bir konudan daha çok, politik bir konu olduğu gerçeğiyle açıklanabilmektedir. Sulama sistemlerinde İBY gelirlerini elde etmek için uygulanan başlıca sulama ücret yöntemleri aşağıda verilmektedir (ADB, 1986 ; Small, 1986; Koç, 1998; IIMI, 1989 ; FAO, 1991; Koç, 2001, Koç, 2007; Koç, 2015; Koç & Bayazıt, 2015; Kartal & Değirmenci, 2020).

4.1. Hacimsel Ücret

Kullanılan su miktarı ile yapılan ödeme arasında sabit bir ilişkinin sürdürülmesi etkin su kullanımını özendirdiği için en çok arzu edilen ücret ödeme yöntemidir. Bu yöntemi etkin şekilde uygulamak için her tarlada kullanılan suyun miktarını kaydeden bir ölçüm aletinin (sayaç) bulunması gerekmektedir. Ölçüm aletlerinin periyodik olarak okunması ile kullanılan su miktarı denetlenmektedir. Sulama ücretinin bu yöntemi

istenmesine karşın uygulamada direnç ve güçlükler ile karşılaşmaktadır. Her sayacın maliyeti, kurulması ve sürekli olarak gözlenmesi etkinliği daha az olan sulama ücret yöntemleriyle yarışmasını engellemektedir. Bu yöntemin üstünlükleri tartışmaya açık olmasına karşın, kullanılan suyun izin verilen miktarlarının ölçülmesi sisteme büyük bir üstünlük sağlamaktadır. Suyun ölçülmesi sonucu su kullanıcılar suyun bitki gereksinimi için uygun olup, olmadığını ve harcanan miktarı belirleyebilmektedir. Ölçüm aletleri pahalı ve ustalık ile kullanmayı gerektirmektedir. Pompajlı yer altı suyunu kullanan sistemlerde kullanılan su miktarı sayaçlar ile ölçülebilmektedir. Ancak, birçok yüzey sulama sistemlerinde sayaçları kullanmak olası görülmemekte, kullanılan suyun hacmi, prizın tahmini boyutu ve dağıtım süresini ölçme ile belirlenmektedir. Hacimsel yöntem ile su fiyatını değerlendirme yaklaşımlarında, hacim temel alınmakta, ancak, su kullanıcıların su hacmini çok az yada hiç denetleyemediği koşullar ile bireysel çiftçilerin su hacmini almaya karar verdiği koşullar arasındaki ayrımın özenli şekilde yapılması gerekmektedir.

4.2. Sulanmış Araziyi Temel Alan Ücret

Sulama için ödemenin en evrensel şeklini sulanmış arazinin her birimine yapılan ödeme oluşturmaktadır. Kullanıcı istediği tüm suyu almakta, ancak, etkin alanda sadece sulanmış arazinin miktarına göre ödeme yapılmaktadır. Ücret yöntemi, basit ve İBY giderlerini karşılamaya yardımcı olmasına karşın, etkin su kullanımını özendirmemektedir. Suyun bol olduğu alanlar için kullanımı doğru olabilecek bir yöntemdir. Bir sulama sistemindeki tüm su kullanıcılar suyun yaklaşık aynı hacmini tüketirse bu uygulama iyi bir yöntem olarak düşünülmektedir. Bunun ile birlikte, birkaç ülkede (Pakistan, Meksika) yürütülen araştırma, projede alanında uygulanan ortalama su derinliğinde %10'nu aşan sapmaların su kullanıcıların yarısından fazlasında gerçekleştiğini göstermiştir. Birçok sulama sisteminde etkin olarak uygulanan bu yöntemle göre yapılan ödemenin su kullanıcıların tümü için eşit olmadığı belirlenmiştir. Yöntemin üstünlüğü, hesaplama, faturalama ve ödeme için basit işlemlere gereksinim duymasından kaynaklanmaktadır. Bu üstünlükler, yöntemin çok kullanılmasına ve dünyanın birçok ülkesinde yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Yöntemin haksızlığı önlemesi için özellikle, bitki su tüketiminde büyük farklılıklar mevcut olduğunda bitki çeşidi temel alınarak yetiştirilen ürünün birim alanına ödemenin yapılması ortaya konmuştur. Su tüketim miktarı yüksek olan bitkiler diğer bitkilere göre aldıkları ek miktar kadar fazla ödeme yapmaktadır. Başka bir düzenleme ise su kullanıcıların suyu aldığı zamanların sayısına göre ücreti modifiye etmektedir. Bu yöntem, suyun sürekli dağıtımının istenmediği ve farklı su kullanıcıların mevcut olduğu koşullarda uygun olabilmektedir. Bu yöntem Meksika'daki bazı sulama sistemlerinde kullanılmaktadır.

4.3. Zamanı Temel Alan Ücretler

Bazı durumlarda su için ödemesi gereken ücret su kullanıcının aldığı suyun zaman uzunluğunu temel almaktadır. Pompaj sulama sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bu yöntem, Meksika'daki bazı projelerde uygulanmaktadır.

4.4. İki Kısımlı Ücretler

Bazı ülkelerde su ücreti sabit ve değişebilen ücreti kapsayan iki kısımlı bir tarifeyi temel almaktadır. Sabit ücret, her su kullanıcının belirlenen bir maksimum akış için anlaştığı kapasite ücretidir. Bu durumda, değişebilir ücret hacimsel olarak ölçülen gerçekte tüketilen suyun miktarıdır. Sabit ücret, gerçek miktara

ek olarak alınan su miktarından yararlanan değişebilir ücret ile suyun normal veya gerçek kaynağını su kullanıcıya kısmen elverişli kılabilmektedir. Hindistan'da sabit ücret, sulamaların normal sayısı için, normal sayıyı aşan her sulama için ek değişebilir ücretin toplanabileceğini önerilmiştir. ABD'de iki kısımlı ücretler sürekli kullanılmıştır. Sabit unsur, genellikle mülk üzerindeki faydalanma vergisinin arazi kıymetine karşılık gelen miktarından oluşmaktadır. Belirlenen bu sabit ücret suyun gerçek kullanım ücretine eklenmektedir. Bazı durumlarda sabit ücret su kullanıcının kullanmak istediğinden daha az olan suyun kısmen sabit miktarı için arazi sahibine yetki verebilmektedir. Değişebilir bir ücret, daha sonra su kullanıcının satın almaya karar verdiği suyun ek miktarı için uygulanmaktadır.

4.5. Suyun Toptan Satışı

Dağıtım sistemi içerisinde suyun toptan dağıtım sorumluluğunu üstlenen organizasyon tarafından İBY hizmeti verilen bireysel çiftçiler ile su hacminin ölçülebildiği sistemlerde dağıtımın bazı seviyelerinde sulama İBY organizasyonu suyu toptan satar ise parsellerin çok küçük ve bireysel tarla seviyesinde hacimsel su fiyatını gerçekleştirmenin güç olduğu yerlerde suyun toptan satış yöntemi başarılı şekilde uygulanmaktadır. Bu ücret yöntemi Meksika için önerilmiş ve bazı sulama birliklerinde kısmen etkin olarak uygulanmıştır. Benzer bir düzenleme, suyun dağıtıldığı ünite tarafından İBY hizmetleri verilen su kullanıcıların aldığı su miktarı üzerinde çok az denetime sahip olduğu Fas'daki bazı sulama sistemlerinde de görülmektedir.

4.6. Hasat Edilen Ürün Oranına Göre Ödeme

Bu tür ödeme yöntemi monokültür tarımın etkin olduğu bazı sulama alanlarında uygulanmaktadır. Ödenecek payın belirlenmesinde başlıca iki yöntem kullanılmaktadır. İlki, sabit ağırlık ile ilgilidir. Elde edilen toplam ürün miktarına bakılmaksızın yıllık olarak yapılacak ödeme hasat edilen ürün alanının her birimi için sabit bir orandır. İkinci yöntem ise, hasat edilen ürünün sabit bir oranı olarak belirlenmektedir. Hasat edilen toplam ürünün belirli bir yüzdesi olarak ödenmektedir. Birinci model, birim alana ücret ödemeye çok benzemekte, ancak, ödemenin çeşidi ve paraya çevrilememesi farklı yönleri oluşturmaktadır. Birim alana yapılan ödemeye göre üstünlüğü, bu ödeme yönteminin enflasyondan daha az etkilenmesidir. Bu nedenle, üretimin düştüğü zamanlarda ödemede azalacak, aksi durumda ise, ücret ödemesi artacaktır. Diğer yandan, su kullanıcıların yıllık üretimlerinin özenle değerlendirilme gerekliliği yöntemi olumsuz etkilemektedir. Genel olarak su kullanıcılarca yapılan ürün değerlendirmelerine razı olunmama eğilimi sürekli tartışma konusu yaratmaktadır. Bunlara ek olarak, yöntemin yanlış uygulanması yüksek düzeyde şüphelerin oluşmasına neden olmaktadır.

4.7. Alınan Faydaya Göre Ödeme

Bir sulama projesinin yapım süreci devam ederken genellikle etkin alandaki tarım arazilerinin değeri hızla artmaktadır. Toplumun diğer kesimleri oluşan bu beklenmedik faydaları kazanmadığı için arazi iyileştirme vergileri etkin sulama alanında birim alan üzerinden toplanmaktadır. Bu durum, projenin tüm ekonomik ömrüne de yayılabilmektedir. Bundan başka, çiftçiler sulanmış alanda her yıl ek bir bitki yetiştirdiği zaman üretilen ürün üzerinden bir mal vergisi alınabilmektedir. Vergi toplamanın temeli alınana fayda olmasına karşın uygulamada ödeme daha çok birim alan üzerinden yapılmaktadır. Etkin sulama alanları için toplam faydalardaki

artış tahmin edilmekte daha sonra arazi miktarına bölünerek ödenmesi gereken ücret belirlenmektedir.

4.8. Bitki Temeline Göre Ödeme

Birçok sistem yetiştirilen ürün temeline göre su kullanıcılarından ücret ödemesini istemektedir (genel olarak arazi miktarı ile birleştirilmektedir). Bu yöntemin kullanılması için uygun gerekçeler ; bazı bitkilerin diğerlerine göre daha fazla su istemesi, bazı bitkilerin daha fazla ekonomik değere sahip olması ve bazı bitkilerin ise çok yüksek verimler oluşturabilmesi şeklinde sıralanabilmektedir. Her bitki ve birim alana sabit bir ücret ödeme yöntemi uygun bir sistem olup, ücretler sezon sonunda toplanmaktadır. Bir diğer yöntem, su ücreti ödemesinde su kullanıcıların yetiştirdiği ürün veriminin sabit bir miktarını temel almaktadır. Bitki ekiliş oranları maliyeti iyileştiren unsurları desteklemek için özenli bir ücret yapısını gerektirmektedir. Bitki ekiliş oranları genel olarak belirli bitkilerin üretimini özendirmeye, diğerlerini özendirmemeye kamu yönetimlerince zorlanmaktadır. Bu nedenle, bu tür politika su kullanımı ve bitki desenleri arasındaki çarpıklığı ortaya koyabilmektedir.

4.9. Her Sezon Ödeme

Birçok Asya ülkesinde yaz veya kış sezonları ile yağışlı veya kurak süreçlerde suyun değerindeki farklılık göz önüne alınmaktadır. Suyun bol olduğu süreçte ilave bir birim daha az değerli olmaktadır. Bu neden ile, yağışlı veya kış sezonu süresince uygulanan sulama ücretleri, işletme maliyetlerini tamamen kapsaması için nominal değerde olabilmektedir. Yağışlı sezonlarda suyun ücretsiz olmadığı belirlendiğinden kurak süreçler boyunca sulama suyuna güvenin oluşturulmasında su kullanıcıları özendirmek için oldukça düşük bir sulama ücreti alınmaktadır. Bu neden ile, kurak sezon sulaması ve yağışlı sezon öncesinde tohum yatakları için kullanılan tüm suyun değeri suyu depolama ve dağıtım maliyeti olarak istenebilmektedir. Sezonluk ödeme yapılan bir sistemde genel olarak birim alan ile bitkiye göre ödeme yöntemi birleştirilebilmektedir. Verilen bir bitki için su gereksinimlerinin çoğu sulama ile karşılandığında kurak sezonda hacimsel bir ücret tahmin edilmektedir. Suyun pik periyotlara dağılımına yardımcı olunması ve yıl boyunca kullanılmasında mevsimsel ücretler daha çok istenmektedir.

4.10. Kaynaktan Uzaklığa Göre Ödeme

Sulanmış alanlar dışında dağıtım maliyetinin iyileştirilmesi gerektiğinde kaynaktan uzakta yer alan su kullanıcılarından kaynağa yakın olanlara göre daha yüksek oranlarda sulama ücreti istenmektedir. Ücretler uzaklık ile su kayıpları ve kanal maliyetlerini yansıtmak için düzenlenmektedir. Bu tür ücretler su bol olduğunda farklılıkları yansıtmak için sezonsal bir ücret ile birleştirilmektedir. Bu ücret yönteminde kurak periyotlar süresince etkin alanın memba sınırlarında su kullanımı yoğunlaşmakta, buna bağlı olarak etkinlik artmaktadır. Ancak, mansap sınırlarında su kullanıcılar daha az miktarda su almaktadır.

4.11. Sürekli Akış Ücreti

Sürekli akış ile su dağıtım yönteminde su kullanıcılar genel olarak sistemin bakımı için işgücü yardımı veya hizmet için yıllık ücret ödemektedir. Bitki çeşidi veya sulanmış birim alana göre ücret toplanmasını zorlamak uygun olmaktadır. Etkin

alandan sulanmış birim alan miktarına veya kaynaktan uzaklığa göre sulama ücretinin alınması uygun olmaktadır.

4.12. Ek Ücret Yöntemleri

Anlaşma ücreti; kullanılacak sulama suyu için bir veya birkaç yıllık anlaşma yapılmaktadır. Su kullanılmasa bile belirlenen sulama ücreti ödenmektedir.

Muayyen ücretler; otoritesiz veya aşırı su kullanımını engellemek amacı ile normal sulama ücretlerine ek olarak toplanan ücretlerdir.

Sızma ücreti; Hindistan'ın bazı bölgelerinde kanallardan oluşan sızmaları toplayan kanalların hizmet alanı içerisinde kalan işlenmiş alanlara uygulanan ücret yöntemidir.

Ayricalıktı ücretler; küçük giderleri karşılamak veya yağışlı koşullarda arazisini işleyen su kullanıcıları sulamaya yönlendirmede bir özendirme sağlamak amacı ile uygulanmaktadır. Örneğin, birinci su yılı için sulama ücretsiz, ikinci su yılında normal maliyetin 1/3, üçüncü su yılında 2/3 ve dördüncü yılda ise normal ücret uygulanmaktadır.

Tek tarifeli ücret; etkin sulama alanında her su kullanıcı için en temel sulama ücretidir. Günlük işletme giderlerini karşılamak için kullanılan temel bir değerlendirilmez.

Birleşik ücretler; bir proje alanında yıpranmış ve bakımsız kanallardan su alan bir su kullanıcı, kaplamalı ve yeni kanal sistemine sahip proje alanında yer alan su kullanıcı ile aynı ücreti ödemek zorunda kalmamaktadır. Birkaç ücret tipi mevcut olup, kaplamasız kanallar, yağmurlu sezonlar için en düşük sulama ücreti, borulu sulama ve tüm yıllık İBY hizmeti için ise en yüksek sulama ücreti uygulanmaktadır.

4.13. Nominal ve Binominal Ücretler

Yıllık ücretler nominal ve binominal ücretlerden oluşmaktadır. Nominal ücret sadece, alınan su için ödenen miktardır. Diğerleri yapılan yatırımların geri ödemesinin bir kısmını oluştururken bazı durumlarda bu ödeme, sadece İBY giderlerini kapsayabilmektedir. Sulama ücretini faturalamanın bu çeşidi hasat edilen ürün veya arazinin her birimine yapılan ödeme ile birleştirilebilmektedir. Binominal ücret, uzun yıllar süresince yeknesak olan sabit bir ücret ile yıllara göre değişim gösteren değişebilir ücretten oluşmaktadır. Bu tip sulama ücreti normal olarak ödemenin hacimsel yöntemi ile birleştirilebilmektedir. Sabit oran, bazı sabitlemiş giderleri kapsamakta ve sulama sistemine yapılan yatırımların bir kısmını veya tümünü geri ödemek için yıllık olarak ödenmesi gereken bir miktarı oluşturmaktadır. Bazı özel durumlarda, sabit işletme giderlerinin bir kısmını kapsamaması için oldukça küçük miktar olarak devam etmesine karşın yatırımın geri ödemesi tamamlandığında bu miktar normal olarak ortadan kalkmaktadır. Değişebilir ücret, değişebilir giderleri kapsamakta ve yıldan yıla değişmektedir. Su kullanıcılarca genellikle tamamen anlaşılmamış olmasına karşın teknik olarak sulama ücretini belgelemenin net yöntemi olan binominal ücretler nominal ücretlere tercih edilmektedir.

5. Sulama Ücreti Belirleme Yöntemleri

Sulama sistemlerinde sulama ücretleri standardının oluşturulması, sulama ücretlerinin yönetimi, toplanması ve yeniden değerlendirilmesi konularını temel almaktadır. Çin'de küçük, orta ve büyük ölçekli sulama şebekelerinde sulama ücretlerini belirleme yöntemini oluşturan ana unsurlar (FAO,

1986; Xiugu & Xulai, 1994; IIMI, 1989), sulama ücret miktarının sağlanan suyun gerçek maliyetine göre belirlenmesi; sulama İBY giderleri, devlet kaynakları ile yapımı tamamlanan mülklerin değer azalması (amortisman) ve ağır bakım giderlerini içermesi; taneli ürünler için belirlenen sulama suyu ücreti sağlanan suyun gerçek maliyetine eşit olması şeklinde sıralanabilir. Kolaylıkla pazarlanabilen ürünlerde sulama ücreti gerçek giderlerden biraz daha fazla olabilmektedir. Günümüzde sulama İBY hizmetlerinden yararlanan kullanıcılar arasında sulama ücretleri sisteminin güncelliğini yitirdiği konusunda giderek artan bir görüş bulunmaktadır. Suyun ticari bir mal gibi düşünülmesi ve su ücretlerinin pazar fiyatlarına göre belirlenmesinin gerekliliği günümüz görüşünü oluşturmaktadır. Sulama ücretinin oluşturulduğu seviye, sağlanan suyun giderine eklenen kar'a eşit olmalıdır. Sulama ücretinin bu seviyesi, sulama sistemlerinin İBY giderlerini ve yeniden üretim için yeterli kaynakları garanti etmektedir. Sulama ücretlerinin belirlenen standardının uygulanabilirliği ve sulama suyu yönetimine çiftçi katılımını özendirme konularında net bir düşüncenin ortaya konması için sulama suyu ücretleri ile çiftçilerin ödeme gücü arasındaki organik ilişki özenle incelenmelidir. Çin'in Hubei ve Hunan eyaletlerinde küçük, orta ve büyük ölçekli sulama sistemlerinde sulama suyu ücretleri ve su kullanıcıların ödeme gücü konularında yapılan çalışma aşağıda belirtilen unsurları temel almaktadır.

Sağlanan suyun gerçek maliyeti (CA)

Sulama şebekeleri İBY hizmetinin gerçek maliyeti aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$CA = (O+M+d+R) / W \quad (1)$$

Bu eşitlikte, O+M = Yönetilen sulama sistemlerinin yıllık İBY giderleri, d=Devlet sabit mülklerinin yıllık kıymet azalması (amortisman) genellikle %2-3 oranında standart belirlenir, R= Sabit mülklerin ağır bakımı için yıllık ücret, % 0.75-1.50 oranında, W=Rezervuar veya su saptırma sistemleri tarafından sağlanan sulama suyunun miktarı

Taneli ürünler için sulama ücretlerinin standardı (CG)

Taneli ürünler için sulama hizmet ücretlerinin standardı aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$CG = CA - (df / W) \quad (2)$$

Bu eşitlikte, df = Su kullanıcıların gönüllü işgücü ile oluşturulan sabit mülklerin yıllık kıymet azalması,

Yöresel İBY organizasyonunca yürütülen sulama ücretlerinin gerçek standardı (AS), Su kullanıcılarından toplanan sulama ücretleri gerçek geliri (AR), incelenen sulama şebekelerinde ortalama CA : 0.95 cent/m³ ; CG : 0.80 cent/m³ ; AS : 0.47 cent/m³ ; AR : 0.27 cent/m³ ; AR / CA ise % 30 olarak gerçekleşmiştir. Sulama ücretlerinden toplanan ortalama gelir gerçek giderin sadece %30'unu karşılamıştır. Sonuç olarak Çin'de incelenen üç sulama sistemi her yıl finansal eksiklikler ile İBY hizmetlerini vermektedir. Yöresel görevliler tarafından belirlenen sulama ücretli seviyesinin düşük olması ve su kullanıcılarından sulama ücretlerini toplamak önemli bir sorunu oluşturmaktadır. Bu nedenle, sulama ücretinin uygun bir seviyesini belirlemek önem taşımaktadır. Sulama sistemlerinde sulama ücretleri, sağlanan suyun gerçek maliyetini temel alınarak belirlenmelidir. Diğer yandan, su kullanıcıların ödeme gücü ile yöresel yönetimlerce kabul görmesi de göz önüne alınmalıdır. Su kullanıcıların ödeme gücünü anlamak için sulama şebekesi içerisinde yer alan çiftçi ailelerinin ekonomik koşulları

örnekleme yöntemiyle araştırılmalıdır. Su kullanıcılarından toplanan sulama ücretinin, bir çiftçi ailesinin toplam tarımsal giderine ve toplam yıllık net gelirin oranı özenle incelenmelidir. Bu nedenle, sulama ücretlerini artırmanın su kullanıcılar üzerine ek bir ekonomik yük getireceği düşünülmelidir. Sulama ücreti sağlanan suyun maliyetine bir miktar kar'ın eklenmesini temel alarak belirlenirse sulama ücretinin seviyesi büyük ölçüde artacaktır. Sulama suyunun ticari fiyatı temel alınarak sulama ücreti toplanırsa mevcut sulama ücreti, sulama suyunun gerçek seviyesine göre 3-5 kez artmış olacaktır. Bu durumda belirlenen su ücret seviyesi su kullanıcının ödeme gücünü aşacaktır. Barajlar, toprak kanallar ve diğer beton yapıları oluşturan hidrolik yapı sistemleri normal bakım, düzenli onarım ve arada yapılacak ağır onarımlar ile oldukça uzun süre (50 yıldan fazla) hizmet verebileceğinden sabit mülklerin kıymet azalma ücretinin sulama ücretlerini değerlendirmenin dışında tutulması düşünülmüştür. Bu nedenle, sulama suyu ücret maliyetinin hesaplanmasında önerilen formül aşağıdaki şekle dönüşmüştür.

$$CO = (O+M+R) / W \quad (3)$$

Bu eşitlikte, CO = Sulama suyu ücretinin maliyeti, ağır tamir giderleri ve normal işletme-bakım giderleriyle ilgili olarak belirlenmiştir. Diğer semboller 1 nolu eşitlik ile aynıdır. Eşitlik 1'in kullanılması ile hesaplanan sulama ücreti kabul edilemez derecede yüksektir. Toplanan gerçek su ücretleri ise standart sulama suyu ücretlerine göre oldukça düşüktür. Sulama projelerinde sadece bazı tesisler hizmet sürelerinde değiştirilmeyi gerektirmektedir. Bunlar, pompa ve vinç gibi kısa ekonomik ömrü olan ekipmanları kapsamaktadır. Baraj, toprak kanallar ve diğer beton hidrolik yapılar normal bakım, düzenli onarım ve bazen ağır onarım yapılması ile oldukça uzun süre hizmet verebilmektedir. Bu nedenle, sulama giderlerinin bir unsuru olarak sabit mülklerin değer azalma ücretini içermesine gerek bulunmamaktadır. Önerilen 3 nolu eşitliğe göre belirlenen sulama ücretleri daha uygun bir temel oluşturmakta, farklı seviyelerdeki yöresel yönetimler ve su kullanıcılarca kolaylıkla kabul görmektedir.

6. Araştırma Sonuçları ve Öneriler

Bu çalışmadan sulama masraflarının (İBY ve yatırım) geri alınması için herhangi bir coğrafi modelin olmadığı sonucuna ulaşmaktayız. Bu durum, SÇD'nin etkisine karşın AB'ne üye ülkeler için de geçerli olup, bir dizi ulusal etkinin istenen politikaların uygulanmasını etkilemeye devam ettiği görüşünü desteklemektedir. Ülkelerin sosyo-ekonomik, kültürel ve politik özellikleri içerisinde yer alan sulama politikalarını etkileyen faktörler bulunmaktadır. Bazı durumlarda, bu alandaki bağımlılıkların önemini gösteren mevcut politika, tarihin daha önceki aşamalarında alınan bir dizi politik kararın bir sonucudur. Fiyatlar devletçe desteklendiğinde giderleri karşılamak için güçlü bir siyasi irade gerekmektedir.

Avrupa Komisyonu'nun SÇD'nin çevresel hedeflerine ulaşılmasına yönelik tedbir programlarının uygulanmasındaki ilerlemeye ilişkin 2015 yılı değerlendirme raporunda, şeffaf su fiyatlandırmasının, temel olarak su ölçüm eksikliği nedeniyle tüm üye devletlerde uygulanmadığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, sulamanın başlıca su kullanıcısı olduğu havzalarda yaygın ölçüm ağının kurulma ihtiyacı güçlü bir şekilde vurgulanmaktadır. Raporda ayrıca, Yunanistan, İspanya, Portekiz ve İtalya'da masrafların geri alınması ve su fiyatlandırmasına ilişkin önlemlerin acil olarak uygulanması tavsiye edilmektedir. Uygulamadaki zorluklar (Ölçüm eksikliği) ve sulayıcılara daha

yüksek maliyetler getirmeye yönelik siyasi iradenin olmaması çiftçilere farklı algılar vermekte ve su fiyatlarının yükselmesini engellemektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde sulamayla ilgili en önemli zorluklardan biri “çiftçilerin su ve su dağıtımıyla ilgili giderleri ödemesini nasıl sağlayabiliriz” konusudur. Bu alanda yayınlanan çalışmalar, “... fiyat politikasının nasıl uygulanacağı ve fiyatların ne kadar yükseltileceği” veya tarımsal kullanım için suyun nasıl fiyatlandırılması gerektiği gibi konuları ele almaktadır. Bu durum, maliyet ve arz üzerinde yoğun bir odaklanmaya neden olmasına karşın, kabul edilebilir fiyat rejimlerinin geliştirilmesi ve kabul ettirme sürecine daha az ilgi göstermektedir. Çiftçilerin sulama suyunun çeşitli maliyet unsurları (İBY masrafları, yatırım masrafları, kaynak maliyeti ve çevresel maliyetler) ve tutumlarını şekillendiren bağlamsal ve davranışsal faktörler açısından fiilen ödeyecekleri miktar büyük ölçüde araştırılmamış ve daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir.

Ülkemizde ve bazı ülkelerde genellikle iki tip İBY gideri düşünülmektedir. Bunlar, eldeki mevcut finansal kaynaklar doğrultusunda gerçekleşen ve yapılması arzu edilen İBY giderleridir. Sulama sistemlerinin içerdiği teknolojilere göre İBY giderlerinin belirli bir oransal değerini belirlemek oldukça güç olmaktadır. Sulama sistemleri İBY organizasyon giderleri dağılımının gelişmiş bir ülkede gelişmekte olan ülkelere oranla farklı olup, olmadığı sorusu sürekli güncelliğini korumaktadır. Bu konuyu net olarak açıklamak için oldukça az bilgiye sahip bulunmaktayız. Ancak, göstergeler işletme ve bakım için büyük oranda kalan, diğer unsurlar için oldukça küçük oransal dağılımın daha uygun olabileceğini ortaya koymaktadır.

İdeal sulama ücreti belirleme yöntemi, her üreticinin kullandığı sulama suyunun miktarını (hacmini) temel alan sistemdir. Ancak, sulama suyunun hacimsel olarak ölçülmesini sağlayacak uygun alt yapı olmadığından, sulama İBY organizasyonları, sulama sistemlerinin yer aldığı yörenin iklim koşulları, bitki deseni, toprak yapısı, geleneksel sulama alışkanlıkları, kullanım sayısı, suyun zamanında iletimi ve sistemin içerdiği teknolojiyi göz önüne alarak ücretleri sulama sayısı veya sulama süresi üzerinden belirlemelidir. Böylece, su daha etkin kullanılacak ve mevcut su kaynağı ile daha fazla alan sulanabilecektir. Bitki desenine bağlı olarak sulanmış araziye yada tüm alanda sulanmış araziye sabit miktarı temel alan sulama ücretleri uygulamada kolay olmasına karşın suyun ekonomik ve etkin kullanımı üzerine zorlama ve isteklilik yaratmamaktadır.

Sulama ücretlerinin oluşturulmasında; sulama suyu maliyet yeterliliği, su kullanım etkinliği ve kullanıcılar arasında İBY giderlerinin eşit olarak dağılım konuları birlikte ele alınmalı ve geliştirilmelidir. Bu nedenle, sulama ücretleri belirlenirken, sulanan bitkilerin teknik, ekonomik ve tarımsal etkinliği; sulama ücretlerini toplama araçlarının tipi, özellikleri ve etkinliği; suyu ölçme, su fiyatları ve su kullanım etkinliği ile ilişkisi; tüketici pazarları, bölge, çiftçi, parsel büyüklüğü ve bitkiye göre farklı sulama ücretleri; sulama birimleri veya gelişmelerin finansal yeterlilik amaçları; çok amaçlı hidrolik sistemlerde sulama ücretlerine ilişkin fayda ve masrafların ayrılması; kamusal destekler, sulama ücretleri ve diğer sektör fiyatları ile tarımsal fiyatların ilişkisi; alternatif kullanımlar ve aşırı tüketilen aküfer ile bölgesel koşullarda yüzey ve yer altı suyunun fiyatı; su fiyatı ve etkinlik için bitkilerin ve kullanıcıların seçimi, özenle incelenmelidir.

Sulama ücretleri sisteminin düzenlenmesi sulama İBY organizasyonlarının gelirini artırmada önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, birçok İBY organizasyonun finansal yeterliliği İBY giderlerini karşılayamamaktadır. Bu durum, sulama sistemlerinin zarar görmesine, personelin refah ve yaşam standardının düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, İBY personelinin yaşam standardını iyileştirmek ve bakım-onarım için gerekli kaynakları elde etmede finansal özerk İBY organizasyon koşullarının verdiği olanaklar doğrultusunda sulama ücreti dışındaki kaynaklardan (çeşitlendirilmiş ekonomi yada ikincil finansal kaynaklar) gelir sağlanması geliştirilmelidir. Sulama ücretlerinin seviyesini ve toplanmasını olumlu yönde etkileyen çeşitlendirilmiş ekonomi, balıkçılık ve su kültürü, hidroelektrik güç üretimi, ormancılık ve tarım, endüstri ve evsel kullanıma su temini, turizm ile diğer yatırım gelirlerini içermelidir.

Kaynakça

- ADB (Asian Development Bank). (1986). Irrigation Service Fee. Asian Development Bank, International Irrigation Management Institute, Proceedings of The Regional Seminar on Irrigation Service Fees, 21-25 July 1986, Manila, , 144p
- Bartolini, F., Bazzani, GM., Gallerani, V., Raggi, M., & Viaggi, D. (2007) The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming Systems in Italy: an analysis based on farm level multi-attribute linear programming models. *Agric Syst.* 93:90–114.
- Bartolini, F., Gallerani, V., Raggi, M., & Viaggi, D. (2010). Water management and irrigated agriculture in Italy: Multicriteria analysis of alternative policy scenarios. *Water Policy* 12:135–147.
- Bekişoğlu, Ş. (1994). Türkiye’deki Sulama Sistemlerinin Mevcut Durumu, İşletme ve Bakım Sorunları. Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferans Bildirgeleri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Genel Müd. Ankara, Cilt 2, 579-586s
- Bell, AR., Shah, MAA., & Ward, PS. (2014). Reimagining Cost Recovery in Pakistan's Irrigation System through Willingness-to-pay Estimates for Irrigation Water from a Discrete Choice Experiment, *Water Resour Res.* 50:6679–6695.
- Berbel, J., Calatrava, J., Garrido, A. (2007). Water pricing and irrigation: a review of the European experience. In: Molle F, Berkoff J (eds) *Irrigation water pricing: the gap between theory and practice.* CABI, Oxford, pp. 295–327.
- Berbel, J., & Jómez-Limón, JA. (2000). The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three areas. *Agric Water Manag* 43:219–238.
- Bithas, K., Kollimenakis, A., Maroulis, G., & Stylianidou, Z. (2014) The water framework directive in Greece. Estimating the environmental and resource cost in the water districts of western and Central Macedonia: methods, results and proposals for water pricing. *Procedia Econ Finance* 8:73–82.
- Brelle, F., & Dressayre, E. (2014). Financing irrigation. *Irrig Drain* 63:199–2
- Cornish, G., Bosworth, B., Perry, G. & Burke, J. (2004). Water Charging in Irrigated Agriculture – An Analysis of International Experience. *FAO Water Reports* 28, FAO, Rome, Italy.
- Çakmak, B. (1994). Konya Çumra Sulamasında Su Dağıtım ve Kullanıcı Etkinliği, AÜ. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Doktora Tezi (Yayınlanmamış), Ankara
- Değirmenci, H., & Aslan, F. (2018). Sulama Birliklerine Devredilen Sulama Şebekelerinde İşletme ve Bakım Giderlerinin Analizi, *Su Kaynakları*, 3 (1):16-23
- Dinar, A., & Mody, J. (2004). Irrigation water management policies: allocation and pricing principles and implementation experience. *Nat Res Forum.* 28:112–122.

- Dinar, A., & Subramanian, A. (1997). Water Pricing Experiences: An International Perspective. Technical Paper No.386. The World Bank. 164 Pages.
- Doukkali, M.R. (2005). Water institutional reforms in Morocco. *Water Policy* 7:71–88.
- Duane, P. (1986). Cost Recovery in Irrigation Projects, Perception From World Bank Operation Evaluation, Expert Consultation on Irrigation Water Charges, FAO, 22-26 September 1986, Rome, 25-27p
- EC (European Commission). (2015). Report on the Progress in Implementation of the Water Framework Directive – Programmes of Measures. Commission Staff Working Document, Brussels, Belgium.
- EEA. (2013). Assessment of Cost Recovery through Water Pricing. Technical Report No 16/2013. European Environment Agency. 123 Pages
- Fan, S.G., Gulati, A., & Thorat, S. (2008). Investment, subsidies, and pro-poor growth in rural India. *Agric Econ*. 39: 163–170.
- FAO. (1991). Improved Performance of Irrigation Systems Through Water Pricing Polices in the Escap Region. Improved Irrigation Systems Performance for Sustainable Agriculture: Proceedings of the Regional Workshop organized by FAO in Bangkok, Thailand, 22-26 October 1990, Rome, 47-51p
- FAO. (1986). Report on the Expert Consultation on Irrigation Water Charges, FAO, 22-26 September 1986, Rome, 67p
- FAO. (2012). Coping with Water Scarcity: An Action Framework for Agriculture and Food Security. FAO Water Report 38. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. 61 Pages
- FAO. (2015). Towards a Water and Food Secure Future: Critical Perspectives for Policy-makers. White Paper. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. 61 Pages
- Fayssse, N., Errahj, M., Kuper, M., Mahdi, M. (2010). Learning to voice? The evolving roles of family farmers in the coordination of large-scale irrigation schemes in Morocco. *Water Alternatives*. 3:48–67.
- Fraiture, C., & Perry, C.J. (2007). Why is agricultural water demand unresponsive at low price ranges? In: *Irrigation Water Pricing: The Gap between Theory and Practice* (F. Molle & J. Berkoff, eds). CAB International, Wallingford, UK, pp. 94–107.
- François, M., & Hoanh, C.T. (2011). Implementing Integrated River basin Management in the Red River Basin, Vietnam: a solution looking for a problem? *Water Policy*. 13:518–534.
- Garrido, A., & Calatrava, J. (2010). Agricultural water pricing: EU and Mexico. OECD Publishing, Paris.
- Garrido, A., Donoso, G., Melo, O., & Solanes, M. (2014). Economic instruments for allocating water and financing services. In: Willaarts BA, Garrido A, Llamas MR (eds) *Water for food and Wellbeing in Latin America and the Caribbean. social and environmental implications for a globalized economy*. Routledge, New York, pp.343–364.
- Gerards, H. (1994). Irrigation Service Fees (ISF) in Indonesia: Toward Irrigation Co-management with Water Users Associations through Contributions, Voice, Accountability; Discipline and Plain Hand Work, International Conferance on Irrigation Management Transfer. September 20-24, Wuhan, China, Volume I, 57-69p
- Gilboa, Y., Gal, G., Markel, D., Rimmer, A., Evans, B.M., & Friedler, E. (2015). Effect of Land-use Change Scenarios on Nutrients and TSS Loads. *Environ Processes*. 2:593–607
- Gómez-Limón JA, Riesgo L (2004a) Irrigation water pricing: differential impacts on irrigated farms. *Agric Econ*. 31:47–66
- Gómez-Limón JA, Riesgo L (2004b) Water pricing: analysis of differential impacts on heterogeneous farmers. *Water Resour Res*. 40:1-12
- Gómez-Limón, J.A., & Riesgo, L. (2012). Agriculture and economics in the Water Framework Directive: progress and limitations. *Water Policy*. 14, 31–14.
- Grassi, J.C. (1990). Irrigation Management, Irrigation Management in Latin America, International Irrigation Management Institute, Colombo, 1-13p
- Guse, B., Pfannerstill, M., Fohrer, N. (2015). Dynamic Modelling of Land Use Change Impacts on Nitrate Loads in Rivers. *Environ Processes*. 2:575–592
- IIMI (1989). Financing Irrigation Services : A literature Review and Selected Case Studies From Asia, International Irrigation Management Institute, Colombo, 1-23p
- Jenkins, B. (2015). New Zealand water pricing. In: Dinar A, Pochat V, Albiac-Murillo J (eds) *Water pricing experiences and innovations*. Springer, Dordrecht, pp. 263–288.
- Johansson, R.C., Tsur, Y., Roe, T.L., Doukkali, R., & Dinar, A. (2002). Pricing irrigation water: a review of theory and practice. *Water Policy*. 4:173–199.
- Karataban, A. Y., 1976, Su Kaynaklarının Planlama ve İdaresinde Ekonomik ve Mali Fizibilite, Ankara, 1-20s
- Kartal, S., & Değirmenci, H. (2020). Antalya bölgesi sulama şebekelerinin değerlendirilmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*. 33 (3):381-388
- Koç, C. (2001). Ülkemizde ve Diğer Ülkelerde Uygulanan Sulama Ücretleri (Irrigation Fees Applied in Turkey and Other Countries), I. Ulusal Sulama Kongresi, Bildiriler Kitabı, Kültürteknik Derneği, Belek, Antalya, 109–114.
- Koç, C. (2007). Assessing the Financial Performance of Water User Associations: a case study at Great Menderes Basin, Turkey, *Irrigation and Drainage Systems*. Volume 21, Issue 2, 61-77.
- Koç, C. (2015). A study on the role and importance of irrigation management in integrated river basin management. *Environmental Monitoring and Assessment*. Volume 187, Issue 8, 488, 1-20.
- Koç, C. (1998). Büyük Menderes Havzası Sulama Şebekelerinde Organizasyon-Yönetim Sorunları ve Yeni Yönetim Modelleri Üzerinde Araştırmalar. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Doktora Tezi (Yayınlanmamış), İzmir, 183s
- Koç, C., & Bayazit, Y. (2015). A study on assessment financing of irrigation schemes. *Irrigation and Drainage*. Volume 64, Issue 4, 535-545.
- Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M. & Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: prospects and difficulties of innovative practices. *Agricultural Water Management*. 146, 84–94.
- Luzi, S. (2010). Driving forces and patterns of water policy making in Egypt. *Water Polic*. 12:92–113.
- Manos, B., Bournaris, T., Kamruzzaman, M., Begum, M., Anjuman, A., & Papatthasiou, J. (2006). Regional impact of irrigation water pricing in Greece under alternative scenarios of European policy: a Multicriteria analysis. *Reg Stud* 40:1055–1068.
- Medellín-Azuara, J., Howitt, R. E. & Harou, J. J. (2012). Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Agricultural Water Management*. 108, 73–82.
- Mishra, A., Ghosh, S., Nanda, P., & Kumar, A. (2011). Assessing the impact of rehabilitation and irrigation management transfer in minor irrigation projects in Orissa, India: a case study. *Irrig Drain*. 60:42–56.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A. & Kijne, J. (2010). Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management*. 97, 528–535.
- Molle, F. (2007). Thailand's 'free water': rationale for a water charge and policy shifts. In: Molle F, Berkoff J (eds) *Irrigation water pricing: the gap between theory and practice*. CABI, Oxford, pp. 126–142.

- Molle, F. (2009). Water scarcity, prices and quotas: a review of evidence on irrigation volumetric pricing. *Irrig Drain Syst.* 23:43–58
- Molle, F., Berkoff, J. (2007). Water pricing in irrigation: mapping the debate in the light of experience. In: Molle F, Berkoff J (eds) *Irrigation Water Pricing: The Gap between Theory and Practice*. CABI, Oxford, pp. 21–93
- Nickum, JE., & Ogura, C. (2010). *Agricultural water pricing: Japan and Korea*. OECD Publishing, Paris.
- OECD. (2009). *Managing water for all: an OECD perspective on pricing and Financing*. OECD Publishing, Paris.
- Parker, S., & Speed, R. (2010). *Agricultural water pricing: australia*. OECD Publishing, Paris
- Pawsey, N., & Crase, L. (2012). The mystique of urban water pricing and accounting: the case of water tariffs in Victoria, Australia. *Econ Pap.* 32:328–339.
- Raju, K., & Gulati, A. (2008). Pricing, Subsidies and Institutional Reforms in Indian Irrigation: Some Emerging Trends. In: Ballabh V (ed) *Governance of Water: Institutional Alternatives and Political Economy*. Sage, New Delhi, pp. 79–99.
- Reddy, VR. (2009). Water Pricing as a Demand Management Option: Potentials, Problems and Prospects. In: Saleth M (ed) *Strategic Analyses of the National River Linking Project of India*. International Water Management Institute, Colombo, pp. 25–46
- Renzetti, S., & Dupont, DP. (2015). Water pricing in Canada: recent developments. In: Dinar A, Pochat V, Albiac-Murillo J (eds) *Water pricing experiences and innovations*. Springer, Dordrecht, pp. 63–81
- Rogers, P., Bhatia, R., & Huber, A. (1998). *Water as a Social and Economic Good: How to Put the Principle into Practice*. Global Water Partnership. TAC Background Paper No. 2. 35 Pages.
- Rogers, P., Rd, S., & Bhatia, R. (2002). Water is an economic good: how to use prices to promote equity. Efficiency, and Sustainability, *Water Policy.* 4:1–17.
- Sagardoy, J.A. (1980). The Role of Water Pricing and Metering in Promoting Efficient Irrigation Water Use. Seminar on Economic Instruments for Rational Utilization of Water Resources, Water/sem. 7/9-R, Geneva, 16p
- Sagardoy, J.A. (1986) *Operation and Maintenance Costs, Expert Consultation on Irrigation Water Charges, Volume 2*, FAO and Water Development Division, USAID Water Management Synthesis II Project, Rome, 22-26 September, 1986, Italy, 66-92p
- Saleth, RM., & Amarasinghe, UA. (2010). Promoting irrigation demand Management in India: options, linkages and strategy. *Water Policy* 12:832–850
- Saleth, RM., & Dinar, A. (2004). *The institutional economics of water: a cross-country analysis of institutions and performance*. Edward Elgar, Cheltenham.
- Scheierling, SM., Young, RA., & Cardon, GE. (2006). Public subsidies for water-conserving irrigation investments: hydrologic, agronomic, and economic assessment. *Water Resour Res.* 42:1–11.
- Schreiner, B. (2015). Water pricing: the case of South Africa. In: Dinar A, Pochat V, Albiac-Murillo J (eds) *Water pricing experiences and innovations*. Springer, Dordrecht, pp. 289–311.
- Small, E. L. (1986). A tool for Improving Irrigation Performance ? *Expert Consultation on Irrigation Water Charges, Volume I*, FAO, 22-26 September 1986, Rome, Italy, 92-105p
- Small, E.L. (1987). *Irrigation Service Fees in Asia*, ODI International Irrigation Management Institute, Irrigation Management Network 87/1c. London, 14p
- Speelman, S., Buysse, J., Farolfi, S., Frija, A., D'Haese, M., & D'Haese, L. (2009). Estimating the impacts of water pricing on smallholder irrigators in north West Province, South Africa. *Agric Water Manag.* 96:1560–1566.
- Şahin, L., & Başkan, M. (1992). Influence Irrigation Grups on Irrigation and Agricultural Practices. Improved Methodologies for Irrigation Water Management, Project TCP/TUR / 0152 Workshop Vol : 1, Eskişehir, 85-89p
- Tiwari, D., & Dinar, A. (2002). Role and Use of Economic Incentives in Irrigated Agriculture. Working Paper. The World Bank, Washington, D.C. 69 Pages.
- Tsur, Y. (2005). Economic aspects of irrigation water pricing. *Water Resour J.* 30:31–46.
- Tsur, Y., & Dinar, A. (1995). Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water. Policy Research Working Paper 1460. The World Bank. 40 Pages.
- Tsur, Y., & Dinar, A. (1997). The relative efficiency and implementation costs of alternative methods for pricing irrigation water. *World Bank Econ Rev* 11:243–262.
- Tsur, Y., Dinar, A., Doukkali, RM., & Roe, T. (2004). Irrigation water pricing: policy implications based on international comparison. *Environ Dev Econ* 9:735–755.
- Wade, R. (1982). *Irrigation and Agricultural Politics in South Korea*, Boulder, USA.
- Ward, FA. (2010). Financing irrigation water management and infrastructure: a review. *Int JWater Resour Dev.* 26:321–349.
- Ward, FA., & Pulido-Velazquez, M. (2009). Incentive pricing and cost recovery at the basin scale. *Environ Manag.* 90:293–313.
- WB. (1981). *Water-management in Bank-supported Irrigation Project Systems : An Analysis of Past Experience, Operation Evaluation Department, Report 3421*, Washington, 215p
- Wilder, M., & Lankao, RP. (2006). Paradoxes of decentralization: water reform and social implications in Mexico. *World Dev* 34:1977–1995.
- Xiuguil, W., & Xulai, Q. (1994). Research on Standart of Irrigation Service Fee, International Conference on Irrigation Management Transfer, September 20-24, Wuhan, China, Volume III, 289-295p
- Xulai, Q. (1994). Development of a Diversified Econmy to Increase Finansial Revenue for Irrigation Management, Internetalional Conferance on Irrigation Management Transfer, September 20-24, Wuhan, China, Volume III, 295-300p



Parçalayıcı Bıçaklı Atık Su Drenaj Pompasının Performans İncelemesi

Mehmet Salih Cellek^{1*}

¹Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5802-0715), mscellek@bingol.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 9 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.882402)

ATIF/REFERENCE: Cellek, M.S. (2021). Parçalayıcı Bıçaklı Atık Su Drenaj Pompasının Performans İncelemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 534-539.

Öz

Santrifüj su pompaları temiz su iletmeleri durumunda verimli bir şekilde kullanılabilirken, katı içeren atık su iletmeleri söz konusu olduğunda ise çark kanallarının dar olması nedeniyle tıkanarak arızalanabilmektedir. Dalgıç tipi parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompaları katı, lifli ve partikül içeren akış şartlarında kullanılmak için geliştirilen, yeni bir tasarım olup daha uzun ömürlü olması beklenen bir pompa türüdür. Bu pompanın çark ve emiş ağzına takılan kesici uçlarla, birçok katı partikül öğütülerek tahliye edilir. Bu durum pompaya ilave güç bindirmekte ve basma yüksekliğini düşürmektedir. Bu çalışmada, iki farklı santrifüj tipli parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompasının basma yükseklikleri temiz su kullanılması durumunda incelenerek performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan test çalışmalarına göre, piyasada bulunan ithal pompanın düşük debilerde daha yüksek basma yüksekliğine sahip iken, artan debilerde ise tasarım ve imalatı yapılan firma pompasının daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Drenaj pompası, Parçalayıcı bıçaklı pompa, Atık su pompası, Basma Yüksekliği

Performance Investigation of Submersible Cutter Pump

Abstract

Centrifugal water pumps can be used efficiently when they deliver clean water, in the case of solid-liquid wastewater or slurry transmissions, they often fail as a result of blockages due to narrow impeller channels. Submersible type wastewater drainage pumps with cutter blades are a new design developed for use in flow conditions containing solid, fibrous, and particulate matter and are expected to have a longer life. Many solid particles are grinded and discharged with the use of cutter blades attached to its impeller and suction side of the volute. These attachments cause additional load on the pump shaft, reducing pump head. In this study, the performances of two different centrifugal type submersible cutter pumps were examined and compared in case of using clean water. According to the test studies, it has observed that the imported pump has a higher head at low flow rates, while the designed and manufactured company pump has performed better in increasing flow rates.

Keywords: Drainage pump, submersible cutter pump, Waste water pump, Pump Head

* Sorumlu Yazar: mscellek@bingol.edu.tr

1. Giriş

Artan dünya nüfusuyla orantılı olarak su tüketiminin artması, yeryüzü su kaynaklarının azalması ve buna bağlı olarak suya erişmenin zorlaşması sonucu mevcut kaynaklardan faydalanma ihtiyacı bazı bölgelerde zaruri hale gelmektedir. Tarım amaçlı dere veya göletlerden su çekilmesi maliyetli olsa da alternatif yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Santrifüj pompalar belli bir noktadaki sıvıların istenilen yere basınçlı olarak iletilmesinde kullanılmaktadır. Başta temiz ve pis su şebekelerinde, tarımsal sulamada, taşkın önleme ve yangın söndürme gibi hayati önem taşıyan alanlarda pompalar yaygın şekilde kullanılmaktadır (Karamanoğlu ve ark., 2003). Pompalar hemen hemen her alanda yaygınlaşarak insanlığa fayda ve yarar sağlamakta buna mukabil enerji tüketmektedirler. Ortalama 20 yıl çalışan bir pompanın maliyeti ömür boyu maliyetinin yalnızca %5'ini oluşturmaktadır (Ertöz, 2003). Bunun nedeni yüksek bakım-onarım ve enerji tüketim maliyetleridir. Bir tesisin işletme maliyetleri göz önüne alındığında, enerji girdisi ilk sıralarda yer almaktadır (Korkmaz, 2015). Europump ve Hidrolik Enstitüsü (2001) verilerine göre pompa sektörü üretilen elektrik enerjisinin %20'sine yakını tüketmektedirler. Yine Europump ve Hidrolik Enstitüsü (2004), sistemin doğru bir şekilde tasarlanması ve doğru pompa seçimi ile tüketilen enerjinin %30'u tasarruf edilebileceği belirtmiştir. Şenol ve Karakuş'a (2017) göre bir sistemde doğru pompa seçimi tek başına yeterli görülmemekte, pompa sisteminin de enerji tasarrufu açısından irdelenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu duruma Morena ve arkadaşlarının (2007) bir tesiste şebeke analizi, basınç ve debi ihtiyacına göre frekans konvertörü kullanılması ile enerji tasarrufu sağlandığını göstermişlerdir. Şen (2011) tarafından yapılan çalışmalarda optimum çalışma noktası, sistem karakteristiği, yanlış pompa seçimi ve yarattığı sorunlar üzerinde durulmuştur. Yumurtacı ve Sarıgül'e (2011) göre frekans kontrollü motor hızının ayarlanması sisteme göre değişkenlik gösterse de pompaj sistemlerinde %70'e varan bir enerji tasarrufu sağlanabilir.

Son yıllarda yaygın şekilde pompa tasarımında kullanılan HAD yazılımları ile prototip maliyetleri azaltılmakta, pompa veya çark içindeki akış görselleştirilmekte (Sarioğlu ve Ayder, 1999), pompa verim artışı için yaklaşımlar sergilenmekte [Cellek ve Engin, 2016] ve nihai tasarımlar için ön çalışmalar yapılabilmektedir (Cirit, TY.).

Sektörde ihtiyaçların zamanla değişmesi, farklı taleplerin ortaya çıkması beraberinde pompaların farklı alanlarda kullanılabilmesine ve/veya farklı pompa türlerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Örneğin, İncebay ve Yapıcı (2017) tarafından yapılan çalışmada santrifüj kalp destek pompası tasarlanmış ve prototip olarak imalatı yapılmıştır. Bu prototip pompanın sol karıncık bölümünde kullanılabileceği (LVAD) vurgulanmıştır. Ayrıca kalp destek pompalarında kayma gerilmesi limiti olarak 400 Pa seviyesinin kabul görüldüğü, kan hücrelerinin deformasyona uğramaması için bu değer aşılması gerektiği vurgulanmıştır.

Santrifüj pompaların katı-sıvı karışımli akışkanların iletilmelerinde kullandığı durumlar söz konusudur. Bu durum, pompaların bir takım problemler nedeniyle kısa süre sonra arızalandığı veya belli bir süre sonra çark ve salyangozda meydana gelen aşınmalar dolayısıyla ömrünü tamamlamaktadır (Cellek, 2013). Bu durum, yeni arayışları beraberinde getirerek çamur pompalarının ortaya çıkmasına zemin oluşturmuştur. Çamur pompalarında, sıvı-katı karışımı içerisinde bulunan lifli yapılar, ip, çocuk bezi ve bez parçaları dolayısıyla tıkanmalar ve

arızalar söz konusu olmaktadır. Bu durum pompa üzerinde bir takım değişiklikler ile giderilmeye çalışılmış, sonuç itibarıyla farklı tasarımlar ortaya çıkmıştır. İstenmeyen katı partiküllerin pompa içine girmesinin engellenmesi amacıyla başlangıçta filtreler kullanılmaya başlanmıştır. Filtrelerin etrafında zamanla biriken katı partiküllerin tahliyesi zorunlu bir hale gelince arayışlar devam etmiştir. Nihayetinde pompa girişine gelen katı maddelerin parçalanarak sıvıyla birlikte tahliye fikri ortaya çıkmıştır. Dalgıç tipli parçalayıcı bıçaklı atık su pompaları da bu amaçla ortaya çıkan bir santrifüj pompa türüdür ve kullanım alanı git gide artmaktadır. Bu tür pompaların avantaj ve dezavantajları aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

Atık su drenaj pompalarının avantajları:

- Çift fazlı akışlarda ihtiyaca karşılık vermektedir.
- Çift fazlı akış şartlarında dayanımı ve ömürleri yüksektir.
- Büyük boylardaki katı parçaların öğütülerek emniyetli bir şekilde iletilmesinde kullanılır.
- Nispeten yüksek debilerde çalışabilmektedir.
- Taşınması ve kurulumu oldukça kolaydır ve az yer kaplarlar.
- Birçok pompa tıkanmalar ve arızalara neden olan katılar parçalanarak tehdit olmaktan çıkmaktadır.

Atık su drenaj pompalarının dezavantajları:

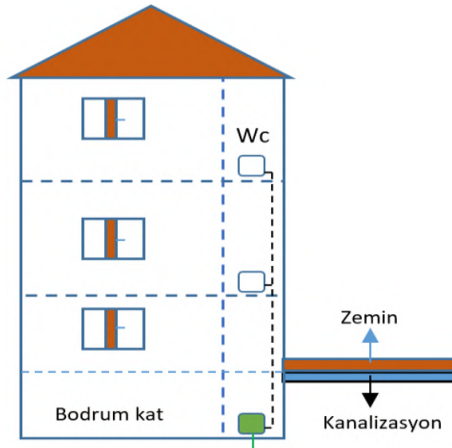
- Katı-sıvı karışımları için kanat sayısı düşük tutulmaktadır. Bu durum basma yüksekliğini etkilemektedir.
- Pompa basma yükseklikleri çift faz nedeniyle su pompalarına nazaran düşüktür.
- Mil güçleri çift faz durumunda artmaktadır.
- Katı-sıvı karışımı iletmeleri nedeniyle verimleri düşüktür.
- Açık çark kullanımları nedeniyle kapalı çarklı santrifüj su pompalarına kıyasla verimleri düşüktür.
- Katı partikül nedeniyle çarkta aralık mesafesi gerekmekte, bu durum verimi düşürmektedir.
- Katı-sıvı akış nedeniyle salyangoz verimsiz olabilmektedir.

Parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompalarına olan ihtiyacın artmasının nedenleri arasında, küresel ısınma sonucunda mevsim normalleri dışında gelişen ani yağışların neden olduğu sel sularının Şekil 1'de gösterildiği gibi tahliye ihtiyacıdır. Ayrıca Şekil 2'de temsili olarak gösterildiği üzere binaların zemin katlarının yer altına gömülmesi sonucu atık su drenajının kanalizasyon seviyesinin altında kalması da, atık suyun drenajına olan ihtiyacı göstermektedir.

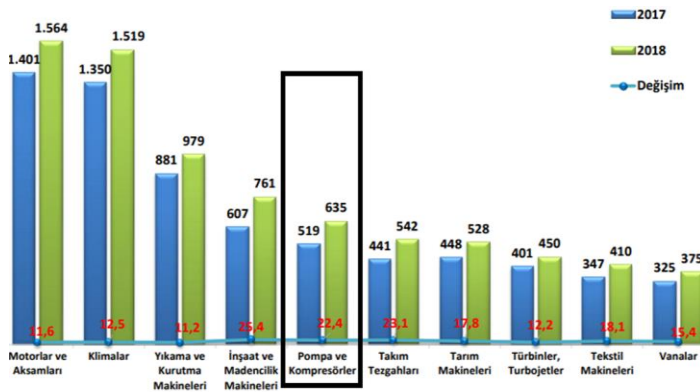
Pompa sektörünün büyüklüğünü ortaya koymak için 2017-2018 yıllarında makine sektöründe ihracatı yapılan ilk 10 ürün ve miktarları Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere pompalar ve kompresörler makine sektöründe en çok ihracatı yapılan ilk 5 ürün arasında yer almaktadır. Pompa ve kompresörlerin Şekil 4'de gösterildiği üzere yurt dışına ihracatı yapıldığı gibi ithalatı da söz konusudur. Şekil incelendiğinde görüleceği üzere pompa ve kompresör sektöründe ithalat miktarı ihracatın yaklaşık iki katı olup, bu sektörde dışa bağımlılık söz konusudur. Bu çalışmada dışa bağımlılığın azaltılması adına üretilen bir parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompasının testleri yapılmış, sonuçları ithal edilen bir pompa ile karşılaştırılmıştır.



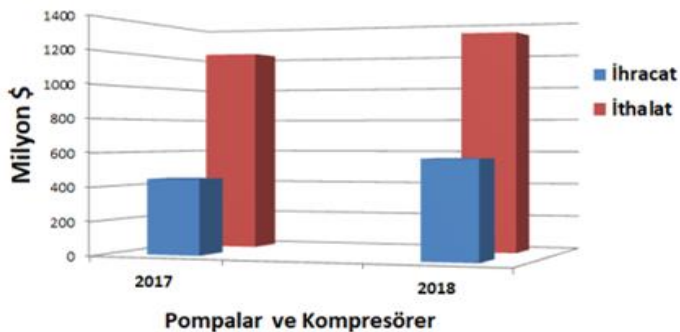
Şekil 1. Atık su drenaj pompasının bir uygulama alanı (Ulusal ve Yerel Medya, 2020)



P.B. Atık su drenaj pompası
Şekil 2. Atık su drenaj pompasının uygulama alanı



Şekil 3. Makine Sektöründe İhracat Yapılan ilk 10 Ürün (Milyon \$) (Tuik, 2019).



Şekil 4. Türkiye Geneli İthalat-İhracat Rakamları (Tuik, 2019).

2. Materyal ve Metot

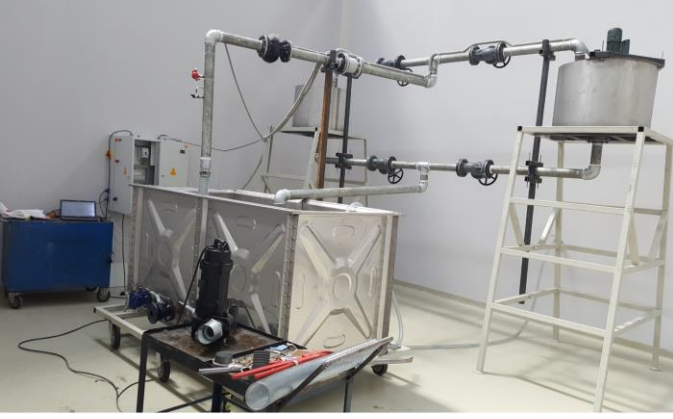
2.1. Test Ünitesi ve Deneysel Çalışma

Parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompası ihtiyacına binaen geniş bir debi aralığında verimli çalışabilecek bir pompa tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. 3 kW motor gücüyle ve 30 m³/h debi aralığında çalışabilen pompanın patlatılmış resmi Şekil 5’te gösterilmiştir.

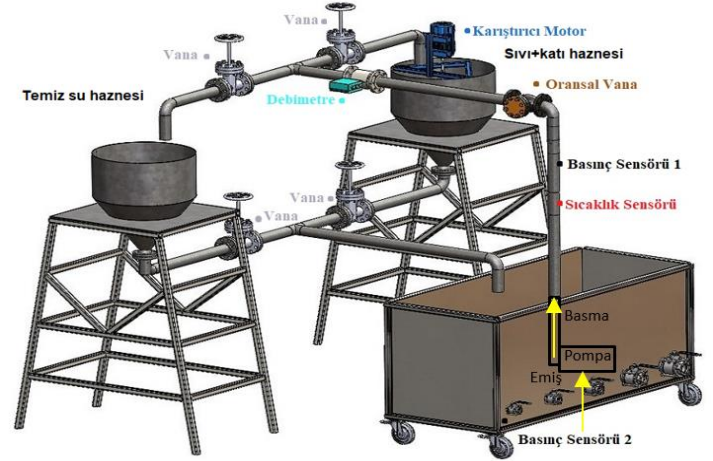


Şekil 5. CAD tasarımı yapılan parçalayıcı bıçaklı pompa patlatılmış resmi

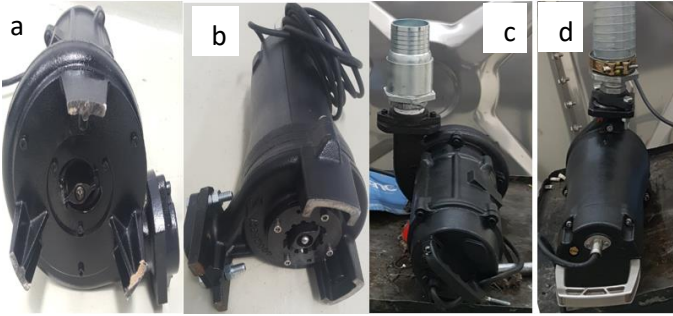
Parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompasının hidrolik performansını test etmek amacıyla eski adı ZCM Enerji Sistemleri Pompa Motor Mak. Üretim Pazarlama İhr. İth.San.Tic.Ltd.Şti. yeni adı Bader Motor Teknolojileri Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi (2020) bünyesinde bulunan laboratuvarında test ünitesi kurulumu gerçekleştirilmiştir. Pompa performans testleri için geliştirilen test ünitesinin montajı Şekil 6’daki gibidir. Test ünitesinde ana su deposu, pompa, bağlantı boruları, temiz ve kirli su hazneleri, ölçüm cihazları ve destekleme elemanlarından oluşmaktadır. Kurulumu gerçekleştirilen test ünitesinde 2 adet basınç ölçer, 1 adet termokupl, 1 adet debimetre, 1 adet oransal vana, birden çok küresel vanadan oluşmaktadır. Test ünitesinde pompanın temiz su veya katı atıklı su ile deneysel olarak incelenebilmesi amacıyla test ünitesi iki simetrik bölümden oluşmaktadır. Pompanın ana depo içerisinde olması nedeniyle, katı atıklı sıvı hazırlama amacıyla 1 adet karışım haznesi ve 1 adet sıvı-katı karıştırıcısı mevcuttur. Test ünitesinde pompa performansının tüm yönleriyle belirleyebilmek için debi, emme-basma hattı basınçları, pompanın çektiği güç ve pompa devir sayısının ölçülmesi gerekir (Sungur, 2003). Mevcut test ünitesinde drenaj pompası su içinde kalması nedeniyle devir sayısı ve tork değeri test sırasında ölçülememiştir. Bu durumun bir nedeni de mevcut imkânların kısıtlı olmasından kaynaklanmıştır. Şekil 7’de deney tesisatında testleri yapılan geliştirilen firma pompası ile ve piyasa ürünü ithal pompanın resimleri görülmektedir. Her iki pompanın test ünitesinde aynı şartlarda yapılan ölçümleri neticesinde sadece debi-basma yüksekliği grafikleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. Pompa test ünitesinin montajlı görünüşü



Şekil 9. Test ünitesinin şematik görünümü ve ölçüm elemanları



Şekil 7. Testleri yapılan parçalayıcı bıçaklı pompa (a,c) ve rakip pompanın (b,d) görünümü

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

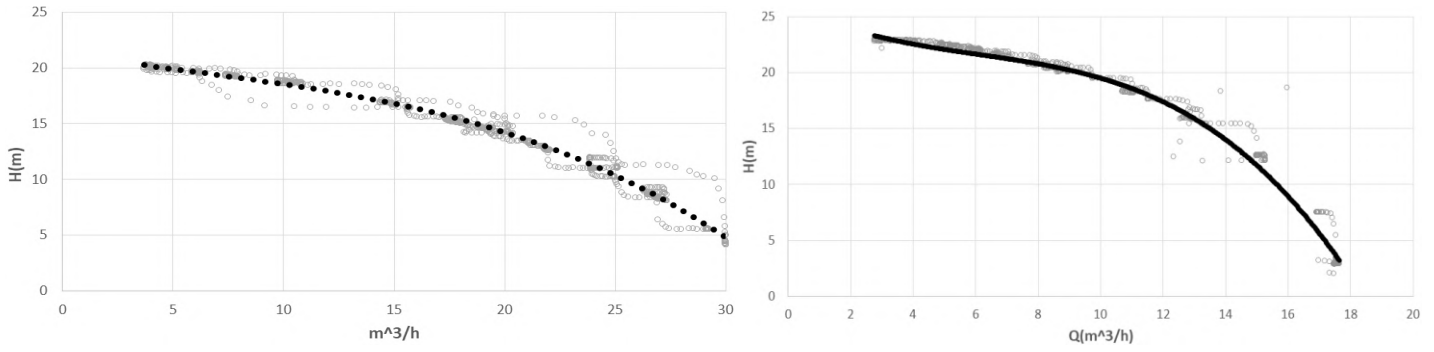
Geliştirilen ve üretimi yapılan parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompasının hidrolik performansının incelenmesi amacıyla deney düzeneği, temiz su ile doldurulmuştur. Ayrıca pompa performansının piyasada bulunabilen emsal bir pompa ile kıyaslanması amacıyla ithal bir parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompası da aynı şartlarda teste tabi tutulmuş, her iki pompanın sonuçları elde edilerek karşılaştırılmıştır. Geliştirilen pompanın test sırasındaki anlık görüntüsü ve test verilerinin anlık takip edilebildiği cihazların bulunduğu test ünitesi Şekil 8-9'da gösterilmiştir. Test sırasında, pompa emiş ağzının su yüzeyine olan mesafesi dikkate alınarak giriş basıncı hesaplanmış, atık su drenaj pompasının çıkış borusunun bağlı bulunduğu dikey boruda ise çıkış basıncı okunmuştur. Giriş ve çıkış borularının yaklaşık aynı çapta olması, boru yerel ve yersel kayıplarının da göz önüne alınıp basınç kayıplarının da dâhil edilmesiyle, her pompa basma yüksekliği test ünitesi yazılımına tanımlanmıştır.



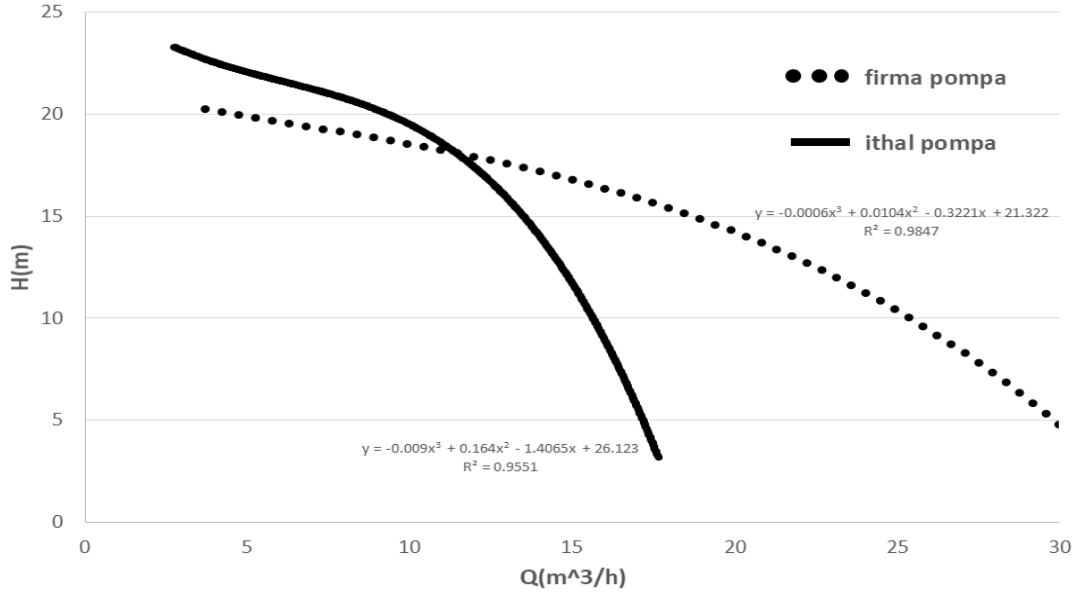
Şekil 8. Firma pompasının düşük ve yüksek debilerde çalışmasının anlık görüntüsü

Tasarımı ve üretimi yapılan pompanın basma yüksekliği, $H(m)$, debi, $Q(m^3/h)$ değişimi program yardımıyla anlık olarak çizdirilmiş ve Şekil 10'da gösterilmiştir. Piyasa ürünü ithal pompanın benzer şekilde test sırasında ölçülen basma yüksekliği verileri Şekil 11'de gösterilmiştir. Test ünitesinde 1 saniyede bir ölçüm alınması nedeniyle test sırasında çok sayıda veri kaydedilmiştir. Montajı yapılmış ve kullanıma hazır haldeki test ünitesinin devre alınması sırasında, oransal vananın arızalı olduğu anlaşılmıştır. Bu durum üzerine küresel vana yardımıyla debi noktaları manuel olarak ayarlanmıştır. Debi değerini değiştirmek amacıyla vananın açıklık oranı değiştirilmeye bağlı olarak, yakın noktalarda çok sayıda veri elde edilmiştir. Vana yardımıyla debi değişimi sırasında açıklık oranına bağlı olarak ani değerler de elde edilmiştir. Bu yüzden tasarlanan pompa ile piyasa ürünü pompanın basma yükseklikleri karşılaştırılması için ölçülen deneysel verilere 3. Dereceden polinom eğrisi uyarlanmıştır. Her iki pompaya ait deneysel veriler ile bu verilerin R^2 değeri Şekil 12 üzerinde gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre üretimi yapılan firma pompasının düşük debilerde ($4 m^3/h$) göreceli olarak piyasa ürünü pompadan ($\cong 23 m$) daha düşük basma yüksekliğine sahip olduğu görülmüştür ($\cong 20.5 m$). Her iki pompa $12 m^3/h$ debide yaklaşık olarak aynı basma yüksekliğine $\cong 18 m$ sahip oldukları görülmüştür. $12 m^3/h$ debi değerinden sonra ithal pompanın basma yüksekliği daha keskin şekilde düşerken, geliştirilen pompanın ise düşük bir hızda düşmeye devam etmektedir. Piyasa ürünü pompanın ise $17 m^3/h$ debi değerinde $5 m$ basma yüksekliğine sahip iken, üretimi yapılan firma pompasının $16 m$ basma yüksekliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen pompanın $20, 25$ ve $30 m^3/h$ debilerdeki basma yükseklikleri sırasıyla yaklaşık olarak $14 m, 10 m$ ve $5 m$ civarında olduğu görülmektedir. Her iki parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompası sonuçların farklılık göstermesindeki önemli etkenler olarak; pompaların sahip olduğu farklı salyangoz tasarımları, çark kanat sayıları, kanat çıkış ölçüleri, kanat genişlikleri ve kanat kalınlıklarıdır. İthal pompanın üzerinde firma ve kapasite değerini gösterir etiket olmaması nedeniyle detay verilememektedir. Elde edilen sonuçlar bakımından irdelendiğinde ise, daha düşük debiler için tasarlandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 11. Geliştirilen pompa ve piyasa ürünü pompanın anlık test sonuçları (H-Q)



Şekil 12. Geliştirilen pompa ile (firma pompası) piyasa ürünü (ithal pompa) pompanın polinomik basma eğrilerinin karşılaştırılması

4. Sonuç ve Öneriler

Sıvı akışkanların içerisinde bulunabilen katı lifli yapılar, ip, çocuk bezi vb. parçaların pompa çarkı içerisinde sıkışarak pompada tıkanma ve arızalara yol açması uzun süredir çözümü aranan bir mühendislik probleminiydi. Son zamanlarda ortaya çıkan ve kısa sürede piyasada yer edinen parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompaları söz konusu probleme çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek bir debi aralığında kullanılabilmesi amacıyla yürütülen çalışmada bir adet parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompası tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve üretimi yapılan parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompasının hidrolik testi temiz su ile gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar aynı şartlar altında çalışan ithal bir pompa ile karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarına göre tasarımı ve prototip imalatı yapılan firma pompasının düşük debilerde (0-12 m³/h) ithal pompadan daha düşük basma yüksekliğine sahip olduğu görülmüştür. Yaklaşık 12 m³/h debide her iki 18 m ile aynı basma yüksekliği performansı sergilemekte, artan debi ile birlikte firma pompasının piyasa ürünü ithal pompadan daha iyi basma yüksekliği performansı sergilediği görülmüştür. İthal pompa yaklaşık olarak 17 m³/h debiye kadar çalışabilirken, geliştirilen pompanın 30 m³/h debiye kadar çalışabildiği anlaşılmıştır. Parçalayıcı bıçaklı atık su drenaj pompalarının basma yüksekliklerinde ortaya çıkan farklılıkların nedeni; ithal pompanın göreceli olarak daha düşük debilerde yüksek düşü elde edilmesi için, firma pompasının ise nispeten geniş bir debi aralığında çalışabilmesi için tasarlanmalarından

kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu iki farklı tasarım hedefi nedeniyle, salyangoz ile çark kanat sayıları, kanat çıkış açıları, kanat genişlikleri ve kanat kalınlıkları değerleri de farklı olacaktır. Tasarım değerlerinin farklı olması, bu çalışmada olduğu gibi, pompa performanslarında farklılıklara neden olacaktır.

Her iki pompanın su içinde çalışması nedeniyle tork ve devir sayıları ölçülebilmiştir. Bu iki değer ölçülebilmesi için test ünitesinde değişiklikler yapılmak suretiyle mil güçleri ve pompa verimleri karşılaştırılabilir. Pompaların sıvı-katı çift fazlı testleri yapılarak, katı etkileşimin pompa performansları üzerindeki etkileri araştırılabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Tubitak 1507 “Kobi Arge Başlangıç Destek Programı” kapsamında 7180656 proje numarası ile desteklenmiştir. Projenin sunulmasında, yürütülmesinde ve ilerlemesinde emeği geçen merhum Muzaffer Sezgin’e, Bader Motor Teknolojileri Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi Yönetimine, firma CEO’su Mohamad Zouhair TALAS’a, AR-GE Müdürü Sayın Hayatullah NORRY ve AR-GE mühendisi Ömer AKBAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- Bader Motor Teknolojileri Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi, (2020).
- Cellek, M.S., (2013). Radyal tipteki bir çamur pompası optimizasyonu ve analizi, Yüksek Lisans Tezi.
- Cellek, M.S., Engin, T., (2016). Parametric investigation of a centrifugal slurry pump while handling clear water, Journal of Thermal Science & Technology 36 (2), 19-28.
- Cellek, M.S., Engin, T., (2016). 3-D Numerical investigation and optimization of centrifugal slurry pump using Computational Fluid Dynamics, Journal of Thermal Science & Technology 36 (1), 69-83.
- Cirit, A., Konuralp, O., Beyazçiçek, M., Albayrak, K., Pompalarda Tasarım ve İç Akış Çözümlemeleri İle Performans Analizi, Laynebowler Yayınları
- ERTÖZ, A.Ö., (2003). Pompalarda Enerji Verimliliği, Tesisat Dergisi, Kasım 2003.
- Europump, Hydraulic Institute, (2001). Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems, The US Department of Energy's Office of Industrial Technologies.
- Europump, Hydraulic Institute (2004). Variable speed pumping, a guide to successful applications. Elsevier Advanced Technology, 170p, London.
- <https://www.tuik.gov.tr>, 2019.
- İncebay, Ö., Yapıcı, R., (2017). Santrifüj Bir Kalp Destek Pompası Prototipinin Sayısal Ve Deneysel Olarak İncelenmesi, S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.5, s.4, ss. 472-484.
- Karamanoğlu, Y., Mobedi, M., Ertöz, A.Ö., (2006). Pompa Tasarımının Geliştirilmesinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Kullanılması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 91, 46-55.
- Korkmaz, E., (2015). Tek Kademeli Bir Derin Kuyu Pompası Karakteristiklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Suleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Science, 19(1),1-8.
- Moreno, M., Carrion, P. A., Planells, P., Ortega, J. F., Tarjuelo, J. M., (2007). Measurement and Improvement of the Energy Efficiency at Pumping Stations, Options Mediterraneennes: Seri B, Etudes et Recherches, vol. I, no. 56, p. 353-366.
- Sarioğlu, K., Ayder, E., (1999). Pompa Çarkı İçindeki Akışın 3 Boyutlu Euler Denklemleri ile Analizi, J. of Engineering and Environmental Science, 23, 229-238.
- Sungur, C., (2003). Bilgisayar Kontrollü Yüksek Hassasiyetli Santrifüj Pompa Deneysel Ünitelerinin Gerçekleştirilmesi, S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 17 (32), 39 - 46.
- Şen, M., (2011). Santrifüj Pompalar ve Pompa Tesisatı, Mas Daf, Mas Grup Yayınevi, İstanbul.
- Şenol, G.K., Karakuş, C., (2017). Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları, Mühendis ve Makina, 58;687,1-16.
- Ulusal ve Yerel Medya, (2020). "Tünelleri su bastı" arama Görüntüleri.
- Yumurtacı, Z., Sarıgül, A.,(2011). Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Mart-Nisan.



Derin Öğrenme ile Şeftali Hastalıklarının Tespiti

Muzaffer Aslan^{1*}

^{1*} Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik elektronik Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2418-9472), muzaffer.aslan@bingol.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 20 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 9 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.883787)

ATIF/REFERENCE: Aslan, M. (2021). Derin Öğrenme ile Şeftali Hastalıklarının Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 540-546.

Öz

Tarım ürünleri, dünyadaki canlıların beslenme ihtiyaçlarının karşılanması bakımından oldukça önemlidir. Dünya nüfusundaki hızlı artış tarımsal ürünlerde verimliliğin artırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Sınırlı tarım alanlarında ürün verimliliğinin sağlanabilmesi bitkilerde görülebilecek hastalıklarının etkili bir şekilde ve zamanında tespiti oldukça önemlidir. Özellikle bazı meyve ağaçlarının kısa ömürlü olması bu ağaçlardaki hastalıkların doğru, zamanında ve hızlı bir şekilde tespitini daha önemli hale getirmektedir. Son zamanlarda görüntü işleme yaygın olarak kullanılan derin öğrenme, tarımsal faaliyetlerde etkili uygulamalar sunmaktadır. Bu çalışmada, şeftali ağacı hastalıklarının tespiti için evrişimli sinir ağı yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde, daha önceden eğitilmiş AlexNet modeli ile şeftali ağaçlarında görülen monilya ve koşnili hastalık tespiti yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda, TRB1 bölgesinden alınan gerçek hastalık görüntülerinden oluşan veri seti ile gerçekleştirildi. Yapılan deneysel çalışmalarda %99,30 doğruluk oranında hastalık tespiti yapılmıştır. Mevcut çalışmalardan %1,44 daha yüksek doğruluk oranına sağlandı.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Evrişimli Sinir Ağları, Bitki Hastalıkları.

Detection of Peach Diseases with Deep Learning

Abstract

Agricultural products are very important in meeting the nutritional needs of living creatures in the world. The rapid increase in the world population makes it necessary to increase the productivity in agricultural products. It is very important to ensure product productivity in limited agricultural areas and to detect diseases that can be seen in plants effectively and on time. Especially the short life of some fruit trees makes it more important to detect the diseases in these trees accurately, on time and quickly. Deep learning, which has been widely used in image processing recently, offers effective applications in agricultural activities. In this study, convolutional neural network method is proposed to detect peach tree diseases. In the proposed method, the detection of the disease with monilya laxa and sphaerolectanium prunastri in peach trees was made with the previously trained AlexNet model. Experimental studies were carried out with a dataset consisting of real disease images taken from the TRB1 region. In experimental studies, the disease was detected with an accuracy of 99.30%. Achieved 1.44% higher accuracy than existing studies.

Keywords: Deep Learning, Convolution Neural Network, Plant diseases.

* Sorumlu Yazar: muzaffer.aslan@bingol.edu.tr

1. Giriş

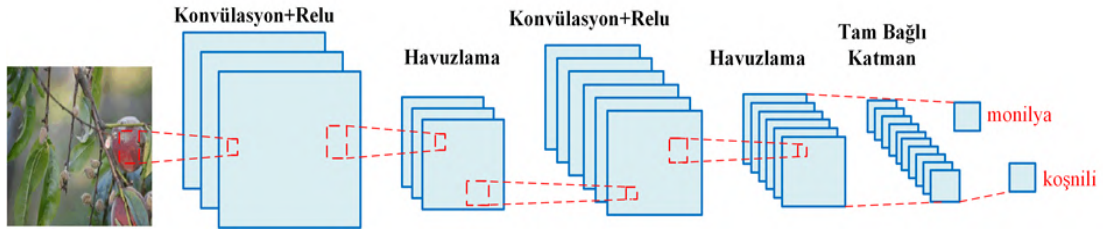
Tarım ürünleri, insanların olduğu kadar doğadaki diğer canlıların da beslenme ihtiyaçlarını karşılama konusunda önemli bir yere sahiptir. Dünyada artan nüfus tarımsal ürünlere olan talebi daha da artırmaktadır. Talebin karşılanabilmesi tarımsal ürünlerin verimliliğine bağlıdır. Fakat bitkilerde görülen hastalıklar, tarımsal ürünlerin niteliği ve miktarında oldukça önemli olumsuzluklara neden olmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü 2020 yılı verilerine göre zararlı böcek ve hastalıkların neden olduğu gıda üretim kaybı %20-%40 arasında değişmektedir (Savary, 2020). Bu nedenle erken uyarı ve tahmin sistemleri ile bitki hastalıklarının zamanında tespit edilmesi tarımsal gıda güvenliği açısından oldukça önemlidir (Chen, Yin & Zhang, 2020). Bitki hastalıklarının geleneksel tespitinde bu alandaki uzman veya deneyimli üreticilerin görsel gözlemlerine veya laboratuvar ortamındaki analizlere dayanmaktadır. Fakat bu yöntemler hem zaman alıcı hem de yoğun emek gerektirdiği için oldukça maliyetlidir. Bununla birlikte yine de bitki hastalık tespiti zamanında ve doğru bir şekilde yapılamamaktadır (Al Hiary et al., 2011). Son dönemlerde görüntü işleme teknolojisinin hızlı gelişimi ile görüntü işleme ve görüntü tanıma teknolojileri bitki hastalıklarının tespitinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Sahu & Swain, 2019), (Ayaz, Ari & Hanbay, 2017). Bu teknolojilerin kullanımı ile birlikte sadece bitki hastalıklarının tespitinde performans artışı sağlanmamış aynı zamanda tarım uzmanlarının eksikliğinden kaynaklanan sorunların çözümüne de katkı sağlanmıştır (Chen, Yin & Zhang, 2020), (Sahu & Swain, 2019).

Literatürde bitki hastalıklarının tespitine yönelik görüntü işleme temelli birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmında genellikle bitki yapraklarının renk, doku ve şekil gibi özellikleri referans alınarak Markow (Chen & Shi, 2008), görsel kelime çantası (Pevný, Bas & Fridrich, 2010), uzamsal alan çıkarmalı piksel bitişikliği (Pires et al., 2016) ve Temel Bileşen Analizi (TBA) (Mangathayaru, Mathura Bai & Srikanth, 2018) gibi yöntemler ile çıkarılan özneliklerin sınıflandırılmasına dayanmaktadır. Fakat bu yöntemler tek olarak kullanıldıklarında düşük performans göstermektedirler. Ayrıca gerçek hayatta elde edilmesi zor görüntüleri içeren veri setleri ile çalışması bakımından pratikte uygulanabilirliği olmaması gibi büyük dezavantajları bulunmaktadır (Türkoğlu & Hanbay, 2019a). Son dönemlerde derin Evrişimli Sinir Ağları (ESA) ile yapılan çalışmalar ile bu problem büyük oranda çözülmüş ve bitki hastalıklarının tespitinde önemli başarılar elde edilmiştir. Türkoğlu ve diğ. bitki hastalıkların tespiti için AlexNet, GoogleNet, VGG16, VGG19, ResNet50, ResNet101, InceptionV3, Inception ResNetV2, and SqueezeNet gibi popüler olan dokuz ESA mimarisini kullanarak performans sonuçlarını karşılaştırdılar (Türkoğlu & Hanbay, 2019b). Mohanty ve diğ. hastalıklı ve sağlıklı bitki yapraklarının 54306 adet görüntülerinden oluşan veri setinden farklı 14 bitki türünü ve 26 bitki hastalığını tespit için AlexNet ve GoogleNet derin öğrenme modellerini eğiterek yaptıkları çalışmalarında %99,35 oranında başarımlar elde ettiler (Mohanty, Hughes & Salathé, 2016). Gensheng ve diğ. çay hastalıklarının doğru ve hızlı bir şekilde tanımlanması için ESA kullanarak yaptıkları deneysel çalışmalarda %92,5 doğrulukta hastalık tespiti gerçekleştirdiler (Hu et al., 2019). Guan ve diğ. elma çürükleri ve çürüklerin

seviyelerini belirlemek için VGGNet, ResNet ve Inception-V3 ağları ile yaptıkları çalışmada %90,4 doğrulukta elma çürüklerini tespit ettiler (Yan et al., 2020). Benzer şekilde elma yapraklarındaki hastalıkların tespiti yapılan çalışmada VGG16'ya dayalı geliştirilmiş bir model önerilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada klasik VGG16 ile %89 başarımlar sağlanırken, önerilen model ile bu başarımlar %99,01'e çıkarılmıştır (Liu et al., 2018). Liu ve diğ. üzümlerdeki antraknoz, kahverengi lekeler, karlar, siyah çürüklük, tüylü küf ve yaprak küfü hastalıklarının tespit etmek için ESA tabanlı bir yöntem önermektedirler. İlk olarak görüntü iyileştirme teknikleri ile 107336 üzüm yaprak görüntülerini içeren veri setine ait görüntüler iyileştirilerek çok boyutlu öznelikleri elde edilmiştir. Daha sonra bu öznelikler ESA tabanlı modele uygulayarak üzüm hastalıklarının tespitinde %97,22 oranında başarımlar elde ettiler (Liu et al., 2020). Üzüm hastalıklarının tespitine yönelik yapılan bir diğer çalışmada yöntem olarak Inception-V1 ve ResNet birlikte kullanımı önerilmiştir. Önerilen yöntem ile yapılan deneysel çalışmalarda %81,1 doğruluk ile üzüm hastalıklarının sınıflandırmayı başardılar (Xie et al., 2020). Ensari ve diğ. Üzüm ve mısırdaki görülen hastalıkların tespiti için ESA yöntemini önerdiler. Yapılan deneysel çalışmalarda 1600 sağlıklı ve hastalıklı yaprak görüntü kullanılmış ve çalışmada %97,03 başarımlar sağlanmıştır (ENSARİ et al., 2020). Zhang ve diğ. yaprak hastalıklarının tanımlamak için GoogleNet ve Cifar10 olmak üzere iki model önerdiler. Bu modeller dokuz çeşit mısır yaprağını eğitmek ve test etmek için kullandılar. Yapılan deneysel çalışmalarda sekiz tür mısır yaprağı hastalığının tanınmasında, GoogLeNet modeli % 98,9'luk ve Cifar10 modeli ortalama % 98,8 doğrulukta mısır hastalıklarının tespit ettiler (Zhang et al., 2018). Türkoğlu ve diğ. elma hastalıklarının tespiti için çok modelli Uzun Kısa Süreli Bellek tabanlı (UKSB-LSTM) ESA tabanlı yöntem önermektedirler (Turkoglu, Hanbay & Sengur, 2019). Önerilen model UKSB ağı ile önceden eğitilmiş ESA modelleri ile kombine edilmiştir. AlexNet, GoogleNet ve DenseNet201 ESA modellerinden elde edilen öznelikler UKSB katmanını uygulanmıştır. UKSB çıkışları çoğunluk oylama sınıflandırıcıları sınıflandırılarak gerçek zamanlı elma hastalıkları tespiti gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, derin öğrenme temelli ESA AlexNet modeli ile şeftali hastalıkları ve zararlılarının tespitine yöneliktir. Literatürde şeftali hasadından sonra şeftalinin raf ömrünü sınırlayan çürümelerin tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Aslında şeftalinin çürüme sürecini hızlandıran ve hasatta düşük rekoltenin nedeni hasat öncesi şeftali ağacındaki hastalıkların etkili bir şekilde tespit edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda meyve hasadı gerçekleştirilmeden önce şeftali ağaçlarında sıkça görülen monilya ve koşnili gibi hastalıkların zamanında tespit edilmesi ve gerekli önlemlerini alınması ile hem ürün rekoltesinin yükseltilmesi sağlanmış olacak hem de sağlıklı şeftalinin uygun ortamlardaki raf ömrü de uzatılmış olacaktır. Çalışmada, Türkiye'deki bitki hastalıkları ve zararlı görüntülerinden oluşan gerçek bir veri seti kullanılmıştır. Önerilen yöntem veri seti üzerinde test edildi ve sonuçlar akıllı tarım uygulamalarında faydalı modeller geliştirilmesine katkı sağlayabilecektir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. ESA, AlexNet ve veri seti ikinci bölümde tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde deneysel çalışma ve sonuçlar detaylı olarak verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.



Şekil 1. ESA genel Mimarisi

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde, çalışmada kullanılan yöntemler, veri seti ve önerilen yöntemin performans değerlendirme kriterleri detaylandırılmıştır.

2.1. Evrişimli Sinir Ağı

Evrişimli Sinir Ağı (ESA), çok boyutlu diziler biçimindeki verileri işlemek için geliştirilen ve birçok işlem katmanından oluşan bir sinir ağı biçimidir (Yann LeCun Geoffrey Hinton, 2015). Bu bakımda ESA görsel nesne analizi, tanıma ve sınıflandırma, ses tanıma ve doğal dil işleme gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. ESA, klasik sinir ağlarından farklı olarak evrişim öznetelikleri çıkarma ve sınıflama özelliklerine sahiptir (Gunavathi et al., 2020). Şekil 1'deki ESA genel mimarisinde görüldüğü üzere ESA'lar birçok evrişim, aktivasyon, havuzlama, tam bağlı ve softmax katmanlarından oluşmaktadır.

Evrişim katmanı, giriş görüntü özelliklerinin çıkarıldığı ilk katmandır. Büyük boyutlu giriş görüntü üzerinde (3×3, 5×5, 7×7 gibi) farklı boyutlardaki filtrelerin hareketi ile görüntü özelliklerini içeren daha düşük boyutlu özelliklerin elde edilmesini sağlamaktadır (Yann LeCun Geoffrey Hinton, 2015),(Prabhu, 2018). Evrişim işlemi ile bir görüntünün düşük seviyeli özellikler ilk katmanda çıkarılırken, daha karmaşık özellikler sırasıyla sonraki evrişim katmanlarında çıkarılır (Budak et al., 2018), (Demir et al., 2020), (Tumen, Yildirim & Ergen, 2018).

Aktivasyon katmanı evrişim işlemi sonucunda elde edilen görüntü özellikleri doğrusal olmayan Düzeltilmiş Doğrusal Birim (DDB, ReLU) olarak adlandırılan bir fonksiyonu ile görüntü özelliklerindeki negatif değerler elemine edilir (Turkoglu,

Hanbay & Sengur, 2019), (Budak et al., 2018). Havuzlama katmanında, aktivasyon işlemi sonucunda elde edilen özellikler matrisinin kanal sayısı sabit tutularak maksimum ya da ortalama değer yöntemi ile bu matrisinin genişlik ve yükseklikleri azaltılmaktadır (Ayyüce Kızrak, 2018). Tam bağlı katman ise evrişim, aktivasyon ve havuzlama işlemleri sonucunda elde edilen farklı boyutlarda özellikler tek boyutlu özelliklere dönüştürülmesini sağlar (Prabhu 2018).

Softmax önceki katmanlarda elde edilen özelliklerin sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Sınıflandırma işleminde olasılıksal değerler kullanılarak ilgi sınıfa atama işlemi yapılır (Tumen et al. 2018)

2.1.1. AlexNet

Alex Krizhevsky ve dig. tarafından nesne tanıma için tasarlanmış bir ESA modelidir (Krizhevsky, Sutskever & Hinton, 2017). 2012'de ImageNet LSVR Challenge yarışmasında %15,3 hata oranı ile en iyi model olarak ilan edilmesi ile yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu ESA modeli, 5 konvolüsyon, 8 ReLU, 3 maksimum havuzlama, 3 tam bağlı ve başarıyı artırmak için normalizasyon katmanlarından oluşmakta olup Tablo 1'de Alexnet mimarisindeki her bir katmana ait detaylar verilmiştir. İlk konvolüsyon katmanına uygulanacak olan giriş görüntüsü 227×227×3 boyutlarında olmalıdır. AlexNet, 60 milyon parametrenin yanı sıra 650.000 nöron içeren büyük bir ağıdır. Tablo1'de görüldüğü gibi ilk iki evrişim katmanından sonra ReLU ve maksimum havuzlama katmanları bulunmaktadır (Arı, Alcin & Hanbay, 2020). Üç ve dördüncü evrişim katmanları direkt bağlıdır. Beşinci konvolüsyon katman çıkışında yine sırası ile ReLU ve maksimum havuzlama katmanları yer almaktadır. Çıktılar tam bağlı üç katmana gider ve sınıflandırma yapılacak ise son tam bağlı katman çıkışı ile softmax sınıflandırıcı beslenir.

Tablo 1. AlexNet mimarisindeki her bir katmanın detayları

İşlem	Filtre boyutu	Derinlik	Adım	Katman çıkışı	Parametre Sayısı
Konv1+ReLU	11×11	96	4	55×55×96	(11×11×3+1)×96=34944
Mak. Havuzlama	3×3		2	27×27×96	
Konv2+ReLU	5×5	256	1	27×27×256	(5×5×96+1)×256=614656
Mak. Havuzlama	3×3		2	13×13×256	
Konv3+ReLU	3×3	384	1	13×13×384	(3×3×256+1)×384=885120
Konv4+ReLU	3×3	384	1	13×13×384	(3×3×384+1)×384=1327488
Konv5+ReLU	3×3	256	1	13×13×256	(3×3×384+1)×256=884992
Mak. Havuzlama	3×3		2	6×6×256	
FC6+ReLU				4096	(256×6×6)×4096=37748736
FC7+ReLU				4096	4096×4096=16777216
FC8+ReLU				1000	4096×1000=4096000

2.2. Transfer Öğrenme

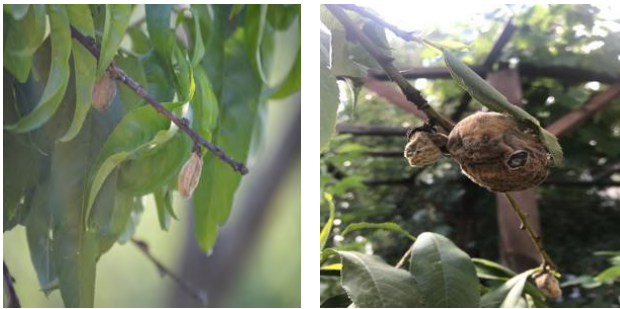
Transfer öğrenmesi, mevcut bir problemin çözümü için tasarlanıp geliştirilen modelden elde edilen özelliklerini kullanarak farklı bir problemin çözümü için kullanılmasıdır. Aslında bu yaklaşım, insanoğlunun farkında olarak ya da farkında olmadan bir problemin çözümünde geçmiş deneyimlerden faydalanmasına benzemektedir (Fırıldak & Talu, 2019). Bu çalışmada, transfer öğrenmeye dayalı önceden eğitilmiş ESA modelinde bazı ayarlamalar yaparak kullanılmıştır. Çünkü önceden eğitilmiş bir modelin tercih edilmesi, rastgele ağırlıklar ile ESA modelin eğitilmesinden daha kolay ve hızlıdır.

2.3. Veri seti

Veri seti, Türkiye TRB1 bölgesindeki Malatya, Elazığ ve Bingöl illerinde yaygın bitki hastalıklarının tespiti için Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi ve İnönü Üniversitesi bitki koruma alanında çalışan akademisyenler tarafından hazırlanmıştır. Veri seti, Kayısı, Ceviz, Kiraz ve Şeftali gibi meyve ağaçlarında sıkça rastlanılan bitki hastalıklarına ait 1965 görüntüyü içermektedir. Tüm görüntüler renkli olup 4000×6000 çözünürlüğe sahiptir (Türkoğlu & Hanbay, 2019b). Bu çalışmada, veri setindeki 427 adet şeftali koşnili ve 327 adet şeftali monilya hastalıklarına ait renkli görüntüler kullanılacaktır.



(a) Koşnili



b) Monilya

Şekil 2. Şeftali hastalık görüntüleri

Şekil 2'de veri kümesindeki bazı hastalıklı şeftali görüntüleri yer almaktadır. Şekil 2 (a) şeftali koşnili hastalık görüntülerini ve Şekil 2 (b)'de şeftali monilya hastalık görüntüleri yer almaktadır. Şeftali koşnili, ağaç gövde ve dallarında görülen bir hastalıktır. Hastalıklı bölgeler hızla zayıflar ve zamanla yapraklar solar, dökülür ve sonunda ağaç dalları kurur. Şeftali koşnili bazen meyve üzerinde de görülebilir bu durumda şeftali meyvesinde kırmızı lekeler görülmektedir. Şeftali monilyası ise önce çiçekte ortaya çıkar daha sonra çiçek sapı ve oradan ağaç dallarına bulaşmaktadır. Bu hastalık ince sürgünlerde kurmaya yol açarken, ağaç dallarında yaralara neden olmaktadır.

2.4. Performans Değerlendirme Kriterleri

Şeftali hastalık türlerinin tespiti için önerilen yöntemin performans değerlendirilmesi, Denklem 1-5'de bağıntıları verilen parametreler ile birlikte alıcı işlem karakteristik (Receiver Operating Characteristic - ROC) eğrisi seçildi. Bu parametreler veri setinden çıkarılan öznitelikler üzerindeki davranışını tahminine imkan sağlamaktadır (Siuly et al., 2020).

$$\text{Doğ} = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Duy} = \frac{DP}{DP + YN} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Özg} = \frac{DN}{DN + YP} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Kes} = \frac{DP}{DP + YP} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{F1 Skor} = 2 * \frac{\text{Duy} \times \text{Kes}}{\text{Duy} + \text{Kes}} \times 100 \quad (5)$$

Burada,

Doğ: Doğruluk oranını tanımlamaktadır. Veri setindeki koşnili ve monilya hastalıklarının doğru olarak tespit edilme oranını göstermektedir,

Duy: Duyarlılık oranını tanımlamaktadır. Veri setinde toplam koşnili hastalıklarının doğru olarak tespit edilme oranını ifade etmektedir,

Özg: Özgüllük oranını tanımlamaktadır. Veri setinde toplam monilya hastalıklarının doğru olarak tespit edilme oranını ifade etmektedir.

Kes: Keskinlik oranını tanımlamaktadır. Doğru olarak tahmin edilen koşnili hastalıklarının veri setindeki toplam koşnili hastalığına sahip verilere olan oranıdır,

F1 Skor: Duyarlılık ve keskinlik değerlerinin harmonik ortalaması olup, sınıflandırma algoritmaları kıyaslanırken en çok kullanılan ölçülerden biridir.

DP: önerilen modele göre doğru olarak sınıflandırılan koşnili hastalık sayısını;

YP: önerilen modele göre monilya hastalık olarak hatalı sınıflandırılan koşnili hastalık sayısını;

DN: önerilen modele göre doğru olarak sınıflandırılan monilya hastalık sayısını;

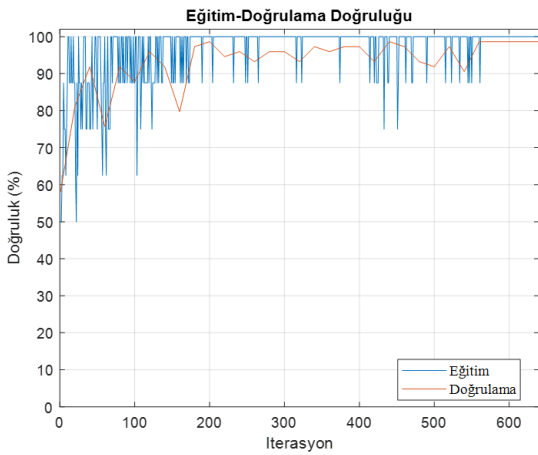
YN: önerilen modele göre koşnili olarak hatalı sınıflandırılan monilya hastalık sayısını tanımlamaktadır.

3. Deneysel Çalışmalar ve Tartışma

Bu çalışmada, ESA AlexNet modeli ile şeftali ağaçlarında görülen hastalıkların tespiti, 427 adet şeftali koşnili ve 327 adet şeftali monilya hastalıklarına ait renkli görüntüleri içeren veri seti test edilmiştir. Deneysel çalışmalar, dört çekirdekli Intel i7 işlemci, NVIDIA GTX 850M GPU ve 16GB hafızaya sahip bilgisayarda kurulu MATLAB (2019b) ile gerçekleştirildi. Ayrıca AlexNet modülü için MATLAB Derin Öğrenme Araç kutusu kullanıldı.

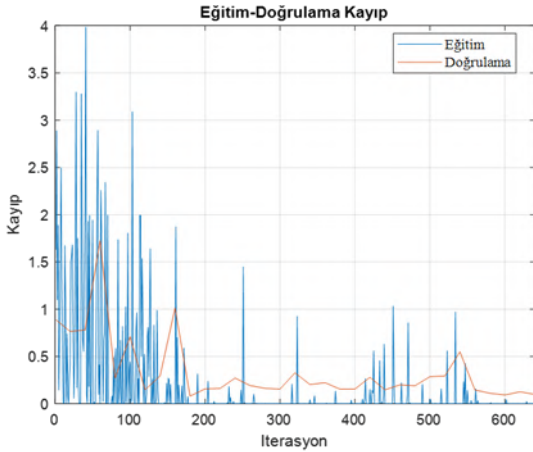
Tüm veri seti görüntüleri transfer öğrenimi için rastgele bir şekilde sırasıyla %70, %10 ve %20 oranlarında eğitim, doğrulama ve test olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Eğitim veri seti önerilen modelin öğrenme sürecinde, doğrulama veri seti modeli oluşturabilmek amacıyla eğitim setinin bir parçası olarak kullanıldı. Ayrıca doğrulama veri seti ise model parametrelerinin ayarlamak için de kullanıldı. Test veri kümesi ise performans değerlendirmesi için kullanıldı.

En iyi model için AlexNet parametreleri (learning rate, validation frequency, batch size and number of epochs) eğitim süresince optimize edildi. Bu amaçla farklı parametreler için uygun değerleri bulmak için çok sayıda deney gerçekleştirildi. Buna göre başlangıç öğrenme oranı, doğrulama frekansı, toplu iş boyutu ve maksimum epochs sırasıyla 0.0001, 20, 8 ve 10 olarak seçilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan AlexNet modelinin her bir katmandaki veri değişiminin nasıl olduğu AlexNet mimarisinin detaylandırıldığı Tablo 1’de yer almaktadır.



Şekil 3. AlexNet eğitim-doğrulama doğruluk eğrisi

Transfer öğrenme sürecinde AlexNet modelinin eğitim validasyon doğruluğu Şekil 3’de ve Şekil 4’de ise eğitim validasyon kayıp bilgi grafikleri görülmektedir. Şekil 3’de görüldüğü gibi yaklaşık 550 sonrası iterasyonlarda doğrulama doğruluğunda önemli bir gelişme olmadığı eğitim sürecinin başarılı bir şekilde tamamlandığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 4’de görüldüğü üzere eğitim süresince kayıp veri oranı 0.5 değerinin çok altında olduğu görülebilmektedir. Böylece önemli bir veri kaybı olmadan eğitim süreci başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.



Şekil 4. AlexNet eğitim-doğrulama kayıp eğrisi

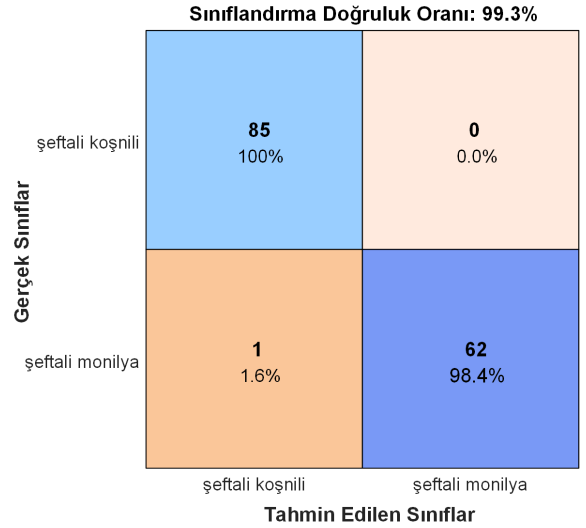
Deneysel çalışmalarda, önerilen yöntemin performans değerlendirmesinde daha önceki bölümlerde açıklanan e-ISSN: 2148-2683

performans değerlendirme kriterleri referans alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmanın genel sınıflandırma sonuçları Tablo 2’de görülmektedir. Tabloda doğruluk, duyarlılık, seçicilik, keskinlik ve F1 skor sonuçları verilmiştir.

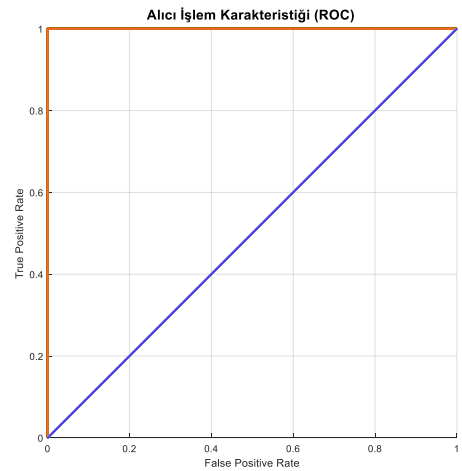
Tablo 2. AlexNet sınıflandırma sonuçları (%).

Doğ	Duy	Özg	Kes	F1 Skor
99,32	98,41	100,00	100,00	99,20

Tablo 2’de gördüğü gibi şeftali ağacında görülebilecek monilya ve koşnili hastalıklarının %99,32 doğruluk oranında tespit edebilmektedir. Ayrıca seçicilik ve keskinlik değerlerinde %100’lük başarı oranına ulaşılmıştır. Sınıflara özgü daha ayrıntılı performans değerlendirmesi için Şekil 5’de softmax sınıflandırıcı hata (confusion) matrisi verilmiştir. Şekil 5’deki hata matrisinde her bir sütünün toplamı o kategori için tahmin edilen veri sayısının gösterirken, her bir satır veri setindeki gerçek değerleri göstermektedir. Şekil 5’de görüldüğü üzere 85 (%100) şeftali koşnili sınıflı veriler ve 62 (%98,40) şeftali monilya sınıflı veriler AlexNet softmax katmanı tarafından doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır. Öte taraftan 1 (%1,6) şeftali monilya sınıflı veri hatalı bir şekilde koşnili sınıflı veri olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Hata matris değerleri veri setine ait veri etiketlerinin yüksek bir oranda tahmin edildiğini açıkça göstermektedir.



Şekil 5. Hata Matrisi



Şekil 6. Alıcı işlem karakteristik eğrisi

Modelin etkinliğini daha fazla doğrulamak için Şekil 6'da ROC eğrisi görülmektedir. ROC eğrileri, YP oranlarına karşı DP oran grafiklerini gösterir ve eğri altındaki alan 0-1 arasında olup sınıflandırıcıların genel performansının ölçüsünü göstermektedir.

Önerilen yöntemin daha ayrıntılı performans değerlendirmesi amacıyla, aynı veri setini kullanılan mevcut yöntemlerin performans karşılaştırması Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde önerilen yöntemin mevcut tüm yöntemlerden daha iyi performansa sahip olduğu görülmektedir. Bu bakımdan önerilen yöntem gerçek zamanlı uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Tablo 2. Önerilen yöntemin diğer yöntemler ile karşılaştırma

Yöntem	Doğruluk (%)
GoogleNet [9]	95,22
ResNet50 [9]	97,86
Inceptionv3 [9]	97,45
SqueezeNet [9]	97,96
Önerilen Yöntem	99,30

4. Sonuç

Bitki hastalıklarının tespitine yönelik geleneksel makine öğrenim yöntemleri ile hastalık görüntülerinden özellik çıkarımı manuel olarak yapılmaktadır. Bu hem zor hem de zaman alan bir süreçtir. Bu durumda tespit edilen bitki hastalıklarına karşı alınacak önlemlerde gecikmelere neden olabilmektedir. Bu çalışmada, şeftali hastalıklarının daha hızlı ve otomatik tespiti için derin öğrenme tabanlı etkili bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada, hastalıklı şeftali görüntülerinden AlexNet ESA modelinde basit birkaç parametre tanımlaması ile hastalık türü hızlı ve yüksek doğruluk ile tespit edildi. Deneysel çalışmalarda %99,30 doğruluk oranı ile şeftali hastalıkları tespit edildi. Aynı veri seti ile yapılan mevcut çalışmalardan %1,44 daha yüksek doğruluk oranına ulaşılmıştır. İleride yapılacak bir çalışma olarak, gerçek zamanlı ve akıllı tarım uygulamalarında faydalı modellerin geliştirilmesine katkı sağlayabilecektir.

Kaynakça

Arı A, Alcin OF, Hanbay D. 2020. Brain MR Image Classification Based on Deep Features by Using Extreme Learning Machines. *Biomedical Journal of scientific & Technical Research* 25:19137–19144. DOI: 10.26717/BJSTR.2020.25.004.

Ayaz F, Ari A, Hanbay D. 2017. Leaf recognition based on artificial neural network. In: *In 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*. 1–5. DOI: 10.1109/idap.2017.8090240.

Ayyüce Kızrak. 2018. Derine Daha Derine: Evrişimli Sinir Ağları. Available at <https://medium.com/@ayyucekizrak/derine-daha-derine-evrişimli-sinir-ağları-2813a2c8b2a9> Erişim Tarihi: Ocak 2021

Budak U, Alçin ÖF, Aslan M, Şengür A. 2018. Optic Disc Detection in Retinal Images via Faster Regional Convolutional Neural Networks. In: *In 1st International Engineering and Technology Symposium (IETS-2018)*.

Chen C, Shi YQ. 2008. JPEG image steganalysis utilizing both intrablock and interblock correlations. In: *Proceedings - IEEE International Symposium on Circuits and Systems*. 3029–3032. DOI: 10.1109/ISCAS.2008.4542096.

Chen J, Yin H, Zhang D. 2020. A self-adaptive classification method for plant disease detection using GMDH-Logistic model. *Sustainable Computing: Informatics and Systems* 28. DOI: 10.1016/j.suscom.2020.100415.

Demir F, Turkoglu M, Aslan M, Sengur A. 2020. A new pyramidal concatenated CNN approach for environmental sound classification. *Applied Acoustics* 170. DOI: 10.1016/j.apacoust.2020.107520.

ENSARİ T, ARMAH DC, BALSEVER AE, DAĞTEKİN M. 2020. Görüntü Tabanlı Dijital Bitki Fenotiplemesi için Konvülsiyonel Sinir Ağları. *European Journal of Science and Technology*:338–342. DOI: 10.31590/ejosat.780087.

Fırıldak K, Talu MF. 2019. Evrişimsel Sinir Ağlarında Kullanılan Transfer Öğrenme Yaklaşımlarının İncelenmesi. *Anatolian Journal of Computer Science* 4:88–95.

Gunavathi C, Sivasubramanian K, Keerthika P, Paramasivam C. 2020. A review on convolutional neural network based deep learning methods in gene expression data for disease diagnosis. *Materials Today: Proceedings*. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.10.263.

Al Hiary H, Bani Ahmad S, Reyalat M, Braik M, ALRahamneh Z. 2011. Fast and Accurate Detection and Classification of Plant Diseases. *International Journal of Computer Applications* 17:31–38. DOI: 10.5120/2183-2754.

Hu G, Yang X, Zhang Y, Wan M. 2019. Identification of tea leaf diseases by using an improved deep convolutional neural network. *Sustainable Computing: Informatics and Systems* 24. DOI: 10.1016/j.suscom.2019.100353.

Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. 2017. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM* 60:84–90. DOI: 10.1145/3065386.

Liu B, Ding Z, Tian L, He D, Li S, Wang H. 2020. Grape Leaf Disease Identification Using Improved Deep Convolutional Neural Networks. *Frontiers in Plant Science* 11. DOI: 10.3389/fpls.2020.01082.

Liu B, Zhang Y, He DJ, Li Y. 2018. Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks. *Symmetry*. DOI: 10.3390/sym10010011.

Mangathayaru N, Mathura Bai B, Srikanth P. 2018. Clustering and classification of effective diabetes diagnosis: computational intelligence techniques using PCA with kNN. In: *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 426–440. DOI: 10.1007/978-3-319-63673-3_52.

Mohanty SP, Hughes DP, Salathé M. 2016. Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science* 7. DOI: 10.3389/fpls.2016.01419.

Pevný T, Bas P, Fridrich J. 2010. Steganalysis by subtractive pixel adjacency matrix. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* 5:215–224. DOI: 10.1109/TIFS.2010.2045842.

Pires RDL, Gonçalves DN, Oruê JPM, Kanashiro WES, Rodrigues JF, Machado BB, Gonçalves WN. 2016. Local descriptors for soybean disease recognition. *Computers and Electronics in Agriculture* 125:48–55. DOI: 10.1016/j.compag.2016.04.032.

Prabhu R. 2018. Understanding of Convolutional Neural Network (CNN) Deep Learning. Available at <https://medium.com/@RaghavPrabhu/understanding-of-convolutional-neural-network-cnn-deep-learning-99760835f148>

Sahu AK, Swain G. 2019. Dual stego-imaging based reversible data hiding using improved LSB matching. *International*

- Journal of Intelligent Engineering and Systems* 12:63–73. DOI: 10.22266/ijies2019.1031.07.
- Savary S. 2020. Plant health and food security. *Journal of Plant Pathology* 102:605–607. DOI: 10.1007/s42161-020-00611-5.
- Siuly S, Alcin OF, Kabir E, Sengur A, Wang H, Zhang Y, Whittaker F. 2020. A New Framework for Automatic Detection of Patients with Mild Cognitive Impairment Using Resting-State EEG Signals. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 28:1966–1976. DOI: 10.1109/TNSRE.2020.3013429.
- Tumen V, Yildirim O, Ergen B. 2018. Detection of driver drowsiness in driving environment using deep learning methods. *2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting, EBBT 2018*:1–5. DOI: 10.1109/EBBT.2018.8391427.
- Türkoğlu M, Hanbay D. 2019a. Plant recognition system based on extreme learning machine by using shearlet transform and new geometric features. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34:2097–2112. DOI: 10.17341/gazimmfd.423674.
- Türkoğlu M, Hanbay D. 2019b. Plant disease and pest detection using deep learning-based features. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences* 27:1636–1651. DOI: 10.3906/elk-1809-181.
- Turkoglu M, Hanbay D, Sengur A. 2019. Multi-model LSTM-based convolutional neural networks for detection of apple diseases and pests. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. DOI: 10.1007/s12652-019-01591-w.
- Xie X, Ma Y, Liu B, He J, Li S, Wang H. 2020. A Deep-Learning-Based Real-Time Detector for Grape Leaf Diseases Using Improved Convolutional Neural Networks. *Frontiers in Plant Science* 11. DOI: 10.3389/fpls.2020.00751.
- Yan Q, Yang B, Wang W, Wang B, Chen P, Zhang J. 2020. Apple leaf diseases recognition based on an improved convolutional neural network. *Sensors (Switzerland)* 20:1–14. DOI: 10.3390/s20123535.
- Yann LeCun Geoffrey Hinton YB. 2015. Deep learning (2015), Y. LeCun, Y. Bengio and G. Hinton. *Nature*.
- Zhang X, Qiao Y, Meng F, Fan C, Zhang M. 2018. Identification of maize leaf diseases using improved deep convolutional neural networks. *IEEE Access* 6:30370–30377. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2844405.



Kuvars Kumunun Kırılma Hızının Tanımlanmasında Öğütücü Ortam Boyutunun Etkisinin Araştırılması

Serhan Haner^{1*}

^{1*} Afyon Kocatepe Üniversitesi, DUBYO, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8579-078X), serhan.haner@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 22 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 9 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.884565)

ATIF/REFERENCE: Haner, S. (2021). Kuvars Kumunun Kırılma Hızının Tanımlanmasında Öğütücü Ortam Boyutunun Etkisinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 547-551.

Öz

Seramik endüstrisinde hammadde hazırlama süreçlerinin ilk aşamasını öğütme üniteleri oluşturmaktadır. Değirmen fazını oluşturan feldispat ve kuvars kumu gibi özgül hammadde belirlenmiş bir tane boyutunun altına indirilmesi uzun süreler almaktadır. Bu durum da zaman ve enerji tüketimi açısından olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu gibi endüstrilerde kullanılan kuvars kumunu, talep edilen tane boyutuna optimum sürede getirebilmek için doğru bilya boyutunun seçilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada kuvars kumu örneğinin kırılma hızı değerlerinin değişimi, iki farklı boyuttaki alümina bilya kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla, 0.090-0.053 mm aralığında $4\sqrt{2}$ elek serisine göre üç dar tane boyut fraksiyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan bu üç fraksiyondaki kuvars kumu, 10 ve 30 mm boyutlarındaki alümina bilyalar ile farklı sürelerde öğütülmüştür. Öğütme periyotları sonunda elde edilen tane boyut dağılımlarından özgül kırılma hızı değerleri elde edilmiştir. Öğütme testleri sonucunda, bilya boyutunun artmasına bağlı olarak kırılma hızında azalma gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuvars kumu, Ufalama, Kırılma hızı, İnce öğütme.

The Research about the Effects of Grinding Media Size on the Determination of Breakage Rate of Quartz Sand

Abstract

In the ceramic industry, the grinding units make up the first stage of raw material preparation process. It takes a long time to reduce the raw materials with no essence to a certain grain size such as feldspar and quartz sand that make up the mill phase. This situation causes negativity in terms of time and energy consumption. In this respect, it is very important to select the correct ball size in order to bring the quartz sand to the desired particle size in optimum time. In this study, the changes in the specific rate of breakage of the quartz sand sample was investigated by using alumina ball in two different sizes. For this purpose, three different mono-size intervals between the range of 0.090-0.053 mm were prepared according to the $4\sqrt{2}$ sieve series. The quartz sand prepared in these three intervals were grounded with 10 and 30 mm alumina balls for different durations. Specific rate of breakage values were obtained from the particle size distributions acquired after the grinding periods. As a result of grinding tests, an decrease in rate of breakage is observed due to the increase in ball diameter.

Keywords: Quartz sand, Comminution, Breakage rate, Fine grinding.

* Sorumlu Yazar: serhan.haner@gmail.com

1. Giriş

Kuvars kumu, magmatik metamorfik kayaçların ayrışması sonucu oluşmaktadır. Tane boyutu 2 mm'den küçük olan kuvars içeriğine sahiptir. Beyaz renklidir. Ancak içerisindeki demir oksit miktarına bağlı olarak pembe, kahverengi veya kırmızı renklerde olabilir. Yüksek oranda silis içermektedir. Doğada saf olarak bulunabilmesine karşın az miktarlarda feldispat, kil, karbonatlar veya demir oksitler içerebilmektedir. Kullanım amaçlarına bağlı olarak talep edilen fiziksel, kimyasal veya ısıl özelliklerin kazandırılabilmesi amacıyla birtakım cevher hazırlama işlemleri uygulanmaktadır. Kuvars kumu genel olarak cam ve döküm sanayisinde tüketilmektedir. Bu kullanım alanlarının dışında seramik, inşaat, plastik, boya, aşındırıcı gibi sanayilerde de kullanılmaktadır. Ocaktan üretim yöntemi olarak açık işletme metodu uygulanmaktadır. Kuvars kumu üretiminin ekonomik olabilmesi için örtü tabakasının kalınlığının kuvars kumu tabakasının kalınlığına oranı 4 m³/ton seviyesini aşmamalıdır (DPT, 2001).

Seramik sağlık gereçleri fabrikaları tarafından temin edilen kuvars kumlarının yaklaşık %90'ı (-2+0.075) mm boyutundaki tanelerden oluşmaktadır. Seramik sağlık gereçleri üretiminde feldispat ve kuvars kumu gibi özgül hammaddelere öğütme işlemi uygulanmakta ve öğütme süresi sonunda özgül bileşimin 0.060 mm tane boyutunun altında olması istenmektedir. Seramik tesisleri tarafından genellikle bilyalı değirmenler tercih edilmektedir ve öğütücü malzeme cinsi olarak ise alümina bilya kullanılmaktadır. Öğütme işlemi 0.1 mm tane boyutunun altında olduğundan dolayı kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Ekonomik açıdan öğütme verimliliğinin azaldığı bu ince tane boyutlarında bilyalı değirmenlerin özgül enerjileri üstel olarak artış göstermektedir (Liddell, 1986; Haner, 2020).

Kuvars kumunun tek başına ince tane boyutlarına öğütülmesi, hem zaman hem de enerji açısından yüksek tüketimlere sebep olmaktadır. Kuvars kumu, seramik üretiminde bilyalı değirmen fazını oluşturan diğer özgül hammaddeler üzerinde öğütücü ortam gibi davranmaktadır. Ayrıca öğütücü ortamı oluşturan alümina bilya yüzeyinin de aşınmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle değirmendeki diğer hammaddelere göre kuvars kumunun öğütülmesi düşük seviyelerde olmaktadır. Genellikle kuvars kumu tanelerinin kırılması, çatlak yüzeylerinden konkoidal parça kopması şeklinde gerçekleşmektedir. Çünkü kuvarsın dilinimi yoktur (Vardar ve Bozkurtoğlu, 2009). Bu nedenle kırma ve öğütme işlemleri esnasında kuvars kumu örnekleri düzgün kırılma göstermemektedir. Kırılma konkoidal (midye kabuğu) şekilde ve düzensiz olmaktadır. Düzensiz gelişmiş çatlakların kırılmaya etken olduğu söylenebilir (Haner, 2016).

Değirmenlerde kapasite ve verimliliği etkileyen önemli bir değişken öğütücü ortam boyutudur. Bilyalı değirmen ile yapılan orta dereceli öğütme (0.040-0.40 mm) işleminde optimum öğütücü ortam boyutu seçimi ile ilgili literatürde bazı çalışmalar mevcuttur (Bond, 1958; Austin ve ark., 1976; Yusupov ve ark., 2003; Coghill ve Devaney, 2019; Haner, 2020).

Bu çalışmada, farklı boyutlardaki alümina bilyanın kuvars kumunun kırılma hızına (S_i) etkisi araştırılmıştır. Öğütme çalışmalarında kullanılan kuvars kumu, özel bir seramik şirketi tarafından temin edilmiştir. Kuvars kumunun özgül kırılma hızının değişimi 10 ve 30 mm boyutlarındaki alümina bilya

kullanılarak incelenmiştir. Kuru ortamda gerçekleştirilen öğütme deneyleri için değirmendeki malzeme doluluk oranı (f_c) 0.096 ve bilya doluluk oranı (J) 0.30 olarak alınmıştır. Bu amaçla, Lynch tarafından temeli oluşturulan ve Austin tarafından geliştirilen kinetik model uygulanmıştır. Bu modelde bir hammaddenin kırılma dağılımını ve kırılma hızını tanımlayan matematiksel ifadeler bulunmaktadır (Austin ve ark., 1984). Kinetik model tabanlı öğütme çalışmaları ile laboratuvar çapında elde edilen değerler, endüstriyel ortamda simülasyona uygundur (Austin ve ark., 1981).

2. Materyal ve Metot

Öğütme çalışmalarında kullanılan kuvars kumu, Zonguldak ili Gökçebey ilçesinde bulunan özel bir seramik şirketinden temin edilmiştir. Kuvars kumuna ait kimyasal analiz değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Bu çalışmada, kuvars kumunun üç tane boyut fraksiyonundaki özgül kırılma hızı değerleri (S_i) belirlenmiştir. Bunun için kuvars kumunun $4\sqrt{2}$ elek serisine göre üç dar tane boyut aralığı (-0.090+0.075, -0.075+0.063, -0.063+0.053 mm) hazırlanmıştır. Kuvars kumunun özgül kırılma hızı değerlerinin tespiti için, 15x15 cm (çapxuzunluk) ölçüsüne sahip ve çelik malzemeden üretilmiş laboratuvar boyutlu bir bilyalı değirmen kullanılmıştır. Bilyalı değirmen içerisinde tercih edilen öğütücü ortam ise 10 ve 30 mm çapındaki alümina bilyalar olmuştur. $4\sqrt{2}$ elek serisine göre hazırlanmış olan her bir dar tane boyut aralığı, kırılma fonksiyonlarının belirlenmesi için kesikli olarak öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ve 128 dakika) sonrası değirmen içerisindeki kuvars kumunun tamamı boşaltılmış ve tane boyutu ölçümü için örnek alınmıştır. Öğütme periyotlarına ait numunelerin tane boyut dağılımlarının tespiti amacıyla Malvern Hydro 2000G marka ve model cihaz kullanılmıştır. Zamana karşılık her bir öğütme periyodu sonucu en üst tane boyutu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının öğütme sürelerine karşı yarı logaritmik grafikleri çizilmiştir. Birinci derece kırılma bölgesi, bu grafiğin doğrusal bir şekilde azaldığı bölge ile temsil edilmektedir. Birinci derece kırılma bölgesindeki doğrunun eğimi bize malzemenin o tane boyut aralığındaki özgül kırılma hızını vermektedir. Özgül kırılma hızına ait formül Eşitlik 1'de görülmektedir.

$$S_i = a(x_i/1 \text{ mm})^\alpha Q_i \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen "a" sembolü, model parametresidir. Bu parametre, hammadde ve öğütme şartlarına bağlıdır. " x_i ", i fraksiyonundaki üst boyutu (mm) sembolize etmektedir. Q_i düzeltme faktörüdür ve küçük boyutlu taneler için 1 olarak alınır. α değeri pozitif bir sayıdır ve malzeme özelliklerine bağlı olarak 0.5 ile 1.5 arasında değişir (Austin ve ark., 1984).

DeneySEL çalışmalarda bilyalı değirmenin dönüş hızı olarak, değirmenin kritik hız değerinin %75'i tercih edilmiştir. Değirmen dönüş hızı Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik 3 ve 4 ile sırasıyla değirmene beslenecek malzeme miktarları (f_c) ve değirmenin boşluk doldurma oranları (U) bulunmuştur.

$$\text{Kritik hız } (N_k) = \frac{42.3}{\sqrt{(D-d)}} \quad (2)$$

Eşitlik 2'de, D değirmen çapını (m), d ise bilya çapını (m) temsil etmektedir.

$$f_c = \frac{\text{Malzeme Miktarı/Malzeme Yoğunluğu}}{\text{Değirmen Hacmi}} * \left(\frac{1}{0.6}\right) \quad (3)$$

$$U = \frac{f_c}{0.4 \cdot J} \quad (4)$$

Öğütme deneylerinde kullanılan bilyalı değirmene ait özellikler ve deneysel koşullar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Kuvars Kumunun % Oksit Değerleri

SiO ₂	91.16
Al ₂ O ₃	5.18

Na ₂ O	0.62
K ₂ O	0.37
CaO	0.05
Fe ₂ O ₃	0.34
TiO ₂	0.43
SO ₃	0.03
Kızdırma Kaybı	1.82

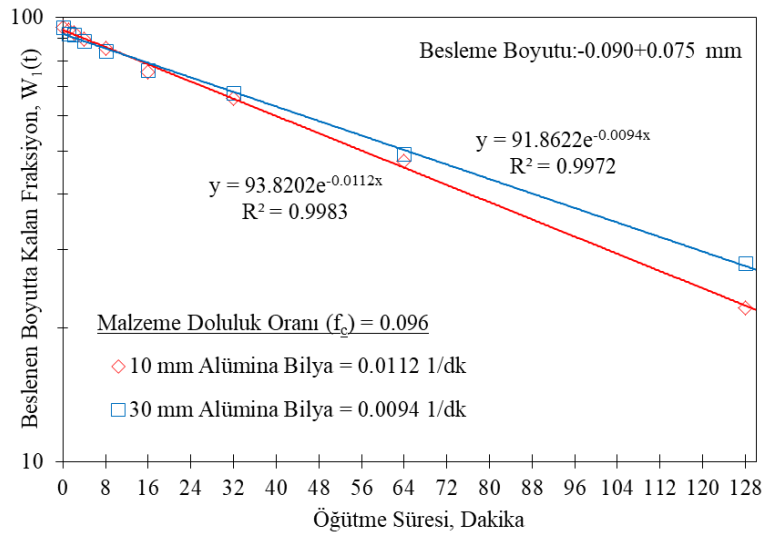
Tablo 2. Bilyalı Değirmenin Özellikleri ve Deneysel Koşulları

Değirmen	İç çap, mm	150
	İç uzunluk, mm	150
	Hacim, cm ³	~2650
	Çalışma hızı, dev/dak	~91-84.5
Bilya	Malzeme	Alümina
	Boyut, mm	10-30
	Ortalama bilya ağırlıkları, g	~3.5-72
	Özgül ağırlık, g/cm ³	3.70
	Doluluk oranı (J)	30
Malzeme	Gerçek yoğunluk, g/cm ³	2.65
	Malzeme yükü (f _c) (J=0.30, N _c =0.75)	0.096
	f _c 'ye göre boşluk doldurma oranı (%U)	0.80

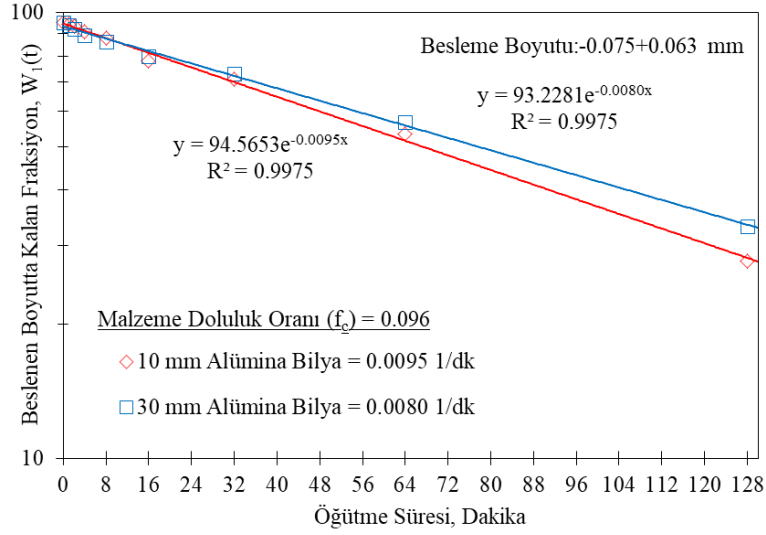
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İki ayrı tane boyut fraksiyonundaki kuvars kumu, iki farklı boyuttaki bilya kullanılarak, lineer olarak artan öğütme sürelerinde öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu sonunda, en üst tane boyutu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının, öğütme sürelerine karşı grafikleri çizilmiştir. Birinci derece

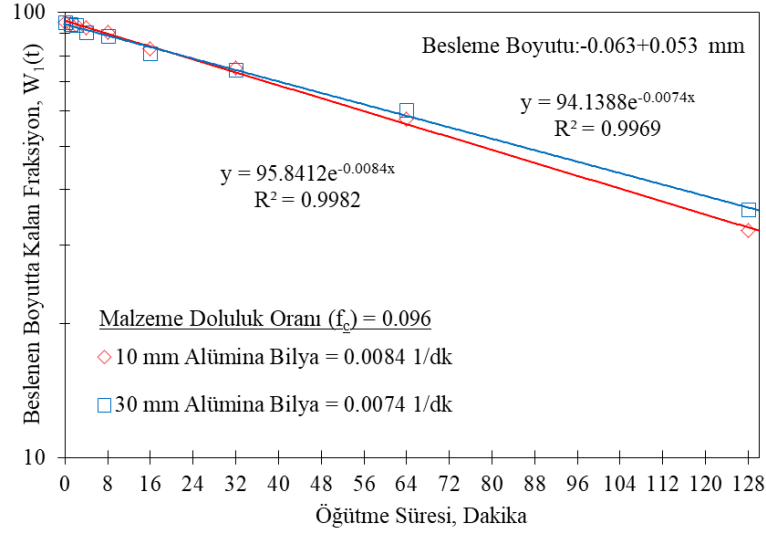
kırılma doğrularının grafikleri Şekil 1, 2 ve 3’de ve sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Birinci derece kırılma bölgesi, bu grafiğin doğrusal bir şekilde azaldığı bölge ile temsil edilmektedir. Birinci derece kırılma bölgesindeki doğrunun eğimi, malzemenin tane boyut aralığına bağlı özgül kırılma hızını vermektedir.



Şekil 1. Kuvars Kumunun -0.090+0.075 mm Tane Boyut Aralığı için Birinci Derece Kırılma Doğruları



Şekil 2. Kuvars Kumunun -0.075+0.063 mm Tane Boyut Aralığı için Birinci Derece Kırılma Doğruları



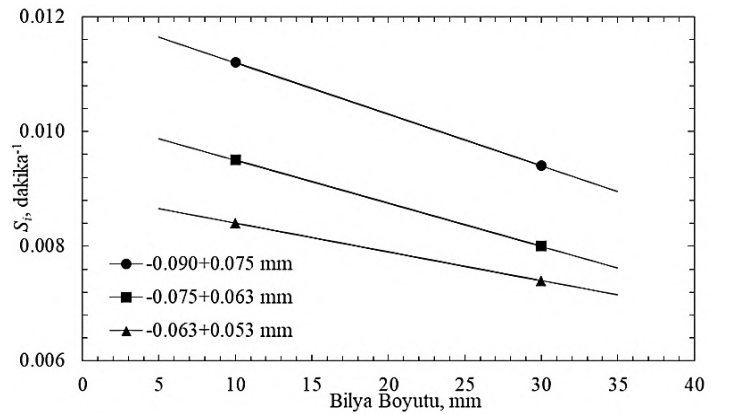
Şekil 3. Kuvars Kumunun -0.063+0.053 mm Tane Boyut Aralığı için Birinci Derece Kırılma Doğruları

Geleneksel bilyalı değirmenlerde büyük boyutlu bilyaların kaba tanelerin öğütülmesinde ve küçük boyutlu bilyaların ise ince tanelerin öğütülmesinde daha etkin olduğu kabul edilmektedir. Austin ve ark. (1984)'e göre, bilya çapının kırılma hızına olan etkisini, değirmenin birim hacmindeki bilya çapının azalmasına bağlı olarak bilya çarpışma hızının artması olarak açıklamaktadır. Yani ince tanelerin kırılma hızları bilya çapı küçüldükçe artmaktadır. Bu çalışmada da, 10 mm alümina bilyanın malzemenin kırılmasında daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3. Kuvars Kumunun Farklı Boyutlardaki Bilyalar için Özgül Kırılma Hızları

Besleme Boyutu, mm	S_i, dk^{-1}	
	10 mm	30 mm
-0.090+0.075	0.0112	0.0094
-0.075+0.063	0.0095	0.0080
-0.063+0.053	0.0084	0.0074

Şekil 4'de büyük boyutlu bilyaların tanelerin üzerine aktarmış olduğu öğütme enerjisi yetersiz kaldığından özgül kırılma hızı da düşmeye başlamıştır. Küçük bilyalar ile daha etkin bir kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4. Birinci Derece Kırılma Hızı ile Bilya Çapının Değişimi

4. Sonuç

Kuvars kumu örneğinin 10 ve 30 mm boyutlu alümina bilya için kuru ortamda yapılan deneylerde hazırlanan tek tane boyut fraksiyonundaki malzemeler lineer olarak artan öğütme sürelerinde öğütülmüşlerdir. Zamana karşılık her bir öğütme sonucu en üst tane boyutu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının öğütme sürelerine karşı yarı logaritmik grafikleri çizilmiştir. Birinci derece kırılma bölgesi, bu grafiğin doğrusal bir şekilde azaldığı bölge ile temsil edilmektedir. Üç dar besleme tane boyut fraksiyonundaki kuvars kumunun, 10 ve 30 mm alümina bilya ile yapılan öğütme işlemi sonucunda, gerçekleşen kırılmanın, birinci derece kırılma kinetiğine uygun olduğu görülmüştür.

S_i değeri büyüdükçe, hammaddenin kırılma mekanizmasının etkinleştiği anlaşılır. Ayrıca bu durum, orijinal parçanın alt tane boyut aralıklarına hızlı bir şekilde ineceğini de göstermektedir. Şekil 1, 2 ve 3 ile Tablo 3, her bilya boyutu kendi içerisinde besleme boyutuna göre değerlendirildiğinde, küçük tane boyutlarında düşük kırılma hız değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Tane boyutunun küçülmesi ile görülen kırılma hızındaki azalma, öğütücü ortam olarak kullanılan bilyalar tarafından tanelerin yakalanıp kırılmasının zorlaşması nedeniyle (Austin ve ark., 1984; Klimpel, 1997). Diğer taraftan kuvars kumunun tane boyutu küçüldükçe, kırılmaya etken olan düzensiz gelişmiş çatlakların azalması nedeniyle kırılma hızı azalmıştır. Çatlak teorisi, büyük tane boyutundaki hammaddelerin tane boyutları küçüldükçe daha az çatlak içereceğini belirtmektedir. Ayrıca, geometrik etki göz önünde bulundurulduğunda, iri taneler bilyalar tarafından kolaylıkla kavranabilmekte ancak küçük tanelerin kavranması daha zor olmaktadır. Böylece tane boyutu küçüldükçe hammaddenin kırılması zorlaşmaktadır.

Kuvars kumu örneğinin, 10 ve 30 mm boyutundaki alümina bilyalarla yapılan öğütme çalışmaları kıyaslandığında; 10 mm alümina bilyanın malzemenin kırılmasında daha etkin olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Bu çalışmada tek bir malzeme ve bilya doluluk oranı araştırılmıştır. Farklı malzeme ve bilya doluluk oranlarında farklı sonuçlar elde edilebilir. Çünkü öğütme esnasında bilyalar arasında kalan bölgenin malzeme ile doldurulma miktarı, öğütme verimini belirleyici etkenlerden birisidir. Öğütme verimliliği bilya-bilya, bilya-malzeme, malzeme-malzeme, malzeme-değirmen, bilya-değirmen temasındaki değişim oranları ile değişmektedir.

Sonuç olarak, literatür incelendiğinde, endüstrinin çeşitli kollarında kullanılan bazı hammaddelere ait kırılma verileri bulunmamaktadır. Zaten herhangi bir bölgeye ait hammaddenin kırılma parametreleri, içeriğindeki mineral oranına göre de değişmektedir. Bu nedenle cevher hazırlama tesislerinde, öğütme için harcanan enerji miktarını azaltmak için hammaddelerin öğütme kinetiklerinin ölçülmesinde fayda vardır.

Kaynakça

- Austin, L.G., Shoji, K. and Luckie, P.T., 1976. The effect of ball size on mill performance, *Powder Technology*, 4, 71-79.
- Austin, L.G., Bagga, R. and Çelik, M., 1981. Breakage properties of some materials in a laboratory ball mill, *Powder Technology*, 28, 235-241.

- Austin, L.G., Klimpel, R.R. and Luckie, P.T., 1984. *Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling*, New Jersey: American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers Inc..
- Bond, F.C., 1958. Grinding ball size selection, *Mining Engineering*, 592-595.
- Coghill W.H. and Devaney, F.D., 1937. *Ball Mill Grinding*.
<https://play.google.com/books/reader?id=k4MbYBy8674C&hl=t&r&pg=GBS.PP1>. (15.12.2019)
- DPT, 2001. Devlet Planlama Teşkilatı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri III, 2613-624, Ankara.
- Haner, S., 2016. Seramik sağlık gereçleri hammaddelerinin öğütme ve pişirim şartlarının ürünlerin kalitesi üzerine etkileri. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 293.
- Haner, S., 2020. The effects of ball size on the determination of breakage parameters of nepheline syenite, *Journal of Mining Science*, 56, 5, 2020.
- Klimpel, R.R., 1997. *Introduction to the Principles of Size Reduction of Particles by Mechanical Means*, Instructional Module Series, NSF Engineering Research Center for Particle Science & Technology, Florida.
- Liddell, K.S., 1986. Machines for fine milling to improve the recovery of gold from calcines and pyrite, *Proceeding of the International Conference on Gold*, Johannesburg, 405-417.
- Vardar, M. ve Bozkurtoğlu, E., 2009. Yerkabuğunu Oluşturan Maddeler Mineraller ve Kayaçlar, *İnşaat Jeolojisi*, 20 s., 2009-2010 Ders Yılı Notları.
- Yusupov, T.S. Kirillova, E.A. and Denisov, G.A., 2003. Dressing of quartz-feldspar ores on the basis of selective grinding and mechanical activation, *Journal of Mining Science*, 39, 2, 174-177.



Isı Transfer Silindirlerinde Halka Akış Kanalı Geometrisinin Isıl Performansa Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Ahmet Yurtseven^{1*}

^{1*}Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnş. ve Den. Fak., Gemi Mak. İşletme Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2561-1783), ahmety@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 06 Nisan 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.884809)

ATIF/REFERENCE: Yurtseven, A. (2021). Isı Transfer Silindirlerinde Halka Akış Kanalı Geometrisinin Isıl Performansa Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 552-562.

Öz

Bu çalışmada bir döner halka akım alanındaki ısı transferi davranışı hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla incelenmiştir. Çalışmaya konu olan halka akım alanı, endüstrinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılan ısı transfer silindirleri (merdane)'dir. Isı transfer merdanelerinde ısıtma ya da soğutma görevi, merdane yüzeyi altındaki halka kesitteki akım alanında hareket eden iş akışkanı ile sağlanır. Kanal geometrisi tarafından şartlandırılan iş akışkanının davranışı, ısı transfer merdanesinin ısı performansını ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmanın amacı, iş akışkanının hareket ettiği kanalların geometrik yapısının ısı transfer davranışına etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan ısı transfer merdanelerinin içerdiği iş akışkanı çalışma kanalı tipleri incelenmiş ve farklı tiplerde modeller belirlenerek sayısal olarak modellenmiştir. Çalışmada merdane dönüş hızı sabit tutulmuş ve üç farklı akışkan debisi incelenmiştir. Çalışma sonuçları toplam ısı transferi, roller yüzeyi sıcaklık dağılımı, üretilen malzemeden çekilen ısı miktarı ve akışkanın hidrolik basınç düşüşü yönünden incelenmiştir. Çalışma sonucunda, iş akışkanını hidrodinamik olarak şartlandıran kanal geometrilerinin ısı transfer davranışı üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Farklı akışkan kanalı yapılarına sahip merdane modellerinin değişen çalışma şartlarındaki ısı performansları karşılaştırmalı olarak irdelenmiş ve azalan spiralli kanallar içeren modelin uniform bir yüzey sıcaklığı eldesi yönünden fayda sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, merdane, ısı transfer performansı, sayısal çözüm, azalan spiral.

The numerical investigation of the effect of annular flow channel geometry on thermal performance in heat transfer cylinders

Abstract

In this study, heat transfer behavior in a rotating annular flow field is investigated via computational fluid dynamics. The annular flow field subject to the study is the heat transfer cylinders (rolls) widely used in different fields of industry. The heating or cooling function in heat transfer rollers is provided by the work fluid moving in the flow area in the annular section under the roller surface. The behavior of the working fluid conditioned by the channel geometry is directly related to the thermal performance of the heat transfer roller. The purpose of this study is to investigate the effect of the geometric structure of the channels through which the work fluid moves on the heat transfer behavior. For this purpose, the types of work fluid working channels included in the heat transfer rollers, which are frequently used in industrial applications, were examined and models of different types were determined and modeled numerically. In the study, the roller rotation speed was kept constant and three different fluid flow rates were examined. The results of the study were examined in terms of total heat transfer, roller surface temperature distribution, the amount of heat absorbed from the produced material and the hydraulic pressure drop of the fluid. As a result of the study, it was seen that the channel geometries that hydrodynamically condition the working fluid have a significant effect on the heat transfer behavior. The thermal performances of roller models with different fluid channel structures under varying operating conditions have been comparatively examined and it has been observed that the model with decreasing spiral channels can benefit from a uniform surface temperature.

Keywords: Computational fluid dynamics, roller, heat transfer performance, numerical solution, degressive spiral.

*Sorumlu Yazar: ahmety@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Eş merkezli döner silindirler arasındaki halka akış alanında gerçekleşen akım alanı, diğer ismiyle Taylor-Couette akışı, G.I.Taylor'un öncü çalışmalarından bu yana akışkanlar mekaniğinin önemli araştırma alanlarından biri olmuştur. Halka akım kesitine eksenel akış da uygulandığında oldukça karmaşık bir akış alanı ortaya çıkar. Bu tarz akışlara mühendisliğin pek çok uygulamasında rastlanabilir. Gemilerdeki dizel motor krank şaft yatakları veya buhar türbinleri şaft yatakları, elektrik motorlarının soğutulması, petrol endüstrisindeki sondaj işlemi ve pek çok tipteki ayırıştırıcılar döner halka akış uygulamalarına örnek olarak gösterilebilir. Sözü edilen akış tipine ait hem ısı transferi içeren hem de içermeyen uygulamaların geniş bir derlemesi Cotrell ve Fénot tarafından sunulmuştur (Cotrell, 2003, 2. Fénot ve ark., 2011).

Döner halka akışların ısı transferi davranışı, klasik boru ya da kanal tipi iç akışlardan oldukça farklıdır. Akış alanını sınırlandıran silindirik duvarların dönüşü nedeniyle ortaya çıkan helisel tipteki akış yapısı, karışım, kütle transferi ve türbülans, dolayısıyla da ısı transferini önemli ölçüde etkiler (Poncet ve ark., 2011, Huang ve Chun, 2003, Devisme ve ark., 2007, Lamberti ve Titomanlio, 2005). Bu nedenle döner halka akış alanlarının dinamiklerinin anlaşılması, ilgili mühendislik uygulamalarının performansının iyileştirilmesi açısından büyük öneme sahiptir.

Döner halka akışların, pek çok endüstriyel uygulamada karşımıza çıkan özelleşmiş bir biçimi de, bu çalışmanın konusu olan ısı transfer merdaneleridir. Isı transfer merdaneleri (silindirleri); plastik, ambalaj, tekstil, baskı ve laminasyon gibi pek çok sektörde ısı transfer silindiri olarak çalışır ve üretim sürecinin önemli bir parçasıdır. Merdaneler boşta dönerek ürünü taşımak, baskı ile malzeme kalınlığı oluşturmak veya malzemenin sıcaklığını artırmak ya da azaltmak amacıyla çalıştırılan farklı türlere sahiptirler. Pek çok sektörde kullanılan üretim yönteminde, işlenen malzeme bir üretim ağızından dökülerek baskı-şekillendirmemerdanelerinden geçip, arka arkaya sıralı soğutma merdanelerinde soğutulur (Devisme ve ark., 2007). Bu esnada, sıvalaşmış malzemenin istenilen forma sokulması ya da kalitesinin artırılması gibi işlemlerde sıcaklık kontrolü büyük öneme sahiptir (Lamberti ve Titomanlio, 2005). Bu nedenle ısı transfer merdanelerinin performansının iyileştirilmesi, yukarıda bahsi geçen ilgili sektörlerdeki üretim süreçleri açısından önem arz eder.

Merdanelerin üzerinde işleme tabi tutulan malzeme ile merdane yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı dolayısıyla bir ısı transferi gerçekleşir. Kullanım amacına göre merdaneler ısıtıcı veya soğutucu olarak çalışabilir. Isıtıcı olarak çalışması durumunda merdanelerin içinden geçen iş akışkanı merdaneyi soğutma görevi yapar. Soğutucu olarak çalışması durumunda ise ısı transferi tam tersi yönde gerçekleşir. Her iki çalışma durumunda da, ısı transferini gerçekleştirmek amacıyla kullanılan iş akışkanı, merdane içindeki farklı geometrilere sahip kanalların içinde hareket eder ve şartlandırılır (Malewski, 1958, Sven, 1984, Theysohn, 1977, Wedel, 1984, Pato, 1968, Lockhar, 1967). Bu durum, iyi bilindiği gibi teknolojinin diğer alanlarında, örneğin buhar kazanları ve ısı değiştiricileri gibi sistemlerde de aynı şekildedir.

Merdane içindeki kanal geometrisi sistemin performansını ve geometrinin üretim zorluk derecesine bağlı olarak maliyeti de

etkiler. Döner halka akışlarda, akım alanını sınırlandıran silindirik yüzeylerin geometrilerinin ısı performansına olan etkisi çeşitli çalışmalara konu olmuştur. Bu çalışmalarda, değişen akış yapısı nedeniyle ısı transferi davranışının da etkilendiği ortaya konmuştur (Fénot ve ark., 2013, Jeng ve ark. 2007, NOuri ve Nakhchi, 2017). Halka akımın özelleşmiş bir türü olan ısı transfer merdanelerinde ise, akımın dış sınırında uniform sıcaklık gereksinimi gibi önemli bir farklılık bulunmaktadır. Plastik, ambalaj, tekstil, baskı ve laminasyon gibi endüstriyel alanlarda merdane üzerinden geçen malzemenin sıcaklığının homojen ve sabit olması gerekir. Malzemenin gerek kalınlık gerekse yüzey kalitesi, malzeme üzerinde oluşan ısı gerilmeleri ile ilişkilidir ve malzemeye etkileyen gerilmenin miktarı sıcaklıktan doğrudan etkilenmektedir (Lu ve Pagilla, 2014). Yüzey sıcaklığı ise, merdane içerisindeki kanal geometrisi ve çalışan akışkanın hareketi ile ilişkili olduğundan, ısı transfer merdanelerindeki halka akış kanalı geometrileri ile ısı performans arasındaki ilişki incelenmesi gereken bir konudur.

Isı transfer merdanelerinin ısı performansı, literatürdeki çeşitli çalışmalara konu olmuştur. Sayısal çalışmalarda genellikle merdanelerin ısı performansından ziyade üretilen malzemenin üretim esnasındaki ısı davranışlarına odaklanılmıştır (Liu ve ark., 2009). Yeni geliştirilen esnek ekran ve esnek elektronik malzeme üretim teknolojilerinde ısı transfer merdanesi uygulamalarının yaygınlaşması, bu alanda sayısal çalışmaların önemini artırmıştır. Çalışmalarda üretilen esnek malzemelerin ısı ve mekanik yüklemelere göre gerilme davranışları incelenmiştir (Lu ve Pagilla, 2012). Kompozit malzemelerin üretiminde ısıtma ve soğutma merdaneler ile gerçekleştirilir ve bu üretim sırasındaki ısı davranışın modellenmesi önem taşımaktadır. Ancak bu modellemelerde de ısıtma ve soğutma etkisinin üretim malzemesi üzerindeki gerilim etkilerine odaklanılmıştır (Lu ve Pagilla, 2014). Yapılan deneysel çalışmada ısı transferi ile üretim malzemesinin merdane yüzeyine tutunma davranışındaki değişiklikler araştırılmıştır (Jones ve ark., 2011). Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde ısıtma-soğutma işlemini sağlayan merdanelerdeki yapısal farklılıkların ısı performansına etkisinden ziyade, ısı transferi sonrası üretim malzemesinin davranışlarının incelendiği görülmektedir. Merdanelerin ısı transfer mekanizmalarında film tabakasının ve merdane yüzeyinin ısı sınır şartları değiştirilerek incelemeler yapılan çalışmalar da mevcuttur. Üniform sıcaklık, yığın ısı ve yayılı sıcaklık sınır şartlarının film tabakası ve merdane yüzey sıcaklıkları üzerine etkileri incelenmiştir (Kumpinsky, 1993).

Literatürdeki mevcut çalışmalarda, ısı transfer merdaneleri sıklıkla iki boyutlu geometriler ile modellenmiş, temel boyutlar ve çalışma şartlarına göre performansları incelenmiştir. Merdanelerde ana boyutlar haricinde ısı performansı belirleyen merdane içi boyutlar ve ısı etkilerine yer verilmemiştir. Çalışmalarda sıklıkla yüzeyde işlenen malzemenin davranışlarına odaklanılmıştır. Ancak merdane performansının ana unsuru olan hareket ettiği kanalın geometrisi tarafından şartlandırılan iş akışkanının ısı performansına etkisi halen incelenmesi gereken bir konudur. İç yapıdaki farklı tasarım ve boyutların ısı etkisi oluşturan iş akışkanının davranışları üzerine önemli bir etkide bulunacağı bilinmektedir.

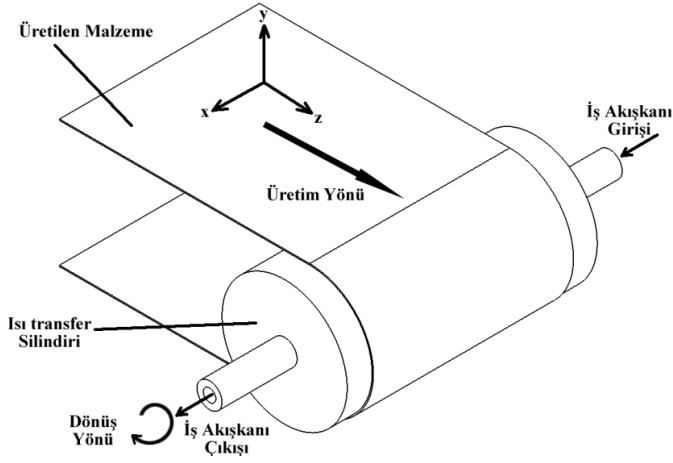
Bu çalışmada, farklı tipte iş akışkanı kanallarına sahip ısı transfer merdanelerinde, akış yapısı ve ısı performansını değişimi hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda, merdanelerin iş akışkanının bulunduğu ve ısı performansının ana unsuru olan iç yapısında farklı geometriler ve akış kanalı tiplerine sahip 7 farklı ısı

transfer merdanesi modeli içerisindeki akışkan akımı ve ısı transferi davranışı, sayısal olarak modellenmiş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Sayısal modelleme literatürdeki çalışmalara göre ilk kez üç boyutlu, zamana bağlı ve sistemli geometrik varyasyonlar halinde yapılmıştır. Sonuçlar farklı akış debileri için ısı transfer miktarları, yüzey sıcaklık dağılımları, üretilen malzemenin çekilen ısı ve basınç düşüşleri yönünden incelenmiştir.

1.1. Isı transfer merdanelerin çalışması ve ısı davranışı

Isı transfer merdaneleri, üzerine dökülen ergimiş plastik benzeri eriyik malzemenin homojen olarak soğutulması için kullanılır. Genel olarak üretilen malzeme merdane yüzeyinin belirli bir bölümüne sarılarak o bölgeden ısı çekilir ve merdane dönme hızına bağlı olarak soğuyan plastik malzeme üretim hattında ileri aktarılır.

Şekil 1'de genel bir ısı transfer merdanesinin çalışma şekli görülmektedir. Merdane için belirli bir açıda yüzeyine sarılan ergimiş malzemenin ısı öncelikle merdane dış cidarına devamında dış cidarın altında bulunmuş akışkanına aktarılır. Birim zamanda iş akışkanına aktarılan ısı miktarı, merdane yüzeyinde işlenen materyal miktarına, merdane dönme hızına ve merdane geometrisine göre değişmektedir.



Şekil 1: Isı transfer merdanesinin (silindir) çalışması

Isı transfer merdanelerinin kullanıldığı üretim süreçlerinde önem arz eden konulardan biri de üretilen malzemenin her bölgesinden eşit miktarda ısı transfer edilerek, ısı gerilim sonucu oluşacak herhangi bir üretim hatasının önüne geçilmesidir. Bu gereksinimin sağlanması için en temel parametre, merdane yüzeyindeki boyuna sıcaklık dağılımıdır. Isı transfer merdanesinde ideal çalışma şartları, ısı transferi esnasında merdane dış yüzeyinde homojene yakın sıcaklık dağılımının elde edilmesi ile sağlanır. Homojen sıcaklık dağılımı elde edebilmek için önemli faktörlerden birisi de dış cidarın altındaki iç kanal tasarımıdır. İç kanalda iş akışkanı hidrodinamik olarak şartlandırıldığı için ısı transferi ve akışkanın merdane boyunca sıcaklık değişimi önemli oranda etkilenmektedir.

Merdanelerin kullanıldığı endüstriyel uygulamalarda, merdane yüzeyinin sıcaklık kontrolü için, iş akışkanının hareket edeceği kanallar farklı tiplerde olabilmektedir. Bu kanal tiplerinin seçiminde de, maliyet, üretim kolaylığı, gerek duyulan pompa gücü gibi pek çok parametre etkili olur. Bunlardan yapısal olarak en basit olanı iş akışkanının içi boş bir merdane

serbest olarak hareket ettirilmesidir. Bu tip merdanelerde çok miktarda ısı transfer akışkanının merdane içerisine alınması gerekmektedir. Bu durum merdane için çalışma ağırlığını artırmakta, mukavemet ve yataklama problemlerine neden olabilmektedir. Ayrıca, merdane içerisinde hareket eden akışkanın büyük bir kısmı merdane iç yüzeyi (ısı transfer yüzeyi) ile temas etmeyeceği için ısı transfer etkinliğini konusunda verimi düşüktür. Bu sebeplerden dolayı hem kullanılan akışkan miktarını azaltmak hem de dolaşım akışkanının ısı transfer etkinliğini artırmak için merdane iç yapısında bazı yapısal değişikliklere gidilmektedir. Yapılan farklı uygulamaların kendilerine özgü avantaj ve dezavantajları vardır.

Merdane, iç mimarisine eklenen yapılar ile genel olarak bir halka akış bölgesi oluşturur. İş akışkanı, merdane dış cidarı ve iç eklenen ikinci bir silindirik yapının cidarı arasında meydana gelen bu halka akış bölgesi içerisinde hareket eder. Ancak bu sistemin de zorluğu, halka akış bölgesi içerisinde tam anlamıyla dengeli bir akışkan hızı sağlamaktır. Çünkü soğutma bölgesinde çalışan akışkanın hız farklılıkları ısı transfer etkinliğinde, dolayısıyla da merdane yüzey sıcaklığında uniform olmayan sonuçlara neden olur. Bu problemi azaltmak için kullanılan yöntemlerden birisi halka akış bölgesini boyuna parçalara ayırmaktır. Bu sayede akışkan geniş bir kesitteki halka akış yerine kanal akışı davranışı gösterir ve boş bir halka akış bölgesine göre çok daha şartlandırılmış bir akış hareketi elde edilir. Genellikle spiral bir yol izleyen bu kanalların genişlikleri ve hatve yapısı, uygulamaya göre sabit ya da değişken olabilmektedir.

Kanalların helisel hatvesinin ve kesitinin sabit olduğu durumda iş akışkanı girişten çıkışa doğru sabit bir hız ile ilerlemektedir. Kesit alanının sabit olması dolayısıyla taşınım katsayısı akış boyunca değişmeyecektir. Ancak iş akışkanı üretilen malzemenin sürekli olarak ısı çektiği için sıcaklığı çıkışa doğru artacaktır. Bu durumda, girişten çıkışa doğru hareket ettikçe üretilen malzeme ile iş akışkanı arasında sıcaklık farkı azalır ve akışkandan yüzeye olan ısı transfer miktarı çıkış bölgesine doğru düşecektir.

Isı transfer merdanesinin yüzey sıcaklığını dengeli bir yapıda tutmak, diğer bir deyişle üretilen malzemenin sıcaklığını dengeli şekilde azaltmak ya da artırmak için malzemenin dengeli şekilde bir ısı transferi gerçekleştirilmelidir. Çalışan akışkanın merdane boyunca hareketi esnasında düzenli olarak ısı çektiği göz önünde bulundurulursa, ısı taşınım katsayısının da akım boyunca artırılması, sabit ısı transfer miktarı sağlama adına fayda sağlayabilir. Isı taşınım katsayısı doğrudan akışkan hızına bağlı olduğu için, kanal içerisindeki helisel kanallar boyunca hareket eden akışkanın girişten çıkışa doğru hızının artırılması ısı taşınım katsayısının da artmasını sağlar. Bu noktadan hareketle, iş akışkanının çalıştığı kanalların kesit alanının çıkış bölgesine doğru gidildikçe azaltılması, kütle korunumu dolayısıyla akış hızının, aynı zamanda da taşınım katsayısının akış boyunca artırılmasını ve sabit bir ısı transfer miktarı elde edilmesini sağlayabilir. Helisel doğrultudaki kesit azaltılması için kullanılan helisin hatvesinin çıkış kenarına doğru azaltılması önemli ve gereklidir.

Merdanelerde kullanılan kanal geometrilerinde, iş akışkanının şartlandırılması açısından önem arz eden bir diğer özellik de, akışkanın merdaneye giriş ve çıkışı ile ilgilidir. Akışkan merdaneye bir yönden girip, ısı transferini gerçekleştirdikten sonra karşıt yönden çıkabilir. Bu tarz merdane tasarımları tek akışlı (MF) merdane olarak anılır. Eğer iş

akışkanı merdaneyi, eş merkezli kanallar vasıtasıyla girdiği koldan terk ediyorsa bu tip merdaneye de çift akışlı (DF) merdane ismi verilir.

2. Materyal ve Metot

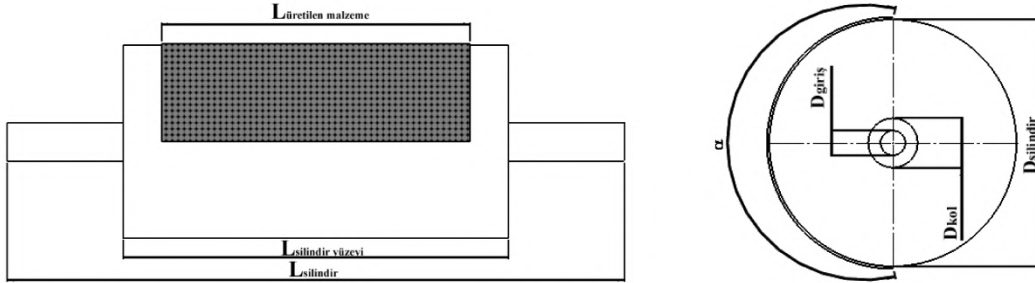
Çalışmada farklı kanal geometrilerine sahip ısı transfer merdaneleri içerisindeki akış alanı ve ısı transferi davranışı hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak incelenmiştir. Çalışmanın matematiksel ve sayısal ayrıntıları ve kullanılan geometrilerin özellikleri aşağıdaki bölümde sunulmaktadır.

2.1. Geometri ve akış şartları

Çalışmadaki çözüm alanını oluşturan merdane geometrisi Şekil 2’de görülmektedir. Akışkan giriş ve çıkış kanalları aynı boyutlara sahiptir. Merdaneyi oluşturan silindirin altında, iş akışkanının hareket ettiği kanalı oluşturan eşmerkezli bir iç silindir daha bulunmaktadır. Akışkan bu iki silindirin oluşturduğu halka bölgede hareket etmektedir. Çözülen tüm geometriler için bu kanalın genişliği $t_{kanal} = 15$ mm’dir. Merdane geometrisine ait diğer boyutlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Merdane boyut ayrıntıları

Semboller	Boyutlar[mm]
$L_{silindir}$	1600
$L_{silindir\ yüzeyi}$	1000
$L_{üretilen\ malzeme}$	800
$D_{silindir}$	500



Şekil 2: Merdane temel boyutları

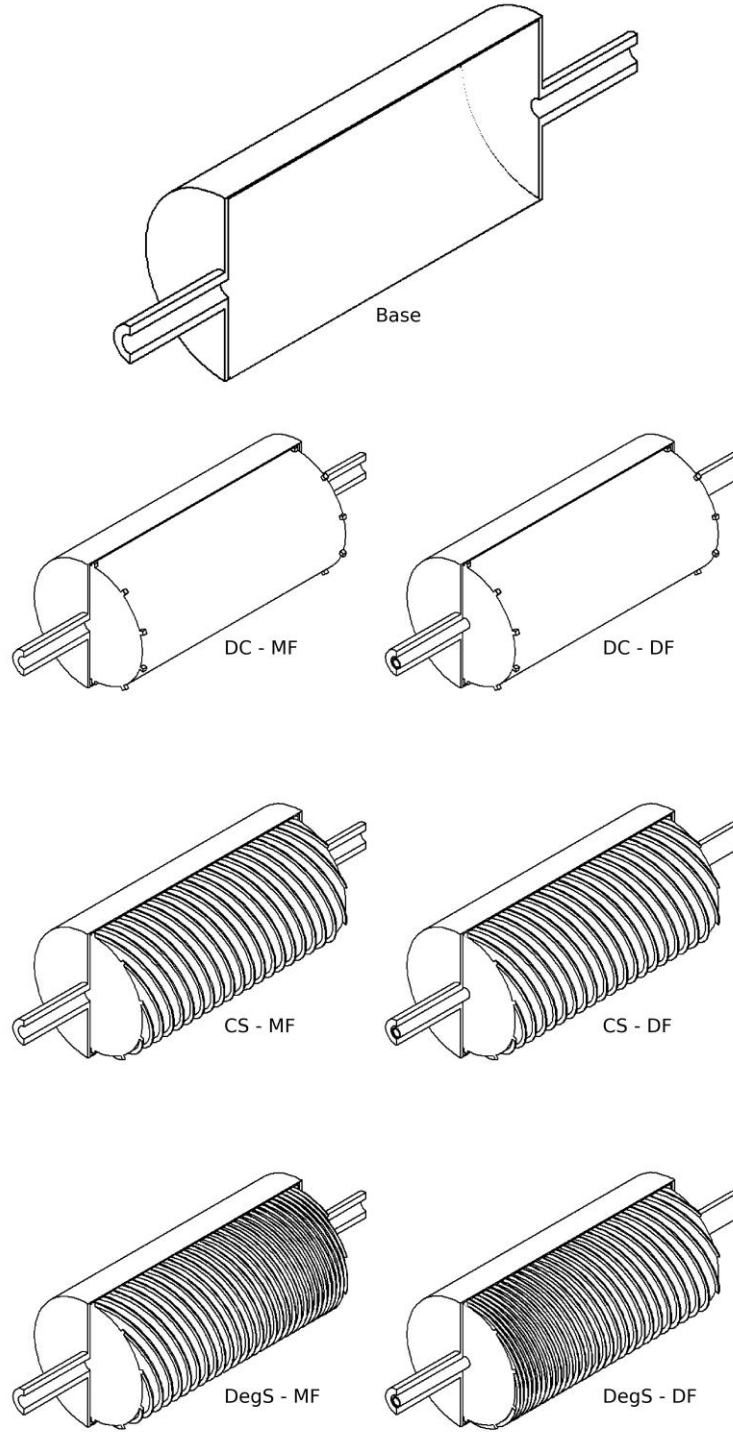
Tablo 2: Farklı geometrilerin özeti

Geometri (Kanal tipi)	Kısaltma	Tanım
Kanalsız	Base	Kanalsız tek silindir
Halka kanal	DC – MF	Halka kanal – Tek Akışlı
	DC – DF	Halka kanal – Çift Akışlı
Sabit spiral	CS – MF	Sabit Spiralli Halka kanal – Tek akışlı
	CS – DF	Sabit Spiralli Halka kanal – Çift akışlı
Azalan Spiral	DegS– MF	Azalan Spiralli Halka kanal –

D_{kol}	100
$D_{giriş/çıkış}$	50
t_{kabuk}	5
t_{kanal}	15
α	180°

Bu çalışmada farklı akışkan kanallarına sahip merdane geometrilerinin sayısal çözümü gerçekleştirilmiştir. Bu modellerin ayrıntıları Şekil 3’te verilmiştir. Çözülen ilk geometride merdane içerisinde herhangi bir kanal bulunmamakta ve iş akışkanı kanalsız (Base) silindirik bölgede hareket etmektedir. Bu geometri çözülen diğer kanal tiplerinde yapılacak kıyaslamalar için kullanılmıştır. Diğer geometride iş akışkanının hareketi, dış cidarın altında başka bir iç cidar ile kısıtlanarak meydana getirilen halkasal bir kanalda gerçekleşmektedir. Bu kanal tipine sahip geometriye çift cidarlı (DC) merdane ismi verilmiştir ve kanal içerisinde akışı şartlandıran herhangi bir engel bulunmamaktadır. Halka akış alanı içerisinde, akışın ısı transfer yüzeyi ile homojen biçimde etkileşime girmesini sağlayan spiral kanallar bulunan geometri sabit spiralli (CS) merdane olarak isimlendirilmiştir. Söz konusu geometride spiral kanallar sabit bir hatve ile oluşturulmuştur. Sabit hatvelispiralli modellerde iş akışkanının merdane boyunca hareketi esnasında ısınması ve bu nedenle merdane boyunca ısı transferinin azalmasının engellenmesi amacıyla spiral kanalların kesitleri merdane çıkışına doğru daraltılarak oluşturulan tasarıma da azalan spiralli (DegS) merdane ismi verilmiştir. Base model hariç tüm kanal tipleri MF ve DF olarak çözülmüştür. Çalışmada test edilen geometriler Tablo 2’de özetlenmiştir. Geometrilerin isimlendirilmesi amacıyla kullanılan kısaltmalarda ilk kısım kanal yapısını, ikinci kısım ise akış tipini göstermektedir.

		Tek akışlı
	DegS- DF	Azalan Spiralli Halka kanal – Çift akışlı



Şekil 3: Farklı iç tasarımlarına göre farklı tiplerdeki merdanerler

Çalışma genelinde, merdane dönüş hızı 1 dev/s değerinde sabit tutulmuştur. İş akışkanı debisi için ise üç farklı değer (100 kg/dk, 200 kg/dk, 300 kg/dk) test edilerek, farklı kanal tiplerinin değişen akışkan debileri için performansı incelenmiştir.

Viskoz, sıkıştırılmaz ve zamana bağlı akışkan akımını yöneten süreklilik ve hareket denklemleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

2.2.Yönetici Denklemler

e-ISSN: 2148-2683

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u_i u_j} \right) + \tilde{F}_i \quad (2)$$

Burada P basınç, U_i hız vektörü, ρ yoğunluk, μ dinamik viskozite ve \tilde{F}_i dış kuvvetlerdir. Denklem sağı tarafında bulunan $-\overline{\rho u_i u_j}$ terimi eddy viskozite yaklaşımı ile modellenen Reynolds gerilmeleridir:

$$-\overline{\rho u_i u_j} = 2\mu_\tau S_{ij} - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

Burada k türbülans kinetik enerjisi ve μ_τ türbülans viskozitesidir. Türbülans viskozitesi $k - \varepsilon$ türbülans modeli kullanılarak ortalama akış değişkenleri ile tanımlanır (Wilcox, 1998):

$$\mu_\tau = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

Burada ε türbülans yayılma oranıdır. Türbülans kinetik enerjisi ve yayılma oranı Eş. 5 ve Eş. 6'da verilmiştir (Shih ve ark., 1995, Siemens PLM, 2019).

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \nabla \cdot (\rho k \bar{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k \quad (5)$$

$$-\rho (\varepsilon - \varepsilon_0) + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \nabla \cdot (\rho \varepsilon \bar{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] \quad (6)$$

$$+ \frac{1}{T_\varepsilon} C_{\varepsilon 1} P_\varepsilon - C_{\varepsilon 2} f_2 \rho \left(\frac{\varepsilon}{T_\varepsilon} - \frac{\varepsilon_0}{T_0} \right) + S_\varepsilon$$

Diğer yönetici denklemleriyle birlikte, ısıl alanı modellemek için enerji denklemi aynı anda çözülür:

$$\rho \left[\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h \bar{v}) \right] = - \frac{Dp}{Dt} + \nabla \cdot (k \nabla T) + \phi \quad (7)$$

Burada h özgül entalpiyi göstermektedir. Özgül entalpi $h = e + p / \rho \cdot T$ şeklinde tanımlanır. T mutlak sıcaklığı ve ϕ ise yayılma fonksiyonudur.

2.3. Problem tanımı ve sayısal konfigürasyon

Çalışmada üç boyutlu, zamana bağlı, türbülanslı viskoz akış hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayısal olarak çözülmüştür. Yönetici denklemler sonlu hacimler yaklaşımı ile ayrıklaştırılmıştır. Konumsal ayrıklaştırma için ikinci dereceden bir şema kullanılırken, zamansal ayrıklaştırma için birinci dereceden şema kullanılmıştır. Türbülans alanı Realizable $k - \varepsilon$ - ISSN: 2148-2683

ettürbülans modeli ile elde edilmiştir. Tüm sayısal hesaplamalar Siemens SimCenter-Star CCM+ ticari kodu ile yapılmıştır.

Oluşturulan sayısal modelde, merdane dış yüzeyi üzerine temas eden üretim malzemesi ve merdane içerisindeki kanallarda hareket eden iş akışkanı, metal merdane gövdesi üzerinden ısı transferi gerçekleştirmektedir. 275°C sıcaklıktaki üretim malzemesi merdane dış yüzeyine (α): 180°'lik bir sarım açısı ile temas etmektedir. Kanal duvarlarına kaymama koşulları tanımlanmış, teğetsel yön dışındaki hız bileşenleri sıfıra eşitlenmiştir. Merdane dış yüzeyi haricindeki tüm yüzeyler adyabatiktir. İş akışkanının giriş sınırına uniform akış hızı tanımlanmıştır. İş akışkanı çözüm alanına 25°C'lik sabit sıcaklık ile girmekte ve merdane kanal yüzeyleri ile ısı transferi gerçekleştirmektedir. Çözüm alanını oluşturan materyallerin termo-fiziksel özellikleri Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3: Çalışmada kullanılan malzemelerin termo-fiziksel özellikleri

	Üretim Malzemesi	Gövde	İş Akışkanı
ρ [kg/m ³]	1100.0	7832.0	997,6
c_p [J/kg-K]	692.0	434.0	4181,7
k [W/m-K]	0.9	63.9	0.62
μ [Pa-s]	-	-	0,000889

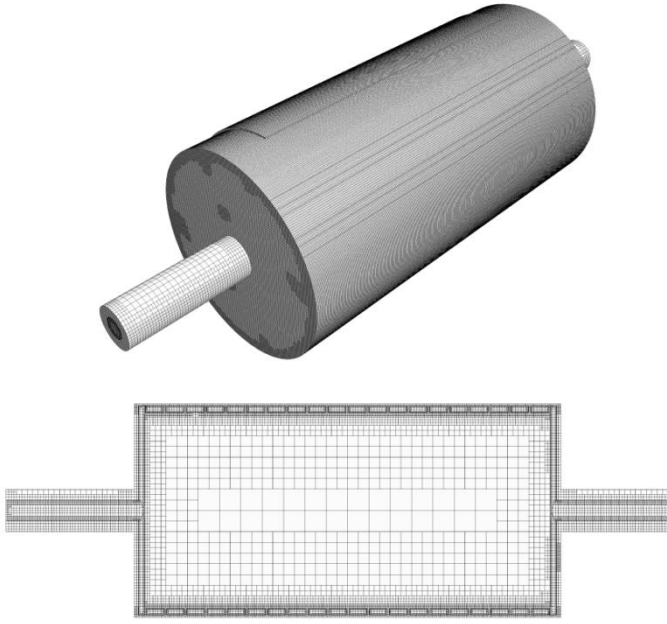
2.4. Çözüm Ağı

Çözüm alanı altı yüzlü yapısal çözüm ağı elemanları kullanılarak oluşturulmuştur. Çözüm ağı yapısının merdane dış yüzeyi ve orta kesiti için görünümü Şekil 4'te verilmektedir. Yüksek hız ve ısıl gradyanları yakalamak amacıyla ağ yapısı duvar yakınlarında inceltirilmiştir. Duvar üzerindeki ilk ağ elemanının yüksekliği, kullanılan duvar fonksiyonu yaklaşımının gereği olarak $y^+ > 30$ değerini sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir ($y^+ = u_\tau y / \nu$, burada u_τ sürtünme hızı, y ilk ağ elemanının yüksekliği, ν kinematik viskozite).

Sayısal çözümlerin ağıdan bağımsızlığını araştırmak adına ağ yapısı sistematik olarak inceltirilmiş ve sonuçlar toplam ısı transferi yönünden karşılaştırılmıştır. Farklı çözüm elemanı sayılarıyla gerçekleştirilen çözümlere ait sonuçlar Tablo 4'te görülmektedir. Hem doğruluk, hem de hesaplama zamanı gözetilerek, sayısal çözümlere Grid-2 ile devam edilmiştir.

Tablo 4: Çözüm ağı bağımsızlık çalışması özeti

Çözüm Ağı	Eleman Sayısı	Q (W)
Grid-1	2464877	27654,2
Grid-2	1229070	27644,54
Grid-3	522679	27417,47



Şekil 4: Isı transfer merdanesi için kullanılan çözüm ağı

2.5.Doğrulama Çalışması

Yapılan kaynak araştırmasında ısı transfer merdanelerindeki sayısal tahminleri doğrulamak için kullanılacak deneysel veri bulunamamıştır. Bu nedenle, sonuçların güvenilirliğini artırmak için hesaplamaların sayısal belirsizliği değerlendirilmiştir. Çözüm ağı tabanlı belirsizlik, Roache tarafından önerilen Çözüm ağı Yakınsama Metodu (GridConvergence Index-GCI) kullanılarak tahmin edilmektedir (Roache, 1994). GCI yöntemi aynı zamanda Amerikan Havacılık ve Uzay Bilimleri Enstitüsü (AIAA) ve Amerikan Makine Mühendisleri Derneği (ASME) tarafından hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarının sayısal belirsizliğini incelemek için önerilen yöntemdir (Rahaim ve ark., 2003). Yöntem, Richardson ekstrapolasyonuna dayanır ve sistematik olarak çözünürlüğü artırılmış çözüm ağı sonuçlarını kullanarak belirsizlik seviyelerini tahmin eder. Elde edilen GCI değeri, asimptotik sayısal değer ile hesaplanan değer arasındaki farklılığın bir ölçüsü olduğu için sayısal belirsizliği veya ayrıklaştırma hatasını gösterir. Belirsizlik değerlendirmesi, önceki bir çalışmada aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Celik ve ark. 2008).

İlk olarak metodun mertebesi (p) Eş. 8'deki şekilde hesaplanır;

$$p = \frac{1}{\ln(r_{21})} \left| \ln \left| \frac{\varepsilon_{32}}{\varepsilon_{21}} \right| + q(p) \right| \quad (8)$$

$$q(p) = \ln \left(\frac{r_{21}^p - s}{r_{32}^p - s} \right) \quad (9)$$

$$s = 1 \cdot \text{sgn}(\varepsilon_{32} / \varepsilon_{21}) \quad (10)$$

Burada $\varepsilon_{32} = \phi_3 - \phi_2$ dir.

ϕ incelenen çözüm ağı yapısındaki sayısal sonucu, r ise sıklaştırma oranını temsil eder. Ekstrapole edilmiş değerler şu şekilde hesaplanabilir;

e-ISSN: 2148-2683

$$\phi_{ext}^{21} = \frac{r_{21}^p \phi_1 - \phi_2}{r_{21}^p - 1} \quad (11)$$

Yaklaşık bağıl hata (e_a^{21}) ve ekstrapole edilmiş bağıl hata (e_{ext}^{21}) şu şekilde hesaplanabilir;

$$e_a^{21} = \left| \frac{\phi_1 - \phi_2}{\phi_1} \right| \quad (12)$$

$$e_{ext}^{21} = \left| \frac{\phi_{ext}^{12} - \phi_1}{\phi_{ext}^{12}} \right| \quad (13)$$

Orta ve iyi çözünürlükteki çözüm ağlarının, ağ yakınsama indeksleri hesaplanabilir. Roache tarafından güvenlik faktörü FS=1,25 olarak önerilmiştir (Roache, 1998). Farklı çözünürlükteki çözüm ağlarının GCI değerleri Eş. 14 ve Eş. 15'deki şekilde hesaplanabilir.

$$GCI_{fine}^{21} = \frac{1.25 e_a^{21}}{r_{21}^p - 1} \quad (14)$$

$$GCI_{medium}^{32} = \frac{1.25 e_a^{21} r_{21}^p}{r_{21}^p - 1} \quad (15)$$

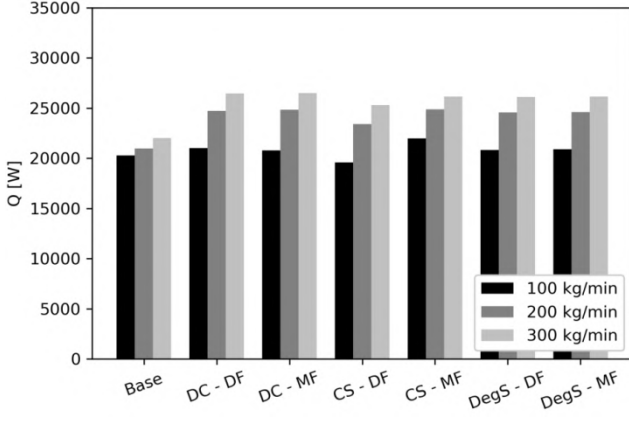
Doğrulama çalışmasının sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur. Toplam ısı akısı değerinin ayrıklaştırılmasından kaynaklanan belirsizliğin hem yüksek çözünürlüklü ağ hem de orta çözünürlüklü ağ için oldukça düşük olduğu görülmektedir. Hem hesaplama maliyeti hem de doğruluk dikkate alındığında, çalışmanın geri kalanında sayısal hesaplamalarda orta çözünürlüklü ağ kullanılır.

Table 5: Doğrulama çalışmasının özeti

	Q
ϕ_1	27654,2
ϕ_2	27631,1
ϕ_3	27449,4
p	7,74
ϕ_{ext}^{21}	27658,8
e_a^{21}	0,000837484
GCI^{21}	0.02 %
GCI^{32}	0,10 %

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Farklı iç kanal yapısına sahip 7 farklı ısı transfer silindiri geometrisi için toplam ısı transferi, sıcaklık dağılımı ve basınç düşüşü hesaplanan değerleri bu bölümde sunulmuştur.



Şekil 5: Merdanelerin üretim malzemesinden çektikleri ısı transfer miktarları

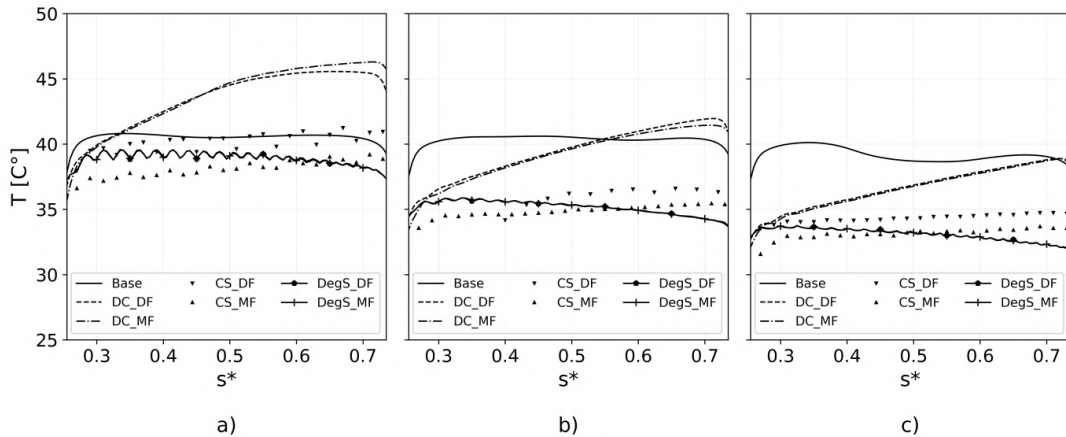
Şekil 5'de 100 kg/min, 200 kg/min ve 300 kg/min olmak üzere üç farklı iş akışkanı debisi için üretim malzemesinden çekilen toplam ısı transfer miktarları verilmiştir. Kullanılan akışkan debisi ısı transfer merdanelerinin işletme maliyeti ile doğrudan ilişkili olduğu için, farklı debilerdeki ısı transfer etkinliğinin gözlenmesi endüstriyel uygulamalar açısından önemli bir konudur. Herhangi bir yapısal değişiklik ya da kanal içermeyen merdane geometrisi (Base) en düşük ısı transferini sağlamaktadır. "Base" modelde elde edilen ısı transfer miktarının iş akışkanı debisi ile değişimi de kısıtlıdır. Bu durum aynı miktar iş akışkanı kullanımı ile daha fazla ısı transferi sağlamak için merdane yapısında değişikliğe gidilmesi ve iş akışkanının kanallar vasıtası ile kullanılmasının önemli olduğunu düşündürmektedir. Farklı kanal yapıları içeren modellerde ise iş akışkanı debisinin artması ile birlikte toplam ısı transferi de artmaktadır. İş akışkanı hareketinin tek akışlı (MF)

ve çift akışlı (DF) şeklinde sağlanmasının aynı kanal tasarımı içerisinde toplam ısı transferi üzerinde DC model hariç önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Farklı kanal tasarımlarının ısı transfer miktarına etkisi ise, düşük iş akışkanı debileri için daha belirgindir.

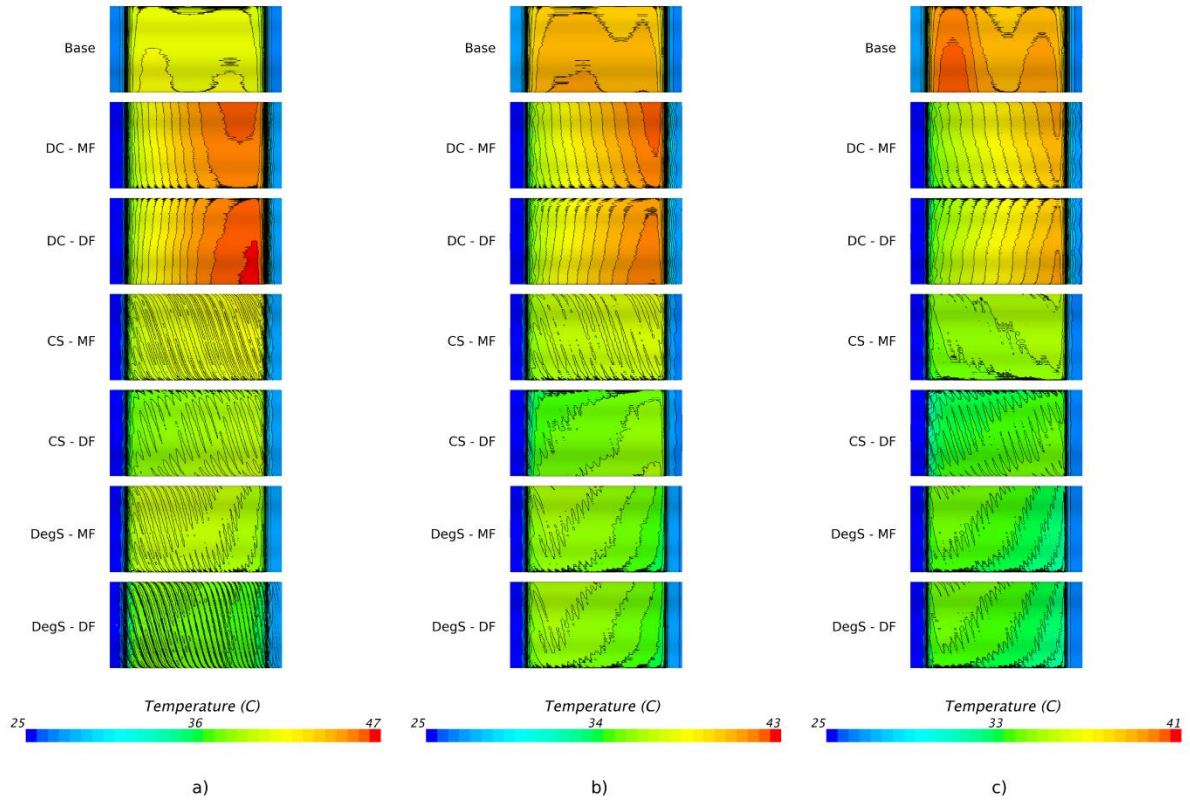
Farklı merdane geometrileri için, merdane yüzeyindeki sıcaklık değerlerinin akım yönündeki değişimi Şekil 6'da görülmektedir. s^* merdane boyu ile boyutsuzlaştırılmış akış yönüdür. İş akışkanı debisi arttıkça, merdane yüzeyi boyunca sıcaklık değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Düşük debilerde (Şekil 7.a) "Base" modelde merdane yüzey sıcaklığının akışkan giriş ve çıkış noktaları arasındaki değişimi oldukça sınırlıdır. Ancak akışkan debisi arttıkça hem sıcaklık azaltımı sağlanamamakta, hem de sıcaklık dağılımının uniform yapısı bozulmaktadır. Merdanelerin iki ucu arasındaki sıcaklık farkının en yüksek olduğu model boş halka akış kanalı içeren DC modelidir. Sıcaklık farkının bu denli yüksek oluşuna, bu geometrideki akış boyunca düşen ısı transfer katsayısının neden olduğu düşünülmektedir. Yüzey sıcaklığı yönünden en iyi dağılımın sabit spiral kanallar içeren CS model olduğu görülmektedir. Akışkan debisi arttıkça bu modelde de çıkış kenarına doğru az da olsa bir sıcaklık artışı görülmektedir. DegS modelinde özellikle yüksek iş akışkanı debilerinde çıkış kenarına doğru ısı transfer katsayısı istenilenden fazla artmış ve sıcaklık çıkış ucuna yaklaştıkça azalmıştır.

Merdane yüzeyindeki sıcaklık dağılımlarının, farklı merdane modelleri için değişimi Şekil 7'de verilmiştir.

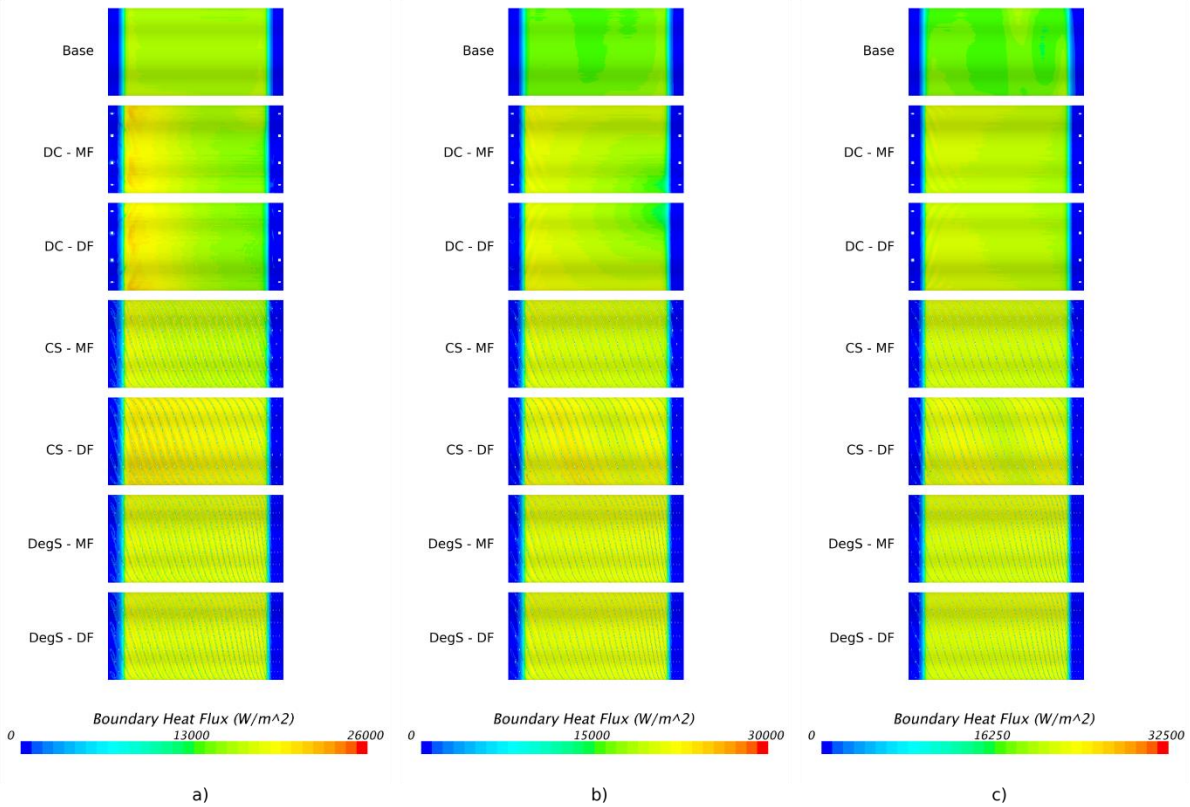
"Base" modelini iş akışkanı debisinin artışı ile yüzey sıcaklığındaki dengeli kaybettiği görülmüştür. Bu durumun tersine tüm kanal tasarımlarında debinin artması ile yüzey sıcaklığı daha dengeli hale gelmiştir. Her bir iş akışkanı debisi için sonuçları kendi içlerinde incelediğimizde, yüzey sıcaklık dağılımının en fazla bozulduğu modelin DC modeller olduğu görülmüştür. CS merdanelerde yüzey sıcaklık dağılımının çok daha dengeli olduğu ancak çıkış kenarına doğru sıcaklıkların bir miktar arttığı gözlenmiştir. Bu durumun engellenmesi için kullanılan DegS modelde, düşük iş akışkanı debilerinde hedeflenen dengelenme sağlansa da akışkan debisinin yüksek değerleri için bahsedilen davranış terse dönmüş, çıkış kenarına doğru sıcaklıkların artmak yerine azaldığı görülmüş ve yüzey sıcaklık dengesi bozulmuştur. Bu duruma hatve azalması nedeniyle artan iş akışkanı hızına bağlı hedeflenenden daha fazla artan ısı taşınım katsayısının neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6: İş akışkanı debileri a) 100 kg/min, b) 200 kg/min ve c) 300 kg/min durumları için merdane yüzey sıcaklıklarının boyutsuz konum (s^*) ile değişimi

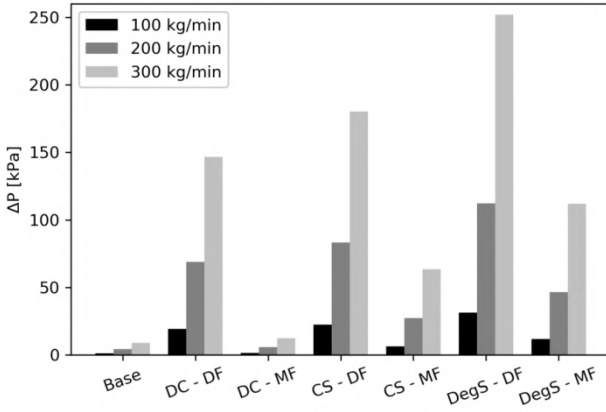


Şekil 7: Farklı merdane modelleri için yüzey sıcaklık dağılımları (a- 100 kg/min, b- 200 kg/min ve c- 300 kg/min),



Şekil 8: Farklı merdane modelleri için yüzey ısı akısı (a- 100 kg/min, b- 200 kg/min ve c- 300 kg/min)

Giriş kısmında bahsedildiği üzere, ısı transfer merdanelerinde üretilen malzemenin kalitesini belirleyen faktörlerden birisi de malzemeden tüm yüzey boyunca eşit miktar ısı çekerek ısı gerilmelerin önüne geçmektir (Kumpinsky, 1993). İş akışkanı tarafından merdane yüzeyinden emilen ısı akısı değerlerinin farklı merdane modelleri için değişimi Şekil 8'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, ısı akısı dağılımlarındaki değişim, Şekil 7'de incelenen sıcaklık dağılımlarındaki değişim ile oldukça benzerdir. Isı akısı ve sıcaklık dağılımlarının bağlantılı olduğu ve ısı akısı değişiminin yüzey sıcaklıklarını belirlediği düşünülebilir. Isı akısının dengesinin en az olduğu modeller, sıcaklık dağılımlarındaki davranışa paralel olarak DC modeller olmuştur. Isı akısı dağılımında, sabit hatveli spirallerin eklenmesi ile iyileşme sağlanmış, ancak sabit kanal içi hızlar ve taşınım katsayıları nedeniyle çıkış kenarına doğru ısı akısında azalma görülmüştür. Hareketi boyunca sıcaklığı artan iş akışkanının çıkış kenarına doğru hızının ve dolayısıyla ısı transfer katsayısının artmasını sağlayan DegS model, düşük debiler için daha uniform bir ısı akısı dağılımı sağlamıştır. Ancak yüksek akışkan debilerinde ısı transfer davranışındaki artış çıkış kenarına yaklaştıkça ısı akısının hedeflenenden daha fazla artmasına neden olmuştur.



Şekil 9: Merdanelerde basınç düşüşleri

Merdanelerde ısı transfer miktarları ve yüzey sıcaklık dağılımları kadar önemli olan bir diğer akış kaynaklı parametre ise basınç düşüşüdür. İş akışkanının merdane giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç düşüşü, sistemin enerji verimliliğinin de bir ölçüsüdür. Şekil 9'da farklı iş akışkanı debilerinde analiz edilen merdanelerdeki basınç düşüşleri verilmiştir. Isı transfer performansıda diğer modellere göre daha başarısız olsa da, "Base" model en düşük basınç düşüşüne neden olmaktadır. Diğer kanal tipleri içerisinde en yüksek basınç düşüşü "DegS" modelde gözlenmiştir. Daralan spiral kanallardaki hız artışı ve sonucunda oluşan sürtünme kaybının "DegS" modeldeki yüksek basınç düşüşüne neden olduğu düşünülmektedir. Tüm modeller için basınç düşüşü değerleri akışkan debisi ile artmaktadır. Bunun yanında, iş akışkanı hareketinin DF şeklinde sağlandığı modellerin MF modellere kıyasla daha yüksek basınç düşüşüne neden olduğu görülmektedir. "DF" modeldeki merdanelerde iş akışkanının eş merkezli kanallar vasıtasıyla giriş yönünde merdaneyi terk etmesi, buna bağlı olarak basınç düşüşünü arttıran temel neden olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, aynı temel boyutlara ve farklı iç yapıya sahip 7 adet ısı transfer merdanesi modeli hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla sayısal olarak incelenmiştir. Merdane modelleri, iş akışkanının hareket ettiği kanalların yapısı yönünden farklılıklar içermektedir. Merdane modellerine ait sayısal sonuçlar farklı akışkan debileri için tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Isı transfer merdanelerinin kullanıldığı operasyonlarda, üretilen malzemenin kalitesi açısından uniform bir yüzey sıcaklık dağılımı elde etmek ve malzemede ısı gerilmelere sebep olmamak önemli bir husustur. Çalışma sonuçları incelendiğinde;

1. İş akışkanı kanallarına sahip olmayan merdane modelinin ısı performansının düşük olduğu ve akışkan debisinin artmasıyla birlikte merdane yüzeyindeki uniform sıcaklık dağılımını da kaybettiği görülmüştür.
2. Merdane iç yapısına ısı performansı arttırmak için eklenen farklı akışkanlı yapılarının üretilen malzemeden çekilen ısı yönünde iyileşme sağladığı, ancak yüzey sıcaklığı yönünden akış geometrisinden çok etkilendiği gözlenmiştir.
3. Merdane yapısına eklenen kanalların spiral yapısı, daha dengeli bir sıcaklık dağılımı elde edilmesini sağlamıştır. Ancak sabit hatveli spirallerde akışkanın merdane boyunca ısındığı ve ısı transferinin çıkışa doğru azaldığı anlaşılmıştır.
4. Azalan hatveli spiral kanallı merdane modeli düşük akışkan debilerinde başarılı sonuçlar verse de akışkan debisi arttıkça ısı transferinin hedeflenenden daha fazla gerçekleşmesine ve merdane yüzeyinde yerel sıcaklık azalmalarına neden olmuştur.
5. Azalan hatveli spiral kanallar içeren modelin hatve yapısının, kullanılacak operasyon şartlarına göre optimize edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Çalışmada ayrıca farklı merdane modelleri için hidrolik basınç düşüşleri de incelenmiş, ısı transferinde bir model hariç önemli değişim yaratmayan çift akışlı çalışma yapısının basınç kaybında önemli artışlara neden olduğu gözlenmiştir.

Yapılan çalışmada ısı transfer merdanelerinin ısı performanslarının en önemli noktası olan iç yapılarının sistemli geometrik varyasyonları elde edilmiş ve bu geometrik değişikliklerin ısı performansı ne şekilde etkilediği tartışılmıştır. Bu geometrik varyasyonlarda kullanılan bazı parametreler bu çalışmanın geometrik konseptini genişletecek şekilde başka bir çalışmada azalan hatveli spiral yapıların geometrik parametreleri daha geniş bir ölçekte ele alınarak irdelenmesinin çalışmanın devamlılığı için faydalı olacağı söylenebilir.

Kaynakça

- Boache P. J., Perspective: A method for uniform reporting of grid refinement studies, J. Fluids Eng. Trans. ASME, c. 116, sayı 3, ss. 405-413, 1994.
- Celik I. B., Ghia U., Roache P. J., Freitas C. J., Coleman H. ve Raad P. E., Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications, J. Fluids Eng. Trans. ASME, c. 130, sayı 7, ss. 0780011-0780014, 2008.

- Cotrell D. L., Flow between a cylinder and a rotating coaxial cylinder, axisymmetric shaft with axially-periodic radius variation, orscrew, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2003.
- Devisme S., Haudin J. M., Agassant J. F., Rauline D. ve Chopinez F., Numerical simulation of extrusion coating, *Int. Polym. Process.*, c. 22, sayı 1, ss. 90–104, 2007.
- Fénot M., Bertin Y., Dorignac E. ve Lalizel G., A review of heat transfer between concentric rotating cylinders with or without axial flow, *Int. J. Therm. Sci.*, c. 50, sayı 7, ss. 1138–1155, 2011.
- Fénot M., Dorignac E., Giret A. ve Lalizel G., Convective heat transfer in the entry region of an annular channel with slotted rotating inner cylinder, *Appl. Therm. Eng.*, c. 54, sayı 1, ss. 345–358, 2013.
- Funk W. H., Rotating double shell heat exchanged rummeans and method of operating same, 1957.
- Huang S. ve Chun C. H., A numerical study of turbulent flow and conjugate heat transfer in concentric annuli with moving inner rod, *Int. J. Heat Mass Transf.*, c. 46, sayı 19, ss. 3707–3716, 2003.
- Jeng T. M., Tzeng S. C. ve Lin C. H., Heat transfer enhancement of Taylor-Couette-Poiseuille flow in an annulus by mounting longitudinal ribs on the rotating inner cylinder, *Int. J. Heat Mass Transf.*, c. 50, sayı 1–2, ss. 381–390, 2007.
- Jones D. P., McCann M. J., Abbott SJ, Web tension variations caused by temperature changes and slip on rollers, *Proc. Elev. Int. Conf. Web Handl.*, ss. 65–84, 2011.
- Kumpinsky E., Heat-Transfer Model Assessment of Chill Rolls for Polymer Film Extrusion, *Ind. Eng. Chem. Res.*, c. 32, sayı 11, ss. 2866–2872, 1993.
- Lamberti G. ve Titomanlio G., Analysis of film casting process: The heat transfer phenomena, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, c. 44, sayı 10, ss. 1117–1122, 2005.
- Liu H., Chen W., Qiu S. ve Liu G., Numerical simulation of initial development of fluid flow and heat transfer in planar flow casting process, *Metall. Mater. Trans. B Process Metall. Mater. Process. Sci.*, c. 40, sayı 3, ss. 411–429, 2009.
- Lockhar F. N., Heat transfer roll, 1967.
- Lu Y. ve Pagilla P. R., Adaptive control of web tension in a heat transfer section of a roll-to-roll manufacturing process line, *Proc. Am. Control Conf.*, ss. 1799–1804, 2014.
- Lu Y., Pagilla P. R., Modeling Of Temperature Distribution In A Moving Web Transported Over A Heat Transfer Roller, içinde ASME 2012 5th Annual Dynamic Systems and Control Conference joint with the JSME 2012 11th Motion and Vibration Conference, 2012
- Malewski T., Heating roller assembly for laminating, embossing and printing machines, 1958.
- Nouri-Borujerdi A. ve Nakhchi M. E., Heat transfer enhancement in annular flow with outer grooved cylinder and rotating inner cylinder: Review and experiments, *Appl. Therm. Eng.*, c. 120, ss. 257–268, 2017.
- Pato T. G., Heat transfer roller having fluid circulating means there in, 1968.
- Poncet S., Haddadi S. ve Viazzo S., Numerical modeling of fluid flow and heat transfer in a narrow Taylor-Couette-Poiseuille system, *Int. J. Heat Fluid Flow*, c. 32, sayı 1, ss. 128–144, 2011.
- Rahaim C. P., Oberkampf W. L., Cosner R. R. ve Dominik D. F., AIAA committee on standards for computational fluid dynamics -Status and plans, 41st Aerosp. Sci. Meet. Exhib., ss. 1–22, 2003.
- Ramundo B. T., Heat exchange rolls, 1960.
- Roache P. J., Verification of codes and calculations, *AIAA J.*, c. 36, sayı 5, ss. 696-702, 1998.
- Shih T.H., Liou W. W., Shabbir A., Yang Z. ve Zhu J., A New Kt Eddy Viscosity Model For High: Reynolds Number Turbulent Flows, *Comput. Fluids*, c. 24, sayı 3, ss. 227–238, 1995.
- SiemensPLM, STAR-CCM+ User guide, Version 14.02.010. 2019.
- Sven Barthel G. E., Oil-heated roller, 1984.
- Theysohn H., Calender heating roll, 1977.
- Wedel G. L., Heat transfer roll and method, 1984.
- Wilcox, D. C., Turbulence Modeling for CFD, D C W Industries; 2nd Edition, 1998.



Akıllı Hava İstasyonu ile IoT Tabanlı Hava Durumu İzleme Sistemi

Hakan Üçgün^{1*}, Zeynep Kübra Kaplan², Uğur Yüzgeç³

^{1*} Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9448-0679)

hakan.ucgun@bilecik.edu.tr

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8154-2535)

zeynepkubrakaplan05@gmail.com

³ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5364-6265)

ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 24 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 9 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.886025)

ATIF/REFERENCE: Üçgün, H., Kaplan, Z.K., & Yüzgeç, U., (2021). Akıllı Hava İstasyonu ile IoT Tabanlı Hava Durumu İzleme Sistemi. *European Journal of Science and Technology*, (21), 563-571.

Öz

İklim koşullarında meydana gelen değişiklikler, küresel ısınma ile birlikte ortaya çıkan ve insan hayatını pek çok yönden olumsuz olarak etkileyen problemlerdendir. Hava durumunda meydana gelen ani değişiklikler yüzünden sel, heyelan, fırtına gibi doğal afetler meydana gelmekte, can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Bu nedenle hava durumundaki değişikliklerin ve hava koşullarının doğru bir şekilde tespit edilmesi ve takip edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bir yerin ya da bölgenin hava koşulları hakkında veri toplamak amacıyla hava istasyonları kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında IoT tabanlı düşük maliyetli bir hava durumu izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem içerisinde Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı, sıcaklık, nem, basınç, yağmur, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü sensörleri kullanılmıştır. Sensörlerden alınan analog ve dijital veriler işlenerek hava durumu ile ilgili değerler elde edilmiştir. Hazırlanan web arayüzü aracılığıyla internet üzerinden hava durumu verileri izlenmektedir. Gerçekleştirilen hava istasyonunun mobil platform şeklinde tasarlanması, herhangi bir bölgedeki hava durumunun izlenmesi için kullanılabilmesine imkân sağlamaktadır. İstasyon ile hava durumunun izlenmesinin yanı sıra sensörlerden elde edilen veriler kullanılarak hava durumunun tahmin edilmesi de sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava İstasyonu, Hava Durumunun İzlenmesi, IoT, Raspberry Pi, Sensör Sistemleri.

IoT Based Weather Monitoring System with Smart Weather Station

Abstract

Changes in climatic conditions are problems that arise with global warming and affect human life in many ways. Due to sudden changes in weather conditions, natural disasters may occur such as floods, landslides, storms and loss of life and property may experience. Therefore, it is very important to accurately detect and monitoring weather condition changes and weather conditions. Weather stations are used to collect data about the weather conditions of a place or region. In this study, IoT based a low cost weather condition monitoring system has been realized. Raspberry Pi 3 controller card, temperature, humidity, pressure, rain, wind speed and wind direction sensors are used in the system. Analog and digital data received from the sensors were processed to obtain weather condition values. Weather condition information is monitored via the web interface. The design of the realized weather station in the form of a mobile platform allows it to be used for monitoring of weather condition in any region. In addition to monitoring the weather condition with the station, it was provided to estimate the weather condition by using the data obtained from the sensors.

Keywords: Weather Station, Weather Forecast Monitoring, IoT, Raspberry Pi, Sensor Systems.

* Sorumlu Yazar: hakan.ucgun@bilecik.edu.tr

1. Giriş

İklim koşulları, dünya üzerindeki bütün insanların sağlığını ve günlük yaşamın aktivitelerini etkileyen önemli faktörlerden birisidir (Aponte-Roa ve ark., 2018). İklim koşullarındaki dengesizlikler, insanların hayatını olumsuz etkilemektedir.

İklim koşullarındaki dengesizlikler, insanların hayatını olumsuz etkilemektedir. Son yıllarda pek çok yerde görülen mevsim dengesizlikleri, insanlar için büyük bir tehlike arz etmektedir. Hava durumundaki değişiklikler, can ve mal kayıplarına sebebiyet verebilmektedir (Fente ve Singh, 2018). Ülkemizde de yakın dönemde meydana gelen yağış ve sel felaketleri yüzünden can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Önceki yıllarda, aylar içerisinde değişmekte olan hava koşulları, günümüzde gün içerisinde değişebilmektedir (Nsabagwa ve ark., 2019). Hava durumunun elektronik ve izleme teknolojilerini kullanarak tahmin edilmesi veya izlenmesi ile meydana gelebilecek sorunları ortadan kaldırmak mümkündür. Bu amaçlar doğrultusunda hava tahmin ve izleme istasyonları geliştirilmektedir.

Günümüz teknolojileri arasında yer edinmiş ve pek çok uygulama alanında araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam eden nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT) teknolojisi, temel olarak gerçek dünya nesnelerinin farklı teknolojiler aracılığıyla internet üzerinden haberleşmesini sağlamaktadır. Başka bir deyişle IoT, gerçek dünyayı internete bağlamak için kullanılmaktadır (Eriş ve Bölük, 2020). IoT sistemlerinde genel olarak sensörler, aktüatörler, akıllı cihazlar gibi donanımlar bulunmaktadır. IoT tabanlı uygulamalarda, sistemlerin uzaktan kontrolü, takibi ve çalıştırılmasına yönelik uygulamalar yapılmaktadır.

2. Literatür Araştırması

Hava tahmini, belirli saatlerde herhangi bir yerde görülebilecek meteorolojik olayları, gözlem ve analizlere dayalı nesnel ve öznel yöntemler kullanarak önceden tespit etme işlemidir. Hava durumunun tahmin edilmesi sırasında gözlem, analiz ve tahmin olmak üzere 3 işlem gerçekleştirilir (Üçgün ve Kaplan, 2017). Hava durumunun tahmin edilmesi için kapsamlı meteorolojik veriler gerekmektedir. Var olan meteorolojik veri toplama araçlarının maliyetlerinin yüksek olması kapsamlı izleme konusunda bazı dezavantajlara yol açmaktadır (Saini ve ark., 2016). Bu durumdan kurtulmak için düşük maliyetli mini hava istasyonları yapılmaktadır. Hava istasyonları, hava durumundaki değişiklikleri gözlemek ve elde ettiği verileri belirlenen yerlere göndermek için kullanılan meteorolojik istasyonlardır. Modern hava izleme istasyonlarında, sıcaklık, bağıl nem, çiğ noktası, rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, atmosfer basıncı gibi hava parametrelerinde meydana gelen değişiklikleri izlemek amacıyla çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Meteorolojik sensörlerin bir mikrodenetleyici aracılığıyla kontrol edilmesi ile hava ölçümleri, otomatik olarak kolay ve ucuz bir şekilde yapılmaktadır. Bu sayede hava izleme sistemlerinin maliyetleri en aza indirgenebilir (Devaraju ve ark., 2015).

Yapılan çalışmalara bakılırsa, Devaraju ve arkadaşları (Devaraju ve ark., 2015), PIC16F887 mikrodenetleyicisi kullanarak düşük maliyetli, kablosuz ve taşınabilir bir hava izleme istasyonu gerçekleştirmişler. İstasyon ile bağıl nem, atmosfer basıncı, yağış, güneş radyasyonu, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, yüzey ve ortam sıcaklığı gibi hava parametreleri

ölçülmektedir. Ölçülen hava parametreleri hem kaydedilmekte, hem de kablolu ve kablosuz modüller aracılığıyla kullanıcılara aktarılmaktadır. Hussein ve arkadaşları (Hussein ve ark., 2020), Arduino Uno ve ZigBee teknolojisi kullanarak düşük maliyetli hava istasyonu prototipi oluşturmuşlardır. Yağmur durumu, rüzgâr seviyesi, hava basıncı, toz yoğunluğu, sıcaklık ve nem gibi parametreler, sensörler ile belirlenmektedir. Veriler, birden fazla verici düğümden alınarak bir SD kart içerisine tarih ve saat bilgileri de eklenerek kaydedilmektedir. İstasyon ile ölçülen değerler, www.weather.com sitesi üzerinden alınan sonuçlarla karşılaştırılmış önerilen modelin herhangi bir alanda internet bağlantısı olmadan güvenilir bir şekilde uygulanabileceği kanıtlanmıştır. Muck ve arkadaşları (Muck ve Homam, 2018), Arduino Uno, Raspberry Pi 3, SparkFun Weather Shield ve Weather Meter kullanarak bir yerin gerçek zamanlı hava parametrelerinin çevrimiçi takip edilebileceği bir hava sistemi oluşturmuşlardır. Sensörler aracılığıyla toplanan veriler, Google Cloud SQL'de depolanmakta ve hava durumu verilerinin analizi yapılmaktadır. Mobil ve web tabanlı gerçekleştirilen arayüzler ile gerçek zamanlı hava durumu bilgileri görsel olarak kullanıcılara sunulmuştur. Kullanıcılara hava durumu ile ilgili bildirimler verilmektedir. Baste ve arkadaşları (Baste ve Dighe, 2017), okullarda ve araştırma merkezlerinde gerçek zamanlı hava durumunun izlenmesi için düşük maliyetli ve küçük boyutlu bir hava istasyonu geliştirmişlerdir. Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, hava sıcaklığı, nem, atmosferik basınç, yağmur ve güneş radyasyonu verileri, Raspberry Pi 3 Kontrolcü kartı aracılığıyla Wi-Fi ağı ile veri tabanı sunucusuna aktarılmaktadır. Bu verilere, web sayfası üzerinden uzaktan erişim sağlanarak hava durumu bilgilerini kullanıcıların görmesi sağlanmaktadır. Ram ve arkadaşları (Ram ve Gupta, 2016), ARM tabanlı LPC2148 mikrodenetleyicisi ve wi-fi modülü aracılığıyla belirli bir yerdeki hava koşullarını izlemek için internet üzerinden erişilebilir bir sistem geliştirmişlerdir. Sistemde sıcaklık, bağıl nem, ışık yoğunluğu ve CO2 seviyesi gibi çevresel koşullar, sensörler ile izlenmekte ve kontrol edilmektedir. Sensör bilgileri, Thingspeak sunucusuna gönderilerek kullanıcılara gösterilen grafikler elde edilmektedir. Sensör verileri 15 saniyede bir güncellenmektedir. Tablo 1'de, literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmaların karşılaştırmalı analizi verilmiştir. Katyal ve arkadaşları (Katyal ve ark., 2016), Arduino tabanlı web üzerinden canlı hava durumu sonuçlarını gösterebilen düşük maliyetli bir hava istasyonu geliştirmişlerdir. İstasyon ile sıcaklık, nem, ışık şiddeti, basınç, yağmur verileri ölçülmektedir. Haque ve arkadaşları (Haque ve ark., 2019), hava parametrelerinin izlenebilmesi için kullanılacak yenilenebilir enerji destekli bir hava istasyonu geliştirmişlerdir. Hava istasyonu ile sıcaklık, nem, yağmur damlası, karbon monoksit, duman, ortamdaki LPG, barometrik basınç, rakım gibi parametre verileri takip edilmektedir. Sistem içerisindeki GSM sensörü yardımıyla hava durumu ile ilgili bilgiler kullanıcıya SMS olarak gönderilmektedir. Hava istasyonu verileri, ulusal hava durumu verileri karşılaştırılmış. Karşılaştırmalar sonucu sıcaklıkta % 1, nemde için % 5 ve barometrik basınçta % 8'lik bir sapma değeri saptanmıştır. Kusriyanto ve arkadaşları (Kusriyanto ve Putra, 2018), IoT platformu kullanılarak web sitesi üzerinden erişilebilen hava durumu istasyonu geliştirmişlerdir. Kullanıcılar, bölgeye gitmeden o bölgedeki hava değişikliklerini takip edebilmektedir. Arduino Mega 2560 kontrolcü kartının kullanıldığı sistemde, sıcaklık, nem, basınç ve yağmur verileri ölçülmektedir. Hava durumu tahmini için hava basıncı verileri kullanılmıştır. Tüm sensörlerin ölçüm sonuçları SD Kartta depolanmış ve TFT ekran üzerinde ESP8266 wifi modülü kullanılarak web sitesinde görüntülenmektedir. Li ve arkadaşları

(Li ve ark., 2017), araştırmacıların kısa vadede düşük fiyata büyük miktarda meteorolojik bilgi almasını mümkün kılan mikro otomatik hava durumu istasyonu geliştirmişlerdir. STM32 kartı ile rüzgar hızı, rüzgar yönü, ışık yoğunluğu, ortam sıcaklığının

ve neminin izlendiği sistemde GPS üzerinden alınan coğrafi bilgilerle birlikte tüm gerçek zamanlı meteorolojik veriler kablosuz GPRS ağı üzerinden baz istasyonuna gönderilmiş ve ağa bağlı veriler, sunucuda analiz edilmiştir.

Tablo 1. Hava İstasyonlarının Karşılaştırılmalı Analizi

Referans	İşlemci	Sensör	Mimari	Bağlantı	Düşük Maliyet	Veri Erişimi
(Devaraju ve ark., 2015)	PIC16F887	Sıcaklık, Bağıl nem, Atmosferik Basınç, Yağış, Güneş Radyasyonu, Rüzgâr Hızı, Rüzgâr Yönü,	Kablosuz	XBee / Max232, Max485	X	PC/Laptop
(Hussein ve ark., 2020)	Arduino Uno	Sıcaklık ve Nem, Rüzgâr Hızı, Rüzgâr Yönü, Yağmur, Toz	WSN	ZigBee	√	GLCD Ekran
(Muck ve Homam, 2018)	Raspberry Pi 3	Sıcaklık ve Nem, Rüzgâr Hızı, Rüzgâr Yönü, Yağmur, Işık Yoğunluğu, Atmosferik Basınç	IoT	Wi-Fi	X	Web/Mobil
(Baste ve Dighe, 2017)	Raspberry Pi 3	Sıcaklık ve Nem, Basınç, Rüzgâr Hızı, Rüzgâr Yönü, Yağmur, Piranometre	IoT	Wi-Fi	√	Web
(Ram ve Gupta, 2016)	LPC2148	Sıcaklık, Nem, Işık, CO2	WSN	Wi-Fi	√	Thingspeak Server
(Katyal ve ark., 2016)	Arduino Uno	Sıcaklık ve Nem, Yağmur, Toprak Nemi, Basınç, LDR	IoT	Wi-Fi	√	Thingspeak Server
(Haque ve ark., 2019)	Arduino Mega	Sıcaklık ve Nem, Atmosferik Basınç, Yağmur, MQ2 Gaz	Kablosuz	GSM module	√	LCD/SMS
(Kusriyanto ve Putra, 2018)	Arduino Mega	Sıcaklık ve Nem, Atmosferik Basınç, Yağmur	IoT	Wi-Fi	X	Dasboard IoT Platform
(Li ve ark., 2017)	STM32	Sıcaklık, Nem, Işık, Rüzgâr Hızı, Rüzgâr Yönü,	Wireless	GPRS	X	Kullanıcı Arayüzü

3. Hava Durumu İstasyonunun Tasarımı

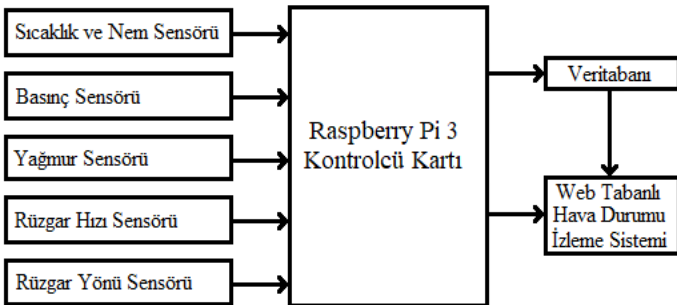
IoT tabanlı hava durumu izleme sisteminin içerisinde donanımsal olarak Raspberry Pi 3 kartı, sıcaklık ve nem, basınç, yağmur, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü sensörleri kullanılmıştır. Yazılımsal olarak ise python ve php programlama dilleri ve mysql veri tabanı kullanılmıştır. Sistemin blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Sistem 2 adımda çalışmaktadır. İlk adımda, sensörler üzerinden alınan analog ve dijital veriler Raspberry Pi kontrolcü kartında işlenmekte ve işlenen veriler üzerinden hava durumu ile ilgili bilgiler çıkartılmaktadır. Sensörlerden elde edilen bilgiler hazırlanan veri tabanına kaydedilmektedir. İkinci aşamada veri tabanındaki bilgilerin kullanılmasıyla web arayüzü üzerinden hava durumu ile ilgili bilgiler izlenmesi sağlanmaktadır. Kısaca sistemde, ilk aşamada donanımsal olarak veriler elde edilmekte, ikinci aşamada kullanıcıların hava durumu bilgilerini görmesi sağlanmaktadır.

3.1. Raspberry Pi 3 Kontrolcü Kartı

Tek kart bir bilgisayar olarak bilinen Raspberry Pi kartları, bilgisayar biliminin gelişmesi amacıyla kar amacı gütmeyen Birleşik Krallık'taki Raspberry Pi Vakfı tarafından geliştirilmektedir. Raspberry Pi serinin 3.nesil ürünü olan Raspberry Pi 3 kartı, içerisinde barındırdığı dâhili Wi-Fi ve bluetooth teknolojileri sayesinde önceki sürümlerine göre büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu özellikleri günümüzde IoT tabanlı uygulamalarda sıkça kullanılmaktadırlar. Raspberry Pi 3 kartı, 1.2 GHz ARM tabanlı cortex A-53 işlemcisi ve 1 GB DDR2 ram ile alternatifini olan diğer kontrolcülere kıyasla çok hızlı işlemler gerçekleştirebilmektedir. C, Python gibi gömülü sistem programlama dilleri ile programlanabilen kart içerisine Linux ve Windows işletim sistemleri kurulabilmektedir. GPIO pinleri sayesinde I2C, SPI, UART vb. seri iletişim protokollerini desteklemektedir (Sağlam ve ark., 2020). Çalışma kapsamında Raspbian işletim sistemi, phpmyadmin ve mysql server uygulamaları kurulmuştur.

3.2. Sıcaklık ve Nem Sensörü

İç ve dış ortamlara ait nem ve sıcaklık değerlerinin ölçülmesinde kullanılan DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, yüksek performanslı 8 bit mikrodenetleyici ile entegre edilmiştir. DHT11 sensörü, ntc sıcaklık ölçüm birimi ile sıcaklık değerini ölçmekte, resistif nem ölçüm birimi ile de nem değerini ölçmektedir. Ölçümlerin doğru yapılabilmesi için sensör ve kontrolcü kartı arasındaki yapılandırılmaların uygun şekilde kalibre edilmesi gerekmektedir (Divya ve ark., 2020). Sensör, sıcaklık ölçümü yaparken 0 ile 50°C arasında 2°C hata payı, nem ölçümü yaparken ise 20-90% RH arasında 5% RH hata payı gösterebilmektedir. Sensör üzerinde 3 adet pin bulunmaktadır. Şekil 2.a'da DHT11 sıcaklık ve nem sensörü verilmiştir.



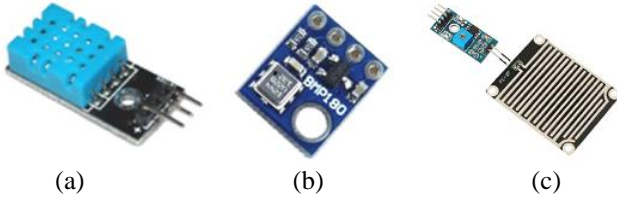
Şekil 1. Hava Durumu İzleme Sisteminin Blok Diyagramı

3.3. Basınç Sensörü

Barometrik basınç sensörü olan BMP180, etraflarındaki havanın mutlak basıncını, yüksekliği ve sıcaklığı ölçülebilmektedir. BMP180 basınç sensörü, robotik ve elektronik uygulamalarında hava basıncını ölçmek için kullanılan ve küçük boyutlara sahip olan bir sensördür. Ölçülen basınç hem hava durumuna hem de irtifaya göre değişebilir. Sensör ile 300-1100 hPa arasındaki basınç değerleri ve 500-9000 metre arasındaki yükseklik değerleri ölçülebilmektedir. I²C seri iletişim protokolü ile çalışan sensör, üzerinde “Besleme”, “Toprak”, “SCL (SerialClock)” ve “SDA (Serial Data)” pini olmak üzere toplam 4 pin bulundurmaktadır (Mahbub, 2020). Şekil 2.b’de BMP180 sensörü verilmiştir.

3.4. Yağmur Sensörü

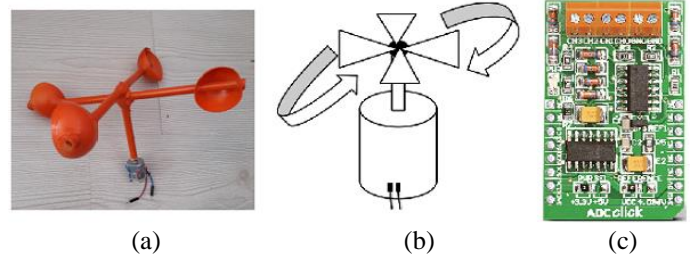
Yağmur sensörü, analog veya dijital olarak çalışabilen, yağmurun tespit edilmesini veya yağmur şiddetinin ölçülebilmesini sağlayan bir sensördür. Sensör, yağmur algılama modülü ve sürücü devre kartı olmak üzere 2 parçadan oluşmaktadır. Algılama modülü, paralel sıralar halinde oluşturulan iletken çizgilerin su ile teması halinde, çıkışında analog ya da dijital değerler üretmektedir. Elde edilen değerler sürücü kartı ile değerlendirilerek tespit işlemleri gerçekleştirilmektedir (Barkunan ve ark., 2019). Sürücü kartı üzerinde bulunan potansiyometre ile sensörü hassasiyet değeri ayarlanmaktadır. Sensör üzerinde “Besleme”, “Toprak” ve “Dijital Çıkış” pini olmak üzere 3 adet pin bulunmaktadır. Şekil 2.c’de yağmur sensörü verilmiştir.



Şekil 2. Sensörler (a. DHT11 Sensörü, b. Basınç Sensörü c. Yağmur Sensörü)

3.5. Rüzgâr Hızı Sensörü

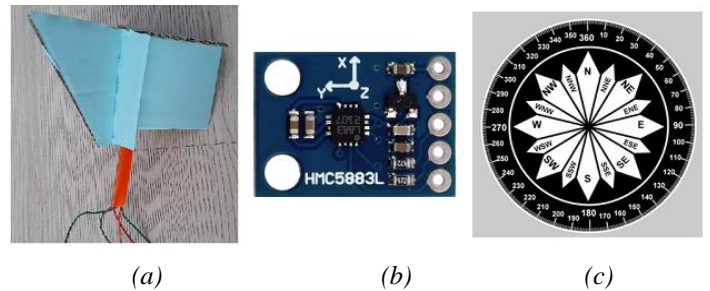
Çalışma kapsamında rüzgâr hızının ölçülmesi için özgün bir anemometre tasarımı yapılmıştır. Şekil 3.a’da tasarlanan anemometre/rüzgâr hızı sensörü verilmiştir. Sensör hazırlanırken rüzgârgülü sisteminin çalışma yapısı ele alınmıştır. Sensör, birbiri üzerine çapraz olarak geçirilmiş iki kol ve bu kolların etrafına sabitlenen dört adet yarım küre şeklindeki pinpon topu ile alt kısmında bulunan DC motordan oluşmaktadır. Sensörün şu şekilde çalışmaktadır; pinpon toplarına uygulanan rüzgâr şiddeti ile sensör çerçevesi, saat yönünde veya saatin tersi yönünde dönmektedir (Şekil 3.b). Rüzgârın hızına bağlı olarak, motorun şaftı dönerek bir hız değeri elde edilmekte ve DC motor ile çerçevenin dönüş hızı analog bir veri olarak tespit edilmektedir. Elde edilen analog veri ile oransal bir rüzgâr hızı belirlenir (Kishorebabu ve Sravanthi, 2020). Elde edilen hız verisinin Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı üzerinden işlenebilmesi için analog değerini dijital dönüşürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, Şekil 3.c’de gösterilen ADC click kartı kullanılmıştır. ADC click kartı girişine uygulanan analog değerleri dijital çevirmek için kullanılan bir karttır. Motordan alınan analog değerler ADC click kartı ile dijital değerlere çevrilerek Raspberry Pi 3 kontrolcü kartında işlenmektedir. Bu aşamalardan sonra rüzgâr hızı tespit edilmektedir.



Şekil 3. a. Gerçekleştirilen Rüzgâr Hızı Sensörü, b. Motor Dönüş Yönleri, c. ADC Click Kartı

3.6. Rüzgâr Yönü Sensörü

Rüzgâr ölçümleri yapılan bölge, şehir, kasaba gibi yerlerde rüzgârlar, rutin bir şekilde belirli yönlerden esebileceği gibi değişik yönlerden de esebilirler. Bu bağlamda değişen rüzgâr yönlerinin belirlenmesi hava istasyonları için önem arz etmektedir. Rüzgâr yönü sensörleri, rüzgârın yönünü ölçen ve rüzgâr enerjisine dayalı olarak çalışabilen cihazlardır. Bu sensörlerde pervaneler bulunmazken bunun yerine dikey eksen üzerine dönen bir ok düzeneği kullanılmaktadır (Utama ve ark., 2018). Çalışma kapsamında rüzgâr yönünün belirlenebilmesi için özgün tasarıma sahip bir rüzgâr yönü sensörü yapılmıştır. Şekil 4.a’da hazırlanan rüzgâr yönü sensörü verilmiştir. Sensör içerisinde HMC5883L pusula sensörü (Şekil 4.b) bulunmaktadır. Rüzgârın yönünü hesaplama için mavi renkli kartonlar ile ok şeklinde bir yapı tasarlanmıştır. Pusula sensörü üzerinden 0°-360° arasındaki açı değerleri elde edilmektedir. Elde edilen açı değerleri Şekil 4.c’de verilen rüzgâr açılara tabi tutularak rüzgâr yönü tespit edilmektedir. Sensörden alınan 0°-360° arasındaki değerler, 0°-90° (Kuzey), 90°-180° (Doğu), 180°-270° (Güney) ve 270°-360° (Batı) olmak üzere 4 yön üzerinden ele alınmıştır (Kishorebabu ve Sravanthi, 2020). Örneğin; “Sensörden alınan açı değeri 326° ise sonuç olarak **Rüzgâr => Batı yönünde 56°’lik açı** ile esmektedir.” şeklinde bir örnek verilebilir.



Şekil 4. a. Gerçekleştirilen Rüzgâr Yönü Sensörü, b. Pusula Sensörü, c. Rüzgâr Açıları

3.7. Veri Tabanı Tasarımı

Sensörlerden alınan hava durumu parametrelerinin saklanması, işlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla MySQL veri tabanı tasarımı yapılmıştır. Raspbian işletim sistemi içerisine kurulan MySQL server uygulaması üzerinden çalıştırılan MySQL veri tabanı ile verilerin yönetilmesi, saklanması ve izlenmesi sağlanmaktadır. Sensörlerden elde edilen sıcaklık, nem, basınç, yağmur, rüzgâr hızı, rüzgâr derecesi, rüzgâr yönü ve güncel zaman verileri kaydedilmek için veri tabanında bir tablo oluşturulmuştur. Sensörlerden elde edilen veriler, 5 sn. aralıklarla veri tabanına kaydedilmektedir. Şekil 5’de phpmyadmin uygulaması üzerindeki veri tabanı tablosuna kaydedilen sensör verileri verilmiştir. Veri tabanı içerisindeki

hava durumu verileri, yazılan servis uygulamaları ile web tabanlı kullanıcı arayüzüne aktarılmaktadır.

sicaklik	nem	basinc	yagmur	ruzgarhizi	derece	yon	Zaman
24	19	945.46	1	-9	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 11:59:56
24	19	945.46	1	1	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:01
24	19	945.46	1	-12	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:06
24	19	945.49	1	-2	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:12
24	19	945.54	1	-17	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:17
24	19	945.47	1	-4	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:22
24	19	945.41	1	-10	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:27
25	29	945.42	1	-3	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:32
24	19	945.5	1	-10	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:38
25	30	945.45	1	2	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:43
25	18	945.4	1	-5	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:48
25	29	945.46	1	-9	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:53
25	28	945.52	1	-6	87.6728005243658	dogu	2018-06-26 12:00:58

Şekil 5. Veri Tabanındaki Sensör Verilerinin Gösterimi

3.8. Gerçek Zamanlı Kullanıcı Arayüzü

Çalışmanın temel amaçlarından bir tanesi olan hava durumu bilgilerinin izlenmesi işlemi için hazırlanan web arayüzü ile düzenli bir şekilde anlık olarak meteorolojik verilerin izlenmesi sağlanmıştır. Geliştirilen izleme sisteminde iki farklı kodlama süreci yaşanmıştır. İlk aşamada, sensörlerden elde edilen ham verilerin işlenmesi ile elde edilen değerlerin veri tabanına kaydedilmesi için Python programlama dili kullanılmıştır. İkinci aşamada ise web arayüzünde hava durumu bilgilerinin izlenmesi için php, html ve javascript programlama dilleri kullanılmıştır. Web arayüzü için yazılan servis uygulamaları ile MySQL veri tabanı üzerinden her sensöre ait veriler teker teker alınmaktadır. Arayüz ile veri tabanı üzerindeki en son hava durumu bilgisine doğrudan erişim sağlanırken tüm verilere erişebilme imkânı da bulunmaktadır. Bu veriler, Highcharts interaktif javascript kütüphaneleri kullanılarak web arayüzü üzerinden grafiksel olarak kullanıcılara aktarılmaktadır. Hava durumu izleme istasyonunda alınan en son hava durumu verisi Şekil 6'da verilmiştir. İstasyon içerisindeki her parametre değeri için ayrı ayrı grafikler verilmektedir. Sensörlerden elde edilen verileri, 5 sn. aralıklarla güncellenerek sistemin sürekliliği devam ettirilmektedir.

Hava Durumu İzleme İstasyonu

Birimler	Tarih	Sıcaklık	Nem	Basınç	Yağmur	Rüzgar Hızı	Rüzgar Açısı	Rüzgar Yönü
Güncel Değerler	2018-06-28 15:58:21	23	19	940.52	1	- 63	66,81313	Kuzey (North)

Tüm verilere ulaşmak için tıklayınız.

Şekil 6. Veri Tabanından Alınan Son Hava Durumu Bilgileri

4. Hava İstasyonunun Çalışma Yöntemi

Hava durumunun izlenmesi amacıyla hazırlanan hava istasyonunun çalışma prensibi Şekil 7'de gösterilmiştir. Ortamdaki hava durumu verileri elde edilirken, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sıcaklık, nem yağmur ve basınç sensörleri kullanılmıştır. Sensörlerden alınan analog ve dijital veriler, Raspberry Pi kartı ile işlenerek ortamdaki hava durumu ile ilgili parametre değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanıcılara aktarılması ve anlık olarak takip edilmesi amacıyla bir web arayüzü geliştirilmiştir. Geliştirilen web arayüzü aracılığıyla ortamdaki hava durumu bilgilerine erişim sağlanmakta ve ortam verilerinin değerleri (sıcaklık, nem, yağış, basınç, rüzgâr) grafiksel olarak gösterilmektedir. Web arayüzünde istasyon aracılığıyla alınan en son hava durumu bilgisi de kullanıcılara ayrıyeten sunulmaktadır.

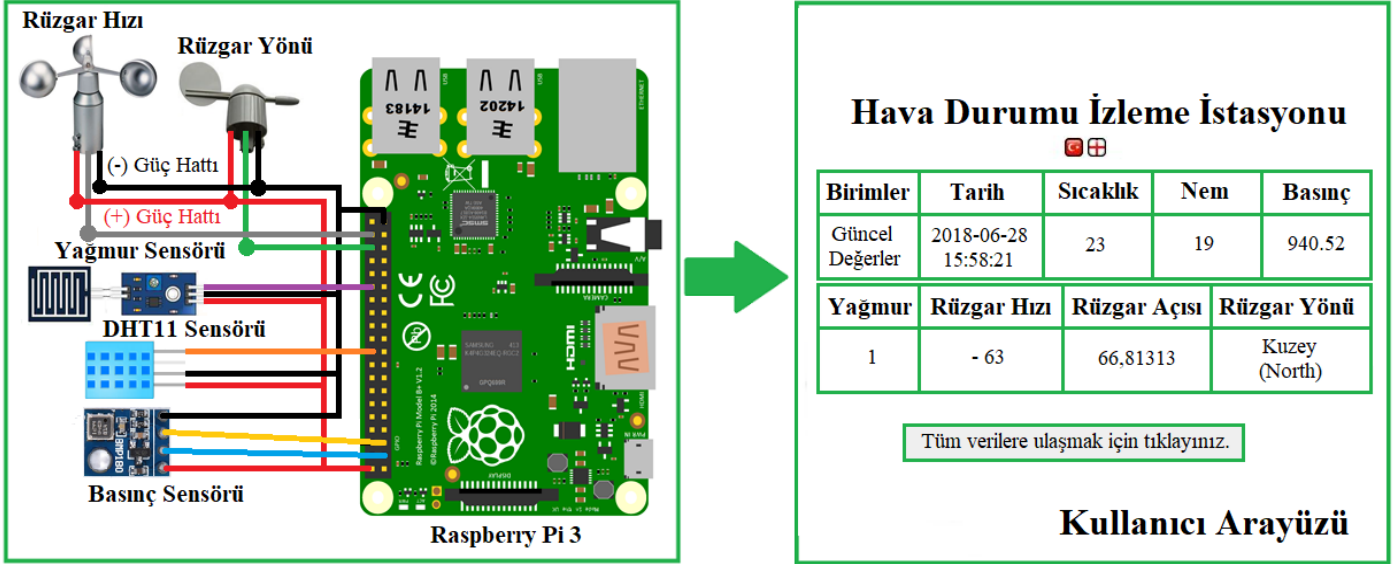
Rüzgâr hızı sensöründen alınan analog verilerin Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı ile işlenmesi amacıyla ADC click kartı kullanılmıştır. Raspberry Pi 3 kartı içerisinde ADC birimi olmadığı için bu kart tercih edilmiştir. ADC click kartı, analog değerleri dijital değerler dönüştürmektedir. Kart, SPI haberleşme protokolü üzerinden iletişim kurabilmekte ve içerisinde 4 adet ADC kanalı bulunmaktadır. Basınç ve rüzgâr yönü sensörleri I2C protokolü ile çalıştığı için aynı pinler üzerinden farklı adres bilgileri kontrol edilmektedir. Tablo 2'de Raspberry Pi 3 kartı ve sensörler arasındaki pin bağlantıları verilmiştir.

Tablo 2. Pin Bağlantıları

Raspberry Pi 3	Sensörler
BCM 14	DHT11 Sensörü
BCM 23	Yağmur Sensörü
BCM 2	Basınç Sensörü (SCL)
BCM 3	Basınç Sensörü (SDA)
BCM 2	Rüzgâr Yönü (SCL)
BCM 3	Rüzgâr Yönü (SDA)
BCM 9	(ADC Click) SDO
BCM 10	(ADC Click) SDI
BCM 11	(ADC Click) SCK

4.1 Hava Durumu Tahmin Algoritması

İstasyon içerisindeki sensörlerden alınan verilere göre hava durumuna ait çıkarımlar yapılmaktadır. Yapılan ölçüm sonuçları üzerinden karşılaştırmalar yapılarak bazı kurallar oluşturulmuştur. Örneğin; basınç, sıcaklık ve nem sensöründen alınan veriler kullanılarak, "eğer sıcaklık değeri > 30 °C, nem değeri > 75%, basınç değeri < 1012 hPa ise Hava Durumu: SICAK" şeklinde bir kural yazmak mümkün olabilmektedir. Yazılan kurallardaki eşik seviyeleri, ölçüm sonuçlarına göre güncellenmektedir. Kural sistemine yağmur sensörünün eklenmesi ile yağmurun durumunu ve şiddetini de ölçmek mümkün olabilmektedir. Farklı sensör aralıklarına ait kural çıkarım örneklerine ait kaba kod şekil 8'de verilmiştir. Tahmin algoritması şu aşamada kullanıcılara aktarılmayıp sadece test sürecinde kullanılmaktadır.



Şekil 7. Hava İstasyonu Sisteminin Çalışma Prensibi

Sensör Kurulumları

```

while(1){
  Sensör değerleri okunuyor //(SıcaklıkDeğer, NemDeğer, BasıncDeğer)
  if ((SıcaklıkDeğer<=5) && (NemDeğer<=10) && (BasıncDeğer>1020))
    printf("Kar Riski");
  else if ((SıcaklıkDeğer<=15) && (NemDeğer>45) && (BasıncDeğer<=1020))
    printf("Yağmur Riski");
  else if ((15<SıcaklıkDeğer<=30) && (10<NemDeğer<=45) && (BasıncDeğer<=1015))
    printf("Normal Hava");
  else if ((SıcaklıkDeğer>30) && (NemDeğer>=75) && (BasıncDeğer<1012))
    printf("Sıcak Hava");
  else
    print("Olcum Hatası");
}

```

Şekil 8. Hava Durumu Tahmin Algoritmasının Kaba Kodu

5. Hava İstasyonu Test Çalışmaları

Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı içerisindeki Python kodunun çalıştırılmasıyla, sensörlerden elde edilen ham verilerin ekran çıktısı Şekil 9'da gösterilmiştir. Hava istasyonu içerisindeki sensörlerden alınan değerler içerisinde sadece sıcaklık, nem, yağış, basınç, dijital dönüş değeri, rüzgâr açı değeri ve güncel zaman bilgileri veri tabanına kaydedilirken diğer veriler kullanılmamıştır.

```

Last Valid Input: 2018-06-25 10:49:51
Sıcaklık: 24 C
Nem: 15
Yağış yok!
Baro Sıcaklık: 28.80 C
Basınc: 95034.00 Pa
Yükseklik = 536,73 m
Deniz Seviyesi Basınc = 95042.00 Pa
Motor Donus
Dijital: 8 Gerilim: 0.0013 V
Rüzgar Acisi: 338.721836912
x eksen: 200026.56
y eksen: -22860.16
z eksen: 7072.96

HAVA Durumu : Normal Hava

```

Şekil 9. Sensörlerden Elde Edilen Ham Veriler

Geliştirilen hava istasyonunun donanımsal görünümü Şekil 10'da verilmiştir. İstasyon, hava parametrelerinin hassas bir şekilde ölçülerek işlenmesini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı üzerinde bulunan GPIO pinleri aracılığıyla sensörler ve Raspberry pi kontrolcü kartı arasındaki bağlantılar gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen hava istasyonundaki Raspberry pi 3 kontrolcü kartının internet ihtiyacını karşılama için kablolu internet, güç ihtiyacı için ise 5V'luk adaptör kullanılmıştır.

Donanımsal ve yazılımsal çalışmaların başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesinden sonra laboratuvar ortamında hava durumu verilerinin toplanmasına başlanmıştır. Sıcaklık, nem, yağış, basınç ve rüzgâr parametrelerinin gerçek zamanlı olarak sensörler aracılığıyla toplanması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler, görselleştirmek amacıyla veri tabanına kaydedilmiş ve hazırlanan web arayüzü üzerinden kullanıcılara sunulmuştur.

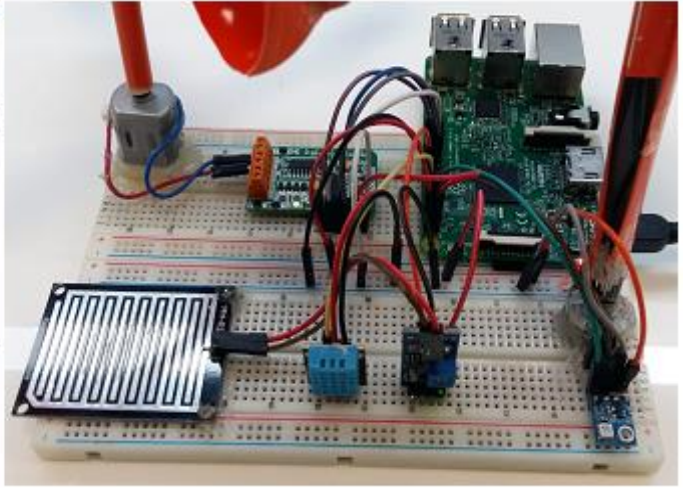
Sensörlerden elde edilen ortam parametrelerine ait grafikler Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11'da sırasıyla, sıcaklık (a), nem (b), basınç (c), rüzgâr hızı (d), rüzgâr açısı (e) ve rüzgâr yönlerini gösteren grafikler gösterilmektedir. Grafikler, iteratif olarak hazırlanmıştır. Şekil 11.a'da sıcaklık verileri, şekil 11.b'de nem verileri ve şekil 11.c'de basınç sensöründen elde edilen basınç değerleri gösterilmektedir. Sırasıyla alınan verilerin, iteratif bir şekilde gösterildiği grafiklerde belirli aralıklarda artışlar ve düşüşler yaşanmaktadır.

Şekil 11.d'de rüzgâr hızı sensöründen alınan değerler gösterilmektedir. Şekildeki değerlere bakıldığında (-) ile ifade edilen değerler rüzgârın saat yönünün tersinde (+) ile ifade edilen değerler ise rüzgârın saat yönünde estiğini göstermektedir. Elde edilen sayısal değerler ise rüzgâr şiddetini göstermektedir. Yapılan testler ve hesaplamalar ile bu sonuçlara ulaşılmıştır. Şekildeki verileri açıklamak gerekirse, örneğin; sensörden alınan değer -25 olarak verilsin, bu değer üzerinden rüzgârın saat yönünün tersinde ve 25 hızında estiği sonucuna varılabilir.

Şekil 11.e'da rüzgâr yönü ile ilgili açılal değerlere ait grafik gösterilmektedir. Hazırlanan rüzgâr hızı sensörü içerisinde bulunan pusula sensöründen elde edilen veriler yön ve derece hesaplama işlemlerine tabi tutularak rüzgârın açısı ve hangi

yönde estiği görülmektedir. Sensörden alınan 0°-360° arasındaki açı değerleri, yönler (kuzey, güney, doğu ve batı) üzerinden hesaplama işlemine tabi tutulmaktadır. Bu hesaplama işlemi ile elde edilen sensör açısının hangi yöne denk geldiği tespit edilmiştir.

Sensörlerden alınan veriler, anlık olarak değişebildiği için grafiklerde belirli aralıklarda artışlar ve düşüşler yaşanmıştır. Sistemin düşük maliyetli olması, kolay kurulumu, mobil olarak rahatlıkla taşınması ve internet üzerinden kontrol edilmesi gibi avantajları sayesinde ek donanım ihtiyacına gerek duyulmaksızın bulunduğu ortamdaki hava durumunun anlık olarak takip edilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 10. Hava İstasyonunun Donanımsal Gösterimi

6. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, web üzerinden anlık hava durumunun izlenmesine imkân sağlayan IoT tabanlı bir mini hava istasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, okul ve üniversite gibi yerleşkelerdeki hava durumunun gerçek zamanlı olarak takip edilmesi ve kayıt altına alınmasıdır. Bu amaçla kullanılacak hava istasyonu içerisinde, Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı, sıcaklık, nem, basınç, yağış, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü sensörleri kullanılarak sistemin tasarımı oluşturulmuştur. Hava durumu parametreleri Raspberry Pi 3 kontrolcü kartında işlendikten sonra Wi-Fi ağı üzerinden veri tabanına kaydedilmektedir. Veri tabanında çekilen hava durumu bilgileri, hazırlanan web ara yüzü üzerinden grafiksel ve sayısal olarak kullanıcılara sunulmaktadır. Hava durumu izleme istasyonu modeli, ekonomik, taşınabilir, kullanımı kolay ve küçük boyutlu olarak tasarlanmıştır.

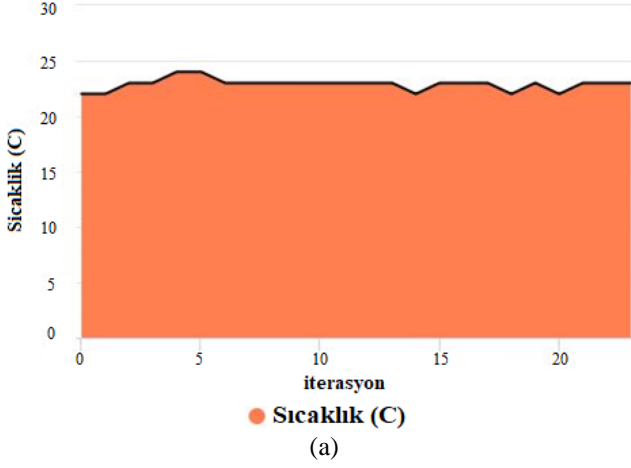
Geliştirilen istasyonda hazır olarak kullanılan sensör ile birlikte özgün tasarıma rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı sahip sensörleri de kullanılmıştır. Rüzgâr yönü sensörü içerisinde HMC5883L pusula sensörü bulunmaktadır. Pusula sensörü ile yapılan ölçümlerde yön bilgisi doğru bir şekilde elde edildikten sonra rüzgâr sensörünün çerçeve yapısı oluşturulmuştur. Yapılan çerçeve içerisine yerleştirilen pusula sensörü ile yapılan yeni yön testlerinde aynı başarımlar elde edilmiştir. Rüzgâr hızı sensörü içerisinde DC motor bulunmaktadır. DC motorun dönüşü sırasında meydana gelen hız verisi analog olarak okunmuş ve dönüş hızı belirlenmiştir. Rüzgâr hızı sensörünün çerçeve yapısı

oluşturulduktan sonra dönüş testleri gerçekleştirilmiş ve bu yeni testlerin sonucunda aynı dönüş hızı değerleri elde edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda modelleme teknolojisi kullanılarak daha efektif bir sensör gerçekleştirilecektir. Bu koşullar ele alınıp gerçekleştirilen çalışma, (Hussein ve ark., 2020; Baste ve Dighe, 2017)' daki sistemler ile karşılaştırıldığında donanımsal maliyetin belirtilen çalışmalardan daha düşük olduğu görülmektedir.

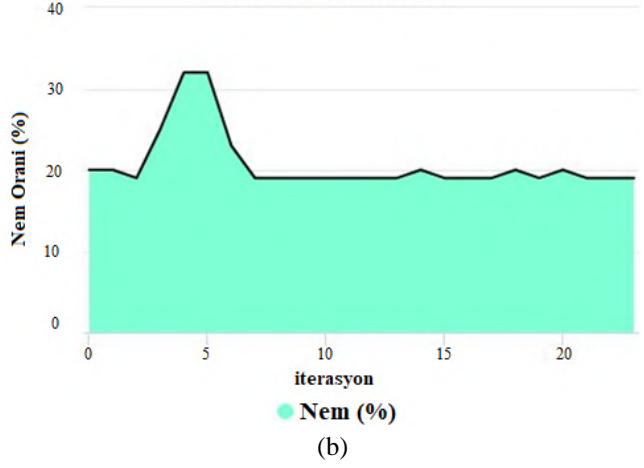
Çalışma kapsamında düşük maliyetli sensörlerin kullanılması ve bazı kalibrasyon sorunlarının meydana gelmesinden ötürü hesaplamalarda yanlışlıklar meydana gelmiştir. Bu durum, hatalara sebebiyet vermekte ve sistemin güvenilirliğini düşürmektedir. Bu sorunların üstesinden gelmek için donanımsal ve yazılımsal kaynakların optimum şekilde yapılandırılması sağlanmıştır. Buna rağmen nem ve rüzgâr hızı verilerinde hatalar meydana gelmiştir. Sistemin geliştirilmesi esnasında kullanılması düşünülen ek sensörler ile bu sorunun çözümü aranacak ve bu sayede sistemin dayanıklılığı artırılacaktır.

İstasyon ile yapılan test çalışmaları ilk olarak laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olup sensör değerlerinin doğrulukları ölçülmüştür. Test işlemlerinden sonra dış ortada test işlemi gerçekleştirilerek, hava istasyonunun geçerliliği test edilmiştir. Tablo 3'de 25.05.2018 ve Tablo 4'de 26.05.2018 tarihlerinde yapılan ölçüm sonuçları verilmiştir. Sıcaklık, basınç ve rüzgâr yönü parametrelerinin değerlerinin yakın olmasına rağmen nem ve rüzgâr hızı değerlerinde belirli miktarlarda sapmalar yaşanmıştır.

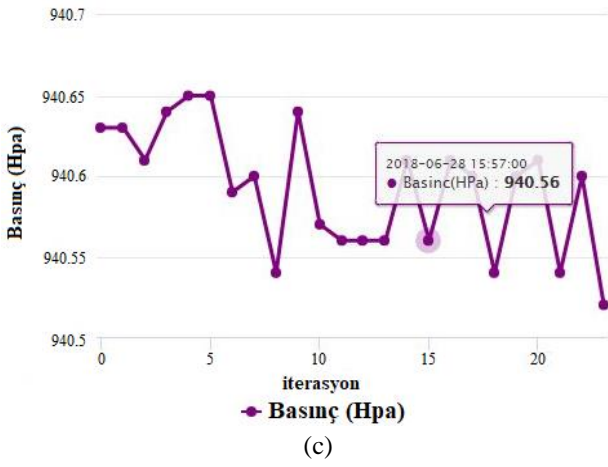
Sıcaklık Verileri



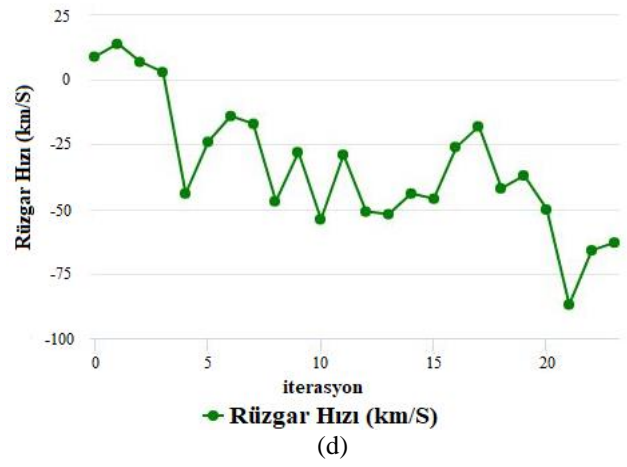
Nem Verileri



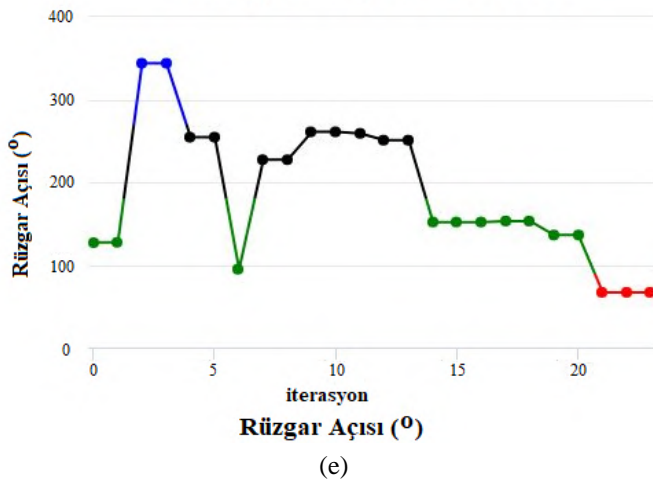
Basınç Verileri



Rüzgâr Hızı Verileri



Rüzgâr Açısı Verileri



Şekil 11. Sensör Verilerinin Grafikselsel Gösterimi
(a) Sıcaklık, (b) Nem, (c) Basınç, (d) Rüzgâr Hızı, (e) Rüzgâr Açısı, (f) Rüzgâr Yönleri

Tablo 3. 25.05.2018 Günü Yapılan Sensör Ölçümleri

Sensör Sonuçları					
	Sıcaklık	Nem	Basınç	Rüzgâr Hızı	Rüzgâr Yönü
Meteoroloji Hava İstasyonu	17,4 °C	% 87	947,6 hPa	4 km/S	Güney Doğu
	16 °C	% 50	950,28 hPa	9 km/S	Güney Doğu

Tablo 4. 26.05.2018 Günü Yapılan Sensör Ölçümleri

Sensör Sonuçları					
	Sıcaklık	Nem	Basınç	Rüzgâr Hızı	Rüzgâr Yönü
Meteoroloji	23,7 °C	% 54	949,6 hPa	18 km/S	Güney
Hava İstasyonu	24 °C	% 24	950,52 hPa	11 km/S	Güney

İlerleyen çalışmalarda, sensör ve internet teknolojilerinin geliştirilmesi ile daha güvenilir ve hızlı çözümler sunabilecek bir hava istasyonu gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. İstasyona entegre edilmesi düşünülen yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji ihtiyacının karşılanması sağlanacaktır. Temel amaç doğrultusunda kullanıma uygun olmasına rağmen daha geniş alanlarda hava olaylarını takip etmek için GPS sensörü kullanılarak farklı yerlerdeki hava durumu bilgileri elde edilecektir. Daha geniş bir akıllı çevre izleme sisteminin gerçekleştirilmesi ve hava durumunun tahmininde yapay zekâ teknolojilerinin kullanılmasına yönelik çalışmalar hedeflenmektedir.

Kaynakça

- Aponte-Roa, D. A., Montalvan, L. B., Velazquez, C., Espinoza, A. A., Velazquez, L. F., Serrano, R., 2018. Evaluation of a low-cost, solar-powered weather station for small-scale wind farm site selection. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 14-17 May, Houston, TX, USA, 1-5.
- Barkunan, S.R., Bhanumathi, V., Sethuram, J., 2019. Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation. Computers and Electrical Engineering, 73, 180-193.
- Baste, P., Dighe, D.D., 2017. Low Cost Weather Monitoring Station Using Raspberry Pi. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 4 (5), 3184-3189.
- Devaraju, J.T., Suhas, K.R., Mohana, H.K., Vijaykumar A.P., 2015. Wireless Portable Microcontroller based Weather Monitoring Station. Measurement, 76 (2015), 189-200.
- Divya, M., Subhash, N., Vishnu, P., Tejesh, P., 2020. Smart Health Care Monitoring Based on Internet of Things (IoT). International Journal of Scientific Research and Engineering Development, 3 (1), 409-414.
- Eriş, Ç., Bölük, P. 2021. Nesnelerin İnternetinde Kullanılan Kablosuz Algılayıcı Cihazlar için Bilgi Merkezli Ağ Mimarisinin Uygulanabilirliği Araştırması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 160-171.
- Fente, D.N., Singh, D.K., 2018. Weather Forecasting Using Artificial Neural Network. 2nd International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT 2018), 20-21 April, Coimbatore, India, 1757-1761.
- Haque, M. I., Shatil, A.H.MD., Tusar, A.N., Hossain, M., Rahman, M. H., 2019. Renewable Powered Portable Weather Update Station. 2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST), 10-12 January, Dhaka, Bangladesh, 374-377.
- Hussein, Z.K., Hadi, J.H., Abdul-Mutaleb, M.R., Mezaal, Y.Z., 2020. Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee. TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control, 18 (1), 282-288.
- Katyal, A., Yadav, R., Pandey, M., 2016. Wireless Arduino Based Weather Station. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 5 (4), 274-276.
- Kishorebabu, V., Sravanthi, R., 2020. Real Time Monitoring of Environmental Parameters Using IOT. Wireless Personal Communications, 1-24, <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07074-y>.
- Kusriyanto, M., Putra, A.A., 2018. Weather Station Design Using IoT Platform Based On Arduino Mega. International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), 23-24 October, Bandung, Indonesia, 1-4.
- Li, H., Ochani, M.K., Zhang, H., Zhang, L., 2017. Design of micro-automatic weather station for modern power grid based on STM32. The Journal of Engineering, 2017 (13), 1629-1634.
- Mahbub, M., 2020. A smart farming concept based on smart embedded electronics, internet of things and wireless sensor network. Internet of Things, 9, 100161.
- Muck, P.Y., Homam, M.J., 2018. Iot Based Weather Station Using Raspberry Pi 3. International Journal of Engineering & Technology, 7 (2018), 145-148.
- Nsabagwa, M., Byamukama, M., Kondela, E., Otim, J.S., 2019. Towards a robust and affordable Automatic Weather Station. Development Engineering, 4, 1-9
- Ram K.S.S, Gupta, A.N.P.S., 2016. IoT based Data Logger System for weather monitoring using Wireless sensor networks. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 32 (2), 71-76.
- Saglam, A., Taş, M., Baykan, N.A. 2020. Geri Dönüştürülebilir Atıkların Materyallerine Göre Sınıflandırılması için Raspberry Pi Tabanlı Donanım Geliştirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı), 30-38.
- Saini, H., Thakur, A., Ahuja, S., Sabharwal, N. & Kumar, N., 2016. Arduino Based Automatic Wireless Weather Station with Remote Graphical Application and Alerts. 3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 11-12 February, Noida, India, 605-609.
- Utama, Y.A.K., Widiyanto, Y., Sardjono, A.T., Kusuma, H., 2018. Design A Low Cost Wind Direction Sensor With High Accuracy. 5th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 27-28 September, Semarang, Indonesia, 33-38.
- Üçgün, H., Kaplan, Z.K., 2017. Arduino based weather forecasting station. International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), 5-8 October, Antalya, Turkey.



Su Kalitesinin İnsansız Hava Aracı Verileri ve Fiziko-Kimyasal Parametrelerin Analizi ile Belirlenmesi: Aydınlar (Gülüç) Çayı Örneği

Nizamettin Özdoğan^{1*}, Umut Güneş Sefercik², Yağmur Kılınç¹, Emine Çalışkan¹, Can Atalay¹

¹Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Environmental Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5520-5124), nozdogan256@gmail.com

²Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Dept. of Geomatics Engineering, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2403-5956), ugsefercik@hotmail.com

¹Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Environmental Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6325-1718), yagmur.klnc@yahoo.com

¹Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Environmental Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3926-2166), eminecaliskan196@gmail.com

¹Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Dept. of Geomatics Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6499-8071), canatalay@beun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 26 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 05 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.887105)

ATIF/REFERENCE: Ozdogan, N., Sefercik, U.G., Kılınç, Y., Çalışkan, E. & Atalay, C. (2021). Su Kalitesinin İnsansız Hava Aracı Verileri ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Analizi ile Belirlenmesi: Aydınlar (Gülüç) Çayı Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 572-582.

Öz

Bu çalışmada, sulama suyu amaçlı kullanılan Aydınlar (Gülüç) çayının fiziko-kimyasal parametreler açısından su kalitesi incelenmiş ve insansız hava aracı (İHA) verilerinin spektral analizi ile karşılaştırmalı değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında, su kalitesini belirlemek için üç farklı numune alım noktası belirlenmiş ve Haziran 2019 (kurak dönem), Eylül 2019 ve Aralık 2019 (yağışlı dönem) tarihlerinde çayı temsilen su numuneleri alınmıştır. Alınan numunelerin pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), bulanıklık, askıda katı madde (AKM), sıcaklık değerleri ile kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ5), çözülmüş oksijen (ÇO), toplam kjeldahl azotu (TKA), toplam fosfat (TP) ve yağ-gres analizleri gerçekleştirilmiştir. pH, Eİ, bulanıklık, sıcaklık ve AKM değerleri sırasıyla ortalama 7.67-8.32, 815-1106 µS/cm, 14.91-20.95 NTU, 9.34-25.34 °C ve 32.84-82.67 mg/L arasında, ÇO, BOİ, KOİ, TP, TKA ve yağ-gres değerleri ise sırasıyla ortalama 2.34-3.40 mg/L, 8.14-20.14 mg/L, 96.44-132.7 mg/L, 0.179-0.296 mg/L, 13.91-20.14 mg/L ve 0.0087-0.016 mg/L arasında ölçülmüştür. Tespit edilen fiziko-kimyasal parametreler Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)'ne göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, belirlenen fiziko-kimyasal parametrelerin su yüzeyinde meydana getirdiği spektral (renk) değişimler, yüksek çözünürlüklü kamera donanımına sahip İHA ile elde edilen hava fotoğraflarının işlenmesi sonucu üretilen ortomozaikler üzerinden analiz edilmiştir. Sonuç olarak, Aydınlar Çayı'nın ÇO, BOİ5, KOİ, TP ve TKA ortalama konsantrasyonları YSKY'in de belirtilen değerlere göre III. Sınıf ve IV. Sınıf su kalite özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aydınlar Çayı, Su Kalitesi, Fiziko-Kimyasal Parametreler, İnsansız Hava Aracı.

Determination of Water Quality by Analysing Unmanned Aerial Vehicle Data and Physico-Chemical Parameters: The Case of Aydınlar (Gülüç) Stream

Abstract

In this study, the water quality of Aydınlar (Gülüç) Stream, which is used for irrigation, has been examined in terms of physico-chemical parameters and comparative evaluations were realized with spectral analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) data. Within the scope of this study, we determined three distinct locations to collect water samples for evaluation and water samples were taken to represent the water quality of the stream in the periods such as, June 2019 (dry period) and September and December 2019 (rainy periods). The samples were evaluated in terms of their pH levels, electrical conductivities (EI), turbidities, total suspended solids (TSS), temperature values and chemical oxygen demands (COD), biochemical oxygen demands (BOD5), dissolved oxygen (DO) levels, total kjeldahl nitrogen (TKN), total phosphate (TP) and oil-grease analysis. Average pH, conductivity, turbidity, temperature and TSS values were measured respectively, 7.67-8.32, 815-1106 µS/cm, 14.91-20.95 NTU, 9.34-25.34 °C and between 32.84-82.67 mg/L; DO, BOD5, COD, TP, TKN and oil-grease values measured average respectively as; 2.34-3.40 mg/L, 8.14-20.14 mg/L between 96.44-132.7 mg/L, 0.179-0.296 mg/L, 13.91-20.14 mg/L and 0.0087-0.016 mg/L. Detected physico-chemical parameters have been evaluated according to the Surface Water Quality Regulation (SWQR). In addition, the determined spectral changes on the water surface caused by the physico-chemical parameters were analyzed over generated ortho-mosaics by processing aerial photos obtained with high-resolution camera equipped UAV. As a result, we can state that Aydınlar Stream's water's average concentrations of DO, BOD5, COD, TP and TKN levels, according to the values specified in SWQR, show III. class and IV class water quality properties.

Keywords: Aydınlar Stream, Water Quality, Physico-Chemical Parameters, Unmanned Aerial Vehicle.

*Sorumlu Yazar: nozdogan256@gmail.com

1. Giriş

Su, dünyadaki yaşam için gerekli temel kaynaktır. Bu değerli kaynağı kullanma şeklimiz sadece sağlığımızı değil aynı zamanda suya bağlı yaşamı da etkilemektedir. Bu yaşamsal değer üzerinde ki baskı her geçen gün artmakta dolayısıyla su sorunu ile karşı karşıya kalan insan toplulukları da ciddi boyutta sıkıntılar ile karşı karşıya kalmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Son yıllarda, dünya da kullanılan tatlı su miktarında önemli artışlar görülmektedir. Kısıtlı olan tatlı su kaynakları üzerindeki çeşitli baskılar suya erişimde ve su kalitesiyle ilgili bazı problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme, gelir ve tüketim seviyesinin yükselmesi, kirletici maddeler, sucül ekosistemlerde ki fiziksel değişimler ve iklim değişikliği, suyun kalitesini ve kullanılabilirliğini zayıflatmaktadır. Bu nedenle, kullanılan su kaynaklarının korunması, kalite bileşenlerinin belirlenmesi, izlenmesi ve su kalite yönetiminin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde; Sakarya, Büyük Menderes, Kızılırmak, Susurluk ve Aydınlar Çayı v.b. gibi büyük doğal yüzeysel su kaynaklarının %79'u kirlenmiştir (URL-1, 2018). Bu kaynaklarımızın içme, sulama ve kullanma suyu olarak kullanılması hem su ortamında yaşayan canlıları hem de çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Maden ocakları başta olmak üzere termik santrallerin, endüstriyel işletmelerin bulunması ve bunların faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan kirlilik ildeki su kaynaklarını kirletmektedir (URL-2, 2018). Bu bağlamda, suların kirlilik seviyeleri ölçmek ve kullanılabilirliğini belirlemek için bazı fiziko-kimyasal parametreler önem teşkil etmektedir. Bu parametrelerin sınır değerlerine uygunlukları "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği" (YSKY)'ne göre yapılmaktadır. Bu yönetmelikle, "yüzeysel sular ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziksel ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması" amaçlanmaktadır (YSKY, 2016).

Son yıllarda, su kirliliği seviyelerinin tespiti için destek niteliğinde olan bir diğer araştırma yöntemi ise modern haritalama teknolojilerinden elde edilen veriler çerçevesinde kurulan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'dir. CBS, coğrafi ham verilerin hava ve uzay kaynaklı platformlardan elde edilmesi, bilgisayar ortamında işlenerek yüksek koordinat doğruluğu ile konumlanması, iki ve üç boyutlu (3B) olarak analiz edilmesi ve istenilen amaçlar doğrultusunda kullanılması için geliştirilmiş bütünsel bir sistemdir. CBS'den ayrıca, su kaynaklarının tespiti ve yönetimi, taşkın analizi ve afet yönetimi konularında da faydalanılmaktadır. CBS'nin gerek konumsal veri üretimi ve gerekse harita altlığını oluşturmada İnsansız Hava Aracı İHA'lardan da yararlanılabilmektedir. İHA teknolojisi hem optik (kameralı) hem de lazer tarama (lazer tarayıcı) kabiliyeti ile periyodik, çok yüksek çözünürlüklü ve doğruluklu hava fotoğrafları, nokta bulutları ve üç boyutlu topoğrafik modeller sağlayabilen, çok farklı disiplinlerden bilimsel ve ticari kullanıcıların yoğun talep gösterdiği son dönemin en popüler uzaktan algılama teknolojilerinden biridir (Sefercik ve ark., 2018, Karakış ve ark., 2018).

Literatürde Aydınlar Çayı ile ilgili yapılan farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri Sediman içerisinde ki kirlilik boyutunu göstermek için Aydınlar Çayının Karadeniz ile buluştuğu noktadan alınan su örnekleriyle yapılan ağır metal kirliliğinin bakıldığı çalışmadır (Sur ve ark., 2012). Diğer bir çalışma, Aydınlar çayının yine Karadeniz'e döküldüğü yerden

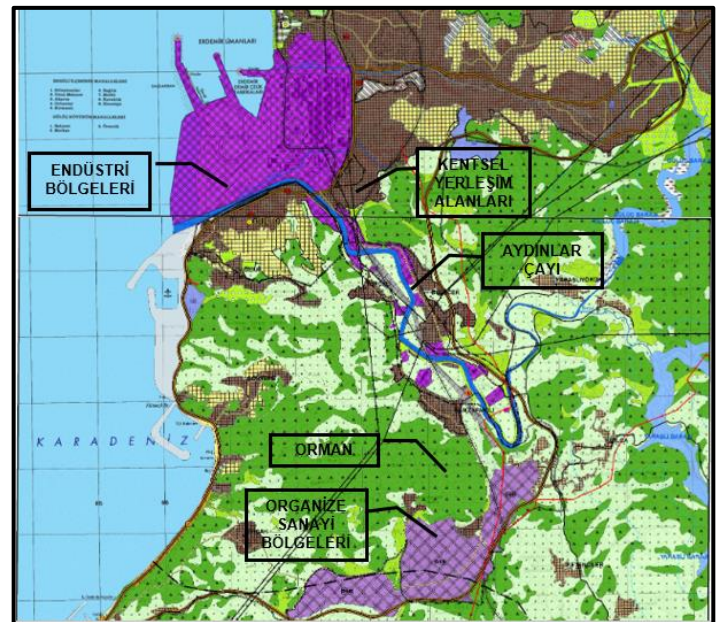
alınan su örnekleri ile yıllık kirlilik yükünün hesaplandığı çalışmadır (Bat ve Özkan, 2015). Başka bir çalışmada ise Aydınlar çayının denize döküldüğü bölgede tutulan kefal balıklarında glutatyon s transferaz, katalaz ve PAH değerleri araştırılmış ve bu parametreler aracılığıyla kirlilik rapor edilmiştir (Bozcaarmutlu ve ark., 2009).

Bu çalışmada, sulama suyu olarak kullanılan Aydınlar Çayının 3 farklı noktasından alınan su örnekleri ile su kalite parametreleri belirlenmiş ve İHA verilerinin spektral analiziyle karşılaştırılmıştır. İHA spektral analiz sonuçları, laboratuvar ortamında elde edilen su numune analiz sonuçları ile kıyaslanarak bilimsel yorumlamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler YSKY'ne göre yorumlanmış ve su kalite sınıfları tespit edilmiştir. Tüm bu yönleriyle bu çalışma, Aydınlar Çayı'nda yapılan ilk kapsamlı su kalite analizi çalışmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Zonguldak ili Ereğli ilçesinde bulunan ve Zonguldak-Devrek sınırındaki Hörgüç civarından doğan ırmak, birçok dere ve dereciğin sularıyla beslenerek Gülüş mevkiinde yer alan Aydınlar Çayıdır. Zonguldak ili, ılıman bir Karadeniz iklimine sahip ve çoğunlukla tüm mevsimler yağışlı geçmektedir. İlin ortalama sıcaklık değeri 13.7 °C dir. En düşük sıcaklık değerleri Aralık-Ocak-Şubat aylarında, en yüksek sıcaklık değerleri ise Haziran-Temmuz-Ağustos aylarında ölçülmektedir (URL-3, MGM). Coğrafi Konum Yer Koordinatları; Enlem: 41° 16' 0" K Boylam: 31° 31' 0" olan Aydınlar Çayının uzunluğu 84 km'dir. Debisi 21.887 m³/sn dir. Çayın su alma kapasitesi ise 1400 ton/gün'dür. Hizmet verdiği nüfus sayısı ise 7800 kişi/gün'dür (URL-2, 2018). Bu çalışmada, Aydınlar Çayı'nın seçilme nedeni bölgenin sulama suyu ihtiyacının sağlandığı önemli bir yüzeysel su kaynağı olmasıdır. Aydınlar Çayı, havzasında geniş yayılım gösteren tarım arazileri, demir-çelik üretimi yapan tesisler, küçük sanayi bölgeleri, kentsel yerleşik alanlar, kentsel gelişme alanları ve diğer endüstriyel sektörler bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Zonguldak 1:25.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı (URL-4).

Aydınlar Çayı üzerinde su numunesi alınan ve İHA uçuşları gerçekleştirilen çalışma alanları Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2’de 1 no’lu alanda, Ereğli Demir-Çelik Fabrikası (Erdemir) bulunması nedeniyle bu alan Erdemir olarak isimlendirilmiştir. Bu alan aynı zamanda Karadeniz’in Aydınlar Çayı ile birleşme bölgesidir. 2 no’lu alanda Tat-metal Çelik Sanayi yerleşimi bulunması nedeniyle bu alan Tat-metal olarak isimlendirilmiştir. 3 no’lu alan ise, endüstri yoğunluğunun olduğu diğer iki alanın aksine Hamzafaklı Köyü’ne yakın evsel ve tarımsal arazilerin bulunduğu bir bölgedir ve alan Hamzafaklı olarak isimlendirilmiştir.

2.2. Materyaller

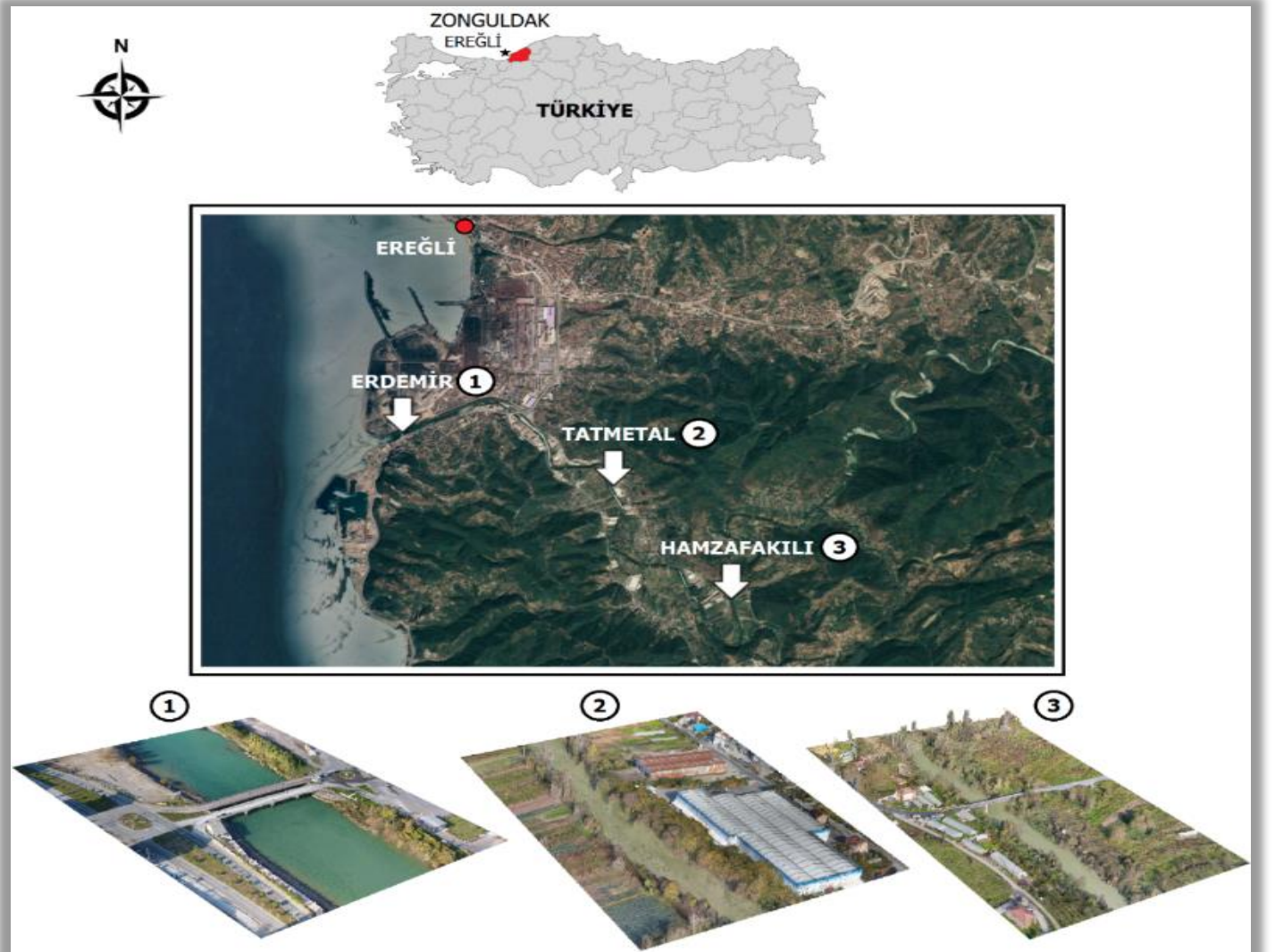
Su numunelerinin alındığı üç ayrı bölgede iki periyot (kurak ve yağışlı dönem) halinde gerçekleştirilen İHA uçuşlarında, DJI Phantom IV İHA ve her uçuş alanında ayrı ayrı konumlandırılan yer kontrol noktalarının (YKN) ölçümleri için SATLAB SL600 Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) alıcıları kullanılmıştır. Tablo 1’de, kullanılan İHA, GNSS alıcıları ve tesis edilen YKN’lerin teknik özellikleri sunulmuştur.

2.3. Su Numune Alımı

Aydınlar Çayı’ndan Haziran 2019 (kurak dönem), Eylül ve Aralık 2019 (yağışlı dönem) olmak üzere üç farklı dönemde alınan su numuneleri laboratuvar ortamında analiz edilmiştir. Su numunelerine ait su kalite parametreleri; elektriksel iletkenlik, bulanıklık, askıda katı madde (AKM), sıcaklık, çözülmüş oksijen, pH, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ5), toplam fosfat, toplam kjeldahl azotu (TKA) ve yağ gres olarak belirlenmiştir. Su numuneleri laboratuvar ortamında 4 °C de muhafaza edilmiştir.



2.4. Numune Alma Prosedürü

Bu çalışmada, 84 km uzunluğunda ki Aydınlar çayı boyunca üç farklı noktadan üç ayrı zamanda alınmış su numunelerinin alım noktaları ve noktalara ilişkin koordinat değerleri Tablo 2’de sunulmuştur. Koordinat değerleri hem Coğrafi Dünya Jeodezi Sistemi 1984 (WGS84) hem de Enlem Merkatoru (TM) 33. dilime göre sunulmuştur. Su numunesi alım işlemi, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği temel alınarak gerçekleştirilmiştir.

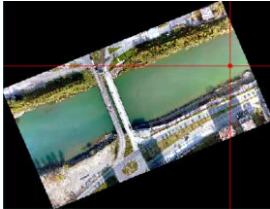
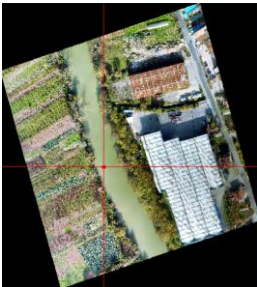



Şekil 2. Çalışma alanları: (1) Erdemir çalışma alanı, (2) Tatmetal çalışma alanı, (3) Hamzafaklı çalışma alanı

Tablo 1. İHA uygulamalarında kullanılan materyellerin teknik özellikleri

İHA Uygulaması Materyalleri			
DJI Phantom IV İHA		SATLAB SL 600 GNSS + YKN	
			
Kamera	4K, HD, 1080p, 1/2.3", efektif piksel 12.4 MP	GNSS teknolojisi	6G; GPS, GLONASS, GALILEO, BeiDou, SBAS, QZSS
Gimbal	3-eksenli (pitch, roll, yaw)	Operasyon sistemi	Linux
Uçuş süresi	Tek uçuşta maksimum 28 dakika	Çalışma modları	Statik, VRS RTK, UHF RTK, tüm ölçüm modları
Ağırlık	1380 gr	Dahili bellek	1 GB
Hız	Maksimum 20 m/s	RTK Konum doğruluğu	0.8 cm H, 1.5 cm V with 99.9% confidence level
Rüzgar hızına mukavemeti	Maksimum 10 m/s	Pil	Dual; 24 h statik, 18 h RTK baz, 15 h RTK gezici
Operasyonel ısı	0°- 40°	TUSAGA-Aktif	Mevcut
GNSS modülü	GPS + GLONASS dual	YKN rengi ve malzemesi	Beyaz polikarbon
Konum doğruluğu	0.1 m Düşey, 0.3 m Yatay (görüş); 0.5 m Düşey, 1.5 m Yatay (GPS)	YKN boyutları (boy×en)	1.00m×0.25m

Tablo 2. Su numunelerinin alım noktaları ve noktalara ait koordinat değerleri

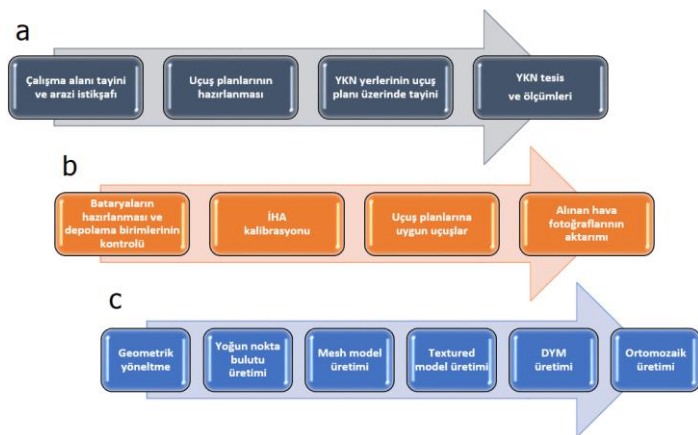
Erdemir	Tatmetal	Hamzafakılı
Coğrafi: 41°14'59.57"N,31°24'41.56"E	Coğrafi: 41°14'27.29"N,31°26'37.68"E	Coğrafi: 41°13'28.33"N,31°27'49.73"E
TM: 366858.6352, 4569541.2557	TM: 369544.5637, 4568496.3968	TM: 371190.2047, 4566647.4257
		

2.5. Su Kalitesi Analizleri

Aydınlık Çayının su kalite parametrelerini belirlemek için üç ayrı dönemde alınmış su numuneleri aynı gün Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilerek fiziksel ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Fiziksel parametreler; Thermo Scientific Orion 5 Star cihazı kullanılarak suyun sıcaklığı (°C), ve elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri tespit edilmiştir. AKM miktarı, sabit tartım yöntemiyle, bulanıklık ise türbidimetre cihazı ile direkt ölçülmüştür. Kimyasal parametreler; pH ölçümleri standard solüsyonlar kullanılarak (Thermo Scientific Orion 5 Star), KOİ değeri kapalı reflux yöntemi ile BOİ₅ değeri ise, organik maddenin parçalanması sonucu açığa çıkan CO₂'nin kısmı basıncının oksitop (WTW Weilheim, Almanya) cihazıyla ölçülmesi sonucu belirlenmiştir. Fosfor tayini kolorimetrik kalay klorür metoduyla, yağ-gres analizleri sokslet aparatının hekzanla birlikte ekstraksiyonu işlemiyle ve TKA ise, Büchi Digest System K-437 cihazı kullanılarak distilasyon-amonyak tayin metoduyla tespit edilmiştir. Örneklem noktalarından alınan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri standard metodlar baz alınarak yapılmıştır (APHA, 2005). Su kalite kriterlerinin yorumlanmasında ve sınıflarının oluşturulmasında YSKY esas alınmıştır. Çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel analizi, Microsoft Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Su numunelerin her biri için analizler üç farklı zamanda ve kendi içinde üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiş, elde edilen verilerin ortalama değerleri hesaplanarak tabloda belirtilmiştir (Tablo 3).

2.6. İHA Verilerinin Elde Edilmesi ve Analiz Metodolojisi

Çalışmada, İHA uygulamaları, uçuş öncesi, uçuş ve uçuş sonrası olmak üzere üç ana aşamada gerçekleştirilmiş ve izlenen metodoloji Şekil 3'de sunulmuştur. Üç numune alım bölgesinde ikiye periyot olmak üzere toplamda altı uçuş yapılmıştır. Metodolojiye uygun olarak yüksek çözünürlüklü İHA hava fotoğrafları elde edilmiş ve Agisoft Metashape yazılımında geometrik yönlendirme (doğrulama) işlemleri gerçekleştirilerek hava fotoğraflarından yüksek doğruluklu ortomozaikler üretilmiştir (Sefercik vd. 2020).



Şekil 3. İHA veri alımı ve ortomozaik üretim metodolojisi: (a) uçuş öncesi, (b) uçuş, (c) uçuş sonrası işlem adımları

Aydınlık Çayı üzerindeki üç çalışma alanında, Haziran ve Aralık 2019 tarihlerinde alınmış üç bantlı (kırmızı, yeşil, mavi) İHA hava e-ISSN: 2148-2683

fotoğraflarından üretilen altı adet ortomozaik üzerinde Çayın fiziko-kimyasal parametrelerinin gösterdiği değişkenliklerin spektral analizleri yapılmıştır. Spektral analizlerde, uçuşlar Haziran ve Aralık aylarında yapıldığından dolayı oluşan iklimsel değişiklikler ve özellikle güneş açısına bağlı olarak (görüntülerde meydana gelen spektral etkilerin eliminasyonu yapabilmek için) görüntü bantlarının histogram eşitlemesi yapılmıştır. Histogram eşitleme işlemi her üç çalışma alanı için de Aralık tarihli ortomozaikler Haziran tarihli ortomozaiklere eşitlenmiştir. Histogram eşitlenen ortomozaikler üzerinde ilk olarak spektral yorumlamalar için oldukça etkili bir metot olan bant oranı (band ratio) analizleri gerçekleştirilmiş ve kırmızı ile yeşil görüntüleme bantları kullanılmıştır (Kavzoglu ve ark., 2015). Bant oranı analizlerinin ardından su numunelerinin alındığı noktalarda oluşturulan roi (region of interest)'ler üzerinde Haziran ve Aralık tarihli ortomozaiklerin spektral bant kombinasyonu (minimum, maksimum ve ortalama dalgaboyu vb.) gibi çok parametrelili uyum analizleri gerçekleştirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Aydınlık Çay'ından üç farklı dönemde alınan su numunelerine ait fiziko-kimyasal su kalite parametreleri ile ilgili ölçüm sonuçları ve bu ölçüm sonuçlarının oluşturmuş olduğu su kalite sınıfları sırasıyla **Tablo 3** ve **Tablo 4**'de gösterilmiştir. Elektriksel iletkenlik 2019 Haziran ayında, en yüksek 1. örneklem noktasında ölçülmüş ve 1457 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bulunmuştur. Ölçülen en düşük değer ise 503 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 2019 Aralık ayı 3. örneklem noktasıdır. Ülkemizde rapor edilen çalışmalarda en düşük iletkenlik değeri (166 $\mu\text{S}/\text{cm}$) Sivas Kuruçay'da yağışlı dönem içerisinde tespit edilmiştir (Mutlu ve Uncumusaoğlu, 2016). Diğer çalışmalar sırasıyla, Aksu Nehri'nde kurak dönemde 739 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve yağışlı dönemde 690 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Mert Çayı'nda ortalama 1087 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Bulakbaşı Çayı'nda ortalama 779.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Kozlu deresinde ise kurak dönemde iki ayrı noktada 1206 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 2823 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve Bartın Nehri'nde ortalama 465 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bulunmuştur (Şener ve ark., 2017; Maraşlıoğlu ve ark., 2017; Şen ve Aksoy, 2015; Zeydan ve ark., 2019; Güneş, 2019). Literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırıldığında, Aydınlık Çayının kurak dönemde ölçülen iletkenlik değerlerinin 1062 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2.nokta) ve 1457 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1.nokta) ile yüksek olduğu söylenebilir. Bu çalışmadaki 1. örneklem noktası, Karadeniz'e yakın olduğu için ölçülen iletkenlik değerinin diğer noktalara göre daha yüksek olması beklenen bir olaydır. Ancak önceki numune alma noktalarında ölçülen yüksek iletkenlik değerlerinin ise yüksek olması, Aydınlık Çayının deşarjlar ile kirletildiğini ve suyun kalitesinin azalmış olduğunu göstermektedir. YSKY'ne göre kalite sınıflandırmasında II. kalite su sınıfında yer almaktadır (Tablo 4).

Bulanıklık, askıdaki koloidal ya da çözülmüş halde bulunan maddelerden dolayı dağılan ışığın ölçümüdür. Aydınlık Çayında 3 farklı dönemde ve 3 farklı noktada ölçülen bulanıklık değerleri ortalama 5 NTU üzerinde çıkmıştır. Bulanıklık ile ilgili YSKY'e göre belirlenmiş bir sınıflandırma bulunmasa da Dünya Sağlık Örgütü (2008) ve EPA ya göre (2009) değerler yüksek bulunmuştur. Bunun yanında, 2019 Haziran ayında (kurak dönem) AKM değeri ortalama 63.2 mg/L olarak ölçülürken, diğer zamanlarda sırasıyla ortalama 46.8 mg/L (Eylül 2019) ve 26.9 mg/L (Aralık 2019-yağışlı dönem) olarak tespit edilmiştir. Tablo 3'e bakıldığında, Aralık ayındaki ölçümlerde elde edilen AKM değerlerinin düşük (diğer zamanlara göre) çıkmasının nedeninin yağışlar olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, 2. ve 1. noktada AKM değerlerinin (kurak dönemde) yüksek çıkması ise, suyun

oldukça kirli ve bulanık olduğunu ve bunun nedeninin de, noktalar etrafında bulunan yerleşim yerlerinden çıkan evsel ya da endüstriyel kuruluşların oluşturmuş olduğu atık su deşarjlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde, Çoruh Nehri'ndeki AKM değerlerinin 2 farklı noktada 16 mg/L ve 17 mg/L olduğu rapor edilmiştir (Birici ve ark., 2017). Kozlu deresinde yapılan çalışmada ise, en yüksek Haziran (kurak) döneminde 3. noktada 112 mg/L değer ölçülürken, Aralık döneminde ise 1 mg/L altına düştüğü tespit edilmiştir (Zeydan ve ark., 2019). Suyun sıcaklığı, kimyasal reaksiyonların hızını, oksijen miktarını ve su içerisindeki canlılığı doğrudan etkilemektedir. Farklı zamanlarda ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalamalarına bakıldığında, en yüksek sıcaklık ölçümünün kurak dönem (Haziran) içerisinde gerçekleştiği 25.4 °C, en düşük değer ise yağışlı dönemde (Aralık) 9.4 °C olduğu görülmektedir (Tablo 3). Bu veriler ışığında, YSKY'ne göre ortalama sıcaklık değerleri I. sınıf su kalitesi sınıfına girmektedir. Çözünmüş Oksijen (ÇO), canlı yaşamı için kritik öneme sahip olan çözünmüş oksijenin varlığı/yokluğu, yüzeysel sulara kirliliğin en önemli göstergesidir. Bu çalışmada, Haziran 2019 döneminde ortalama ÇO konsantrasyonu 2.24 mg/L olarak belirlenmiş olup IV. kalite su sınıfı aralığında yer almaktadır. Aynı şekilde, Eylül 2019 ve Aralık 2019 dönemlerine ait ÇO konsantrasyon değerleri ortalama 2.54 mg/L ve 3.40 mg/L olarak ölçülmüş ve sırasıyla IV ve III. sınıf su kalitesi sınıfında yer almıştır (YSKY). Yüzeysel sulara, suyun canlılar için en uygun ÇO konsantrasyonunun 4.0-6.0 mg/L aralığında olduğu rapor edilmiştir (Avvannavar ve Shrihar, 2008). Bu nedenle, Aydınlar çayındaki ÇO konsantrasyonunun ortalama değerlerine bakıldığında tüm noktalarda sucul canlılar için biyolojik yaşamın yeterli uygunlukta olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3). Literatürde, Bartın Nehri'nde ÇO konsantrasyonu ortalama 10 mg/L (I.sınıf), Kızılırmak nehrinde ise ortalama 10,3 mg/L (I.sınıf) olarak belirlenmiştir (Güneş, 2019; Aras ve İpek, 2019).

pH: Yapılan çalışmada, kurak dönem (Haziran 2019) içerisinde ki ortalama pH değeri 8.32 iken, diğer dönemlerde ortalama pH değerleri (Eylül 2019 ve Aralık 2019 (yağışlı)) 7.77 ve 7.67 ölçülmüştür. Dolayısıyla, suyun pH'ının yağışlı dönemde kurak döneme oranla biraz daha temiz olduğu söylenebilir. pH değerlerine bakıldığında, Aydınlar çayı alkali özellik gösterirken, YSKY'ne göre I. sınıf su kalitesine sahiptir (Tablo 4). Literatürde, Karadeniz bölgesinde yapılan çalışmalarda suların bir miktar bazik olduğu rapor edilmiş (Maraşlıoğlu vd. 2017) ve çalışmamıza benzer şekilde evsel ve endüstriyel atıksu deşarjlarının etkisi altında olan nehir veya dereler için de bazik pH değerleri bildirilmiştir (Ucun, 2016; Zeydan, 2019). Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ), aerobik ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanabilen organik maddelerin ayrıştırılması için gerekli olan oksijen miktarıdır. BOİ değerinin küçük olması suyun temiz olduğunu veya mikroorganizmaların sudaki organik maddeyi tüketmediğini göstermektedir. Tablo 3'de numune alma noktalarındaki BOİ değerlerinin 6.9-23.5 mg/L arasında değiştiği gözlenmiştir. En yüksek değer 1. noktada ve 2019 Haziran (kurak) ayında görülürken en düşük değer ise 3. noktada 2019 Aralık (yağışlı dönem) ayında ölçülmüştür. Tablo 3'de tüm nokta ve dönemlerde, YSKY'ne göre BOİ değerlerinin 2019 Haziran ayı ortalaması 20.14 mg/L ile IV. Sınıf, 12.64 mg/L (2019 Eylül) ile III.sınıf ve 8.14 mg/L (2019 Aralık) ile de III. sınıf su kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Literatürde, Hacıoğlu ve arkadaşlarının yapmış olduğu su kalitesi çalışmasında BOİ değerleri yüksek (IV.sınıf), Topal ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ise düşük (I.sınıf) olarak rapor edilmiştir (Hacıoğlu ve Dülger, 2009; Topal ve Topal, 2015). Kimyasal

Oksijen İhtiyacı (KOİ), evsel ve endüstriyel atıksuların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan önemli bir su kalite parametresidir. Bu yöntemde, organik maddelerin kimyasal reaksiyonlarla parçalanması sırasında ihtiyaç duyulan oksijen miktarı ölçülmektedir. KOİ değeri ne kadar yüksek olursa, su içerisinde de bulunan organik madde miktarı o kadar fazla olur. Çalışmamızda, KOİ değerleri 61.5-271.2 mg/L aralığında değişmektedir (Tablo 3). Aralık döneminde yağışlara bağlı olarak KOİ değerinin düştüğü görülmektedir. YSKY'ne göre tüm zamanlarda, KOİ konsantrasyonlarının ortalama değerlerine bakıldığında su kalitesinin IV. sınıf olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Bu değerlerin yüksek olması Çay'a evsel ve endüstriyel olarak atıksu deşarjlarının yapıldığını göstermektedir. Literatürde, çalışmamızla benzer sonuçlar sergileyen araştırmalar rapor edilmiştir (Mutlu ve Uncumusaoğlu, 2016; Şener ve ark., 2017).

Toplam fosfor (TP): Fosfor, ötrofikasyona sebep olan sınırlayıcı besin maddelerinden biridir. Gıda endüstrisi atıkları, deterjan atıkları ve suni gübreler sudaki fosfor kaynaklarıdır (Maraşlıoğlu vd. 2017). Yapılan çalışmada, toplam fosfor konsantrasyonu 0.035 mg/L ile 0.522 mg/L aralığında değişmiş olup, noktasal bazda ortalama değerler Haziran 2019 için 0.296 mg/L, Eylül 2019 için 0.200 mg/L ve Aralık 2019 için 0.182 mg/L olarak ölçülmüştür. Literatürde, kurak dönemde ölçülen fosfor değerlerinin düşük olduğu rapor edilmiştir (Søndegaard ve ark., 2001). Çalışmamızda, yağışlı dönemde yağmurunda etkisiyle çayda meydana gelen seyrelme fosfor konsantrasyonun düşmesine neden olmuştur. Tablo 3'e bakıldığında, özellikle 3. noktanın etrafında bulunan yerleşik köyler (evsel deşarj) ve tarımsal araziler fosfor konsantrasyonun fazlalığını açıklamaktadır. Sonuçlar yönetmelikle karşılaştırıldığında su kalitesinin noktasal ve zamansal bazda farklılık gösterdiği görülmüş ve III. sınıf (kurak dönem) ile II. Sınıf (yağışlı dönem) olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile benzer özellikler göstermektedir (Zeydan ve ark., 2019; Güneş, 2019). Toplam Kjeldahl Azotu: Sucul ekosistemlerde bulunan azot, azot nitrit (NO₂), nitrat (NO₃) ve amonyum (NH₄) azotu şeklinde karışımına çıkar. Bu bileşiklerin yüksek konsantrasyonları suda yaşayan tüm canlılar için toksik etkiler gösterir. Ayrıca, ötrofikasyonda sınırlayıcı elementlerden biridir. Toplam Kjeldahl Azotu (TKA), organik azot ve amonyak azotunun birleşimidir. Tablo 3'de, TKA değerleri 7.0 mg/L ile 25.4 mg/L arasında değişiklik göstermektedir. TKA değerlerinin ortalamalarına bakıldığında 2019 Haziran 20.14 mg/L, 2019 Eylül 14.40 mg/L ve 2019 Aralık 13.91 mg/L dir. YSKY'ne göre tüm nokta ve zamanlarda ölçülen örneklerin su kalite değerleri IV. sınıf olarak bulunmuştur (Tablo 4). TKA değerinin yüksek olmasının nedeni Çay'ın etrafında bulunan yerleşim yerlerinin ve endüstriyel kuruluşların atık sularını belirlenen noktalar yakınından çaya deşarj etmesi olarak açıklanabilir. Yağ-Gres: En yüksek yağ-gres değeri 0.042 mg/L ile 2. örneklem noktasında 2019 Eylül ayı içerisinde iken, en düşük değer ise 0.0021 mg/L ile 3. örneklem noktasında 2019 Aralık ayı içerisinde tespit edilmiştir (Tablo 3). Bulunan değerlerin ortalamasına bakıldığında tüm örneklem noktaları ve zaman dilimlerinde YSKY'ne göre su kalitesi I. sınıf olarak belirlenmiştir (Tablo 3 ve 4). Çay'ın üst kısımlarında (3.örneklem noktası) akıntının hızlı ve yağışların (Aralık) fazla olması Çayda seyrelmeye neden olduğu için bunun değerlere yansıtıldığı düşünülmektedir. Literatürde çalışmamıza benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Zeydan ve ark., 2019). Aydınlar Çayı'nda gerçekleştirilen İHA uçuşları ile üç çalışma alanında hava fotoğraflarından elde edilen ortomozaikler Şekil 4'te verilmiştir. Metodoloji bölümünde de belirtildiği üzere, ortomozaikler üzerinde mevsime bağlı iklim değişikliklerinin

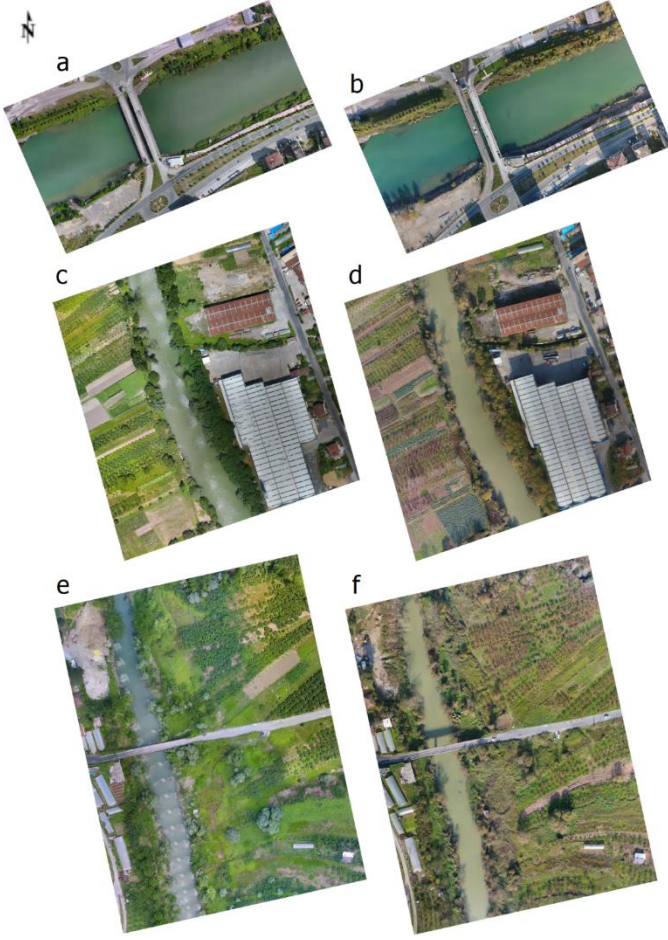
Tablo 3: Haziran 2019, Eylül 2019 ve Aralık 2019 dönemlerine ait su kalitesi analiz sonuçları

	pH	iletkenlik (μ S/cm)	Bulanıklık (NTU)	AKM (mg/L)	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	BOİ5 (mg/L)	KOİ (mg/L)	TF (mg/L)	TKA (mg/L)	Yağ-gres (mg/L)
I. nokta (Erdemir)											
Haziran 2019	8.25	1457	8.66	111	25	3.5	23.5	201.5	0.153	25.40	0.008
Eylül 2019	7.46	1201	9.07	77	14	3.3	15.7	271.2	0.039	21.51	0.009
Aralık 2019	7.71	1021	8.83	38.5	9	4.8	10.2	132.0	0.035	20.05	0.005
II.nokta (TatMetal)											
Haziran 2019	8.37	1062	38.66	77	25	1.7	17.7	129.6	0.214	21.01	0.037
Eylül 2019	8.01	1133	31.09	56	14	2.3	10.1	125.9	0.128	14.71	0.042
Aralık 2019	7.66	921	29.84	32	8	2.8	7.3	95.8	0.090	13.70	0.019
III. Nokta (Hamzafaklı)											
Haziran 2019	8.54	799	15.32	60	26	1.5	19.2	66.9	0.522	14.00	0.0025
Eylül 2019	7.84	617	14.56	42	17	2.0	12.1	74.5	0.433	7.00	0.003
Aralık 2019	7.62	503	12.11	28	11	2.6	6.9	61.5	0.421	8.00	0.0021
Ortalama değerler											
Haziran 2019	8.32	1106	20.95	82.67	25.34	2.24	20.14	132.7	0.296	20.14	0.016
Eylül 2019	7.77	983.7	14.91	58.34	15.00	2.54	12.64	157.2	0.200	14.40	0.018
Aralık 2019	7.67	815	16.93	32.84	9.34	3.40	8.14	96.44	0.182	13.91	0.0087

Tablo 4: Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği ekinde (EK-5) yer alan "Kıta içi Yüzeysel Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri"

	pH	iletkenlik (μ S/cm)	Bulanıklık (NTU)	AKM (mg/L)	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	BOİ5 (mg/L)	KOİ (mg/L)	TF (mg/L)	TKA (mg/L)	Yağ-gres (mg/L)
I. nokta (Erdemir)											
Haziran 2019	I	II	-	-	I	IV	III	III	III	IV	I
Eylül 2019	I	II	-	-	I	IV	III	IV	III	IV	I
Aralık 2019	I	II	-	-	I	IV	II	III	III	IV	I
II.nokta (TatMetal)											
Haziran 2019	I	III	-	-	I	IV	III	IV	III	IV	I
Eylül 2019	I	III	-	-	I	IV	III	IV	II	IV	I
Aralık 2019	I	III	-	-	I	IV	II	IV	II	IV	I
III. Nokta (Hamzafaklı)											
Haziran 2019	I	III	-	-	I	III	IV	IV	II	IV	I
Eylül 2019	I	III	-	-	I	III	III	IV	II	IV	I
Aralık 2019	I	III	-	-	I	III	III	IV	II	IV	I
Ortalama değerler											
Haziran 2019	I	III	-	-	I	IV	IV	IV	III	IV	I
Eylül 2019	I	II	-	-	I	IV	III	IV	III	IV	I
Aralık 2019	I	II	-	-	I	III	III	IV	III	IV	I

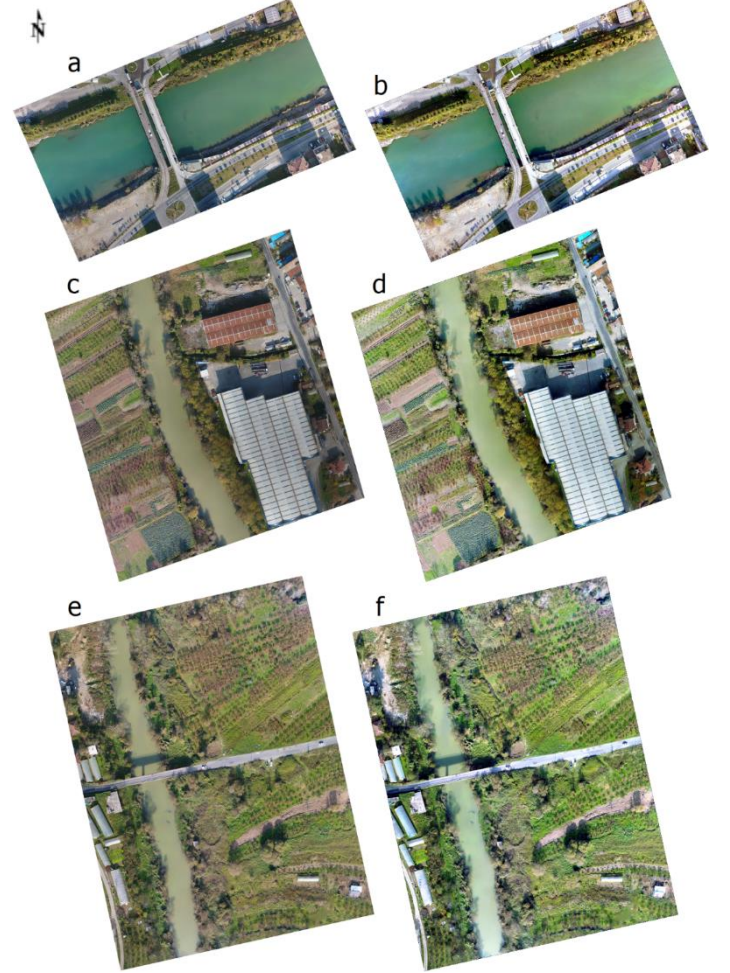
özellikle güneş açısı farklılıklarına bağlı spektral etkilerinin eleminasyonu için bant histogram eşitleme çalışması yapılmıştır. Aralık 2019 tarihindeki uçuşlardan elde edilen ortomozaiklerin Haziran 2019 tarihli ilk uçuşlardan üretilmiş ortomozaiklere bant histogramı eşitlenmiş durumları Şekil 5'te yer almaktadır.



Şekil 4. İHA hava fotoğraflarından üretilen ortomozaikler: (a) Erdemir test alanı ilk uçuş, (b) Erdemir test alanı ikinci uçuş, (c) Tatmetal test alanı ilk uçuş, (d) Tatmetal test alanı ikinci uçuş, (e) Hamzafakılı test alanı ilk uçuş, (f) Hamzafakılı test alanı ikinci uçuş.

Numune alınan çalışma alanlarında, Aydınlar Çayı üzerindeki spektral etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan kırmızı/yeşil bant oranı analizlerine ilişkin sonuçlar Şekil 6'te verilmiştir. Bant oranı analizleri, Erdemir test alanında yağışlı dönem (Aralık 2019) kurak döneme (Haziran 2019) göre çok daha dalgalı yapıya sahip olduğundan dolayı deniz suyu iç kısımlara doğru daha fazla nüfuz etmiş ve Çayın spektral yapısında ciddi değişikliğe neden olmuştur. Çalışma alanlarında spektral bantların dalgaboylarına bağlı bant kombinasyonu, minimum, maksimum ve ortalama dalgaboyu analiz sonuçları Şekil 6'da sunulmuştur. Şekil 6'a bakıldığında, ilk göze çarpan durumun spektral bantların dalga boyu grafiklerinde sol tarafta yer alan ilk uçuş değerlerinin sağ tarafta yer alan ikinci uçuş değerlerine göre daha düz ve yumuşak bir yapıda olmasıdır. Bu durum, Aydınlar Çayı'nın fiziko-kimyasal parametrelerinin kurak dönemde daha az değişken yapıda olduğunu yağışlı dönemde ise özellikle iklimsel etkilerle çok daha bulanık bir yapıda olduğunu kanıtlamaktadır. Diğer bir durum, Hamzafakılı çalışma alanında spektral bant dalga boyu grafiklerinde bant kombinasyonlarının diğer iki çalışma alanına göre farklı olmasıdır. Bu alanda, ilk uçuş grafiğinde yeşil ve mavi dalgaboyları kesişim gösterirken diğer iki alanda bu bantların

belirgin kesişimleri bulunmamaktadır. Bu durum, Hamzafakılı çalışma alanının etrafında bulunan tarımsal arazi yapısının yoğun olması olarak yorumlanabilir. Diğer bir sonuç ise Erdemir ve Tatmetal çalışma alanlarında bir ve ikinci uçuşlarda dikkate değer ölçüde değişkenlik göstermeyen spektral bant diziliminin Hamzafakılı çalışma alanında tersine dönmesidir. Bu durumda yine tarım arazilerinin etkisi olarak açıklanabilir.



Şekil 5. Histogram eşleştirme sonucu üretilen ortomozaikler: (a) Erdemir test alanı ikinci uçuş, (b) Erdemir test alanı ikinci uçuş histogram eşitlenmiş, (c) Tatmetal test alanı ikinci uçuş, (d) Tatmetal test alanı ikinci uçuş histogram eşitlenmiş, (e) Hamzafakılı test alanı ikinci uçuş, (f) Hamzafakılı test alanı ikinci uçuş histogram eşitlenmiş.

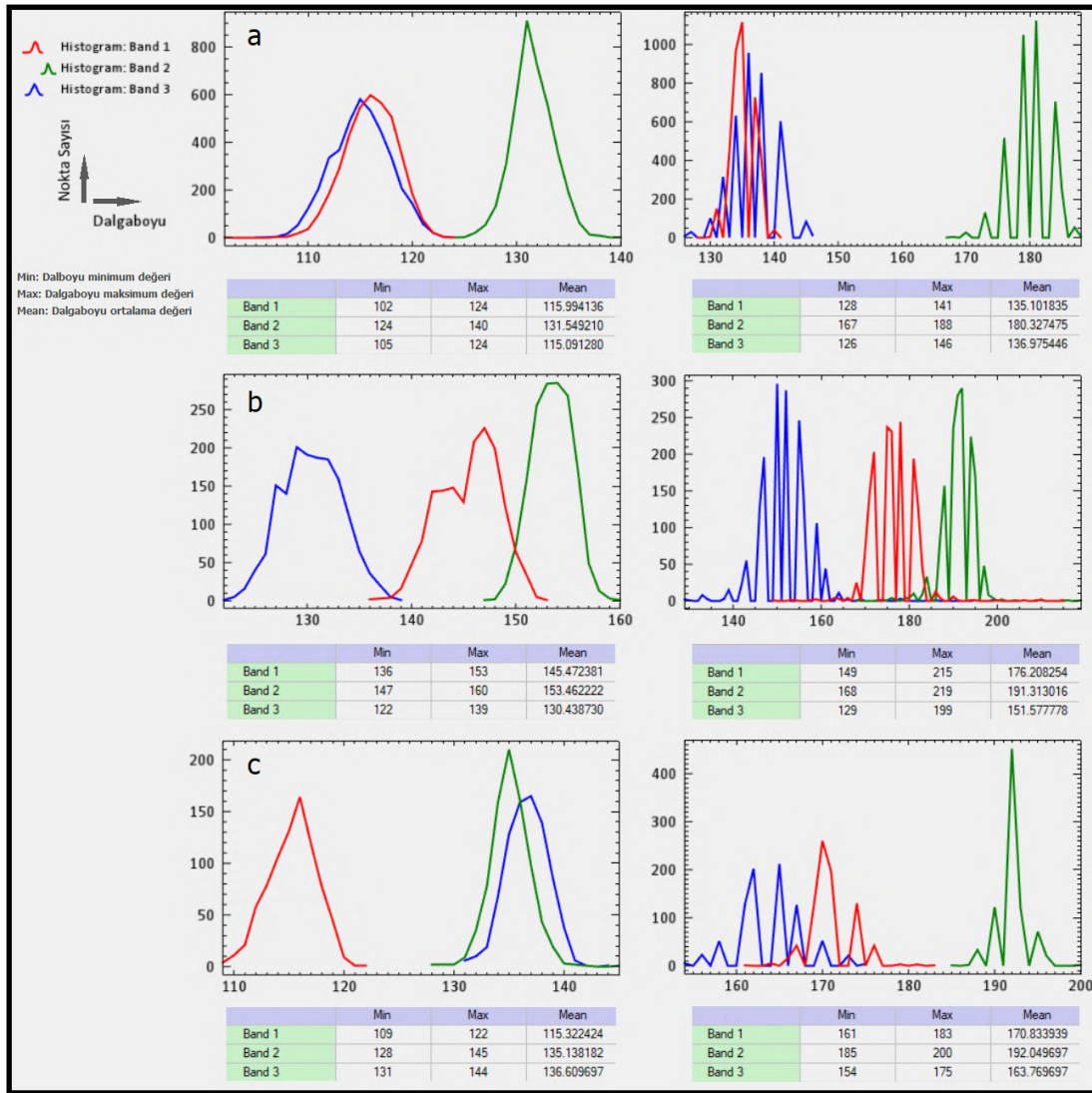
Bu çıkarımların yanısıra, Şekil 6'da yer alan sonuçlar, laboratuvar ortamında fiziko-kimyasal parametreler kullanılarak elde edilen su numune test sonuçları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve beraber yorumlanmıştır. Değerlendirmede, suyun spektral yapısına en çok etki edecek faktörler olan ÇO, BOİ5, KOİ, TF ve TKA parametreleri dikkate alınmıştır. İlk ve ikinci uçuş periyotlarında fiziko-kimyasal parametrelerin gösterdikleri değişim ve bağımsız spektral bantların dalgaboyu değişimleri Tablo 5 ve 6'da sunulmuştur. Şekil 6'da tüm çalışma alanları için standart olan gösterge tüm spektral bantların dalgaboyu ortalama değerlerinin ikinci uçuşlardaki görünür artışıdır. Özellikle yeşil bant dalgaboyu üç çalışma alanında da yüksek artış göstermiştir. Tablo 5 ve 6 karşılaştırıldığında aşağıdaki bilimsel çıkarımlar yapılmıştır:

- Yeşil bant ağırlıklı olmak üzere spektral bantların dalgaboyu artışları ÇO değerinin artışı ve suyun spektral yapısına yansımaları işaret etmektedir.
- Spektral bant dalgaboyları arttıkça BOİ5, KOİ, TF ve TKA fiziko-kimyasal parametrelerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir.
- Erdemir çalışma alanında, ÇO değerinde meydana gelen değişim ve yeşil bant dalgaboyu değişiminin tamamen örtüştüğü görülmektedir.
- TKA değerindeki ortalama değişimin, yeşil bant dalgaboyu ortalama değişimine ters orantılı olarak paralellik gösterdiği belirlenmiştir.
- Tatmetal çalışma alanında KOİ değerindeki düşüş yüzdesinin tüm spektral bandların artış yüzdesine paralel olduğu saptanmıştır.
- KOİ değeri değişim oranının endüstriyel alanlar olan Erdemir ve Tatmetal'de yeşil bant dalgaboyu değişimiyle ters orantılı olarak

paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Tarım yoğun Hamzafakılı alanında ise böyle bir durum söz konusu değildir.

- BOİ5 parametresine ait değişim yüzdeleri oldukça paralel seyretmekte olup mavi bant dalgaboyu değişimlerinde de benzer durum tespit edilmiştir.
- TF parametresinin tüm çalışma alanı için değişim oranı ile kırmızı bant dalgaboyunun değişim oranlarının ters orantılı olarak paralellik gösterdiği belirlenmiştir.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında, su kalitesini etkinleyen başlıca fiziko-kimyasal ÇO, BOİ5, KOİ, TF ve TKA parametrelerinin İHA hava fotoğraflarından elde edilen ortomozaiklerin spektral bandlarıyla olan ilişkileri açık şekilde ortaya konmuştur. Özellikle yeşil bantın fiziko-kimyasal parametrelerin bir çoğunun tespitinde doğrudan rol oynayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 6. Spektral bantların dalgaboylarına bağlı bant kombinasyonu, minimum, maksimum ve ortalama dalgaboyu analiz sonuçları: (a) Erdemir test alanı (sol ilk uçuş, sağ ikinci uçuş), (b) Tatmetal test alanı (sol ilk uçuş, sağ ikinci uçuş), (c) Hamzafakılı test alanı ilk uçuş (sol ilk uçuş, sağ ikinci uçuş)

Tablo 5. İlk ve ikinci uçuş periyotlarında fiziko-kimyasal parametrelerin gösterdikleri değişim

Uçuş Periyodu	ÇO (mg/L)	Değişim (%)	BOİ5 (mg/L)	Değişim (%)	KOİ (mg/L)	Değişim (%)	TF (mg/L)	Değişim (%)	TKA (mg/L)	Değişim (%)
ERDEMİR ROI										
Haziran 2019	3.5	+37.1	23.5	-56.5	201.5	-35.0	0.153	-77.1	25.40	-21.1
Aralık 2019	4.8		10.2		132.0		0.035		20.05	
TATMETAL ROI										
Haziran 2019	1.7	+64.7	17.7	-58.8	129.6	-26.1	0.214	-57.9	21.01	-34.8
Aralık 2019	2.8		7.3		95.8		0.090		13.70	
HAMZAFAKILI ROI										
Haziran 2019	1.5	+73.3	19.2	-64.1	66.9	-8.1	0.522	-19.3	14.0	-42.9
Aralık 2019	2.6		6.9		61.5		0.421		8.0	
	Ort.	+58.4		-59.8		-23.1		-51.4		-32.9

Tablo 6. İlk ve ikinci uçuş periyotlarında bağımsız spektral bantların dalgaboyu değişimleri

Spektral Bant	Kırmızı	Değişim (%)	Yeşil	Değişim (%)	Mavi	Değişim (%)
ERDEMİR ROI						
Haziran 2019	115.99	+16.5	131.54	+37.1	115.09	+19.0
Aralık 2019	135.10		180.32		136.97	
TATMETAL ROI						
Haziran 2019	145.47	+21.1	153.46	+24.7	130.43	+16.2
Aralık 2019	176.20		191.31		151.57	
HAMZAFAKILI ROI						
Haziran 2019	115.32	+48.1	135.13	+42.11	136.60	+19.9
Aralık 2019	170.83		192.04		163.76	
	Ort.	+28.6		+34.6		+18.4

4. Sonuç

Bu çalışmada, Aydınlar Çayı'ndaki su kalite parametreleri ilk kez çay boyunca çalışılmış, üç ayrı noktadan üç farklı dönemde (kurak ve yağışlı) alınan su numunelerinin fiziko-kimyasal parametreleri analiz edilmiş ve YSKY'ne göre su kalite standartlarıyla karşılaştırılarak su kalitesi sınıfları belirlenmiştir. Ayrıca, modern haritacılık teknolojilerinden olan İHA ile tüm çalışma alanlarının hava fotoğrafları alınmış, geometrik doğrulamaları yapılmış ve üretilen ortomozaikler yardımıyla spektral band analizleri gerçekleştirilerek fiziko-kimyasal parametreler ile ilişkileri kurulmuştur.

Alınan numunelerde pH, iletkenlik, bulanıklık, AKM, sıcaklık, ÇO, BOİ, KOİ, TKA, Toplam fosfor ve yağ gres analizleri yapılmıştır. Bölgede yayılı kaynak (tarımsal faaliyet alanı) bulunmakta ve aynı zamanda noktasal kaynaklarında Çaya deşarj yapan evsel ve endüstriyel kuruluşlar olduğu tahmin edilmektedir. Genel olarak elde edilen deneysel sonuçlara bakıldığında, belirlenen parametrelere göre Aydınlar çayının su kalite sınıfının III. ve IV. kalite su sınıfı olduğu görülmektedir. Bu veriler göz önüne alındığında, Çay'ın sulama ve kullanma suyu temini yapmak, rekreasyonel amaçla suyu kullanmak ve balıkçılık faaliyetlerini gerçekleştirmek mevcut haliyle uygun

görülmemektedir. Bu nedenle, Aydınlar Çayı kullanılamaz hale gelmeden önce gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemlerin alınmaması ve kirliliğin giderek artması sonucu çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek sorunlar ortaya çıkacağı öngörülmektedir. Aydınlar Çayı'nın sürdürülebilir yönetiminin sağlanabilmesi için elde edilen sonuçlar doğrultusunda su kalitesini iyileştirebilmek için aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

1. Aydınlar Çayına deşarj edilen evsel ve endüstriyel atık suların kirlilik yüklerinin incelenmesi gerekir.
2. Aydınlar Çayının düzenli olarak izlenmesi ve kirliliğin önlenmesi için gerekli çalışmalar yapılması gerekir.
3. Çayın çevresinde endüstriyel, evsel ve tarım alanlarından kaynaklı kirleticilerin girdilerinin sınır şartların altına indirilmesi veya tamamen durdurulması gerekir.
4. Fosfor ve azot girdilerinin azaltılması gerekir.
5. Bölgedeki halk bu konuda bilgilendirilmeli ve bilinçlendirilmelidir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

- APHA. (2005). Standard Methods of Water and Wastewater, 21st Ed., American Public Health Association, Washington, DC., ISBN:0875530478, pp: 2-61.
- Aras, S., İpek, G.G. (2019). Kızılırmak Nehri (Nevşehir) Yüzey Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (2).
- Avvannavar, M.S., Shrihar, S. (2008). Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India. *Environ Monit Assess*, 143:279.
- Bat, L., Özkan, E.Y. (2015). Heavy Metal Levels in Sediment of the Turkish Black Sea Coast. *Oceanography and Coastal Informatics: Breakthroughs in Research and Practice*, Page 86-107.
- Birici, N., Karakaya, G., Şeker, T., Küçükyılmaz, M., Balcı M., Özbey, N., Güneş, M. (2017). Çoruh Nehri su kalitesinin su kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre değerlendirilmesi. *Int. J. Pure Appl. Sci.*, 3(1), 54-64.
- Bozcaarmutlu, A., Sapmaz, C., Aygun, Z., Arınç, E. (2009). Assessment of pollution in the West Black Sea Coast of Turkey using biomarker responses in fish. *Marine Environmental Research*, Volume 67, Issues 4–5, Pages 167-176.
- EPA. (2009). Ground water and drinking water, Environmental Protection Agency, U.S.
- Güneş, G. 2019. Bartın Nehri'nin Fizikokimyasal Özelliklerinin Yağışlı ve Kurak dönemlerdeki Değişimi. *DEÜ FMD* 21(63), 761-774.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. (1997). Su Kalitesi Kitabı.
- Hacıoğlu, N., Dulger, B. (2009). Monthly variation of some physico-chemical and microbiological parameters in Biga Stream (Biga, Canakkale, Turkey). *African Journal of Biotechnology*, 8(9), 1929-1937.
- Karakış, S., Sefercik, U.G., Atalay, C. (2018). Point-based Accuracy Anaylse of Optical Unmanned Air Vehicle Data Derived by Low Cost Action Camera, International Conference Geomapplica 2018, Geomatics, Remote Sensing Earth Observation, Syros, Yunanistan, 25-29 Haziran.
- Kavzoglu, T., Colkesen, I., Yomralioğlu, T. (2015). Object Based Classification with Rotation Forest Ensemble Learning Algorithm Using Very High Resolution WorldView-2 Image. *Remote Sensing Letters*, 6(11), 834-843.
- Maraşlıoğlu, F., Gönüloğlu, A., Bektaş, S. (2017). Assessment of water quality in Mert Stream (Samsun, Turkey) base on some physicochemical parameters, Ecology Symposium 2017 Proceedings Book of Full Papers'ın içinde, Kayseri, Turkey, ss. 77-89.
- Mutlu, E., Uncumusaoğlu, A.A. (2016). Physicochemical analysis of water quality of brook Kuruçay. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(11), 991-998.
- Sefercik, U.G., Tanrikulu, F., Atalay, C. (2020). SFM Tabanlı Yeni Nesil Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının Fotogrametrik 3B Modelleme Potansiyellerinin Karşılaştırılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 2, Sayfalar: 39-45.
- Sefercik, U.G., Karakış, S., Atalay, C. (2018). Topographic Description Potential of Laser UAVs by the Side of Terrestrial Laser Scanning, International Conference Geomapplica 2018, Geomatics, Remote Sensing Earth Observation, Syros, Yunanistan, 25-29 Haziran.
- Søndegaard, M., Jensen, J.P., Jeppesen, E. (2001). Retention and internal loading of phosphorus in shallow, eutrophic lakes, *Scient. World J.*, 1, 427.
- Sur, M., Sur, H.İ., Apak, R., Erçağ, E. (2012). The Pollution Status of Bottom Surface Sediments along the Turkish Coast of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12: 453-460.
- Şen, F., Aksoy, A. (2015). Chemical and Physical Quality Criteria of Bulakbaşı Stream in Turkey and Usage of Drinking, Fisheries, and Irrigation. *Journal of Chemistry*, Volume 2015, Article ID 725082, 8 pages.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*, 584-585, 131-144.
- Topal, M., Topal, E.I.A. (2015). 2014-2015 Kış Sezonunda Caro Deresi (Elazığ)'nin Bazı Fizikokimyasal Parametreler Açısından Su Kalitesinin Belirlenmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 43-53.
- Ucun Özel, H., Gemici, B. (2016). Bartın Irmağı Kirlilik Profiline Fiziksel Parametrelerle Belirlenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1): 52-58.
- URL-1. (2018). Dünya Çevre Günü Türkiye Raporu. https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/0d4a5b926c005a6_ek.pdf.
- URL-2. (2018). Zonguldak İli 2018 Yılı Çevre Durum Raporu, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/zonguldak_2018-cdr_son-20190926093732.pdf.
- URL-3. MGM. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ZONGULDAK>.
- URL-4. <https://mpgm.csb.gov.tr/zonguldak-ili-1-25.000-olcekli-cevre-duzeni-plani-i-82283>, Ziyaret Tarihi: 30.03.2021)
- Walker, D., Jakovljevic, D., Savic, D., Radovanovic, M. (2015). Multi-criterion water quality analysis of the Danube River in Serbia: A visualisation approach. *Water Research*, 79: 158-172.
- WHO. (2008). Guidelines for drinking-water quality, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- YSKY (Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği) 2015. 15.04.2015 Tarih ve 29327 Sayılı Resmi Gazete.
- Zeydan, Ö., Ozdogan, N., Taştepe, P.Ş., Demirtaş, D. (2019). Kozlu Deresinde (Zonguldak) Su Kalitesinin İncelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2): 187-197.



Pedestrian and Mobile Robot Detection with 2D LIDAR

Ahmet Çağdaş Seçkin^{1*}

^{1*}Adnan Menderes University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9849-3338), seckin.ac@gmail.com

(First received 1 February 2021 and in final form 9 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.890680)

ATIF/REFERENCE: Seçkin, A. Ç. (2021). Pedestrian and Mobile Robot Detection with 2D LIDAR. *European Journal of Science and Technology*, (23), 583-588.

Abstract

The first problem to be overcome in robotics is the positioning of the robot and surrounding objects. Detection and positioning of moving objects around the robot are an important point to prevent accidents. Deep learning and 3D LIDAR technology are often used, especially in pedestrian detection. Although these studies have high performance, they are not widely used yet due to their high cost. In this paper, a robot and human sensing system is proposed for use in lower cost 2D LIDARs. The system detects robot and human beam patterns by scanning the 2D LIDAR beam with the sliding window. Thanks to the sliding window technique, it marks whether there is a robot or a human in the part it scans. A new end-to-end deep neural network architecture is proposed in this study for pedestrian and mobile robot recognition based on 2D LIDAR data collected in a simulation environment. It has been observed that the system perceives robot and human models in a static environment with 91.6% accuracy.

Keywords: LIDAR, Pedestrian Detection, Mobile Robot Detection, Positioning, Machine Learning

2B LIDAR ile Yaya ve Mobil Robot Algılama

Öz

Robotikte aşılması gereken ilk sorun, robotun ve etrafındaki nesnelerin konumlandırılmasıdır. Robotun etrafındaki hareketli nesnelerin algılanması ve konumlandırılması, kazaları önlemek için önemli bir noktadır. Derin öğrenme ve 3B LIDAR teknolojisi, özellikle yaya tespitinde sıklıkla kullanılır. Bu çalışmalar yüksek performansa sahip olmalarına rağmen yüksek maliyetleri nedeniyle henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu makalede, daha düşük maliyetli 2B LIDAR'larda kullanılmak üzere bir robot ve insan algılama sistemi önerilmiştir. Sistem, kayan pencere (sliding window) ile 2B LIDAR ışını tarayarak robot ve insan ışın modellerini algılar. Kayan pencere tekniği sayesinde taradığı kısımda robot mu insan mı olduğunu işaretler. Bu çalışmada, bir simülasyon ortamında toplanan 2B LIDAR verilerine dayanan yaya ve mobil robot tanıma için yeni bir uçtan uca derin sinir ağı mimarisi önerilmiştir. Sistemin robot ve insan modellerini statik ortamda %91.6 doğrulukla algıladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: LIDAR, Yaya Algılama, Mobil Robot Algılama, Konumlandırma, Makine Öğrenmesi

* Corresponding Author: seckin.ac@gmail.com

1. Introduction

The first problem to overcome in robotic applications is the detection and navigation of the robot and surrounding objects (Borenstein et al., 1997; Siciliano & Khatib, 2016; Seçkin, 2020). The ideal working environment for robotic applications is that objects other than the robot itself are static. However, this is not possible in real life. In places where robots are frequently used, the dynamic obstacles that robots encounter most often are people. Especially nowadays, many studies on smart vehicle technology and navigation of autonomous guided vehicles (AGVs) deal with the perception of humans and other dynamic objects. To detect pedestrians, the robot must first be able to detect the environment and other dynamic objects. Then, it is necessary to accurately distinguish the position of pedestrians and other dynamic objects and plan the vehicle's path plan accordingly. The detection of pedestrians and other dynamic objects is an essential point for avoiding material and moral accidents that may be caused by the robot.

In pedestrian detection studies, LIDAR and various cameras are usually used. However, in recent years, the systems of LIDAR have been more preferred because the camera systems are greatly affected by the light intensity. Researchers have shown very successful applications in studies on this topic especially with Deep Learning (Chen et al., 2017; Lang et al., 2019; Qi et al., 2018). However, high resolution data is used for high performance which involves high processing load and expensive hardware. The type of lidar used in high performance applications are sensors often referred to as 3D or multichannel LIDAR (Börçs et al., 2017; Kidono et al., 2011; Spinello et al., 2010; Wang et al., 2017). However, since these types of LIDARs are quite expensive today, they are mostly preferred for autonomous vehicle technology.

2D LIDAR provides a one-layer point cloud and is much cheaper than 3D, which is why it is preferred in systems such as AGVs. Pedestrian detection using 2D LIDAR is mainly done by detecting the projection of pedestrians' legs and/or feet onto the sensor (Li et al., 2017). The projection onto the sensor does not produce a standard pattern due to the pedestrian's posture (standing, walking, or running) and this data also contains noise due to robot motion and sensor measurement error. For this reason, the pedestrian pattern on the LIDAR can be easily confused with other moving objects. There are few studies on pedestrian detection using 2D LIDAR and these studies generally deal with pedestrian detection in indoor spaces such as offices (Arras et al., 2007; Shao et al., 2007). In some studies, sensor fusion with camera systems has been performed to achieve higher performance (Cristiano Premebida et al., 2007; Oliveira et al., 2010; Lin & Lin, 2016).

This study aims to contribute both pedestrian and robot detection in a indoor area simulation environment as a contribution to the literature. Such studies exist in the literature only as pedestrian and vehicle detection (Machida & Naito, 2011; Cristiano Premebida et al., 2007; Yang et al., 2018). But these systems are not designed over 2D LIDAR systems. There is a lack of detection of pedestrians and moving objects in indoor environments such as factories, houses, or workplaces. In the study, a low-cost system operating in an indoor area was simulated. In this paper, a system is developed that can detect and position pedestrians as well as other robots using 2D LIDAR technology. It is aimed that the designed system can detect

multiple humans and robots moving at different speeds. For this purpose, a new end-to-end deep neural network architecture for pedestrian and mobile robot recognition has been proposed in this work based on 2D LIDAR data collected in the simulation environment. In the next part of the study, the material used, and the proposed method are presented. Then, the findings obtained with the system are presented and discussed.

2. Material and Method

The method developed for this purpose is to collect and label dataset in a known environment and use Deep Learning to recognize pedestrians and robots. CoppeliaSim was used as the simulation environment (Rohmer et al., 2013). The operations in the simulation environment are performed using Python programming language and CoppeliaSim remoteApi was used for this purpose. In the next part of this section, the process of data collection process from the simulation environment and the designed deep learning model is presented, respectively.

2.1. Data Collection for Pedestrian and Mobile Robot Signal Pattern Recognition

For data collection, an indoor area with 3 rooms is designed as shown in Figure-1. In the area, there are 5 human models and 5 mobile robot models. The human and robot models are set to run at random speeds and directions in each simulation. In this way, it is aimed to obtain different patterns. Also, in the system, it is possible for multiple dynamic objects to enter the LIDAR scanning area at the same time. 3 fixed LIDARs were placed in the area. The type of LIDAR sensors is Hokuyo URG-04LX. The scan angle of this sensor is 240 degrees, the measurement distance is 4m, and the scan time is 100ms (*Scanning Rangefinder Distance Data Output/URG-04LX Product Details | HOKUYO AUTOMATIC CO., LTD., n.d.*).

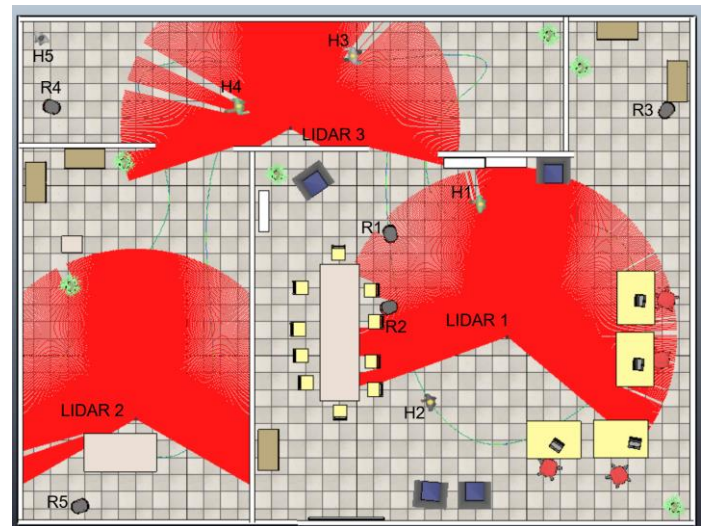


Figure 1. Simulation Environment

The exact positions of pedestrians and robots can be obtained from the simulation environment. In the data recording, during the simulation, it is recorded whether pedestrians and robots are in the sensor scans and where they are. The exact positions of people and robots within the coverage area of the sensors are taken and their positions are labeled during scanning as in the examples shown in Figure-2. The total number of sample data collected in the simulation is 1732. The number of points that 2D LIDAR measures in one scan is 684 in one sample. There are three

columns in the dataset for each of its dynamic models (robot and human models). The first column is whether the dynamic model is in the coverage area. If the model is in the coverage area of lidar, it is marked with a 0 if not 1. The other two pillars are the distance and angle of the model to LIDAR. If the model is not

within range, these two column values are entered as -1. Robot detection and human detection columns used as outputs in the data set are marked as 1 if there is a dynamic model, 0 if there is no.

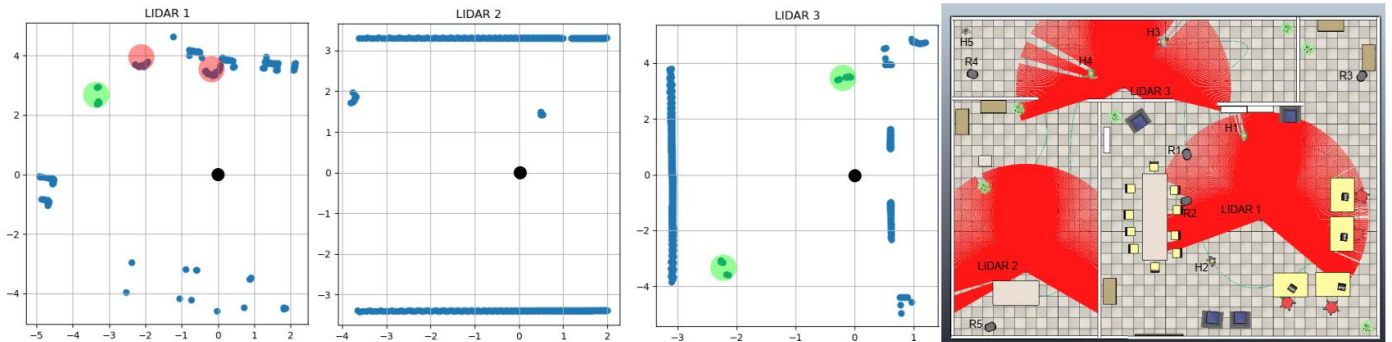


Figure 2. Dataset Collection and Labeling Pedestrian and Robot

2.2. Deep Neural Network Model for Pedestrian and Mobile Robot Detection

Deep Neural Networks (DNN) is a system that allows computational models consisting of multiple processing layers to learn representations of data with multiple abstraction levels (LeCun et al., 2015). It has gained a lot of attention in the artificial learning field over few years, and it has radically affected the Computer Vision (CV) area. Deep learning is actually a subfield of machine learning, but the applications and designed networks in this part have attracted such attention that it can be perceived as a new field. The methods used in deep learning are more advanced than traditional machine learning methods and provide a great advantage in terms of overcoming the difficulties of extracting features from data by themselves. The process of selecting best features is tremendously time-consuming and is often ineffective. Also extending the features to other type of data becomes a problem. There are lots of DNN types because of there are many network architectures and layer types. The main types of layers are convolution, pooling, and fully connected. However, there are also frequently used layer types such as dropout, flatten and activation. Fully connected and dropout layer types were used for the designed network in this study.

Fully connected layer, also known as Dense layer, is generally used in DNN outputs. This layer basically takes all inputs from the previous layer as input to all nodes in it and presents an n-dimensional vector as the output after it. Each node used in this layer is an artificial neural network. Each Dense layer has many parameters such as node number, activation function, bias value. In this study, the dense function of the Keras library was used as a fully connected layer (Chollet, 2015). Only the number of nodes and activation function types were used as variables in the study. The dropout layer is used to prevent overfitting of the extracted model during a learning process (Srivastava et al., 2014). Dropout ensures that a certain number or percentage of nodes are randomly disabled during training and the data used during this time is not included in the training of that node. The function of this layer can be summarized as preventing the nodes in the learning process from memorizing all the data by randomly ignoring some training data.

The DNN used in this study is depicted in Figure-3. The system is designed for classification. Lidar measurement values

are taken as input and then these values are passed through Dense and Dropout layers three times. Dense layers were selected with 0.25 intervals between 0.1 and 2 in proportion to the number of input features, respectively. In addition, "relu" and "sigmoid" were used as activation functions. For the dropout layer, values of 0.2, 0.4 and 0.6 were used. For classification of the Dense layer used at the output, the activation function is selected as softmax. If n nodes were used in the Dense (dense_1) layer used in the introduction in the design, half of it was dense_3 for dense_2 and dense_4 in the branches, and n / 4 for dense_5. Since integers are used in layers, rounding is performed in the division operation. The number n was chosen in proportion to the number of LIDAR readings and was chosen as 15, 30, 60 and 90. In this study, the sliding window technique was used on a LIDAR scan consisting of 684 measurements to determine whether there was a human or a robot in the area detected by the robot. Sliding window width is determined as 30. Collected data were not considered as time series. While 70% of the data set was used for training, 30% was used for testing.

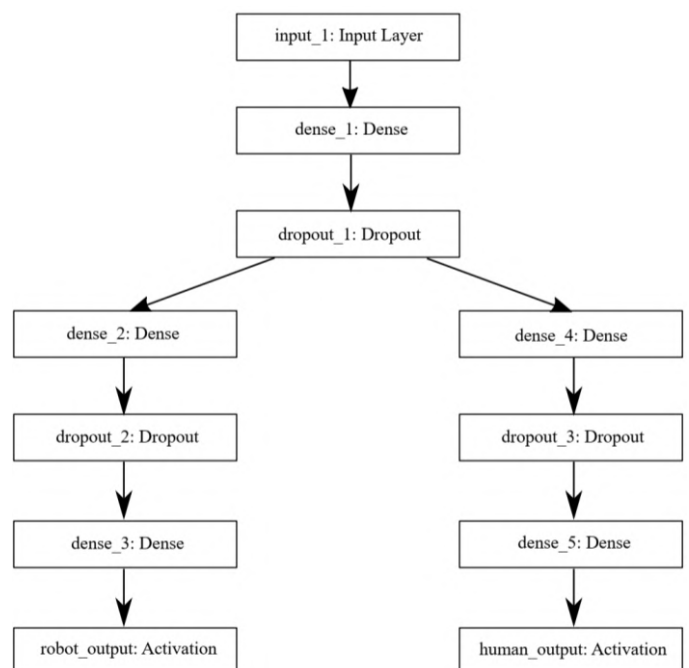


Figure 3. DNN Structure

3. Results and Discussion

In this study, 1732 data were collected with static 2D LIDARs. The dataset has been trained using different configurations in the deep learning model suggested in the method section. In the train operation, the number of epoch was set to 100 for each configuration and a man-optimizer was used. The configuration models obtained because of the learning were evaluated by 5-fold cross validation. The average time and accuracy values obtained for 5-fold are presented in Table-1. Accordingly, the highest train accuracy value for human detection is 91.18 and it is DNN configuration number 8. For robot detection, the highest accuracy is 91.18 and it is DNN configuration number 14. However, all configurations appear to be very close on average in terms of accuracy values. It is seen that the lowest accuracy values are obtained when the highest

percentages of dropout are used. It has been observed that as the number of layers increases, the training time increases. The values produced by these values for 5-Fold are presented in Figure-4 for robot detection and Figure-5 for human detection. As can be seen in these graphs, it is clearly seen that the standard deviation decreases as the number of knots in the layer increases. It has been noticed that the collected dataset is labeled in dynamic objects remaining in areas where the LIDAR beam cannot reach (shaded). Despite this, the overall accuracy has been found to be quite high. When the model taught is applied on a mobile robot, it has been observed that it can even detect multiple dynamic objects, as seen in Figure-6. The method presented in this paper and the methods and results obtained in various studies are compared in Table-2. In the table, the accuracy value is compared as the working environment, sensors used, pedestrian detection, moving object detection, algorithm used and performance metric.

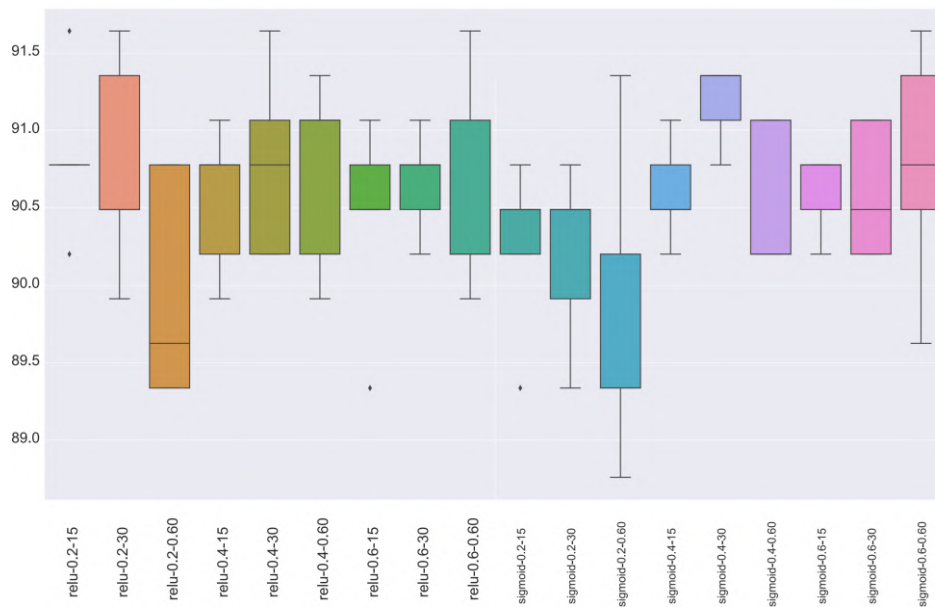


Figure 4. Robot Detection Accuracy Results

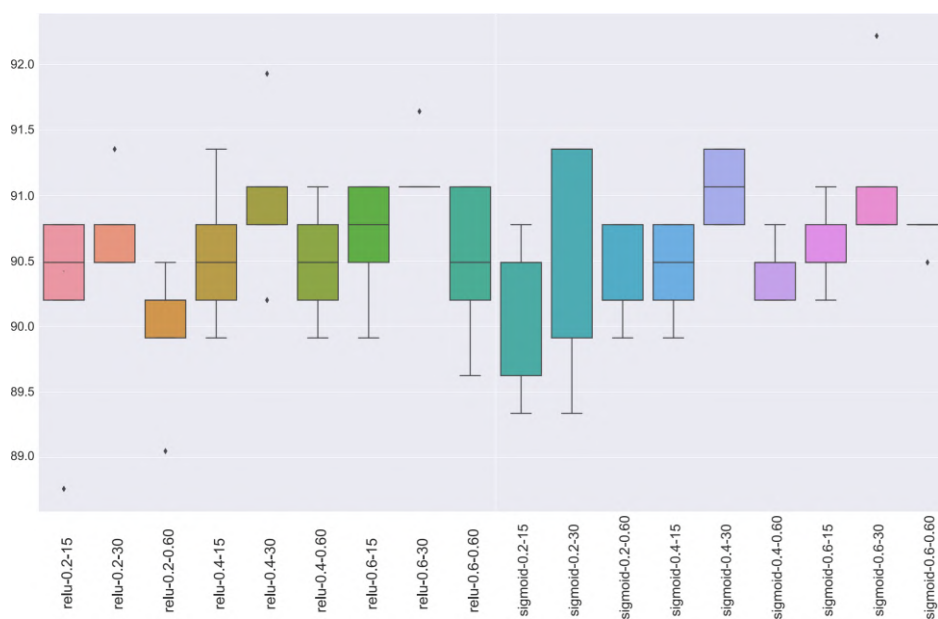


Figure 5. Human Detection Accuracy Results

Table 1. Accuracy Results

DNN Configuration				Training Time (s)	Human Detection Accuracy (%)	Robot Detection Accuracy (%)
No	Activation function	Dense Layers	Dropout percentage			
1	relu	15-8-4	20	44.78	90.20	90.84
2	relu	15-8-4	40	74.79	90.72	90.78
3	relu	15-8-4	60	148.61	89.97	89.97
4	relu	30-15-8	20	44.64	90.55	90.55
5	relu	30-15-8	40	72.74	91.01	90.78
6	relu	30-15-8	60	149.60	90.49	90.72
7	relu	60-30-15	20	44.24	90.66	90.43
8	relu	60-30-15	40	71.76	91.18	90.66
9	relu	60-30-15	60	147.91	90.49	90.61
10	sigmoid	15-8-4	20	43.51	90.14	90.26
11	sigmoid	15-8-4	40	71.51	90.66	90.20
10	sigmoid	15-8-4	60	148.94	90.37	89.80
13	sigmoid	30-15-8	20	44.34	90.43	90.61
14	sigmoid	30-15-8	40	71.95	91.07	91.18
15	sigmoid	30-15-8	60	150.43	90.43	90.55
16	sigmoid	60-30-15	20	44.96	90.61	90.61
17	sigmoid	60-30-15	40	73.19	91.12	90.61
18	sigmoid	60-30-15	60	155.31	90.72	90.78

Table 2. Comparison Table

Reference	Environment	Sensor	Pedestrian Detection	Moving Object Detection	Algorithm	Accuracy (%)
(Wu et al., 2017)	Real World	3D LIDAR and Camera (Velodyne VLP-16 and Logitech C920 camera)	Yes	No	PVANET	99.1
(Cristiano Premebida et al., 2007)	Real World (Dataset)	Camera	Yes	Yes	CNN	81.61
(C. Premebida et al., 2009)	Real World	2D LIDAR	Yes	No	FLDA	80
Purposed Method	Simulation	2D LIDAR	Yes	Yes	CNN	91.6

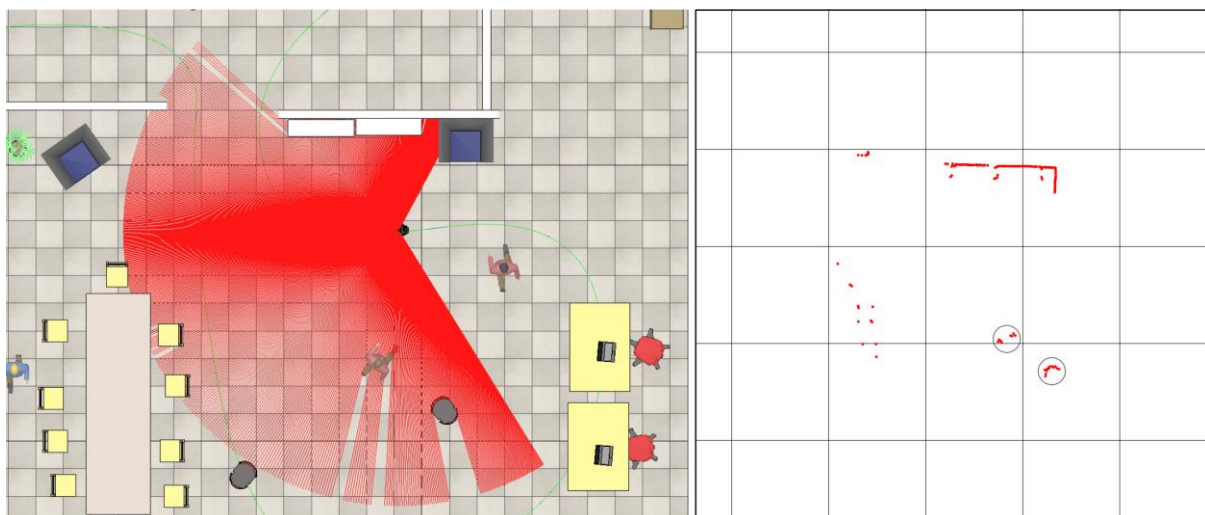


Figure 6. Mobile Robot Dynamic Object Detection

4. Conclusion

In this paper, a method that can detect and position pedestrians and other robots using 2D LIDAR technology is proposed. In the designed method, firstly, supervised learning was carried out by collecting the data of static LIDARs and robot and human models whose positions are known. A unique DNN was designed in the study. It has been observed that the system detects robot and human beams in static environment with 91.6% accuracy. Different configurations were tested on the designed DNN and the model with the highest performance was selected and deployed on the mobile robot. It has been observed that the proposed method can detect and position multiple human and robot models moving at different speeds in the simulation environment. The method proposed in the study can be used in the future in the design of service robots such as autonomous guided vehicles, cleaning robots, and in closed area pedestrian and mobile robot detection. With the method, a data set can be prepared beforehand by placing objects that may be in the work area. In addition, the proposed method can also be the basis for accident prevention and occupational safety applications.

5. Acknowledge

No financial support has been received from any institution or organization for this paper and there is no conflict of interest between the authors.

References

- Arras, K. O., Mozos, O. M., & Burgard, W. (2007). Using boosted features for the detection of people in 2d range data. *Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3402–3407.
- Börcs, A., Nagy, B., & Benedek, C. (2017). Instant object detection in lidar point clouds. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(7), 992–996.
- Borenstein, J., Everett, H. R., Feng, L., & Wehe, D. (1997). Mobile robot positioning: Sensors and techniques. *Journal of Robotic Systems*, 14(4), 231–249.
- Chen, X., Ma, H., Wan, J., Li, B., & Xia, T. (2017). Multi-view 3d object detection network for autonomous driving. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1907–1915.
- Chollet, F. (2015). *Keras*. <https://keras.io/>
- Kidono, K., Miyasaka, T., Watanabe, A., Naito, T., & Miura, J. (2011). Pedestrian recognition using high-definition LIDAR. *2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 405–410.
- Lang, A. H., Vora, S., Caesar, H., Zhou, L., Yang, J., & Beijbom, O. (2019). Pointpillars: Fast encoders for object detection from point clouds. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 12697–12705.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
- Li, D., Li, L., Li, Y., Yang, F., & Zuo, X. (2017). A multi-type features method for leg detection in 2-D laser range data. *IEEE Sensors Journal*, 18(4), 1675–1684.
- Lin, B.-Z., & Lin, C.-C. (2016). Pedestrian detection by fusing 3D points and color images. *2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, 1–5.
- Machida, T., & Naito, T. (2011). GPU & CPU cooperative accelerated pedestrian and vehicle detection. *2011 IEEE*
- International Conference on Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*, 506–513.
- Oliveira, L., Nunes, U., Peixoto, P., Silva, M., & Moita, F. (2010). Semantic fusion of laser and vision in pedestrian detection. *Pattern Recognition*, 43(10), 3648–3659.
- Premebida, C., Ludwig, O., & Nunes, U. (2009). Exploiting LIDAR-based features on pedestrian detection in urban scenarios. *2009 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2009.5309697>
- Premebida, Cristiano, Monteiro, G., Nunes, U., & Peixoto, P. (2007). A lidar and vision-based approach for pedestrian and vehicle detection and tracking. *2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, 1044–1049.
- Qi, C. R., Liu, W., Wu, C., Su, H., & Guibas, L. J. (2018). Frustum pointnets for 3d object detection from rgb-d data. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 918–927.
- Rohmer, E., Singh, S. P., & Freese, M. (2013). Coppeliassim (formerly v-rep): A versatile and scalable robot simulation framework. *Proc. of The International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*.
- Scanning Rangefinder Distance Data Output/URG-04LX Product Details | HOKUYO AUTOMATIC CO., LTD.* (n.d.). Retrieved January 11, 2021, from <https://www.hokuyo-aut.jp/search/single.php?serial=165>
- Seçkin, A. Ç. (2020). A Natural Navigation Method for Following Path Memories from 2D Maps. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1–16.
- Shao, X., Zhao, H., Nakamura, K., Katabira, K., Shibasaki, R., & Nakagawa, Y. (2007). Detection and tracking of multiple pedestrians by using laser range scanners. *2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2174–2179.
- Siciliano, B., & Khatib, O. (2016). *Springer Handbook of Robotics*. Springer.
- Spinello, L., Arras, K., Triebel, R., & Siegwart, R. (2010). A layered approach to people detection in 3d range data. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 24(1).
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *The Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929–1958.
- Wang, H., Wang, B., Liu, B., Meng, X., & Yang, G. (2017). Pedestrian recognition and tracking using 3D LiDAR for autonomous vehicle. *Robotics and Autonomous Systems*, 88, 71–78.
- Wu, T.-E., Tsai, C.-C., & Guo, J.-I. (2017). LiDAR/camera sensor fusion technology for pedestrian detection. *2017 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)*, 1675–1678.
- Yang, Z., Li, J., & Li, H. (2018). Real-time pedestrian and vehicle detection for autonomous driving. *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 179–184.



Mobilya- Biçim- Tercih

Yaprak Özel^{1*}, Zerrin Funda Ürük²

^{1*} İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6439-4817)
, yozel@gelisim.edu.tr

² İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3994-5883),
zfuruk@gelisim.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 1 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 9 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.888726)

ATIF/REFERENCE: Özel, Y. & Ürük, Z. F. (2021). Mobilya- Biçim- Tercih. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 589-600.

Öz

Kullanıcı, tasarımcı ve mekân arasındaki iletişimi ve etkileşimi sağlayan öğeler mobilyalardır. Profesyonel ellerce tasarlanıp üretilen, kullanıcıya özel mobilyalar olabildiği gibi, aile içinde nesilden nesile aktarılan simgesel işlevi hizmet işlevinin önüne geçmiş veya bir firmanın seri olarak ürettiği bir koleksiyonunun parçasıda olabilmektedir. Bu özellikleri ile aslında mobilya kullanıldığı mekân içinde bir nevi iletişim ve etkileşim aracına dönüşmektedir. Mekâna işlev vermekte, mekân içi sirkülasyonu yönlendirmekte ve biçimlendirmektedir. Kullanıcısının sosyo-kültürel yapısını, beğeni ve tercihlerini ve hatta kullanıcının ekonomik düzeyi hakkında da bilgi sunmaktadır. Geçmişinden bugüne mobilyalar; bir iletişim ve etkileşim aracı olma özelliği taşımış ve statü göstergesi olmuştur. Mobilya tarihine bakıldığında bir mobilya sahibi olabilmek ancak bir statü ile mümkün olduğu için bir bakıma halen bir statü göstergesi olma özelliğini taşımasına neden olmaktadır. Bir diğer yandan içinde bulunulan dönemin sosyo-kültürel motivasyonları, moda gibi faktörler sonucu bir dizi güdülenmiş gereksinimin ortaya çıkardığı eşyalara bir düzen verme endişesi de daha çok mobilyaya sahip olmayı tetiklemede ve yine statü göstergesi olarak mobilya tercih edilmektedir. Günümüzde de mobilyalar arası hiyerarşik bir düzen devam etmektedir.

Mobilya tasarım süreci ilk aşamasından itibaren çeşitli etkenler ile oluşmakta biçimlenmekte ve hayata geçmektedir. Bir mobilyanın tasarlanması aşamalarında daha ilk fikrin oluşturulmasından, kullanımına kadar ki süreci etkileyen ve belirleyen pek çok etken ve etki vardır. Bu etken ve etkilerin birçoğu birbiri ile iç içe geçmiş etkileşimlerdir. Alternatif tasarım çözümleri, bu çözümleri etkileyen mobilyanın kullanılacağı mekânın etkileri, mobilyanın o mekân içindeki konumu ve hizmet işlevi, malzeme alternatifleri, renk ve dokusal farklılıklar, antropometrik çerçevede kullanıcı ve mekâna bağlı farklılaşabilen boyutlar, tasarımcı kimliği, kullanıcısının beğeni ve tercihleri, sosyo-kültürel yapısı (mobilyanın estetik ve simgesel işlevi) ve ekonomik düzeyi, mobilyadan beklenen ek işlevlerin olup olmadığı ve histiflenebilir ve depolanması gibi özel şartlar gibi etken ve etkileri düşünerek, tasarımcı tasarlama ve sonrasında üretilmesi işlemlerini gerçekleştirir. Bu kararlar aşamasında biçim yeri gelince yeniden de oluşturulmaktadır. Son tasarım kullanıcı ve tasarımcı tarafından onaylandıktan sonra üretime geçmektedir. Çıkan ürün mekân içinde konumunu aldıktan ve mekân içindeki diğer öğelerle ilişkilendirildikten sonrasında da taşıdığı özellikler çerçevesinde hem mekânı hem de kendini tanımlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mobilya, İç Mimari Tasarım, Yapım Teknolojileri.

Furniture-Form- Preference

Abstract

Furniture is the elements that provide the communication and interaction between the user, designer and the space. There are also furniture that is designed and produced professionally, as well as user-specific furniture, passed down from generation to generation within the family. Its symbolic function takes precedence over the service function or it can be a part of a company's serially produced collection. With these features, furniture turns into a communication and interaction tool in the space. It functions the space, directs

* Sorumlu Yazar: yozel@gelisim.edu.tr

and shapes the circulation inside the space. It presents the socio-cultural structure, taste and preferences and economic level of its user. Furniture from past to present; it has become a communication and interaction tool and status indicator. Considering the history of furniture, acquiring a furniture is only possible by having a status. For this reason, it still has the characteristic of being a status indicator. On the other hand, the concern of giving an order to the items brought about by a series of motivated needs as a result of factors such as socio-cultural motivations and fashion of the current period triggers more furniture and furniture is preferred as a sign of saturation. Today, a hierarchical order between furniture continues.

The furniture design process is formed, shaped and implemented with various factors from the first stage. There are many factors and effects that affect and determine the process from the creation of the first idea to its use in the stages of a furniture design. Many of these factors and effects are intertwined interactions with each other. Alternative design solutions, the effects of the place where the furniture affecting these solutions will be used, the location of the furniture in that space and the service function, material alternatives, color and textural differences, dimensions that can differ depending on the user and space in an anthropometric framework, the designer identity, the user's tastes and preferences, the socio-cultural structure (the aesthetic and symbolic function of furniture) and its economic level, whether there are additional functions expected from the furniture and special conditions, such as stacking and storage, the designer do the design by making decisions and then start the production. In these decisions, the form is re-created and re-created. After the final design is approved by the user and the designer, it goes into production. After the product takes its position in the space and is associated with other elements in the space, it defines both the space and itself within the framework of its features.

Keywords: Furniture, Interior Design, Manufacturing Technologies.

1. Giriş

Günümüzde mobilyalar toplumsal düzeyin ortaya konulmasından, kullanıcının sanatsal eğilimlerinin yansıtılmasına kadar talep ve ihtiyaçlar çerçevesinde belirlenen son derece geniş ve karmaşık bir yelpaze içermektedir. Geçmişin emek-yoğun teknikleriyle üretilen ve ancak belli kesimlerce sahip olunabilen, hiyerarşi, lüks ve statü göstergesi olan mobilyalar, standart olmamakla birlikte, kalitesi ve üretim süresi ustasının el becerisine bağlı olarak değişkenlik göstermekteydi. Teknolojik gelişmeler ve güncel üretim teknikleri sayesinde sayı, süre ve biçimsel farklılıklar gibi imkânlarla taleplere cevap verebilir hale gelmiştir.

Mobilya kelime anlamı itibariyle hareket içermektedir. Ancak tarihinden bugüne birçok mobilya mekân ile birlikte çözülebilmekte sabit veya yarı hareketli olabilmekte veya bir noktadan çevresi ile bağımlı olarak da çözümlenmekte ve kullanılmaktadır.

Mobilya döşeme eşyası, mefruşat, çeşitli fonksiyonlara cevap vermek amacıyla üretilmiş hareketli şey, eşyalar gibi pek çok farklı tanımlamaya sahiptir. Kimi zaman bir döneme, üsluba veya anlayışa simge olarak kendi başına adeta bir heykel haline gelmiş bir tasarım, kimi zaman mekânı oluşturan, ona işlev veren ve içindeki yaşam akışını düzenleyen-yönlendiren-biçimlendiren birimler olmuştur. Kimi zamansa, tekil ve başlıca tasarım ögesi olarak ne bir mekâna ait ne bir mekânın parçası ama kullanıcısı veya tasarımcısı için üretilmiş malzeme ve biçimleniş ile bir iletişim aracı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada mobilya olgusu, tasarlanması, uygulanması yani hayata geçirilmesi ve seçim süreçlerini etkileyen, yönlendiren etkenler ortaya konarak, mobilyanın işlev, biçimleniş ve tercih edilme ilişkileri açıklanmaktadır.

Tanımlanmasından, tasarımına, yapımından seçimine, kullanılması ve işlevini yitirme aşamasına kadar ki aşamalar karmaşık bir etkileşim ağı oluşturmaktadır. Bu aşamada bazı temel değerler ortaya konarak bu karmaşık sürecin

kolaylaştırılması gerekliliği doğmaktadır ve bu sayede özgün eserlerin ortaya konmasında yardımcı olması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Mobilya Olgusu ve Açılımı

Mobilyanın dönemsel olarak tarihine bakıldığında, göçebe kültürün olduğu dönemlerde, sandık ve benzeri taşınabilir depolama elemanları gibi az sayıda mobilyalar üretilmiş olsa dahi asıl başlangıç aşaması olarak yerleşik hayata geçiş ile ilk olarak konutlarda görülmektedir. İlk yerleşimlerde zemin ve duvarlarda elde edilen yükselti ve girintiler o dönem için çeşitli ihtiyaçları karşılamada yeterli görülmektedir. Halk tarafından dinlenme ve diğer ihtiyaçları için kullandıkları basit tabure işlevi gören yükselti veya saman yığınları yeterli kabul edilmektedir. Bu aşamada gerçek bir mobilya sahibi olabilmek için belirli bir statü sahibi olma gerekliliği görülmektedir. Ancak bir marangoz tarafından emek-yoğun bir şekilde çalışarak ustaca dönemin üslubuna göre üretilmiş bir mobilyaya sahip olmak için halktan farklı bir görev üstlenmiş olunması asil, soylu olmak veya ülke yönetiminde yer almak gerekliliği vardı.

Tarihinin ilk dönemlerindeki değerini; günümüzde herkes tarafından ulaşılabilir olması nedeniyle kaybetmiş olsa da insanın yetersiz kaldığı durumlarda bedeninin uzantısı veya tamamlayıcısı olarak görevler üstlenerek hayatı kolaylaştırırken insana güzellikte sunan mobilyalar, mekânlarda yerlerini almaktadırlar.

Mobilyanın; hayata geçme, var olma ve üç boyutu ile ortaya çıkma aşamasının ilk adımı, tasarımcının zihninde belirecek imajı oluştururken karşılaşılabilecek kısıtlar ve özgürlükler nelerdir ve hangi faktörler etken oluşturmaktadır, işlev mi biçimi, biçim mi işlevi oluşturmada etkin olacaktır soruları çözümlenmeye çalışılmıştır.

Bu çözümlenme ile öncelikle mobilyaların işlev şemalarının oluşturulmasını, işlev sınıflandırılmasını yapılmasını ve sonuç olarak biçimin oluşturulmasındaki etkinliklerin ortaya konması ile açıklanmaktadır.

2.2. İşlev- Eylem ve Tasarım Aşamasındaki Etkinliği

Bu aşama da mobilyanın biçimlendirilmesinde çeşitli sınıflandırılmaların yapılması hem tercihlerin doğru yönlendirilmesi açısından hem de tasarımcının oluşturacağı biçime yol gösterici olması için gerekli görülmektedir. Mobilyanın yapım aşaması kararlarının alınması sürecinde veya tasarım aşamasında ana belirleyici faktör olarak eylem sınıflandırması ve işlev gelmektedir.

İnsanın eylemlerinde destekleyici bir rol üstlenen mobilyalar; oturma, dinlenme, yatma, depolama, koruma, düzenleme, çalışma, hizmet-servis gibi eylem ve gereksinim doyumlarının karşılanmasında yaşıntıyı bir yandan kolaylaştırırken bir yandan da yönlendiren güdüleyen, belirleyici ve saptırıcı bir dizi faktörler yığını olarak karşımıza çıkmaktadır.

Birçok farklı eyleme cevap vermesi karşılması beklenen mobilyalar, bazen bir eylemden diğerine geçiş aşamasında dahi bir işlev üstlenebilmektedir. Bu nedenle insanın statik (durağan) ve dinamik (hareketli) duruş biçimleri bu sınıflandırma için yetersiz kalmaktadır. Çünkü insan statik duruş biçimlerinde farklı eylemleri yerine getirebileceği gibi statik ile dinamik duruş biçimlerine geçiş durumu da bu hareket biçimleri ile yapılacak bir sınıflandırma açısından karşılıksız kalmaktadır. İnsanın “yaşamsal eylemlerine” göre bu sınıflandırma yapılmalı ve şu başlıklar altında mobilyaların ana işlevleri gruplanmalıdır.

- Çalışma
- Beslenme
- Temizlik ve bakım
- Dinlenme, eğlenme ve oyalanma
- Uyuma
- Birleşik eylemler

Bu sınıflandırmaya bağlı olarak mobilyanın tasarlanması veya tercih edilmesi sürecinde, birinci aşamada çözümlenmesi gereken “ne hizmeti verecek” sorusunun yanıtını oluşturan işlev kelimesini kısaca tanımlamak gerekirse; nesnenin kendisinden beklenileni yerine getirmesidir. Mobilya biçimlendirilmesinde ve tercihlerinde işlev; pratik, estetik ve simgesel olarak üç ana başlık şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

Pratik İşlev; olarak tanımlanan ana hizmet işlevi, Şekil 1 ve 2’de görüleceği gibi mobilyanın asıl tasarlanma ve kullanılma amacıdır ve mobilyanın ne işe yarayacağını cevabını oluşturmaktadır. İnsanın antropometrik ölçüleri çerçevesinde bir oturma elemanın ana işlevi kullanıcının yorgunluğunu giderecek şekilde biçimlendirilmelidir.

İşlev başlığı mobilya tasarımı ve tercihi bakımından sadece hizmet eylemi ile değerlendirmek yeterli olmayacaktır. Bir mobilyanın öncelikle tercih edilmesi için kullanıcısının beğenisini kazanmalıdır. Tercih ve beğenilerin devreye girdiği bu durum mobilyanın estetik işlevi olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3 ve 4’de görüldüğü üzere göze güzel gözüken, malzemesi ve rengi ile aynı hizmeti sunmak için üretilmiş, diğerlerinden o ürünü ayıran ve kişiler açısından farklılık gösteren bu işlev başlığıdır. Öncelikli tercih aşamasında ana işlev (pratik işlev) gelirken ikinci sırada beğeniye bağlı estetik işlev devreye girmektedir.

Mobilyanın tercihi aşamasında kullanıcısına sunabileceği veya tasarımı aşamasında üstlenebileceği bir diğer işlev başlığı

ise simgesel işlevdir. Her mobilyanın bu özelliği taşıması gibi bir gerekliliği yoktur. Ancak kullanıcısı ile kuracağı bağı kuvvetlendirmektedir. Çoğu zaman bu bağ ile mobilya alternatiflerine göre daha pahalı olsa veya belirlenen bütçeyi aşsa dahi tercih edilmesini sağlamaktadır. Bu işlevin yüklü olduğu mobilyalarda; görsel yolla iletilen anlamlık, psikolojik ve sosyal etkiler birlikte sunulmaktadır.

Bu aşamada mobilyanın ve diğer tüm objelerin üstlendikleri iletişim işlevi göz ardı edilmemelidir. Markalar bu iletişim özelliğini reklamlarında bir rekabet yarışı olarak kullanmaktadır. İletişim özelliğini daha basit olarak anlatmak gerekirse çiçeklerin simgeledikleri anlamlar gibi ifade edilebilir. Kırmızı gül’ün aşkı sevgiyi ifade etmesi örnek olarak verilebilir. Mobilyalarında kullanıcılarına veya kullanıcıları o mobilyayı tercih ederek çevrelerine göstermek istedikleri ifade bu sözsüz iletişim özelliği ile sağlanmaktadır.

Simgesel işlev; bir objenin algılanması aşamasında geçmiş deneyimlerden veya anılardan etkiler taşıyorsa o ürün kullanıcı açısından simgesel olarak da işlevini yerine getirmektedir. Bununla birlikte kullanıcı tercihleri aynı zamanda kullanıcıları hakkında ip uçları da sunmaktadır. Aynı ürünü tercih eden kişiler belli bir sosyo-kültürel kesimi oluşturmaktadır. Bu tercih edilen üründe o sosyal yaşamı simgelemektedir. Bu yönden de belli bir sosyo-kültürel seviyede olmak isteyen kullanıcı tercihi o mobilyalar yönünde yapmaktadır. Bu sembolik etki belli bir tasarım üslubunu kullanıcısına aktarıyor olabileceği gibi bir döneme veya anlayışa simge olarak Şekil 5 ve 6’da görüldüğü üzere kendi başına adeta bir heykel haline gelmiş mobilyalarda görüldüğü gibi tasarımcısının da bir sembolü, imzası olma niteliği de gösterebilmektedir.

Estetik ve simgesel işlevler birbiri içine geçmiş etkilerdir. Beğeni ve tercihleri etkileyen estetik işlevin kökeninde psikolojik olgular, geçmiş deneyim ve anılar ve kültürel yapı vardır. Bunlara hitap eden bir mobilya aynı zamanda simgesel işlevini de yerine getirmekte ve tercih edilmektedir. Bununla birlikte tasarlanan mobilya kullanım aşamasında kullanıcıya üretildiği veya tasarlandığı kurum hakkında bir takım ipuçları sunuyorsa yani kurumun veya markanın bir sembolü haline gelmiş ve bunu kullanıcıya aktarıyorsa o ürün artık bir kurumsal veya markasal simge olmuş demektir ve estetik değerlerle birlikte simgesel işlevini de yerine getiriyor demektir.

Bu üç işlev birbirleri ile etkileşimli olarak mobilya biçimlendirilmesinde ve tercihlere yol gösterici olması açısından ana etkenlerdir. Bir mobilyadan öncelikli beklenti bu çözümlenmeler ışığında oluşmaktadır. Bu üç başlık birbirleri ile etkileşimli olarak tasarımcının tercihi yönünde baskınlıkları değişiklik gösterebilmekte ve biçim oluşturmada öncülük etmektedir.



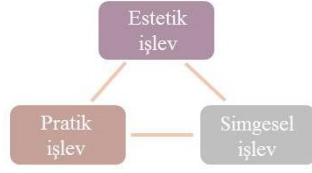
Şekil 1. Pratik İşlevi baskın oturma elemanı (Url-1)



Şekil 2. Pratik -simgesel -estetik işlev ilişkiler şeması



Şekil 3. Estetik işlevi baskın oturma elemanı Ron Arad tasarımı MT Rocker Solid, 2010 çelikten üretilmiş 6. edition (Url-2)



Şekil 4. Estetik –pratik- simgesel işlev ilişkiler şeması



Şekil 5. Simgesel işlevi baskın Bocca studio65 tasarımı Poliüretan koltuk (Url-3)



Şekil 6. Simgesel-estetik –pratik- işlev ilişkiler şeması

2.3. Tasarım ve Tercihi Etkileyen Faktörler

Mobilya tasarım ve üretim süreci, ilk aşamasından itibaren çeşitli etkenlere bağlı olarak oluşmakta, biçimlenmekte ve hayata geçmektedir. Bir mobilyanın tasarlanması sürecinin ilk fikir oluşturulmasından, kullanımına geçmesine kadarki akışı etkileyen ve belirleyen pek çok etken ve etki vardır. Bu etken ve etkilerin birçoğu birbiri ile iç içe geçmiş etkileşimler kurgusudur. Bu kurguların netleştirilmesi aşamasında biçim yeniden ve yeniden oluşturulmaktadır. Kullanıcı beğeni ve tercihleri ile bu süreci yönlendirmektedir. Benzer bir şekilde hazır olarak sunulan mobilyalarda da bu iç içe geçmiş etki ve etkileşimler biçimi oluşturmakta sadece tasarımcı açısından daha geniş bir kitleye hitap edecek şekilde seçimleri yapılmakta ve biçimlenmekte, kullanıcı çoğu zaman bilinçsiz olarak benzerleri arasından tercihi yapmaktadır.

Tasarım ve tercihi etkileyen bu faktörler ortaya konularak bir mobilyayı satın alırken, sipariş ederken veya ihtiyaçları belirlerken kullanıcıya yön vermek ve ürünlere farklı bir gözle bakılmasının sağlanması hedeflenmektedir.

Bu başlıklar şu şekilde belirlenmiştir:

2.3.1. Malzeme ve Yapım Yöntemi

Mobilyanın biçimlendirilmesi aşamasında işlevden sonra gelen diğer önemli başlıktır. Malzeme tercihi mobilyanın biçimlenmesinde malzemenin sunabileceği imkânlar çerçevesinde etken rol üstlenmektedir. Biçimi oluşturabildiği gibi strüktür olarak mobilyanın ayakta durmasını sağlamaktadır. Ayrıca onu sararak ve bir manada giydirmektedir. İnsanın strüktürünü saran derisi gibi malzemede mobilyayı sararak biçimi tamamlamaktadır.

Malzemeler; mobilya tasarım ve biçimlendirmesinde iki yöntemde kullanıldıkları görülmektedir. Birinci aşamada taşıyıcı

sistemi olarak görev almaktadır. Dışardan bakıldığında algılanabileceği gibi tamamen içe saklandığı çözümlerde görülmektedir. Kimi zamansa Şekil 7 ve 8'de görüleceği gibi strüktür görevi üstlenen malzemenin başka bir eklentiye veya kaplamaya ihtiyaç duyulmadan kullanıldığı görülmektedir. Malzemeyi ikinci olarak mobilyayı kaplayarak ona son biçimini vermesi aşamasıdır. Strüktüründen tamamen farklı çeşitli dolgular ve tekstil malzemelerle giydirilmiş pek çok mobilya kullanılmaktadır. Bazı tasarımlar ve onların gerçekleşmesine sağlayan malzemelerin sunduğu imkânlar; herhangi ek bir strüktür malzemesi veya çözümüne ihtiyaç kalmadan hem kaplama hem ayakta durma ihtiyacını karşılayabilmektedir.

Yapım yöntemi malzemeye bağımlı bir başlıktır. Kullanım yeri yani çevre faktörü ile ilişkilidir. Örneğin; ahşap bir oturma elemanı için nerede kullanılacağına bağlı olarak tercih edilecek ahşaptan, mobilya üretim aşamasına geçmeden o ahşaba uygulanacak işlemlere ve yapım yönteminde kullanılacak geçme sistemlere veya ek parçalara kadar etken bir rol üstlenmektedir. Mobilyanın kullanılacağı çevreye bağlı olarak malzeme düşünülmekte yapım yöntemi düşünülmekte, seçilmekte ve biçimlendirme yapılmaktadır.

Günümüz teknolojik gelişmeleri, malzeme tercihleri ve geliştirilmiş üretim teknolojileri sayesinde artık biçim aynı kalacak şekilde, aynı mobilya çok farklı malzemelerle farklı konumlarda kullanılabilir. Buradaki en etken faktör maliyettir. Kullanıcının ekonomik düzeyi, sosyo-kültürel düzeyi, bağlı olduğu toplumsal sınıf veya statü, beğeni ve tercihlerine bağlı olarak aynı biçim ve görüntü çok farklı maliyetlerle üretilebilmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken malzeme seçimi aşamasında mobilya, tasarımcısının ön gördüğü malzemelerden farklı alternatif bir çözüm ile üretilecek ise beklenen konfor şartlarının kaybedilmemesi ve ürünün kullanım ömrünü etkilememesidir.



Şekil 7. Michael Thonet tasarımı Rocking Chair 1880. (Url-4)



Şekil 8. LC4 adlı Charlotte Perriand, Le Corbusier, Pierre Jeanneret tasarımı 1928. (Url-5)

2.3.2 Ölçülendirme, Uyum ve Ağırlık

Tüm mobilyaların insanın beden ölçülerine yani dünya çapında kabul edilen ortalama antropometrik ölçütlere uygun biçimde ölçülendirilerek üretilmesi esastır. Bu sayede kullanıcı o mobilyayı kullanarak yaptığı eylemi en verimli şekilde yerine getirecektir. Şekil 9'da görüleceği gibi bedeni ile uyumlu olarak tasarlanan mobilya ilk kullanmaya başladığı andaki konforu saatler sonrasında da kullanıcıya sunabilmektedir. Benzer bir şekilde hareketli bir mobilya olarak tasarlanmış bir ürün kullanıcıya zorluk çıkartmadan ağırlık ve biçimi itibari ile kolaylıkla hareket ettirilebilmeli ve yeri değiştirilebilmelidir.

Ancak Şekil 10 ve 11'de görüleceği gibi özel üretimler söz konusu olduğunda kullanıcı düşünülerek ve hatta kullanıcıya uygun olarak ölçülendirilmesi ve biçimlendirilmesi gerekmektedir. Antropometrik olarak her ne kadar standart ölçü aralıkları kabul edilmişse de Şekil 12'de görüleceği gibi özel ölçülere sahip çocuklar, yaşlılar ve engelliler için gereken farklı çözümler üretilmelidir. Bu noktada hareketli olarak düşünülen mobilyaların ağırlıklarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Malzeme seçimleri de bu özel ölçülere ve kullanımlara uygun olacak şekilde yapılmalıdır.

Uzun süreli kullanımlarda karşılaşılabilecek bedensel rahatsızlıklara neden olmayan kullanıcıya konforu en uzun süre sağlayabilen ve özellikle çalışma ortamında işini engellemeden yürütmesini sağlayabilecek ölçülerde ve biçimlerde mobilyalar üretilmelidir. Seri üretim mobilyaların özellikle çalışma sandalyelerinde çok daha geniş bir kullanıcı kesimine hitap edebilmesi için kendi içinde değişebilir ölçülere sahip kullanıcıya hareket edebilir olma, değişebilir, ölçüler ve yükseklikler ile maksimum konforu sunan tasarım çözümleri üretilmektedir. Sandalye yükselip alçalabilmekte sırtlık açısı ve baş desteği açıları değişebilmektedir. Bunun gibi araç koltuklarında da artık farklı kullanıcıların konfor ölçülerini hafızasında saklayabilen koltuklar üretilmekte ve kullanılmaktadır.

Bunların yanı sıra özel şartlarda örneğin; kullanım süresinin kısa tutulması istenilen şartlarda malzeme seçimi ön plandadır. Tasarım ve ölçüler açısından gerekli konforu sunan bir oturma elemanı tercih edilen malzemesi nedeniyle uzun oturmaları desteklemeyecek rahatsızlık verecek şekilde seçilebilmektedir. Fast food restoranları veya alışveriş merkezlerindeki foodcourtlarda kullanılan oturma elemanları bu şartlarla tasarlanmaktadır.

Ölçülendirme, kullanıcı ile uyum ve ağırlık bu noktalarda malzeme seçimleri ile birlikte ortak alınması gerekli kararlar arasındadır.



Şekil 9. Zero Gravity Balans sandalye Peter Opsvik tasarımı 1983 (Url-6)



Şekil 10. Peter Opsvik in Garden concept koltuğu 1986 (Url-7)



Şekil 11. Tek elle taşınabilir hafiflikte oturma elemanı, ince çelik bir strüktür ve üstünü kaplayan yastık entegre edilmiş kılıf (Url-8)



Şekil 12. Çocuklar için hem oyun hem de mobilyanın hafifliği sayesinde kurgusu değiştirilebilmesi (Url-9)

2.3.3 Hiyerarşi ve Statü

Geçmişinden bu güne mobilya bir statü göstergesi olma özelliğini korumaktadır. Markalarla bu statü etkisi artmakta, kullanılan malzemeler ve moda etkisi ile daha da kuvvetlenmektedir. Günümüzde mobilyaların kendi aralarında da bir hiyerarşik düzen oluşturdukları görülmektedir. Aynı mekân içinde kullanılan mobilyalar arasında bir takım ekler ile aynı işleve cevap veren mobilyalar birbirleri arasında bir bütünlük ve hiyerarşik düzen oluşturabilmektedir. Birçok oturma elemanın bulunduğu bir mekânda rengi malzemesi ve albenisi ile öne çıkan diğerlerinden baskın mobilyalar göze çarpmaktadır. İç mekânların düzenlenmesinde bu etkideki mobilyalar özel olarak yerleştirilmekte ve mekânın kimliğini işlevini biçimlenişini ve iç sirkülasyonunu düzenlemekte kullanılmaktadır.

Bir ofis tasarımında kullanılacak mobilyalar arasındaki çalışma masası sandalyeleri veya masalar hiyerarşik düzenin en net okunabildiği mobilya örnekleridir. Bir yöneticinin çalışma sandalyesinin sırtlığı yüksek, kolçaklı ve başlıklı bir çalışma sandalyesi iken, alt departmanlardaki çalışma sandalyelerin sırtlığı ise daha alçak ve kimi zaman kolçaksızdır. Aynı işleve hizmet veren iki oturma elemanı arasındaki hiyerarşik fark mobilyaya bu şekilde yansımaktadır. Benzer bir durum Şekil 13'de görüleceği gibi dikdörtgen ve daire yemek masası çevresine yerleştirilen sandalyelerde de görülmektedir. Dikdörtgen, biçimi itibari ile dairenin eşitlik etkisinden farklı olarak hiyerarşi düzeni oluşturmaktadır. Masa başına getirilen sandalyeler kimi zaman kolçaklı tercih edilmektedir. Bu sayede masa başında oturanların ev sahibi oldukları veya ailenin en büyükleri oldukları yani statü olarak diğer kişilerden daha farklı oldukları sessiz bir dille yansıtılmaktadır.

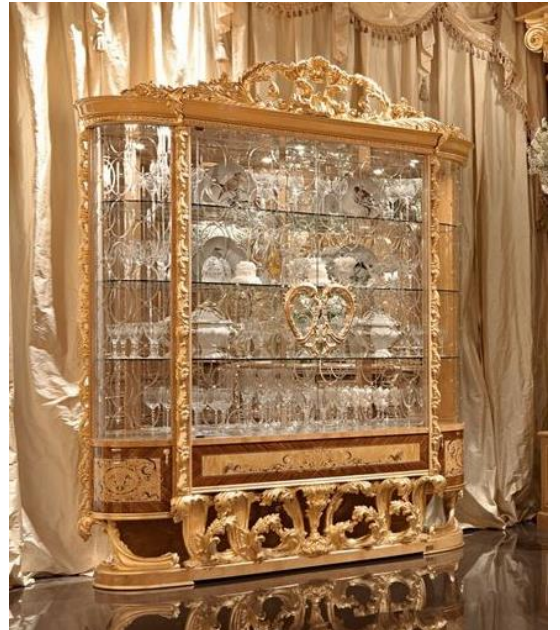
Genel olarak mobilya tercihleri ana hizmet işlevine cevap verebilecek yaşam döngüsünün gerekliliğini karşılayacak tercihler üzerinden yapılmaktadır. Ancak kullanıcı, bulunduğu toplumsal yapı içindeki varlığını simgelemesi açısından da ihtiyaçlarını belirlemekte ve mobilyalarını tercih etmektedir. Toplum içindeki statü bir sözleşme veya yasalar tarafından belirtilen şartlar ile elde edilmektedir. Bireyler bu kazandıkları statülerini üniformaları, kimlikleri, yüzük ya da arma gibi sembollerle çevrelerine yansıtılmaktadırlar. Tercihlerini de statüsünü destekleyen seçimler yaparak göstermektedir. Mobilyanın iletişim özelliğinin baskın çıktığı bu aşamada kullanıcı eğilimi her zaman bir üst sınıfta veya statüde olmaktadır ve bu talebini destekleyecek ürünler için mevcut imkânlarını

zorlamakta ve o ürüne sahip olmaktadır. Bu aşamada İhtiyaç ana işlevin dışına çıkmakta hatta ön plana geçmekte ve tercihi belirlemektedir. Artık kullanıcı için gerçekten o mobilyaya ihtiyacı olup olmadığı önemini kaybetmektedir. Özellikle ekonomik sınırlarını zorlamadığı takdirde kullanıcı ihtiyacı dışındaki ürünü satın almaktadır.

Benzer şekilde gerçekten ihtiyaç olmadığı halde satın alınan ve kullanılan takım mobilyalarının bir parçası olarak iç mekânlarda yerini alan, toplum içinde ayrıcalıklı olarak görünmek ve özgün eserlere sahip olma ihtiyacının ortaya çıkardığı tasarımcıları biçimlendirmeye yönlendiren mobilyalar vardır. Bunlar Şekil 14'de görüleceği gibi gümüşlük, vitrinler ve büfeler gibi bu özgün değerli antika eserlerin saklandığı ve kullanıcıya istediği toplumsal grup içinde olduğunu hissettirmekte ve istediği statüyü sunmaktadır.



Şekil 13. Hiyerarşi örneği masa başı kolçaklı, masa yanları kolçaksız sandalyeli düzenlemesi (Url-10)



Şekil 14. Gümüşlük-vitrin örneği (Url-11)

2.3.4 Maliyet

Malzeme seçimine ve yapım yöntemine bağlı olarak günümüz üretim teknolojileri sayesinde Şekil 15 ve 16'da görüleceği gibi aynı görünüm farklı veya alternatif malzemeler ile de sağlanabilmektedir. Bu sayede çok daha düşük maliyetlerle mobilya üretilebilmektedir. Maliyet bu aşamada tercihlerle devreye girmektedir. Statü ve iletişim etkisi ile kullanıcı bütçesi üzerinde tercih yapabilmektedir. Ancak uygun malzeme tercihleri ve yapım yöntemleri ile maliyet belirli oranda düşürülebilmektedir.

Belirlenen bütçeye göre malzeme ve yapım yöntemleri seçilirken kullanılacak ürünün kullanım ömründe hesaba katılarak tasarım oluşturulmaktadır. Ödün verilmemesi gerekli noktalardan birisi maliyetin düşürülmesi amacıyla yapılacak farklı malzeme tercihleri ürünlerin kullanım süresinin beklenenden önce tamamlanması kırılması bozulması ve işlevsiz hale gelmesidir.

Seçilen malzeme ile maliyetin hesaplanmasındaki bir diğer çözümlenmesi gereken nokta ise yapım yöntemi tercihleri ile devreye giren kalıp maliyetidir. Elde edilmek istenen biçime ulaşmak için seçilen malzemeye bağlı olarak yapılması gereken kalıp ancak belirli bir sayıdaki üretimlerle kalıp maliyeti çıkartılabilmektedir. Kalıbın kullanımı ve ömrü de yine üretim sayısına bağlı olarak değişiklik göstermekte ve zamanla yıpranmaktadır. Bu nedenle tek bir ürün için yapılacak maliyet hesaplarında özel bir kalıp üretilmesi de söz konusu ise bu husus gözönünde bulundurulmalı, farklı bir malzeme ile veya üretim yöntemi ile çözüm oluşturulmalıdır.



Şekil 15. LC2 koltuk çelik ve kumaş Le Corbusier tasarımı 1928. (Url-12)



Şekil 16. LC2 koltuk krom çelik ve deri Le Corbusier tasarımı 1928. (Url-13)

2.3.5 Toplumsal Gelenek ve Alışkanlıklar

Kişi dünyaya geldiği aile düzeni içinde yaşadığı toplumun genel değer yargısını, alışkanlıklarını ve yazılı olamayan ama gelenek-görenek olarak adlandırılan kurallarını öğrenerek ve uyarak o toplumun bir parçası olarak yaşamaktadır. Bu kurallar, belli zaman dilimlerindeki alışkanlıklar, teknolojik gelişmeler ve küreselleşme gibi etkiler ile gelişime uğrayabilmekte ve değişebilmektedir.

Toplumun değer yargılarını ise bu kurallar ve yasalar çevrevesinde yaşayan insanların tercihlerini yani ekonomiye bağlı arz talep düzenini belirlemektedir. Değer yargılarının gelişimi ve değişimi; bu arz talep dengesi içine katılan değer yargılarını zorlayan ve hatta onlara karşı gelen eserler ve ürünlerin öncelikle belli bir kesimce ve sonrasında genelin kabul etmesi ile oluşmaktadır. Tasarımcı sunduğu ürünün kabul görmesi ile yeni tasarımlar yapmaya yönelerek özgüvenini kazanırken kullanıcı bu farklı tasarımların sahibi olarak statüsünü pekiştirmekte ve duysal tatmine erişmektedir. Moda faktörünün gelişmesi ile bu değerler düzeni farklılıkları daha kolay kabul edebilir hale gelmektedir. Moda ve ürünlerin, tasarımların taşıdığı iletişim özelliği sayesinde diğer toplumların kültürlerini, yaşam biçimlerini etkilemekte geliştirmek ve değişime uğratmaktadır.

Toplumsal geleneklerine bağlı, ahlaki inançları ve alışkanlıkları baskın, içine kapalı toplumlar belli başlı konulardaki alışkanlıklarından vazgeçmeyerek ilk günkü kadar katı olmasada halen devam ettirmektedirler. Yemek yeme alışkanlıkları örneğin Şekil 17'de görüleceği gibi Japon kültüründe farklı bir oturma yüksekliğinde ve seramoni şeklinde gerçekleştirilmektedir. Benzer bir fark inançların etkisiyle akan su veya durağan su ile yıkanma alışkanlıklarında da görülmektedir. Tasarımlara ve çözümlenmelere ayaklı kuvvetler veya hızla yıkanılacak duş teknelerinin tasarlanması ile yansımaktadır. Taret musluğu gibi özel çözüm ve tasarımlar günlük hayata yerleşmiş ürünler olarak süre gelmektedir.

Türk evi yaşam düzenine bakıldığında Şekil 18'de görüleceği gibi yere yakın sedirlerde bağdaş kurarak veya ayaklar toplanıp alta alınarak oturmaya imkân sunan ölçülerde, oturma alanı geniş ve alçak olarak düzenlenmekteydi. Günümüz mobilyalarında bu ölçüler kullanıcı talebine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu ölçülerin bir diğer sebebi ateş yanan tek mekânda gündüz otuma ve yaşama işlevini karşılayan bu mekân akşam sedirler üzerine serilen örtülerle yataklara dönüşerek yatma mekânı olarak kullanılmaktaydı. Ayrıca bu dönüşüm yer sofralarında; yemek zamanı açılır kapanır ahşap ayaklar üzerine sini adındaki büyük tepsinin getirilmesi ve hane halkının bu sini çevresinde yere oturarak yemek yemeleri sonrasında o mekânın tekrar yaşama mekânına dönüşümünde de görülmektedir. Günümüzde bu alışkanlıklar yerini yüksek masalara ve yemek sandalyelerine dönüşmüştür. Ancak halen kullanıcıların talepleri üzerine sekili ve sedirli oda düzenleri özellikle cumbalı yapılarda oluşturulmaktadır.



Şekil 17. Uzak doğu kültürü yerde oturarak yemek düzeni (Url-14)



Şekil 18. Sedir oturma ve sini örneği (Url-15)

2.3.6 Moda ve sanat akımları

Modanın gelişim sürecine bakıldığında; insanın bedenini sarmak ve koruma için kullanmaya başladığı giysileri, kültürel ve sosyal ilişkiler, gelişimler ile değişmiş ve çeşitlenmiştir. Bu eylem zaman içinde yeni iş kollarına dönüşmüş ve kültürel alanda moda ve akımlarının oluşturulmasını sağlamıştır. Bu yeni iş alanı, geniş kitleleri kısa dönemlerde etkileyen modanın ve akımlarının doğmasına neden olmuştur.

Kişinin simgesel algısı ve dünyasının, tamamen kültürel etkilerden oluşması gibi moda kavramı mobilya tasarım ve

biçimlenmesi sürecinde de kültürel bir hareket anlamı taşımaktadır. Tasarımcı modanın sunduğu etkiler ve semboller ile kullanıcıya aktarmak istediği mesajı mobilyasına yükleyebilmektedir.

Tasarımcı mobilyasındaki moda etkisini; renk, malzeme, doku gibi biçime son halini veren elemanlarla oluşturulabildiği gibi bir mobilya kendi başına bir moda akımının öncüsü olabilmektedir. Benzer şekilde tasarımcı da kendi başına ortaya koyduğu ürünü ile bir moda faktörü oluşturabilmektedir.

Moda tercihler üzerinde etkindir. Kullanıcı bulunduğu toplumsal yapıyı sergilemek veya statüsünü pekiştirmek için moda olan ürünü tercih etmektedir. Bütçesinin sınırlarını zorlaması veya ana işlevi nedeniyle gerçek bir ihtiyacı karşılayıp karşılamadığının önemi olmaksızın kullanıcı o ürüne sahip olmayı istemekte ve satın almaktadır. Modanın talep üzerindeki bu etkisi tasarımcıyı da yeni, farklı ve daha gelişmiş ürünler ortaya çıkartmaya yöneltmektedir. Bu arz talep sistemi kendi içinde hem yeni moda akımlarının oluşmasını hemde ürün çeşitliliğinin gelişmesini desteklemektedir. Tasarımcıyı tetikleyen ve yeni tasarımlar ortaya koymasını gerekliliğini doğuran bir diğer neden ise modanın öncü çizgilerini taşıyan ürünlerin zamanla benzerlerinin daha düşük maliyetlerle geniş kitlelerin alımına sunulması ile orijinal tasarımların değerini kaybetmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda tasarımcı daha yeni ve farklı biçim arayışlarına gitmek zorunda kalmaktadır.

Diğer sanatçılardan kendini ayıran, toplumun önüne geçerek diğer insanlar ve sanatçılardan daha derin ve duyarlı bir bakışla algı ve kavramları cisimlendirebilen sanatçılar kendi alanlarında üslup getiren sanatçılardır. Onlar modanın ötesinde toplumu daha geniş çapta etkilemekte ve yeni bir tasarım dili oluşturmaktadırlar. Sanat akımlarının kurucusu ve öncüsü olmaktadır. Bir üslubu benimseyerek Şekil 19 ve 20'de görüleceği gibi kendi özgün eserlerini ortaya koyan tasarımcılar da vardır. Üslup getiren ve özgün eserler ortaya çıkartan sanatçıların ellerden çıkan tasarım ve biçimler zamana meydan okuyan her dönem değerlerini ve özelliklerini kaybetmeden taşıyan ürünlere dönüşmektedir.



Şekil 19. Gaudi'nin artnouvea etkisindeki özel tasarım mobilyası (Url-16)



Şekil 20. Pont des Arts markasının mobilyası 2019 (Url-17)

2.3.7 Algı Yetileri ve Psikoloji

Tasarımcının vermek istediği mesaja bağlı olarak yapacağı malzeme seçimi ve biçim ile kullanıcının üstünde bırakmak istediği etkiyi değiştirebilmektedir. Kullanıcının tercihlerinde; toplumsal değer yargıları, kişisel alışkanlıkları gibi farkında olmadan etkilendiği faktörlerin yanı sıra ürünün kaplamasındaki farklı bir yön, renk, doku gibi beğenisine hitap eden özellikleri ile kullanıcı farklı tercihler yapabilmektedir. Bazen aynı biçimin farklı yüzey kaplaması kullanılmış alternatifi, yüzeyin yatay veya düşey kaplanmış olması algılamadaki etkiyi değiştirmekte ve tercih noktasında etkin olabilmektedir. Çeşitli algı oyunlarını, tasarımcı vermek istediği mesajı saklamak için bir yöntem olarak kullanabilmektedir.

2.3.8 Tasarımcı Kimliği

Mobilya tasarımının özü; insanlar için tasarlanması, üretilmesi ve satılmasıdır. Ancak ürünler arasındaki farkları ve bunca çeşitliliğin sebebi, tasarımcı ve kullanıcıların farklı kimliklere ve karakterlere sahip olmalarıdır. Aynı pratik işleve cevap verecek aynı mekân için kullanılacak farklı kimliklerde biçimlerde ve tarzlarda mobilyalar üretilmektedir. Bu farklılık sadece tasarımcı ve kullanıcı kimlikleri veya karakterlerindeki farklar ile değil aynı zamanda toplumun kültürel yapısı, alışkanlıkları, mobilyaların üstlendikleri iletişim görevi ve tasarımcının her yeni tasarımında özgün eser ortaya çıkartma çabası ile kullanıcının bu çabayı destekleyen özgün esere sahip olma talebi ile oluşmaktadır.

Tasarımcı; yeteneği, ailesi ve yakın çevresi ile başlayan ve yasalar çerçevesinde belirlenmiş kurumlarca devam ettiği, son olarak da meslek eğitimi olarak adlandırılabilir kimi zaman usta-çırak ilişkisi içeren tasarımcının talebe konumunda olduğu eğitim ile sözsüz iletişimi kullanarak, ortaya koyduğu anlatım dilini oluşturmaktadır. Resim, heykel ve mimarlık sanatlarında olduğu gibi sözsüz iletişim olarak adlandırılan bu dil ile

tasarımcı iletmek istediği bilgi ve mesajı bir takım semboller kullanarak anlamlandırmakta ve kullanıcıya aktarmaktadır. Bu eğitim ile yeteneğini geliştirmekte biçimlendirmekte, bilgi ve beceri kazanarak tasarımlarına yansıtacağı bir kimlik oluşturmaktadır. Kullanıcının talepleri doğrultusunda ürünlere yansıyan bu kimlik gelişmektedir.

Tasarımcının yeteneği ve eğitimi ile yaptığı tasarımların sanat değeri taşımasını sağlayabilmektedir. Ortaya çıkan tasarım, geniş bir kullanıcı kesimine ulaşmış, beğeni kazanmış ve tercih görmüş ise başarı kazanmış bir ürün olarak değerlendirilir. Tasarımcı ürünlerinde; bir sanatçının grubun akımın veya dönemin izlerini kendi tasarım dili ile birleştirerek kullanmış ise ortaya konan tasarım bulunduğu döneme üslup kazandırmaktadır. Şekil 21’de görüleceği gibi kendi başına adeta bir heykel haline gelmiş bu mobilyalar tasarımcısının bir sembolü, imzası olma niteliği de gösterebilmektedir.



Şekil 21. Zaha Hadid tasarımı bar ünitesi (Url-18)

2.3.9 Özel amaçlar, Dönüşüm, İstifleme, Boyut Küçültme ve Depolama

Yaşam biçimlerindeki değişim ve dönüşüm, gelişen üretim teknolojileri, küreselleşme gibi unsurlar mobilyalar için de farklı biçimleniş etkenlerini oluşturmaktadır. Önceleri haneler; içinde iki kalabalık nesil barınabilecek, evlenen erkek çocuğun eşi ve ailesini dahi kabul edebilecek metrekairelere sahip iken kentleşme ve sanayileşme ile hane metrekaireleri küçülmüş, aynı metrekaire içinde büyük aileler yaşamak mecburiyetinde kalmışlardır. Küçülen mekân içinde birleşen eylemler ile birlikte bir mobilya birden fazla işlevi üstlenmeye başlamıştır. Önceleri biçimleniş olarak etkileme de sonrasında üstleneceği işlevler biçimlenişlerine de yansımıştır. Bir yatak uyuma, dinleme, çalışma ve hatta bir tepsi yardımı ile yemek masası işlevini üstlenmektedir. Ekonomik şartlardaki gelişimler, alım gücü artan toplumu etkilemiş, kendi bireysel iç mekanlarını sahip olmaya başlamıştır. Ancak şehirlerin ve iş merkezlerinin çevresindeki bu yapılar gerekli artan ihtiyaca cevap verebilmek için birçok işlevi bir arada sunabilecek küçük metrekairelerde iç mekânlara dönüşmüştür. Tek bireyli yaşam alanlarına bu hızlı geçiş çok küçülen neredeyse 0+1olarak adlandırılabilir o tek mekânda birden fazla işleve cevap verme durumunda kalmıştır. Tek odadan oluşan iç mekân içinde yer alacak mobilyalar da farklı işlevlere cevap verebilmesi için dönüşebilir şekilde biçimlenmektedir. Oturma, yatma, depolama, uzanma-dinlenme bir kısmında sehpa (hizmet servis elemanı) olabilme özelliklerini aynı anda barındırmak zorunda kalmaktadır. Tasarımcının birden fazla ana işlevi tek bir mobilyada toplaması, iki veya daha fazla olan ana işlevleri arasındaki dönüşümü kolaylıkla aşırı güç gerektirmeden yapılabilmesini sağlaması gerekmektedir.

Mekânların küçülmesi mobilyaların birden fazla pratik işleve üstlenmesi için tek gerekçe değildir. Hane içinde yaşayan kişi sayısının azalması ile çekirdek aile kavramı artık sadece anne, baba ve kardeşleri içermektedir. Ancak mekânla birlikte oluşan bu aile birey sayısındaki küçülme kültürel etkilerin yok olmasına neden olmamaktadır. Yatılı misafirlilikler çek-yat mobilyaların oluşmasını sağlamıştır. Yine kalabalık sofralar gerektiğinde büyüyerek daha kalabalık kişi sayısına hizmet verebilen masaların tasarlanmasını gerektirmiştir.

Boyutları sınırlı mekânlar, mobilyanın biçimlenmesinde ve tercih aşamasında farklı bir biçimde daha kendini göstermektedir. Bu çözümlenme; işlevsiz kılma veya boyut küçültme olarak adlandırılmaktadır. Şekil 22'de görüleceği gibi ihtiyaç duyulduğunda kullanılan işlevini tamamladıktan sonra mekân içinde yer açmak amacı ile kapatılıp bir kenara kaldırılan yataklar ve sandalyeler ve geçici açılıp kapatılan yemek masaları gibi mobilyalarda tasarlanmakta ve tercih edilmektedir.

Bunların dışında özel amaçlarla kullanılm için istiflenebilmek önemli çözümlerden biridir. Dönüştürülebilir mekanlar için workshop alanları konferans ve kongre salonları gibi mekanlarda kişi sayısına veya oturma sayısına bağlı olarak sandalyeler üstüste istiflenebilmekte gerektiğinde kullanıma sunulmaktadır. Başka bir çözüm ise biçimin basit tutulması ile farklı iç mekânlarda farklı amaçlarla kullanılabilen mobilyalarda tasarlanmaktadır. Salonda sehpa, yatakodasında komodinin ve çalışma odasında kitaplık olarak kullanılabilen mobilyalar gibi.

Bunların dışında özel amaç mobilyaları arasında yazı masaları, kitap okuma koltukları, özel koleksiyonların teşhiri ve depolaması için yapılan camlı dolaplar veya kültürel etkilerle ortaya çıkan bir takım ihtiyaçlara cevap vermek için tasarlanan Şekil 23'de görüleceği gibi dedikodu koltuğu gibi, kullanıcısının talebi doğrultusunda biçimlenen ve döneminin etkilerini taşıyan mobilyalar kullanılmaktadır.



Şekil 23. Özel amaçlar: dedikodu koltuğu (Url-20)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Tasarımcı - Mobilya etkileşimi

Mobilyalar; kim için tasarlanacak, nerede, nasıl ve ne için kullanılacak sorularının yanıtlarının oluşturulması ile biçimlenişleri ortaya çıkmakta malzeme ile ayağa kalkmakta veya giyinerek hayata geçmektedirler. Tasarımcısının imzası niteliğini taşıyan, bir mekâna göre daha kolay algılanabilen, hızlı deneyimlenebilen ve bir etki sunabilen, bir objeye göre daha detaylı mesaj iletebilen özelliktedir.

Bir mobilya hangi döneme ait olduğu, tasarımcı, tasarlanma süreci, kişiye özel olarak veya seri üretim olduğu, kullanım alanı, tasarımcının gizlediği saklı mesajı, bulunduğu toplumun sosyo-kültürel özelliklerini, ekonomik durumunu, beğeni ve tercihlerini, alışkanlıklarını, eğitim düzeyi gibi pek çok özelliği biçiminde barındırabilmekte ve iletişim özelliği sayesinde sunabilmektedir.

Mobilyanın kullanıcısı ile buluşma aşamasındaki farklılıklar bile tasarımcısının verdiği mesajı taşıyabilmekte montajının ve taşınmasının kimin yapacağını kararı bile tasarımcının sunmak istediği etkiye bağlı olarak oluşmaktadır.

Günümüzde çok farklı biçim ve modelde mobilya üretilmektedir. Bunların arasında aynı biçimin farklı malzemelerle çağdaş üretim teknolojileri kullanılarak farklı etkilerin sunulabildiği örnekler de mevcuttur. Mobilyalar arasındaki tercih rekabetini kimliği, temsil ettiği sınıf ve sunduğu statü, markası, ilettiği mesaj veya sunduğu estetik değerler belirlemektedir.

Tasarımcısı veya kullanıcısı gözüyle her şeyde olduğu gibi mobilyanın bıraktığı ilk izlenimi, nasıl gözüktüğü veya estetik değerleri ekonomik kaygılar çerçevesinde öncelikli olarak tercihi belirlemektedir. Günümüzde ekonomik kısıtlar çerçevesinde farklı estetik ve pratik işlev özelliklerine sahip en az iki alternatif arasında kullanıcı tercihte bulunabilir aşamaya ulaşmıştır. Firmalar gerek satış pazarlama stratejileri açısından gerek doğal kaynakların sürdürülebilirliği noktasından yola çıkılarak mobilyalar üretmek amacıyla pek çok farklı yöntem ile mobilyaları kullanıcısı ile buluşturabilmektedir. Montajının ve veya nakliyesinin kullanıcısı bırakılması ile estetik açıdan yoksun olarak değerlendirilebilecek, pratik işlev açısından ise fazlasını sunarak farklı iç mekân fonksiyonlarında görev alabilen mobilyalar üretilmektedir. İşlev ve biçimlendirme bakımından kimliksiz olarak bile adlandırılabilinecek bu mobilyalar ile



Şekil 22. İstiflenebilir yataklar(Url-19)

kullanıcısı arasında bir ilişki kurarak, bir anı oluşturarak, bir bağ kurabilmek mobilyanın değerini kullanıcı tarafında arttırmakta beğeni ve tercih nedeni olabilmektedir.

Günümüzde sürdürülebilirlik açısından mobilya tasarım ve üretimlerine bakıldığında; paketlenmesi ve ambalajlarındaki farklı çözüm ve malzemeler haricinde sadece geliştirilen sürdürülebilir yüzey kaplama malzemelerinin kullanıldığı görülmektedir. Atık ürünlerin geri dönüştürülebilirliği ile üretilen kent mobilyaları veya minik tabureler üretilebilmekte, yüzey kaplamaları ve gizli yapılar parçaları ile sürdürülebilir hale getirilmesi için çalışmalar geliştirilmektedir.

4. Sonuç

Bir yapı, her ne olursa olsun kullanıcıyı çevre şartlarından korumak, işlevine göre hizmet sunmak ve acil bir durumda anında içindekilerin o mekânı terk etmesine yetecek süreyi tanıyacak şekilde planlanmış ve oluşturulmuş ise bir mobilyada biçilen kullanım süresince seçilen malzeme ve kullanım alanına bağlı olarak sağlam ve dayanıklı olmalı, ilk günlük konforunu sunacak şekilde tasarlanmalı ve üretilmelidir.

İşlevi, malzeme seçimi, sunacağı estetik değerleri ile bir versiyonlar zinciri mobilyanın biçimlenmesinde etken oluşturmaktadır. Bu kriterlerin öncelik sıralaması kullanıcı ve tasarımcısı arasındaki iletişim ile biçimlenmekte kullanılacağı mekâna göre netleşerek oluşmaktadır.

Mobilyanın biçimlenmesi aşamasında öncelikle ana işlevin ortaya konması ile ihtiyacın ne olduğu belirlenmektedir. Sonraki aşamada estetik işlev yani beğenilen bir mobilya olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Çevre ve malzeme gibi diğer faktörler hem tasarımcı hemde kullanıcı açısından biçimlendirmeyi ve tercihleri etkilemektedir. Tasarımcı yeteneği ile biçimlendirdiği, kimliğini estetik ve hatta simgesel işlevini mobilyasına yüklerken; malzeme, biçim, renk, doku gibi sembolleri kullanmaktadır. Bu sayede kullanıcının tercihinde öncelik kazanma çabasını yerine getirmektedir. Tasarımcı, eğitimi ve yeteneği ile bu arz talebe dayalı döngüyü, toplumun beğeni düzeyini geliştirmekte ve sanatçı sıfatına kavuşmaktadır. Tasarımlarındaki kalite artmakta ve toplumun gelişimini olumlu yönde etkileyecektir.

Sonuç olarak; Tasarımcı bir mobilyayı hayata geçirme aşamasında işlev, çevre, malzeme gibi faktörlerin yanı sıra kullanıcı veya kullanıcı profili ile etkileşimli etmenleri de çözümlenmesi gerekmektedir. Çalışmada çözümlenmesi gereken bu başlıklar ortaya konmaya çalışılmıştır. Böylece tasarımcı için başlangıç aşamasında bir nevi yol gösterici kriterler oluşturulmuş ve kullanıcı açısından ihtiyaçların doğru belirlenmesinde kılavuzluk edebilecek ve tercih aşamasında yönlendirici olabilecek başlıklar belirlenmeye çalışılmıştır.

Tasarımcı işlevlere cevap verecek bir tasarım ortaya koymak için yola çıktığında beraberinde düşünmesi ve belirlemesi gereken başlıklar şunlardır:

- Malzeme ve yapım yöntemi
- Ölçülendirme uyum ve ağırlık
- Hiyerarşi ve statü
- Maliyet
- Toplumsal gelenek ve alışkanlıklar
- Moda ve sanat akımları
- Algı yetileri ve psikoloji
- Tasarımcı Kimliği

- Özel amaçlar; dönüşüm, istifleme, boyut küçültme ve depolama

Bu başlıklardan elde edilen veriler çerçevesinde tasarımcı mobilyasını oluştururken; ana işleve yönelik bir tasarım ortaya koyarken Şekil 24 ve 25’de görüleceği gibi ister tek bir kullanıcı için tasarlanan özel bir mobilya olsun ister bir markanın seri üretimi için tasarlanmış bir ürün olsun kullanıcısının beğenisine göre tercih görmekte kullanıcısı ile buluşmakata ve işlevlerini en iyi şekilde, belirlenmiş kullanım süresince, yerine getirecek şekilde üretilmektedir.



Şekil 24. Üslupların temsilcisi olmuş oturma elemanları (Url-21)



Şekil 25. Farklı kullanıcı beğenileri için üslupların temsilcisi olmuş çay kahve setleri (Url-22)

Kaynakça

- Ash, D., Brunhammer, Y., Buffet-Challié, L., Butler, T. J., Ciechanowiecki, A., Christie, A., Coleridge, A., Grandjean, S., Handley-read, C., Harris, R. J., Hayward, H., Hillier, J., Honour, H., Hunt, J., Huth, H., Joy, E.T., Liversidge, J., Maszkowsak, B., Medley, M., Meister, W. P., Musgrave, C., Scheurleer, Th. H. L., Schefer, H., Smith, C. R., Thornton, P. "World Furniture", Leefung-Asco basımevi, The Hamlyn Publishing Group Limited yayınevi, ISBN NO: 0600039552, 1965, İngiltere
- Baudrillard, J. 2011 Nesnel Sistem. (O. Adanır. ve A. Karamollaoglu, Çev.). Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul
- Boyla, O., 2016. Mobilya Tarihi. <http://www.youblisher.com/p/589306-Mobilya-Tarihi-ekitaplarım-tr-gg/> (E.T.: 04.04.2016)
- Hinchman, M. "History of Furniture: A Global View", 1 Eylül 2010, 1. Baskı, Fairchild Books, ISBN 13: 9781563675447, Amerika Birleşik Devletleri.
- Onur, S., 2000. "Mobilya Biçimlenmesine Etki Eden faktörler ve Tasarımcı kullanıcı faktörü üzerine bir yöntem önerisi", Sanatta Yeterlilik Tezi. İstanbul. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Önder, T., 1998. Dr. Öğr. Üyesi Önder Turan'a ait (Güz yarıyılı) Mobilya Tasarımı Ders Notları (Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi) İstanbul.
- Onur, S., 2000. Dr. Öğr. Üyesi Senem Onur'a ait (Güz- Bahar yarıyılı) Mobilya Tasarımı I-II Ders Notları (Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi) İstanbul.
- Önder, T., 1998. Dr. Öğr. Üyesi Önder Turan'a ait (Güz yarıyılı) Mobilya Tasarımı Ders Notları (Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi) İstanbul.
- Önder, T., 1989. "Mekân Örgütlenmesi açısından Mobilya-Mobilya İlişkileri". Antik&Decor dergisi Antika, Dekorasyon Ve Sanat Dergisi, sayı:1,ss: 24-26.
- Önder, T., 1989. "Tanım-Tasarım-Yapım-Tüketim açısından Mobilya %...". Antik&Decor dergisi Antika, Dekorasyon Ve Sanat Dergisi, sayı:2,ss: 22-24.
- Söğüt. M. A., 2004. "Oturma elemanının tasarımında strüktür ve yüzey kaplama malzemesinin biçime etkisi", Sanatta Yeterlilik Tezi. İstanbul. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Suri. L., 2020. "Değişim Sürecinde Konut ve Çevre İlişkileri". Journal of Strategic Research in Social Science, 6(1), 51-64., Doi: 10.26579/josr.107 (Yayın No: 6302048)
- Suri. L., 2020. "Uygulama Süreci ve Uygulama Aracı Seçiminde Etkin Kriterler". Journal of Strategic Research in Social Science, 6(1), 45-62., Doi: 10.26579/jocrest.55 (Yayın No: 6302099)
- Toka, C. 1978. "İnsan Araç Bağlantısında Ergonomik Tasarım İlkeleri". Yüksek Lisans Tezi. İstanbul. İstanbul Güzel Sanatlar Akademisi. İç Mimarlık ve Endüstri Tasarımı Kürsüsü
- Url-1: <https://www.thesefourwallsblog.com/interiors/new-finds-may-2019/> (E.T.: 01.05.2019)
- Url-2:<https://ammann-gallery.com/artist/ron-arad/>(E.T.: 04.2014)
- Url-3: https://www.archiproducts.com/en/products/gufram/polyuret-hane-sofa-bocca_129429 (E.T.: 04.2014)
- Url-4:http://mdbarchitects.com/1880_-rocking-chair-by-michael-thonet/ (E.T.:10.2013)
- Url-5:<https://www.architonic.com/en/product/cassina-lc4/1001968> (E.T.: 29.12.2016)
- Url-6: <http://www.elementa.no/archive/2016/3/11/opsvikonmovement> (E.T.: 11.03.2016)
- Url-7: <https://tr.pinterest.com/pin/746260600749860733/>
- Url-8:<https://www.trendhunter.com/trends/membrane-chair> (E.T.: 08.05.2013)
- Url-9: https://minordetails.typepad.com/md_weblog/2011/05/stack-sitrepeat.html (E.T.: 16.05.2011)
- Url-10:<https://tr.pinterest.com/pin/634233560005287963/>
- Url-11:<https://tr.pinterest.com/pin/818529301007161418/>
- Url-12: https://www.1stdibs.com/furniture/seating/armchairs/iconic-le-corbusier-jeanneret-perriand-lc2-lounge-chairs/id-f_22403552/
- Url-13:<https://www.architonic.com/en/product/cassina-lc2-armchair/1110473>
- Url-14: <https://gr.pinterest.com/pin/231442868337620675/>
- Url-15:<https://istanbul.for91days.com/2013/06/28/the-imperial-harem-of-topkapi-palace/> (E.T.: 28.06.2013)
- Url-16:<https://www.pinterest.es/pin/46021227431313321/>
- Url-17: <http://www.pontdesarts.biz/category/furniture/armchair/#gallery1-19>
- Url-18:<http://emlakhaber.club/tag/zaha-hadid-kimdir/>(E.T.: 30.11.2018)
- Url-19: <https://www.connox.com/categories/furniture/beds/rolf-heide-stacking-bed-coloured-lacquered.html?itm=127010>
- Url-20:<https://www.messynessychic.com/2020/01/30/a-brief-compendium-of-the-conversation-chair/> (E.T.: 30.01.2020)
- Url-21:<https://vahidesign.blogspot.com/2014/05/new-version-of-icon-of-chairs-poster.html?m=1> (E.T.: 14.05.2014)
- Url-22:<https://vahidesign.blogspot.com/2014/03/tea-coffee-set-timeline.html?m=1> (E.T.: 19.03.2014)



Katalitik Ozonlanmanın Doğal Organik Maddenin Yapısına ve Trihalometan Oluşturma Potansiyeline Etkisi

Alper Alver^{1*}, Ahmet Kılıç²

^{1*} Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2734-8544), alperalver@gmail.com

² Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2365-3093), akilic68@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 01 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 9 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.888867)

ATIF/REFERENCE: Alver, A. & Kılıç, A. (2021). Katalitik Ozonlanmanın Doğal Organik Maddenin Yapısına ve Trihalometan Oluşturma Potansiyeline Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 601-607.

Öz

Konvansiyonel arıtma prosesleri ile yeterli oranda giderilemeyen sucul ortamdaki doğal organik maddenin (DOM) dezenfeksiyon/oksidasyon amacıyla kullanılan klorla reaksiyona girmesi sonucunda oksidasyon yan ürünleri (OYÜ) oluşmaktadır. DOM ile ozon arasındaki reaksiyonlar doğal organik maddenin alifatikliği ve aromatikliği gibi fiziko kimyasal özelliklerine bağlıdır. Bu çalışmada yüzey su kaynaklarındaki doğal organik maddeleri temsil eden humik asit çözeltilerinin katalitik ozonlanması sonucunda oluşan oksidasyon yan ürünlerinden trihalometanlar gaz kromatografi kütle dedektörü vasıtasıyla kalitatif olarak tespit edilmiş ve okside olmuş organik maddelerin yapısal değişimi takip edilmiştir. 10 mg/L doğal organik maddenin nötral pH seviyelerinde 10 mg/L çözünmüş ozon ile birlikte 0,050 g/L katalizör kullanımında 15 dk. sonunda ÇOK, UV₂₂₀, UV₂₅₄, UV₂₇₂ ve TTHM'de sırasıyla %76,00, %32,48, %21,32, %3,49 ve %52-62 değişim meydana getirdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak katalitik ozonlanmanın doğal organik maddenin bağ yapısını bozarak aromatiğini alifatiğe dönüştürdüğü ve bir kısmını son ürüne okside ederek dezenfeksiyon yan ürünü oluşumunu azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal organik madde, Katalitik ozonlanma, Oksidasyon yan ürünleri, Alifatik, Aromatik, Trihalometanlar.

The Effect of Catalytic Ozonation on the Natural Organic Matter Structure and Trihalomethane Formation Potential

Abstract

Oxidation by-products (OBP) are formed as a result of the reaction of natural organic matter (NOM) in the aquatic environment, which cannot be removed sufficiently by conventional treatment processes, with chlorine used for disinfection/oxidation. The reactions between NOM and ozone depend on the physicochemical properties of the natural organic matter, such as aliphaticity and aromaticity. In this study, trihalomethanes, which are formed as a result of catalytic ozonation of humic acid solutions representing natural organic substances in surface water resources, were qualitatively determined by gas chromatography-mass detector and the structural change of oxidized organic substances was followed. At neutral pH levels of 10 mg/L natural organic matter, 10 mg / L dissolved ozone and 0.050 g / L catalyst use for 15 minutes. In the end, it was determined that it caused a change of 76.00%, 32.48%, 21.32%, 3.49%, and 52-62% in DOC, UV₂₂₀, UV₂₅₄, UV₂₇₂, and TTHM, respectively. As a result, it has been determined that catalytic ozonation transforms its aromatics into aliphatic by disrupting the bond structure of natural organic matter and reduces the formation of disinfection by-products by oxidizing some of it to the final product.

Keywords: Natural Organic Matter, Catalytic Ozonation, Oxidation By Products, Aliphatic, Aromatic, Trihalomethanes.

* Sorumlu Yazar: alperalver@gmail.com

1. Giriş

Su kaynaklı hastalıkların azaltılması ve toplum sağlığını korumada 19. yy'ın sonlarından itibaren içme suyu dezenfeksiyon prosesleri kullanılmaktadır (Li ve ark., 2016). İçme suyu artırımının en önemli sorunlarından bir tanesi, tüm yüzeysel ve yeraltı su kaynakları bünyesinde bulunan doğal organik maddelerin (DOM) içme sularının dezenfeksiyonu amacıyla kullanılan oksidanlarla reaksiyonu sonucunda oksidasyon/dezenfeksiyon yan ürünlerinin (OYÜ ya da DYÜ) oluşmasıdır. Bu sebeple DOM'lar OYÜ öncülleri olarak isimlendirilmektedir. DOM'un oksidanlarla reaktivitesi, molekül ağırlığı, aromatikliği, elemental bileşimi ve içerdiği fonksiyonel gruplar gibi fiziko kimyasal özellikleri ile ilişkilidir (Maurice ve ark., 2002). DOM'lar, farklı fonksiyonel ve yapısal özelliklere sahip organik bileşiklerin heterojen karışımıdır ve iki ana sınıfa ayrılır: hümik ve hümik olmayan maddeler (Sadroumohammadi ve ark., 2020). Hümik maddeler, bitki ve hayvan dokularının bozunmasından kaynaklanan çeşitli organik maddeler grubu olarak tanımlanır ve bu sebeple bölgesel olarak oldukça farklılıklar gösterebilmektedir. Hümik maddeler, 2'den daha düşük pH seviyelerinde çözünmeyen bileşikler olan hümik asitlerden (HA) ve tüm pH seviyelerinde çözünebilir fulvik asitlerden (FA) oluşur (Brezinski Gorczyca, 2019).

Trihalometanlar (THM) ve Haloasetik asitler (HAA), bilinen oksidasyon yan ürünlerinin başlıca iki grubudur. Oksidasyon yan ürünleri, tehlikeli kirleticilerdir ve THM'ler ve HAA'lar gibi OYÜ'ler US EPA listesinde zehirli ve öncelikli tehlikeli kirleticiler olarak sınıflandırılmışlardır (Hayward, 1998). Dünya Sağlık Örgütü tarafından bu OYÜ'lerin içme sularında varlığı için sınır değerler belirlenmiştir. Bilindiği üzere Avrupa Birliği; DYÜ'ler olarak tanımlanan THM'ler için Su Çerçeve Direktifinde (SÇD), verilen Çevresel Kalite Standartlarına (ÇKS) uyulmasını diğer kirleticiler için ise ülkelerin kendi belirledikleri ulusal ÇKS'lere uymasını beklemektedir. Ülkemizde de TSE-266 içme kalite standartlarında Toplam THM (TTHM) limit değeri 100 µg/L'dir (Bakanlığı, 2012). THM harici diğer OYÜ'ler için ülkemizde henüz bir standart belirlenmemiştir. OYÜ ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar, bu zararlı bileşiklerin kanser oluşturma riski, çocuklarda gelişme geriliği, kadınlarda düşük yapma ve doğuştan meydana gelen kalp kusurları gibi hastalıklar ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir (Davies Mazumder, 2003). Toksikite ve tehlikeli karakterleri ve çevre üzerindeki artan toplumsal kaygısı nedeniyle, içme suyu şebekesine karışmadan önce uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Buna ilaveten, doğal organik maddelerin oksidanlarla reaksiyonlarının anlaşılabilmesi ile OYÜ oluşumunu azaltıcı yöntemler geliştirilebilecektir (Li ve ark., 2017).

Katalitik ozonlamanın su ve atık sulardaki dirençli kirleticileri bozunmada etkin olduğu kanıtlanmıştır. Katalitik ozonlama işlemi sırasında katalizörler, hidroksil radikallerinin üretilmesinde ve kirletici maddelerin ayrıştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Sulardaki dirençli kirleticilerin bozundurulmasında doğrudan oksidasyon tek başına yetersiz kaldığından dolayı, oksidanın aktivitesini artırarak dolaylı oksidasyonu başlatabilen FeOOH, Fe/MgO, TiO₂, pomza ve metal kompozitleri gibi birçok katalizör kullanılmaktadır (Gümüş Akbal, 2017). Katalizörlerin geliştirilmesinde ve kullanılmasında en önemli göstergelerden biri kirleticiyi bozundurma işlevinin yanı sıra doğa dostu olması, ekonomik

olması ve kolay tedarik edilebilmesidir. Bu sebeple yeni çevre dostu katalizörlerin aranması ve/veya katalizörün oksidanın etkinliğini arttırması için farklı metallerle kaplanması konularında birçok çalışma devam etmektedir. Kullanılan katalizörler arasında, Demir Kaplı Pomza'nın (DKP) doğal organik maddenin katalitik bozundurulmasında etkili olduğu kanıtlanmıştır.

Bu çalışmada yüzeysel sularda bulanabilecek doğal organik maddeleri temsilen Sigma Aldrich humik asitinden hazırlanmış model çözeltilerin farklı işletme şartlarında katalitik ozonlanması sırasındaki doğal organik maddenin fiziko kimyasal özelliklerinin değişimi ve bu değişime bağlı olarak ortaya çıkan oksidasyon yan ürünlerinden THM araştırılmıştır. Katalizör olarak DKP kullanılmıştır. Katalitik ozonlamaya etkisi bilinen katalizör dozu, ozon dozu, başlangıç kirletici konsantrasyonu ve başlangıç çözelti pH'sı değişkenlerinin etkileri toplam organik karbon (TOK), UV₂₂₀, UV₂₅₄, UV₂₇₂ ve TTHM analizleri ile izlenilmiştir. Laboratuvar çalışması neticesinde katalitik ozonlama prosesi değişkenlerine bağlı oluşabilecek TTHM miktarları belirlendiğinden çalışma çıktılarının içme suyu kaynaklarının seçimi ve arıtma tesisi tasarımında proses seçimi ve uygulanabilirliğini tayin etmede önemli rol oynayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler ve Kimyasallar

Aksaray İli Hasan Dağı bölgesinde bulunan bir taş ocağından temin edilen pomza örnekleri öğütülerek parçalandıktan sonra elek analizleri ile <0.25 mm tane boyutuna ayrılmış ve demirle kaplanarak ozonlama işlemlerinde kullanılmıştır. Lai ve ark. (2000) ve (Lai Chen, 2001) tarafından önerilen metod üzerinde yapılan bazı değişikliklerle kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu metoda dair detaylı bilgiler önceki çalışmamızda verilmiştir (Alver ve ark., 2016).

Çalışmalarda yüzey sularını simüle etmek amacıyla doğal organik maddeleri temsilen hümik asit çözeltileri kullanılmıştır. Hümik asit (H16752) Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Kristal haldeki hümik asit 0.1 N Sodyum hidroksit içerisinde 2 saat süreyle karıştırılarak çözüldükten sonra 0.45 µm membran filtre kağıdından süzülmüştür. Stok olarak hazırlanan bu çözeltilerden, çalışmalarda kullanılmak üzere yüzey sularında tespit edilebilen konsantrasyonlarda hümik asit çözeltileri elde edilmiştir. Model çözelti olarak kullanılan Sigma Aldrich hümik asitinin karakterizasyonu Tablo 1'te verilmiştir.

Tablo 1 Humik asit çözeltilerinin karakterizasyonu

Parametre	Denklem (n=4)	R ²	Algılama Limiti
UV ₂₂₀ , Abs.	0,0275 x HA + 0,0380	0,9997	0,0009
UV ₂₅₄ , Abs.	0,0235 x HA + 0,0209	0,9995	0,0015
UV ₂₇₂ , Abs.	0,0211 x HA + 0,0191	0,9994	0,0018
ÇOK, mg/L	0,2089 x HA - 0,0608	0,9984	0,0048

Çalışma kapsamında oksidasyon ürünlerinin tespiti amacıyla THM türleri izlenmiştir. THM analizleri için Restek firmasından temin edilen sertifikalı referans materyal (SRM) mix standartları, ekstraksiyon işlemlerinde ise Sigma-Aldrich firmasından satın alınan metil tert-butil eter (MTBE) kullanılmıştır. Suda çözünmüş ozon ölçümlerinde kullanılan potasyum indigo trisülfonat Sigma-Aldrich firmasından temin

edilmiştir. Deneysel çalışmaların tüm aşamalarında analitik saflıkta kimyasallar seçilmiş ve çözeltiler ultra saf su kullanılarak hazırlanmıştır.

2.2. Deneysel Prosedür

Ozonlama deneyleri oda sıcaklığında 80 mm iç çaplı cam kolon reaktörde gerçekleştirilmiştir. Reaktör 2 L çözelti hacminde ve yarı kesikli sistemde çalıştırılmış, reaktör içeriğinin tam karışımı 600 rpm'de dönen mekanik bir karıştırıcı ile sağlanmıştır. Tüm deney düzeneği bağlantılarında ozonla reaksiyona girmeyen malzemelerin seçilmesine dikkat edilmiştir. Reaktöre beslenen ozon gazı, oksijen konsantratörü donanımlı ve 0.333 g/dk ozon üretim kapasitesine sahip PRO DO 20 ozon jeneratörü (PRODA Group, Türkiye) ile üretilmiştir. Ozonun sudaki çözünürlüğünü artırmak ve istenilen konsantrasyonlarda çözünmüş ozon elde etmek için ozon beslemeleri reaktörün alt kısmından ve politetrafloroetilen (PTFE) malzemeden üretilmiş difüzör vasıtası ile yapılmıştır. 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 hüyük çözeltisi ilave edildikten sonra belirli zaman aralıklarında örnekler alınmış ve analizleri yapılmıştır. Analizlerden önce ozon reaksiyonlarını durdurmak amacıyla, alınan örnekler 0.025 M Na₂SO₃ ilave edilmiş ve 0.20 µm'lik bir filtreden süzümüştür. Elde edilen filtratta çözünmüş ozon, TOK, UV₂₂₀, UV₂₅₄, UV₂₇₂ ve Toplam THM analizleri yapılmıştır. 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 analizlerinin doğrulama çalışmaları reaktörden eş zamanlı alınan örneklerde SM 4500-O₃ B İndigo metodu ile ozon analizleri yapılarak gerçekleştirilmiştir.

2.3. Analiz Yöntemleri

Reaktörden alınan örneklerde 220 nm (UV₂₂₀), 254 nm (UV₂₅₄) ve 272 nm (UV₂₇₂) dalga boylarında absorbans ölçümleri SM 5910 B (Rice ve ark., 2012) metoduna uygun olarak yapılmıştır. Bu amaçla Shimadzu marka UV-1280 model UV-VIS spektrofotometre ve 10 mm ışık yoluna sahip kuvars hücre kullanılmıştır. Doğal organik maddeler genel olarak hidrofobik özelliğindedir. Doğal organik maddelerin oksidantlarla reaksiyonları sonucunda hidrofilik fraksiyonların da artış olmaktadır. UV₂₅₄ değerinin hüyük maddeler gibi yüksek moleküler ağırlığına sahip organik maddelerin hidrofobikliğinin ve alifatik içeriğinin tespitinde kullanılan önemli bir temsil edici parametre olduğu ortaya konulmuştur (Kim ve ark., 2006). UV₂₂₀ değeri ise okside olmuş organik madde fraksiyonlarının molekül ağırlığı dağılımını göstermektedir (Świetlik ve ark., 2004). Bunun yanında UV₂₇₂ değeri, DOM molekülü ile klor arasındaki reaksiyonlar sırasında fenolik ve hidroksil gibi fonksiyonel gruplar içeren aromatik yapıların bozulmasına karşılık DOM'nin UV absorbansında meydana gelen kayıpları göstermektedir (Chi-Wang ve ark., 1998). ΔUV₂₂₀, ΔUV₂₅₄ ve ΔUV₂₇₂ Denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta UV_x = \frac{UV_{x\text{başlangıç}} - UV_{x\text{zaman}}}{UV_{x\text{başlangıç}}} \quad \text{Denklem 1}$$

Toplam organik karbon analizleri Standart Metotlar 3510 B'de tanımlanan yüksek sıcaklıkta yakma metoduna göre

Shimadzu TOC-VCPN/TNM-1 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Toplam organik karbon; toplam karbon ve inorganik karbon farkı alınarak hesaplanmıştır. ÇOK ölçümleri ise aynı metoda göre numuneler 0,45 µm'lik filtreden süzüldükten sonra gerçekleştirilmiştir.

Belirli aralıklarla reaktörden alınan ozonlama işlemine tabi tutulmuş örnekler, kalıntı ozon giderildikten sonra Cl₂/ÇOK oranı 2,5 olacak şekilde sodyum hipoklorit çözeltisi ile klorlanmış ve oda sıcaklığında 168 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda Sigma Aldrich Quantofix klor test kiti ile bakiye klor ölçümleri yapılmış ve ortamda bakiye klor varlığı teyit edilmiştir. Klorlama reaksiyonları teflon kapaklı sızdırmaz 40 mL'lik viallerde gerçekleştirilmiştir. Analiz edilmek üzere 7,5 mL örnek 2,5 mL MTBE çözücüsü ile 45 dk. boyunca cam baloncuk ilave edilmiş bir cam şişe içerisinde BIOSAN Multi RS-24 programlanabilir rotator yardımıyla çalkalanmış ve faz ayrımı gerçekleştikten sonra 2 mL'lik viallere aktarılmıştır. THM ölçümleri sıvı sıvı ekstraksiyon işlemi ile EPA 551.1 metoduna uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde RTX-624 (60m*0.25mm*1.40µm) kapiler kolona sahip Shimadzu QP2010 Plus model GC/MS cihazı kullanılmıştır. Cihazda enjeksiyon sıcaklığı ve detektör sıcaklığı 200 °C; enjeksiyon hacmi 2 µL ve akış hızı 61,1 mL/dak olarak ayarlanmış, taşıyıcı gaz olarak yüksek saflıkta helyum gazı kullanılmıştır. Örneğin enjeksiyonu splitless modda gerçekleştirilmiş ve 45 °C'de enjekte edilen örnek bu sıcaklıkta 3 dakika tutulmuştur. Ardından 3'er dakikalık bekleme süreleri ile sıcaklık önce 5 °C/dk artışla 90 °C'ye sonra 10 °C/dk artışla 150 °C'ye ve son olarak 5 °C/dk artışla 220 °C'ye çıkarılmış ve bu sıcaklıkta 4 dk tutulmuştur. Kullanılan metodun verifikasyonu amacıyla analizi yapılan THM türleri için geri kazanım çalışmaları yapılmış ve LOD değerleri tespit edilmiştir. Tablo 2'de verilen geri kazanım yüzdeleri ve LOD değerlerinin metod gereksinimlerini karşıladığı görüldükten sonra örneklerin analizleri yapılmıştır.

Tablo 2 THM'ler için geri kazanım yüzdeleri ve LOD değerleri.

Bileşen	Geri Kazanım (%) (n = 10)	LOD (µg/L)
Kloroform	92,7 ± 2,8	0,41
Boromodiklorometan	96,3 ± 1,9	0,76
Klorodibromometan	93,4 ± 1,5	0,55
Bromoform	97,2 ± 0,6	0,76
Toplam THM	92,7 ± 2,2	0,76

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde, doğal organik maddenin katalitik ozonlanması sonrasında yapısal değişimi ve dezenfeksiyonu sonucunda oluşabilecek dezenfeksiyon yan ürünlerinden THM'lerin belirlenmesi için laboratuvar ölçekli çalışma gerçekleştirilmiştir. Katalitik ozonlamanın doğal organik maddenin alifatik ve aromatik yapısında oluşturduğu değişimi ve buna bağlı olarak THM oluşturma potansiyeli üzerindeki etkisini anlamak için model çözeltilerle çalışmalar yapılmıştır. Katalitik ozonlama sonrasında çıkış suları klorla reaksiyona tabi tutularak oluşan THM'ler, deiyonize saf su içeren ve sadece hüyük asit içeren model çözeltilerde kalitatif olarak tespit edilmiş ve bu ürünlerde katalitik ozonlama koşullarına bağlı olarak değişimler gözlemlenmiştir.

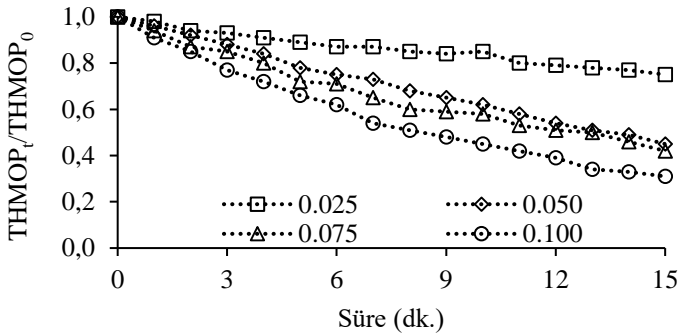
3.1. Katalizör Dozunun Katalitik Ozonlamaya Etkisi

Katalitik ozonlama deneyleri, 25 ila 100 mg/L arasında değişen çeşitli katalizör dozlarında, 10 mg/L'lik HA konsantrasyonu, çözelti pH'ı 6,8 ve ozon dozu 10 mg/L'lik sabit tutularak gerçekleştirilmiştir. Katalizör dozunun artışına göre oksitlenmiş organik maddenin ÇOK konsantrasyonundaki ve aromatik ve alifatik fraksiyonlarındaki değişimi Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3 Katalizör dozuna bağlı olarak ÇOK, UV₂₂₀, UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ değişimi ([O₃]=10 mg/L, [HA]=10 mg/L, pH=6.8±0.4, n=600 rpm).

Katalizör, g/L	ÇOK, %	ΔUV ₂₂₀ , %	-ΔUV ₂₅₄ , %	-ΔUV ₂₇₂ , %
0,025	64	0,67	21,42	2,50
0,050	76	32,48	21,32	3,49
0,075	80	37,24	25,30	5,74
0,100	87	59,81	79,57	21,21

Tablo 3'deki sonuçlardan da görüldüğü üzere katalizör dozunun artışına bağlı olarak organik maddenin konsantrasyonu %64'den %87'ye kadar azalmıştır. Organik maddenin aromatik fraksiyonlarının alifatik fraksiyonlarına oranla daha hızlı bozunduğu ve okside olmuş fraksiyonunda doğrusal artış olduğu gözlenmiştir. 0.075 g/L katalizör dozuna kadar UV₂₂₀, UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ değişiminin çok fazla olmadığı, 0.100 g/L katalizör dozu uygulandığında ise önemli bir sıçrama yaptığı görülmektedir. Katalitik ozonlamada organik maddenin önce aromatik yapısının bozunup alifatığe dönüştüğü ve bu dönüşüm sonrasında alifatik fraksiyonlarında oksitlenme sonucunda son ürünlere dönüşmüş olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlar Şekil 1'de verilen TTHM konsantrasyonlarının katalizör dozunun artışına bağlı olarak değişiminin verildiği grafikte daha iyi yorumlanmaktadır.



Şekil 1. Katalizör dozuna bağlı olarak THMOP azalımı ([O₃]=10 mg/L, [HA]=10 mg/L, pH=6.8±0.4, n=600 rpm, [THMOP₀]=111,180±3,076 µg/L)

Katalizör dozundaki artışa bağlı olarak OH• oluşum hızı artmakta ve oluşan oksidasyon ara ürünlerinin OH• ile reaksiyona girmesi sonucunda organik maddenin bir kısmı son ürüne (CO₂ ve H₂O) dönüşerek organik madde konsantrasyonlarında azalma sağlanmaktadır. Bu azalmaya bağlı olarak THMOP azalmaktadır. Bu sonuçlar, Yuan ve ark. (2012) çalışmasında olduğu gibi DKP katalizörünün katalitik ozonlamada etkin olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Son ürüne dönüşmeyen ozonlanmış organik madde yapısının klorla reaksiyonu sonucunda başlangıca nazaran daha az TTHM

oluşturduğu da görülmektedir. Hem katalizör dozu hem de reaksiyon süresindeki artışla belirlenen TTHM konsantrasyonu azalmaktadır. Organik maddenin alifatik ve aromatik fraksiyonlarının bağ yapısının bozundurulması için 0,100 g/L katalizör dozunun uygun olduğu tespit edilse de çalışmanın hedef kirleticisi olan THM türlerinin giderimi için 0,050 g/L katalizör dozu optimum seviyededir.

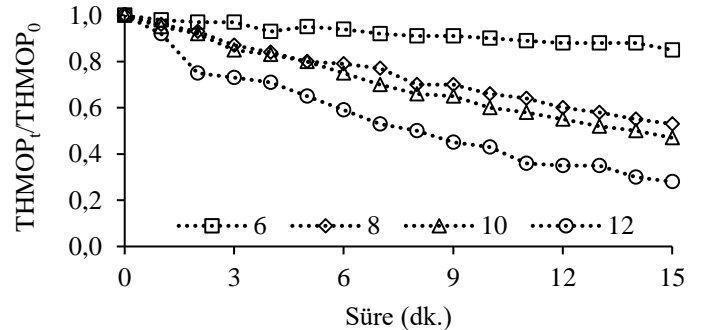
3.2. Başlangıç Ozon Dozunun Katalitik Ozonlamaya Etkisi

Katalitik ozonlama proseslerinde uygulanan ozon dozu, DOM'un bozunma verimini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu başlık altında 6, 8, 10 ve 12 mg/L başlangıç ozon dozlarının katalitik ozonlama sürecine etkisi incelenmiştir. Başlangıç ozon konsantrasyonundaki artış, daha fazla radikal oluşturduğundan doalyı DYÜ'lerin azaltılması üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Katalitik ozonlama sırasında oluşan radikallerin, oksidasyonu yavaş olan oksidasyon ara ürünlerini ve son ürünleri daha hızlı bozundurduğu düşünülmektedir. Başlangıç ozon dozu artışına bağlı olarak ÇOK, UV₂₂₀, UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ değişimleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4 Ozon dozuna bağlı olarak ÇOK, UV₂₂₀, UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ değişimi ([DKP]=0.050 g/L, [HA]=10 mg/L, pH=6.8±0.4, n=600 rpm).

Ozon Dozu, mg/L	ÇOK, %	ΔUV ₂₂₀ , %	-ΔUV ₂₅₄ , %	-ΔUV ₂₇₂ , %
6	66	0,42	0,67	0,34
8	66	14,00	2,37	3,02
10	76	32,48	21,32	3,49
12	81	93,43	59,81	7,37

Tablo 3'deki sonuçlara benzer şekilde Tablo 4'te de aromatik yapının artan ozon dozu ile daha da bozulmuş olduğu görülmektedir. Ozon konsantrasyonunun 6 mg/L'den 10 mg/L'ye çıkmasıyla ÇOK giderim veriminin %66'dan %81'e yükseldiği görülmektedir. Bu çalışmada, ozonun sudaki davranışı üç temel unsura dayanmaktadır: moleküler ozonun HA ile doğrudan reaksiyona girerek harcanması, katalizör ara yüzeyinde ozonun ayrışarak radikallerin oluşması ve ozon moleküllerinin katalizör ve kirletici yüzeyinde kısa süreli adsorpsiyonu. Başlangıç ozon konsantrasyonunun HA'nın katalitik ozonlanması üzerindeki etkisi Şekil 2'de gösterilmektedir.



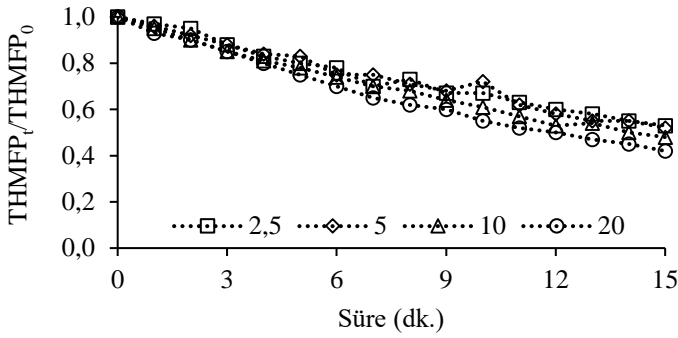
Şekil 2. Başlangıç ozon dozuna bağlı olarak THMOP azalımı ([DKP]=0.050 g/L, [HA]=10 mg/L, pH=6.8±0.4, n=600 rpm, [THMOP₀]=110,683±1,490)

Ozonun bozunmaya başlama sürecinde yani ilk 2 dk.'da THMOP konsantrasyonları pek değişmemiştir. Bu sonucun, ozon

dozundaki artıştan bağımsız olarak sabit OH• oluşum hızından kaynaklandığı düşünülmektedir. Birim ozon dozu başına giderilen ÇOK ve THMOP göz önüne alındığında 10 mg/L başlangıç ozon dozunun optimum olduğuna karar verilmiştir.

3.3. Kirlenici Konsantrasyonunun Katalitik Ozonlamaya Etkisi

Yüzeysel su kaynaklarında organik maddenin %40-50'si fulvik asit ve %5-10'u hümik asitten oluşmaktadır (Hong Elimelech, 1997). Su kaynaklarına göre organik madde fraksiyonları ve konsantrasyonları değişkenlik göstermekte bu nedenle standart bir metotla artırmaları zorlaşmaktadır. Katalitik ozonlama proseslerinin DOM giderim verimini etkileyen en önemli değişkenlerden biri kirlenici konsantrasyonu ve karakterizasyonudur. Bu başlıkta, yüzeysel su kaynaklarında 0-20 mg/L konsantrasyon aralığında bulunabilen konsantrasyonlarda doğal organik maddenin katalitik ozonlama sürecine etkisi araştırılmıştır. Başlangıç HA konsantrasyonuna bağlı olarak THMOP'deki değişim Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3 Kirlenici konsantrasyonuna bağlı olarak THMOP azalımı ($[DKP]=0.050$ g/L, $[O_3]=10$ mg/L, $pH=6.8\pm 0.4$, $n=600$ rpm), $[THMOP_0]_{2,5}=66,518$, $[THMOP_0]_{5,0}=79,332$, $[THMOP_0]_{10}=111,636$, $[THMOP_0]_{20}=127,650$

HA dozunun artmasıyla birlikte kütle transfer kuvveti artmakta ve buna bağlı olarak katalizör yüzeyine adsorbe edilen HA moleküllerinin sayısı da artmaktadır. Buna sebeple HA konsantrasyonundaki bir artışa bağlı olarak giderim verimliliği azda olsa artış göstermektedir (Kim ve ark., 2013). Ancak katalizör yüzeyindeki aktif bölgelerin bir süre sonra dolması nedeniyle bu artış sınırlanmakta ve giderim verimi denge konumuna gelmektedir. Ayrıca organik madde konsantrasyonundaki artışla birlikte katalizör olarak kullanılan ve demir içeren pomza yüzeyinde organometal kompleksleri oluşabilmekte ve ozonun tutunması için ayrı bir yüzey oluşturmaktadır. Bu nedenle radikal oluşumunun da kısmen yavaşladığı söylenebilir. Tablo 5'te ÇOK, UV₂₂₀, UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ parametrelerinin değişimi incelenmiş ve kirlenici dozunun artması nedeniyle oksitlenen aromatik ve alifatik yapının benzer şekilde değiştiği görülmüştür.

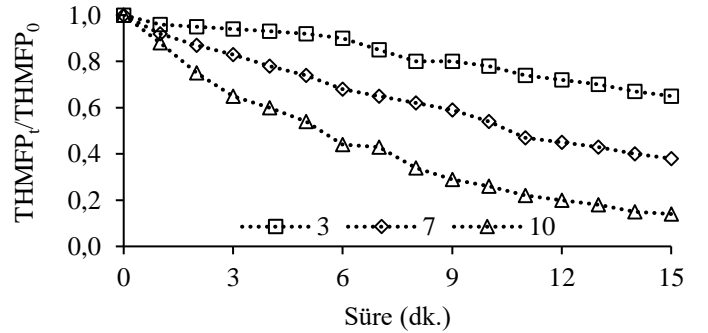
Tablo 5 Başlangıç kirlenici konsantrasyonuna bağlı olarak ÇOK, UV₂₂₀, UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ değişimi ($[DKP]=0.025$ g/L, $[O_3]=10$ mg/L, $pH=6.8\pm 0.4$, $n=600$ rpm).

HA Kons., mg/L	ÇOK, %	ΔUV_{220} , %	$-\Delta UV_{254}$, %	$-\Delta UV_{272}$, %
2,5	64	23,43	17,97	2,10
5	75	29,05	18,27	3,80
10	77	32,48	21,32	3,49
20	82	42,52	34,56	9,12

Ozon ve organik karbon bileşikleri arasındaki reaksiyonların karbon bağlarının bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. Karbon bağları, elektron verici veya aromatik bileşikler içeren fonksiyonel gruplardan oluşur (Westerhoff, Aiken, ve ark., 1999; Westerhoff, Debroux, ve ark., 1999). Tablo 5'te görüldüğü gibi aynı koşullar altında UV₂₅₄ değişimlerinin önemli bir düşüşle sonuçlandığı görülmektedir. Elektron verici fonksiyonel gruplardaki elektron verici UV₂₅₄ değeri düşük HA konsantrasyonlara göre daha yüksektir ve bu nedenle reaktivite eğilimleri ve aktiviteleri de daha yüksektir (Miao ve ark., 2008). DOM'un hidrofobik fraksiyonu olan hümik asit konsantrasyonunun artması ile THM konsantrasyonlarında artış olsa da oksidasyon ara ürünlerinde bu artış gözlenmez.

3.4. Başlangıç pH'sının Katalitik Ozonlamaya Etkisi

Çözeltinin başlangıç pH değeri OH konsantrasyonunu doğrudan etkilemese de asit ayrışma sabitini (pKa) ve katalizör yüzeyini etkilemektedir (Pirgaloğlu Özbelge, 2009). Başlangıç pH değeri, ozonun bozunması ve dolayısıyla katalitik ozonlama süreci üzerinde olağanüstü bir etkiye sahiptir. Katalitik ozonlama prosesinde başlangıç pH değerinin THMOP parametresi üzerindeki etkisi Şekil 4'de incelenmiştir.



Şekil 4 Başlangıç pH'sına bağlı olarak THMOP azalımı ($[DKP]=0.050$ g/L, $[O_3]=10$ mg/L, $[HA]=10$ mg/L, $n=600$ rpm), $[THMOP_0]_{3}=152,580$, $[THMOP_0]_{7}=111,636$, $[THMOP_0]_{10}=151,844$

Şekil 4'te görüldüğü gibi, başlangıç pH değerinin artmasıyla birlikte THMOP'de azalmaktadır. Katalitik ozonlama ile THMOP azaltma verimliliği pH 3'te %35'ten pH 10'da %86'ya kadar artmıştır. Çözeltinin pH değerine bağlı olarak oluşan DYÜ türleri ve konsantrasyonları değişiklik göstermektedir. Genellikle düşük pH değerlerinde oksidasyon ara ürünü olarak bilinen HAA'ların, yüksek pH değerlerinde ise THM'lerin oluşumu artmaktadır (Hong ve ark., 2013). Bunun sebebi düşük pH değerlerinde zincirleme katalitik ozonlama reaksiyonlarının tamamlanmaması dolayısıyla organik maddenin son ürüne

okside edilememesi ve istenmeyen ara ürünlerin oluşmasıdır. Şekil 4'te gösterildiği gibi, bazik pH değerlerinde yüksek THMOP azaltma verimi gözlemlenmiştir. Katalitik ozonlama proseslerinde, çözeltinin pH değeri katalizörün pH_{PZC} değerine yaklaştığında OH aktivitesinde dikkate değer bir artış gözlenmektedir.

Düşük pH değerlerinde HA, zayıf asidik fonksiyonel gruplar içermektedir ve bu gruplar (karboksil ve fenolik) iyonize olmayan boşlukları nedeniyle daha fazla adsorptiftir (Daifullah ve ark., 2004; Zouboulis ve ark., 2003). Düşük pH değerlerinde HA, karboksilik ve fenolik grupların varlığından dolayı negatif olarak yüklenmekte iken ICP katalizörünün yüzeyi ise pozitif olarak yüklenmektedir. Katalizör yüzeyine H^+ iyonlarının tutunmasından dolayı katalizörün yüzey asitliği artmaktadır. Katalizör yüzeyinde negatif yüklü olan HA ile pozitif yüklü zayıf asitler arasında iyon eşleşmesi meydana gelmektedir. pH değeri yükseldikçe iyon eşleşmesi devam etmektedir. Katalitik ozonlama proseslerinde katalizör yüzeyinde kirleticinin adsorpsiyonunun yanı sıra ve hatta daha önemli olarak ozonun bozunması daha önemlidir. Düşük pH değerlerinde bu nedenle ozon bozunumu ve buna bağlı olarak radikal oluşumu azalmaktadır.

HA üzerindeki fonksiyonel gruplar yüksek pH değerlerinde bozuldukça HA bozulmasında azalma gözlenmektedir. Çözeltinin pH'ı katalizörün pH_{PZC} değerinin üzerinde olduğunda, tüm katalizör yüzeyinin yükü negatif olmakta ve katyon değişim reaksiyonları meydana gelmektedir. pH_{PZC} değerinin altında ise katalizör yüzeyi pozitif yüklenmekte ve anyonik değişim reaksiyonları gerçekleşmektedir. Çözeltinin pH değeri pH_{PZC} 'ye eşit olduğunda DKP katalizörü ile HA arasında elektrostatik etkileşim meydana gelmektedir. Bu çalışmada kullanılan DKP katalizörünün pH_{PZC} değeri 7,13'tür ve bu değer üzerinde HA adsorpsiyonu, HA ile katalizör yüzeyi arasındaki elektrostatik iterasyonun artması nedeniyle zorlaşmaktadır (Yang ve ark., 2020). Bu nedenle, katalitik ozonlama reaksiyonların çözelti katalizör arayüzeyinde gerçekleştiği düşünülmektedir. Tablo 6'da başlangıç pH değişimine bağlı olarak DOM konsantrasyonlarındaki ve fraksiyonlarındaki değişim gösterilmiştir.

Tablo 6 Başlangıç pH'ına bağlı olarak ÇOK, UV_{220} , UV_{254} ve UV_{272} değişimi ($[DKP]=0.050$ g/L, $[O_3]=10$ mg/L, $[HA]=10$ mg/L, $n=600$ rpm).

pH	ÇOK, %	ΔUV_{220} , %	$-\Delta UV_{254}$, %	$-\Delta UV_{272}$, %
3	60	4,50	8,73	3,30
7	76	32,48	21,32	3,49
10	99	60,72	61,12	62,61

Başlangıç pH'sı, dezenfeksiyon amacıyla yapılan klorlama sonrası ara ürün oluşumunu belirleyen önemli bir faktördür. Stabilize olmayan ara ürünlerin oluşumu bazik pH'larda azalır (Alver ve ark., 2020). Artan pH ile oksidasyon ara ürünü oluşumunun azalması esas olarak organik madde halojenlerinin, hidrofobik fraksiyonlarla reaksiyonlarında etkili olmalarından kaynaklanmaktadır (Qi ve ark., 2018). Organik maddelerin hidrofilik fraksiyonları ile halojenlerle reaksiyonu, pH artışından etkilenmemektedir. Asidik ortamlarda ise bunun tersi geçerlidir.

4. Sonuç

Katalitik ozonlama deneyleri sırasında yüksek molekül ağırlıklı HA'ların alifatik ve aromatik yapısındaki değişimi

katalizör yüzeyinde düşük molekül ağırlıklı organik bileşiklere dönüştüğünün bir göstergesi olarak düşünülebilir. Bu sebeple pH 3-9 aralığında 0,025-0,100 g/L DKP katalizörlüğünde 6-12 mg/L ozon dozuyla 2,5-20 mg/L HA'nın 15 dk boyunca parçalanması neticesinde organik maddenin bir kısmının son ürüne okside olduğu kalan kısmında klorla reaksiyonu sonucunda THMOP'nin %15-86 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Terminal dezenfektan olarak kullanılan klor ile katalitik ozonlama sonrası oluşan düşük molekül ağırlıklı NOM'lar arasındaki reaksiyonlar sonucunda farklı oksidasyon ara ürünlerinin de oluştuğu düşünülmektedir. Bu çalışmada, DKP katalizörlüğünde ozonlama prosesleri ile HA içeren model çözeltilerin organik yapısındaki değişimler ve THMOP kapsamlı bir şekilde araştırılarak önemli kazanımlar elde edilmiştir. Çalışma sonuçları, ozonun DYÜ öncüllerinin uzaklaştırılmasındaki rolünün daha iyi anlaşılmasına katkı yapacaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından 2015-050 nolu 68003-Doktora Projesi olarak desteklenmiştir.

Kaynakça

- Alver, A., Baştürk, E., Kılıç, A. (2020). Development of adaptive neuro-fuzzy inference system model for predict trihalomethane formation potential in distribution network simulation test. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- Alver, A., Karaarslan, M., Kılıç, A. (2016). The catalytic activity of the iron-coated pumice particles used as heterogeneous catalysts in the oxidation of natural organic matter by H_2O_2 . *Environmental technology*, 37(16), 2040-2047.
- Bakanlığı, T. C. S. (2012). *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik*. (TSE-266). Ankara: T.C. Cumhurbaşkanlığı
- Brezinski, K., Gorczyca, B. (2019). An overview of the uses of high performance size exclusion chromatography (HPSEC) in the characterization of natural organic matter (NOM) in potable water, and ion-exchange applications. *Chemosphere*, 217, 122-139.
- Chi-Wang, L., Korshin, G. V., Benjamin, M. M. (1998). Monitoring DBP formation with differential UV spectroscopy. *American Water Works Association. Journal*, 90(8), 88.
- Daifullah, A., Girgis, B., Gad, H. (2004). A study of the factors affecting the removal of humic acid by activated carbon prepared from biomass material. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 235(1), 1-10.
- Davies, J.-M., Mazumder, A. (2003). Health and environmental policy issues in Canada: the role of watershed management in sustaining clean drinking water quality at surface sources. *Journal of Environmental Management*, 68(3), 273-286.
- Gümüş, D., Akbal, F. (2017). Catalytic Ozonation for The Removal of Humic Acid in Water with Iron Coated Zeolite (ICZ). *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 424-430.

- Hayward, K. (1998). Drinking water contaminant hit-list for US EPA. *Water*, 21(4).
- Hong, H., Xiong, Y., Ruan, M., Liao, F., Lin, H., Liang, Y. (2013). Factors affecting THMs, HAAs and HNMs formation of Jin Lan Reservoir water exposed to chlorine and monochloramine. *Science of the Total Environment*, 444, 196-204.
- Hong, S., Elimelech, M. (1997). Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes. *Journal of membrane science*, 132(2), 159-181.
- International, A. (2004). *Annual book of ASTM standards*. ASTM International.
- Kim, H.-C., Yu, M.-J., Han, I. (2006). Multi-method study of the characteristic chemical nature of aquatic humic substances isolated from the Han River, Korea. *Applied geochemistry*, 21(7), 1226-1239.
- 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.
- Lai, C., Chen, C.-Y. (2001). Removal of metal ions and humic acid from water by iron-coated filter media. *Chemosphere*, 44(5), 1177-1184.
- Lai, C., Lo, S., Chiang, H. (2000). Adsorption/desorption properties of copper ions on the surface of iron-coated sand using BET and EDAX analyses. *Chemosphere*, 41(8), 1249-1255.
- Li, C., Wang, D., Li, N., Luo, Q., Xu, X., Wang, Z. (2016). Identifying unknown by-products in drinking water using comprehensive two-dimensional gas chromatography–quadrupole mass spectrometry and in silico toxicity assessment. *Chemosphere*, 163, 535-543.
- Li, C., Wang, D., Xu, X., Wang, Z. (2017). Formation of known and unknown disinfection by-products from natural organic matter fractions during chlorination, chloramination, and ozonation. *Science of the Total Environment*, 587, 177-184.
- Maurice, P. A., Pullin, M. J., Cabaniss, S. E., Zhou, Q., Namjesnik-Dejanovic, K., Aiken, G. R. (2002). A comparison of surface water natural organic matter in raw filtered water samples, XAD, and reverse osmosis isolates. *Water Research*, 36(9), 2357-2371.
- Miao, H., Tao, W., Cui, F., Xu, Z., Ao, Z. (2008). Kinetic study of humic acid ozonation in aqueous media. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 36(10-11), 893-899.
- Pirgalioglu, S., Özbelge, T. A. (2009). Comparison of non-catalytic and catalytic ozonation processes of three different aqueous single dye solutions with respect to powder copper sulfide catalyst. *Applied Catalysis A: General*, 363(1), 157-163.
- Qi, W., Zhang, H., Hu, C., Liu, H., Qu, J. (2018). Effect of ozonation on the characteristics of effluent organic matter fractions and subsequent associations with disinfection by-products formation. *Science of the Total Environment*, 610, 1057-1064.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., Clesceri, L. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association, Washington, DC*.
- Sadrnourmohammadi, M., Brezinski, K., Gorczyca, B. (2020). Ozonation of natural organic matter and aquatic humic substances: the effects of ozone on the structural characteristics and subsequent trihalomethane formation potential. *Water Quality Research Journal*, 55(2), 155-166.
- Świetlik, J., Dąbrowska, A., Raczyk-Stanisławiak, U., Nawrocki, J. (2004). Reactivity of natural organic matter fractions with chlorine dioxide and ozone. *Water Research*, 38(3), 547-558.
- Westerhoff, P., Aiken, G., Amy, G., Debroux, J. (1999). Relationships between the structure of natural organic matter and its reactivity towards molecular ozone and hydroxyl radicals. *Water Research*, 33(10), 2265-2276.
- Westerhoff, P., Debroux, J., Aiken, G., Amy, G. (1999). Ozone-induced changes in natural organic matter (nom) structure. *Ozone: science & engineering*, 21(6), 551-570.
- Yang, H., Wu, X., Su, L., Ma, Y., Graham, N. J., Yu, W. (2020). The Fe–N–C oxidase-like nanozyme used for catalytic oxidation of NOM in surface water. *Water research*, 171, 115491.
- Yuan, L., Shen, J., Chen, Z., Liu, Y. (2012). Pumice-catalyzed ozonation degradation of p-chloronitrobenzene in aqueous solution. *Applied Catalysis B: Environmental*, 117, 414-419.
- Zouboulis, A. I., Jun, W., Katsoyiannis, I. A. (2003). Removal of humic acids by flotation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 231(1), 181-193.



Histopatolojik Görüntülerde Kanser Tespit ve Lokasyon Yöntemleri

Zehra Bozdağ Karakeçi^{1*}, Muhammed Fatih Talu²

^{1*} İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1119-5275), zbozdag@harran.edu.tr

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID : 0000-0003-1166-8404), fatihtalu@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 1 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 9 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.888836)

ATIF/REFERENCE: Bozdağ, Z, Talu, M.F, (2021). Histopatolojik Görüntülerde Kanser Tespit ve Lokasyon Yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 608-616.

Öz

Meme lenf düğümlerinin histopatolojik görüntülerinde tümör tespiti meme kanseri teşhisinde en önemli bulgulardan bir tanesidir. Histopatolojik görüntüler, patologlar tarafından dikkatli bir şekilde incelenerek tümör tespiti yapılır. Bu işlem hem iş yükü yoğunluğuna hem de sübjektif bir değerlendirmeye neden olmaktadır. Histopatolojik görüntülerde tümörün otomatik tespiti için International Symposium on Biomedical Image (ISBI) tarafından CAMELYON16 veri seti kullanılmıştır. Tüm slayt görüntülerinin (TSG) farklı seviye çözünürlüklerinde oluşturulan veri setleri Faster RCNN kullanarak analiz edilmiştir. TSG'nün 3. çözünürlük seviyesinden oluşturulan farklı görüntü boyutuna sahip veri setleri ise Mask RCNN kullanılarak analiz edilmiştir. Son olarak ISBI'da dereceye giren HMS&MIT yöntemi kısıtlı bir veri seti üzerinde uygulanmış ve histopatolojik görüntü veri setlerindeki performansı Faster RCNN ve Mask RCNN algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Mask RCNN (%57 AUC) düşük çözünürlüklü seviyeli görüntülerle (3. seviye) eğitilmiş olmasına rağmen, HMS ve MIT (%58 AUC) (yüksek çözünürlüklü seviyeli görüntüler kullanılarak, 0. seviye) yöntemine yakın bir doğruluk değerine sahiptir. Ayrıca bir TSG analizi için, sonuç mümkün olan en kısa sürede (0,58 saat) Faster RCNN ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü Bölütleme, Derin Öğrenme, Faster RCNN, Medikal Görüntü İşleme, Mask RCNN, Nesne Tespiti, Tümör Tespiti.

Cancer Detection and Location Methods in Histopathological Images

Abstract

Tumor detection in the histopathological images of breast lymph nodes is one of the most important findings in the diagnosis of breast cancer. Histopathological images are carefully examined by pathologists and tumor detection is performed. This process causes both workload density and a subjective assessment. The CAMELYON16 dataset has been used by the International Symposium on Biomedical Image (ISBI) for automatic detection of the tumor on histopathological images. Data sets created at different level resolutions of whole slide images (WSI) have been analyzed using Faster RCNN. The data sets with different image sizes created from 3rd resolution levels of WSI have been analyzed using Mask RCNN. Finally, the HMS & MIT method, which ranked in ISBI, has been applied on a limited data set, and its performance on the histopathological image data sets has been compared with the Faster RCNN and Mask RCNN algorithms. Although Mask RCNN (57% AUC) has been trained with low-resolution level images (3rd levels) has an accuracy value close to the HMS & MIT (58% AUC) (using high-resolution level images, 0th level) method. Also, for a WSI analysis, the result has been obtained with Faster RCNN as soon as possible (0.58 hours)

Keywords: Semantic Segmentation, Deep Learning, Faster RCNN, Medical Image Processing, Mask RCNN, Object Detection, Tumor Detection.

* Sorumlu Yazar: zbozdag@harran.edu.tr

1. Giriş

Meme kanseri tüm dünyada kadınlarda en sık görülen kanser türüdür. 2012 yılındaki verilere göre yeni kanser teşhislerinin %12'si meme kanseridir. Meme kanseri teşhisinin %25 kadın bireylerdir. Dünya geneline bakıldığında 4 kadından birine meme kanseri teşhisi konulmaktadır (American Cancer Society, 2019).

Meme kanseri ileri seviye de lenf düğümlerinde tümör oluşturmaktadır. Lenf düğümlerinde tümör oluşması hastalığın seyrini etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesidir. Bu nedenle lenf düğümleri hastadan biyopsi ile alınır ve özel işlemlerden geçirildikten sonra ışıklı mikroskop aracılığıyla incelenir. Böylece hastalığın kesin teşhisi konulur.

Biyopsi ile alınan dokuların analizi yapılır. Doku analizinde, genel doku boyası olarak hematoksilin-eozin boyası (H&E) kullanılmaktadır. Dokunun histolojik yapısı epitel, lümen, yağ ve stroma yapılarından oluşur. Bu yapıların rengi, boyutu, şekli dokunun sağlığı hakkında birçok bilgi içermektedir. Biyopsi ile elde edilen doku, birtakım işlemlerden geçirilerek incelenmektedir. Bu işlemlerden bir tanesi dokunun boyanmasıdır. H&E boyama geniş kullanımı olan, ucuz doku boyama tekniğidir. Hematoksilin dokudaki çekirdekleri koyu mavimsi ve epitel dokuyu ise açık mor rengine dönüştürmektedir. Eozin ise stromayı pembe rengine dönüştürmektedir. Bu iki boyanın beraber kullanılmasıyla doku yapıları arasındaki kontrast artmakta ve mikroskop ile incelenmesi kolaylaşmaktadır.

Histopatolojik görüntüsü içerisinde kanserli dokuları tespit edilmesi ve lokalizasyonun yapılması hedeflenmektedir. Son birkaç yıldır bilgisayar destekli tespit ve lokalizasyon üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Histopatolojik doku görüntülerinin bilgisayar destekli analizlerinde genellikle iki tip yaklaşım kullanılmaktadır. Birinci yaklaşım yapısal özelliklerin çıkartılması örneğin nükleitlerin veya glandular şekilleri gibi belirgin dokuların bölütlenmesine dayalı çalışmalar (Verma ve ark., 2017, Celik ve ark., 2020; Ishikawa ve ark., 2019). Bir diğer yöntem ise doku gösteriminden (texture representation) yararlanılarak yapılan global yaklaşımlardır. Doku bölütlemenin kolay bir işlem olmadığı ve hatalara olan yatkınlığından dolayı çoğu araştırmada, güncel doku analiz yöntemleri kullanarak sınıflandırma yapılmaktadır. Güncel doku analizinde iki farklı yol izlenmektedir. İzlenen yollardan bir tanesi görüntülerin doku, renk özellikleri elde etmek ve bu özellikleri makine öğrenme sınıflandırıcılar yardımıyla analiz etmektir. Diğer bir yol ise makine öğrenme yöntemlerinden biri olan ve son zamanlarda yaygın olarak kullanılan derin öğrenme yöntemidir.

Doku özelliklerinin elde edilmesi ve incelenmesinde; süperpiksel, istatistiksel ve temelse özellikleri, Wavelet doku özellikleri, renk-doku özellikleri, Gri Seviye Eş-Oluşum Matrisi (Grey-level Co-occurrence Matrix, GLCM), yerel ikili örüntü (Local Binary Pattern, LBP) gibi klasik özellikler kullanılmaktadır. Elde edilen özellikler Destek Vektör Makineleri (DKM), Rassal Orman (Random Forest) sınıflandırıcı veya yapay sinir ağları (YSA) kullanılmaktadır (Bejnordi ve ark., 2015; Bejnordi ve ark., 2016; Reis ve ark., 2017; Riaz ve ark., 2016; Samah ve ark., 2017; Wan ve ark., 2017).

Son zamanlarda görüntü ile ilgili alanlarda yapılan çalışmalarda, evrişimli sinir ağları (Convolutional Neural Network, CNN) derin öğrenme algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu algoritmalar tıbbi görüntülerde de iyi sonuçlar vermektedir. Histopatolojik görüntü analizinde özellikle tümör tespit ve lokasyonunda yapılan birçok çalışma mevcuttur. VGGNet, DenseNet, ScanNET, ResNet ve Slim Inception gibi güncel derin öğrenme algoritmalar kullanılmaktadır (Guo ve ark., 2019; Gupta, ve Bhavsar, 2018; Song ve ark., 2017; Wang ve ark., 2018; Wei ve ark., 2019).

Tüm slayt görüntülerinde (TSG) oluşan CAMELYON16 veri seti kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ye ve ark. Se-DenseNet kullanarak görüntünün çözünürlüğü ve tümörlü olup olmadığını tespit etmiştir (Ye ve ark., 2019). Bir diğer çalışmada histopatolojik görüntü bölütlemesi için zayıf denetimli öğrenme sistemi geliştirmiştir ve kullanılmıştır (Xu ve ark., 2019).

Bu çalışmanın amacı güncel nesne tespit ve bölütleme algoritmaları (Faster RCNN, Mask RCNN) kullanarak histopatolojik görüntü analiz sonuç başarılarını incelemektir. CAMELYON16 veri setinden farklı boyut ve çözünürlüklerde histopatolojik görüntüler kullanılarak veri setleri oluşturulmuştur. Veri setleri kullanılarak analizler yapılmış ve algoritmaların performansları değerlendirilmiştir. Son olarak, ISBI dereceye giren HMS&MIT yöntemi kısıtlı veri seti üzerinde uygulanarak Faster RCNN ve Mask RCNN elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda yöntemler birbirlerine yakın seviyelerde doğruluk (Area Under Curve, AUC) vermelerine rağmen Faster RCNN ve Mask RCNN, HMS&MIT yönteminden hızlı sonuç vermektedir.

Bu çalışmanın sonraki kısımları için Bölüm 2'de kullanılan materyal ve metotlar hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Bölüm 3'te araştırma sonuçları ve tartışma sunulmuştur. Bölüm 4'te deneysel sonuçlar hakkında bilgi verilmiştir ve Bölüm 5'te genel sonuçlar verilmiştir.

2. Materyal ve Metotlar

2.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti, 2016 yılında CAMELYON16 adlı yarışmadan elde edilmiştir. Amerika da bulunan Radboud University Medical Center (RUMC) ve University Medical Center Utrecht'den (UMCU) 400 tane TSG toplanmıştır. İki merkezden toplanan görüntüler iki farklı slayt tarayıcıdan elde edilmiştir. Tüm slayt tarayıcıları 40x objektif büyüme olanağına sahiptirler. Görüntüler ortalama 1 Gigabayt büyüklüğünde, 200000x100000 boyutlarında ve farklı çözünürlük seviyelerine sahip TIFF dosya formatındadırlar.

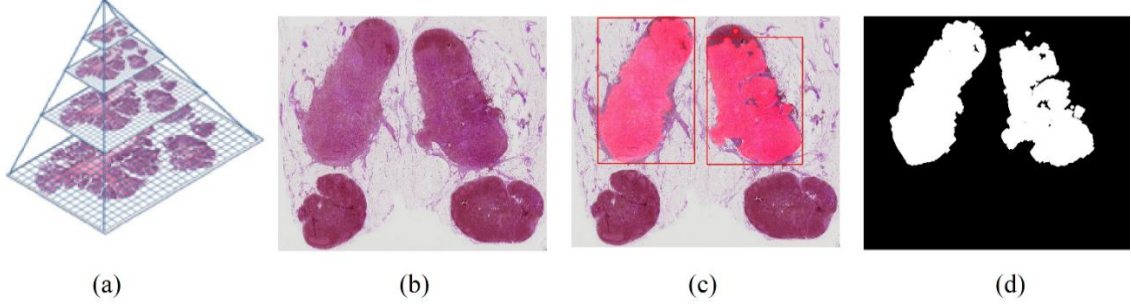
Yarışmanın amacı, meme kanserli hastadan alınan lenf düğümlerinin histopatolojik TSG'lerinde tümör oluşumunun otomatik tespiti ve sınıflandırılmasıdır. Bütün görüntülerdeki tümörlü alanlar uzman patologların gözetiminde belirlenmiştir. Yarışma organizasyonu, tümörlü slaytlardaki tümörün konum bilgilerini içeren XML dosyaları vermiştir. Verilen dosyalar kullanılarak TSG özelliğine sahip maskeler oluşturulmaktadır. Şekil 1 (a)'de TSG örneği verilmektedir (Spanhol ve ark., 2016). Şekilde görüldüğü gibi piramit seviyelidir, her bir seviye bir önceki seviyenin 2 katı çözünürlüğe sahiptir. Genel olarak 8 seviyeli ve 0 – 7. seviye olarak adlandırılmaktadırlar. 0. seviye en alt ve en yüksek çözünürlüğe sahiptir. 7. seviye ise en üst ve en düşük çözünürlüğü sahiptir. Şekil 1'de (b), (c) ve (d)'de

sırasıyla bir TSG, belirlenen tümörlü alanlar ve TSG'nün maskesi verilmektedir. Yarışma katılımcılara TSG ve tümörlü

bölgelerin konumlarını bulundurulmuş XML dosyalarını vermektedir. Tablo 1'de veri seti boyutu verilmiştir.

Tablo 1. CAMELYON16 veri seti

	Normal	Tümör	Toplam
Eğitim	160	111	271
Test	80	49	129
Toplam	240	160	400



Şekil 1. (a) TSG yapısı, (b) TSG örneği, (c) tümörlü alanlar ve (d) maske görüntüsü

2.2. Değerlendirme Ölçütleri

ISBI tarafından verilen CAMELYON16 için iki iş tanımı yapılmıştır. Birinci iş tanımı, TSG'sünün tümör içerip içermediğine göre sınıflandırılması (slayt tabanlı değerlendirme), ikinci iş tanımı ise her bir TSG'de bağımsız tümör bölgelerinin tespitinin yapılmasıdır (lezyon tabanlı değerlendirme).

2.2.1. Slayt Tabanlı Değerlendirme

Verilen TSG'nün içinde tümörlü bölge olup olmadığını tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, her bir TSG için tümör içerme olasılığı hesaplanacaktır. Değerlendirme için, Bir Alıcı İşlem Karakteristiği (Receiver Operating Characteristic, ROC) eğrisi altında kalan alan ölçüt olarak kabul edilmektedir. Denklem (1), (2) ve (3)'te ROC eğrisinin çizilebilmesi için gerekli denklemler verilmiştir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{\text{Gerçek Pozitif (TP)}}{\text{Gerçek Pozitif (TP)} + \text{Yanlış Negatif (FN)}} \quad (1)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{\text{Gerçek Negatif (TN)}}{\text{Gerçek Negatif (TN)} + \text{Yanlış Pozitif (FP)}} \quad (2)$$

$$\text{Yanlış Pozitif Oranı} = 1 - \text{özüllük} \quad (3)$$

TP uygulama sonucu pozitif çıkan gerçek pozitif sayısı; FP uygulama sonucu pozitif çıkan yanlış pozitif sayısı; FN uygulama sonucu negatif çıkan gerçek pozitif sayısı ve TN, uygulama sonucu negatif gerçekte de negatif sayısını belirtmektedirler.

ROC olasılık eğrisidir, bir yöntemin tanı koyma başarısını belirlemek için kullanılır. Bir ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde gerçek pozitif oranı yani Duyarlılık ile yatay eksen üzerinde Yanlış Pozitif Oranı (1-özüllük) yer almaktadır. Eğrinin altında kalan alan algoritmaların performanslarını değerlendirmek için ölçüt olarak kullanılır (AUC) (Bejnordi ve ark., 2017). AUC değeri yöntemin sınıfları birbirinde ayırt edebilme kabiliyetini temsil eder. Yüksek AUC

değeri sahip bir model, sınıflandırmayı başarılı bir şekilde yapıyor demektir (Fan ve ark., 2006).

2.2.2. Lezyon Tabanlı Değerlendirme

TSG içinde birden fazla sayıda tümörlü bölge bulunması durumunda bunların tespit ve lokalizasyonunun yapılması gerekmektedir. Algoritmaların tespit/lokalizasyon performans değerlendirmesi Serbest Alıcı Çalışma Karakteristiği (Free-Receiver Operating Characteristic, FROC) eğrisi kullanılarak yapılmaktadır. FROC, ROC analizine benzerdir, yalnız x eksenini yanlış pozitif oranının yerine slayt başına ortalama yanlış pozitif sayısı kullanılmaktadır. Bu değerlendirmede, tespit edilen bölgenin konumu verilen gerçek tümörlü bölge içinde ise, gerçek pozitif olarak kabul edilir.

Şayet;

- Tek bir gerçek tümörlü bölge için birden fazla konum tespit edilmişse, bunlar tek bir gerçek pozitif olarak kabul edilmektedir.
- Gerçek tümörlü bölge dışındaki tespitler yanlış pozitif olarak kabul edilmektedir.

FROC eğrisi oluşturulduktan sonra yarışma tarafından belirlenen 6 yanlış pozitif oranlarına karşılık gelen Duyarlılık değerlerinin ortalaması algoritmaların başarısını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Görüntü başına düşen yanlış pozitif oranı 1/4, 1/2, 1, 2, 4 ve 8) (Bejnordi ve ark., 2017). ISBI, FROC ve AUC ölçütlerinin hesaplanması için gerekli kodları Python ve Matlab dillerinde katılımcılara sunmaktadır.

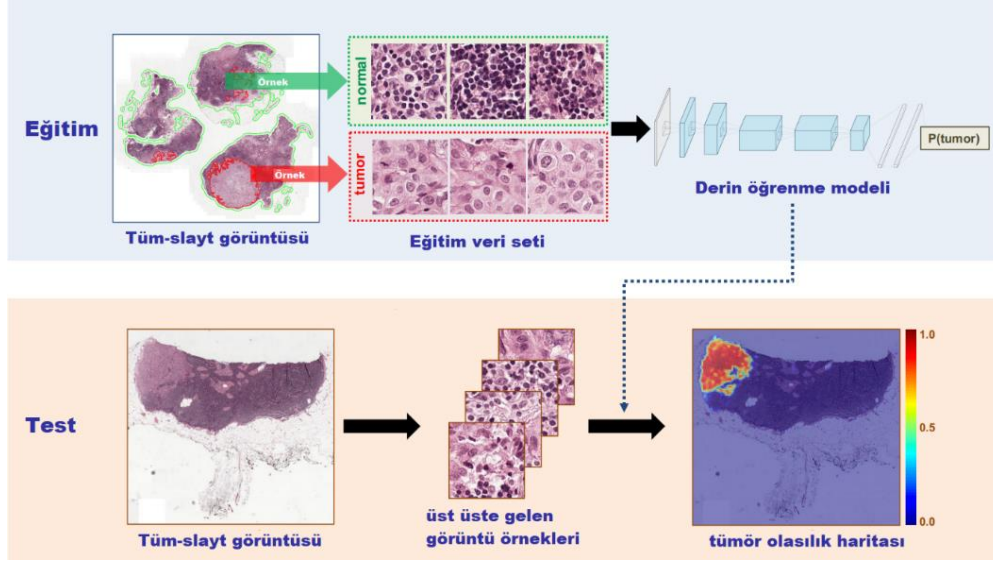
2.3. HMS&MIT Yöntemi

Tümörlü ve normal TSG'lerin 0. seviyesinde rastgele 256x256 boyutlarında normal ve tümörlü doku parçaları toplanmıştır. Uygulama aşamasında 3,2 milyon dokudan oluşan veri seti hazırlanmıştır. Aynı zamanda görüntü verilerine veri çoğaltma teknikleri (rotasyon, rastgele çevirme, rastgele kırma ve RGB'nin her bir renk kanalına rastgele ofsetlerin eklenmesi) uygulanmıştır. Orijinal çalışmada boyama normalizasyonu tekniği uygulanmıştır, hazırlanan veri setine boya normalizasyon

tekniki uygulanmamıştır (Bejnordi ve ark., 2016). HMS&MIT ekibi çalışmalarında, 22 katmanlı derin öğrenme mimarisi olan GoogleNET kullanılmıştır (Wang ve ark., 2016).

HMS&MIT, slayt tabanlı değerlendirme için, ağı (GoogleNET) çıkışlarından oluşturulan olasılık haritasının belli özellikleri kullanılmıştır. Olasılık haritası, TSG'nin 0. seviyede alınan 256x256 görüntü sonuçları (tümörlü veya normal olma olasılığı) birleştirilerek, 7. seviyeye denk bir harita

oluşturulmaktadır. Olasılık haritasının, bağlı bölgelerin alanları, eksantrikliği, uzatı (bölge alanının toplam sınırlayıcı kutu alanına oranı), sınırlayıcı kutu alanı, ana eksen uzunluğu, bölgenin maksimum, ortalama ve minimum olasılık değerleri, sınırlama kutusunun en-boy oranı, dayanıklılık (bölge dış çevresinin dışbükey alana oranı) özellikleri toplanmaktadır. Rassal Orman sınıflandırıcısı kullanılarak slayt tabanlı sınıflandırma yapılmıştır. Şekil 2'de HMS&MIT geliştirdiği tümör tespit taslağı verilmiştir (Wang ve ark., 2016).



Şekil 2. HMS&MIT yöntem taslağı

2.4. Faster RCNN

Faster RCNN nesne tespit algoritmasıdır. Bu algoritmanın temeli Bölgesel Evrişim Sinir Ağı (Region Convolutional Neural Network, Region CNN) ve Hızlı Bölgesel Evrişim Sinir Ağı (Fast Region Convolutional Neural Network, Fast CNN) mimarilerine dayanmaktadır.

Region CNN, 2014 yılında Girshick ve ark. tarafından geliştirilmiş bir nesne tespit algoritmasıdır (Girshick ve ark., 2016). Görüntü içindeki aday bölgeler (içerisinde nesne bulundurma ihtimali olan bölgeler) Seçici Arama (Selective Search) yöntemi ile elde edilmektedir. VGG-NET veya ResNet gibi derin Evrişim Sinir Ağları (Convolutional Neural Network, CNN) kullanılarak bu aday bölgelerden özellik vektörleri oluşturulmuştur. Son adım da sınıflandırma işlemi için DVM kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır.

Fast RCNN, Region-CNN daha hızlı bir yöntem uygulamaktadır. Aday bölgeler CNN'e giriş verisi olarak verilmesi yerine bütün görüntü ilk olarak CNN verilmektedir. Aday bölgelerin tespiti için CNN çıkışında elde edilen özellik haritalarına SS uygulanmaktadır. Bu çıkışlar ortaklama katmanı (pooling layer) sayesinde önceden belirtilmiş bir çıkış boyutuna indirgenmektedir. Son olarak tamamen bağlantılı evrişim sinir ağına (Fully Connected Convolutional Neural Network, FCNN) giriş verisi olarak verilmektedir. Fast RCNN, aykırı görüntülere daha az hassas olan yeni bir kayıp fonksiyonu kullanılmaktadır (Smooth L1 Loss) (Girshick, 2015).

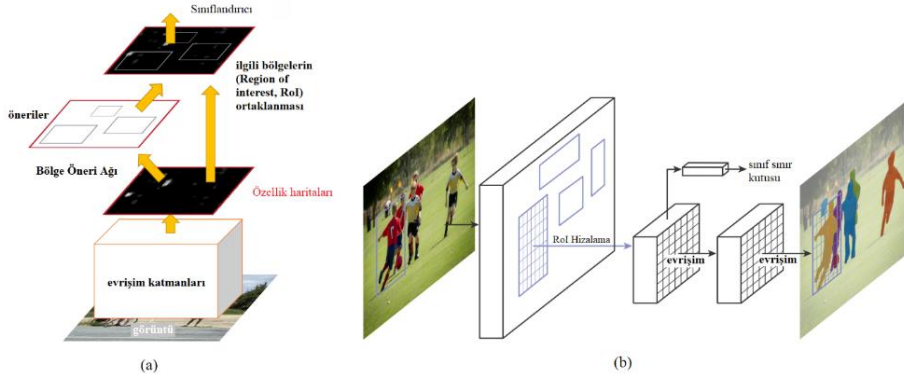
Faster RCNN, Ren ve ark. nesne tespitinin önceki mimarilerden daha hızlı ve başarılı bir teknik geliştirilmiştir. Görüntünün özelliklerinin elde edilmesi için daha önceden eğitilmiş derin bir CNN (ResNet-50, ResNet-110 gibi)

seçilmiştir. CNN'nin sonuna doğru tamamen bağlantılı katmanlarını çıkartmış, başlangıç katmanları kullanılmıştır. CNN'lerin başlangıç katmanları görüntünün ayırt edici (yüksek seviyeli) özellikleri olan kenar ve renk bilgilerinin öğrenirler. Kafa olarak tanımlanan başlangıç katmanlarının çıkış haritası Bölge Öneri Ağı (Region Proposal Network, RPN) adı verilen bir yapay sinir ağına giriş olarak verilmektedir. RPN, harita içerisinde nesne olma ihtimali olan bölgeleri elde edilmektedir. Böylece hem işlem maliyeti düşürülmekte hem de algoritmanın önceki çalışmalardan daha hızlı çalışması sağlanmaktadır. RPN çıkışında aday bölgeler içindeki nesnenin sınıflandırılması ve sınır kutusunun elde edilmesi için sınıflandırıcı katmanlar kullanılmaktadır. Ağı eğitilmesi için dört tane kayıp fonksiyonu kullanılmaktadır. İlk iki fonksiyon RPN'deki aday sınır kutuları ve bu aday sınır kutularında nesne olup olmadığı için kullanılan kayıp fonksiyonlarıdır. Diğer iki fonksiyon ise sınıflandırıcı katmandaki nesne sınıflandırma ve sınır kutuları için oluşturulan kayıp fonksiyonlarıdır (Ren ve ark., 2015).

2.5. Mask RCNN

Mask RCNN, nesne tespit ve anlamsal bölütleme yapan bir algoritmadır. Bu algoritma, nesne tespiti yapan Faster RCNN algoritmasına bölütleme işleminin eklenmesi ile geliştirilmiştir. Faster RCNN, giriş görüntüsünde tanımlı nesnelerin sınıflarını ve nesneleri çevreleyen çerçevenin (sınır kutusu) konum ve boyut bilgisini vermektedir. Mask RCNN, bunlara ek olarak nesnenin anlamsal maskesinin oluşturulmasını sağlar. Maske oluşturulması için Tamamen Evrişimli Ağ (Fully Convolutional Network, FCN) kullanılmaktadır. Faster RCNN'de kullanılan kayıp fonksiyonlarına, maske için kullanılan kayıp fonksiyonu da eklenmektedir. Şekil 3'de Faster RCNN ve Mask RCNN

algoritmalarının taslak görüntüleri verilmektedir (He ve ark., 2017; Ren ve ark., 2015).



Şekil 3. (a) Faster RCNN, (b) Mask RCNN

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Faster RCNN

CAMELYON16 eğitim veri seti içerisinde 111 tümörlü TSG farklı çözünürlük seviyelerinde (3, 4, ve 5. seviyeler) normal ve tümör dokusu barındıran 256x256 boyutlarında histopatolojik görüntü ve ikili maske görüntüleri hazırlanmıştır. Tablo 2’te farklı çözünürlük seviyelerinde toplanan doku ve maske örnekleri verilmiştir. Toplamda 111 tümörlü TSG’den 3 farklı seviyeye ait sabit boyutlu (256x256) görüntüler hazırlanarak üç veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setlerinin %80 eğitim, %20 ise test için kullanılmıştır. Faster RCNN ayrı ayrı üç veri seti kullanılarak elde edilen test sonuçları değerlendirilmiştir. Aynı zamanda derin öğrenme modellerinde görüntü özelliklerinin elde edilmesinde omurga (backbone) olarak adlandırılan derin öğrenme mimarileri kullanılmaktadır. Faster RCNN mimarisinde Inception_v2 kullanılmıştır (Chollet, 2017).

Nesne tespitinde standart performans ölçütü olan Ortalama Hassasiyet (Mean Average Precision-mAP) kullanılmıştır. mAP, IoU’nun (Intersection over Unit) farklı eşik değerlerine göre hesaplanır.

IoU, tahmin edilen sınıır (B_t) alanı ile gerçek nesne sınıır (B_g) alanının ne kadar örtüştüğünü ölçmek için kullanılan bir ölçüttür. Denklem (4)’te IoU hesaplanması verilmektedir.

$$IoU = \frac{alan(B_t \cap B_g)}{alan(B_t \cup B_g)} \quad (4)$$

Önceden belirlenen IoU eşik değerine göre Duyarlılık (Denklem (1)) ve Kesinlik (Denklem (5)) eğrisi oluşturulur. Ortalama Hassasiyet (Average Precision- AP), duyarlılık ve kesinlik eğrisi altındaki toplam alandır. Duyarlılık ve kesinlik değerleri her zaman 0 ile 1 değerleri arasındadırlar. Denklem (6)’te AP hesaplama formülü verilmektedir. AP her bir sınıf için ayrı ayrı hesaplanır. mAP, her bir sınıfa ait AP’nin toplamının toplam sınıf sayısına bölünmesiyle hesaplanır. r kesinlik, $p(r)$

ise kesinlik değerine karşı gelen duyarlılık değeridir. Denklem (7)’de mAP hesaplanması verilmiştir. N sınıf sayısını temsil etmektedir.

$$Kesinlik = \frac{Gerçek Pozitif (GP)}{Gerçek Pozitif (GP) + Yanlış Pozitif (YP)} \quad (5)$$

$$AP = \int_0^1 p(r) dr \quad (6)$$

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \quad (7)$$

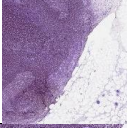
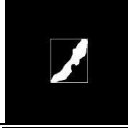
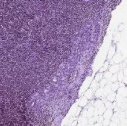
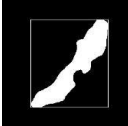
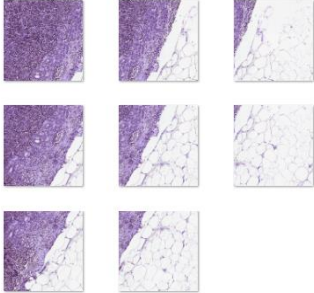
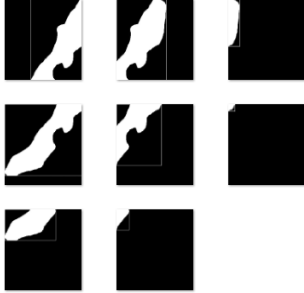
Tablo 3’te farklı çözünürlük seviyeleri (3., 4., ve 5. seviyeler) kullanılarak elde edilen üç veri seti sonuçları verilmektedir. Tablonun dördüncü sütununda mAP değeri verilmektedir. mAP, IoU’nun 0.50 ile 0.95 eşik değer aralığında 0.05 eklenerek elde edilen sonuçların (0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95) ortalamasıdır. Tablo 3’te görüldüğü gibi en yüksek mAP değerleri 3. seviyede elde edilmiştir.

3.2. Mask RCNN

CAMELYON16 eğitim veri setinde 111 tümörlü TSG’nün 3. seviyede tümör ve normal doku içeren farklı boyutlarda (256x256, 512x512 ve 1024x1024) görüntüler toplanmıştır. Tablo 4’te bu görüntülerin farklı boyutlu örneği gösterilmiştir. TSG’lerin 3. seviyesinden farklı boyutlardan oluşturulan üç veri setinin %80 eğitim, %20’si test için kullanılmıştır. Mask RCNN algoritmasının üç farklı boyutlu görüntü setleri için elde edilen test sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. Mask RCNN mimarisinde Inception_v2 omurga mimarisi olarak kullanılmıştır (Chollet, 2017). Tablodaki değerlendirme ölçütü olan mAP Denklem (6)’da verilmiştir.

Tablo 5’te TSG’nin 3. seviyesinde farklı görüntü boyutlarına göre elde edilen mAP sonuçları verilmiştir. En yüksek mAP değeri 256x256 boyutlu görüntü sonuçlarında elde edilmiştir.



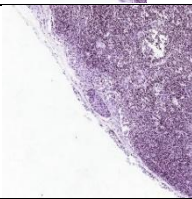
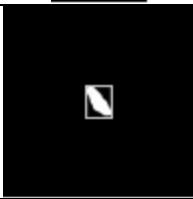
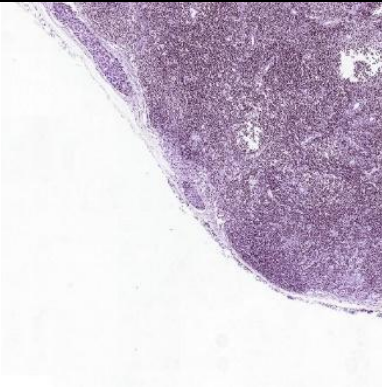
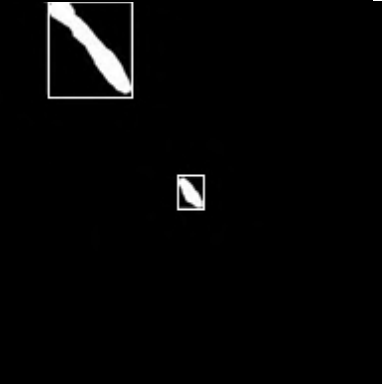
Tablo 2. TSG'nün farklı çözünürlük seviyelerinde elde edilen doku görüntüleri

Çözünürlük Seviyesi	Histopatolojik Görüntü	Maske
5.		
4.		
3.		

Tablo 3. TSG'sünün farklı çözünürlük seviyeleri kullanılarak oluşturulan 3 veri seti sonuçları

Model	Omurga	Çözünürlük Seviyesi	mAP
Faster RCNN	InceptionV2	5	0,028
		4	0,146
		3	0,290

Tablo 4. TSG'nün 3. seviyesinin farklı boyutlarda elde edilen görüntü örnekleri

Çözünürlük Seviyesi	Görüntü Boyutu	Histopatolojik Görüntü	Maske
3.	256x256		
3.	512x512		
3.	1024x1024		

Tablo 5. Görüntü boyutlarına göre değerlendirme sonuçları

Görüntü Boyutu	mAP@0.50 IOU
256x256	0,401
512x512	0,354
1024x1024	0,184

4. Deneysel Sonuçlar

Kullanılan nesne tespit ve bölütleme algoritmalarının sonuçları, HMS&MIT yöntem sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Faster RCNN ve Mask RCNN algoritmaları TSG'lerinin 3. seviye 256x256 boyutlu veri setinde en yüksek başarımları elde etmiştir. Slayt tabanlı ve lezyon tabanlı değerlendirmeler için bu eğitilmiş mimariler kullanılmıştır. TSG'den 256x256 boyutlu pencere gezdirilerek elde edilen görüntüler mimarilere verilerek mimarilerden tümör tahmin çıkışları elde edilmiştir. Tümör tahmin çıkışları birleştirilerek tüm slayttın 3. seviye tümör olasılık haritası elde edilmiştir.

Sonraki aşamada HMS&MIT yönteminin geliştirdiği teknik kullanılarak mimarilerin sonuçları kıyaslanmıştır. Olasılık haritaları TSG'nün 7. seviyesine indirgenmiş ve kıyaslama yapılmıştır. Yöntemin değerlendirme tekniği Bölüm 2.3 detaylı anlatılmıştır.

Kısıtlı olanaklardan dolayı eğitim seti için 15 Tümör ve 15 Normal TSG, test seti için 18 TSG kullanılmıştır. Tablo 6'de slayt tabanlı değerlendirme sonuçları verilmiştir. Slayt tabanlı değerlendirme de Mask RCNN sonucu HMS&MIT sonucuna çok yakın bir değer elde edildiği gözlenmiştir. Tablo 7'de lezyon tabanlı değerlendirme sonuçları verilmiştir. Lezyon tabanlı değerlendirme sonuçları incelendiğinde genel olarak bütün algoritmaların başarısız sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Algoritmaların değerlendirmesinde kullanılan TSG sayısının az olması başarımlarını etkilemektedir.

Bir başka analiz de algoritmaların bir TSG için harcadıkları ortalama yürütme süresi hesaplanmıştır. Tablo 8'de hesaplanma süresi verilmiştir. TSG'nün 0. seviye çalışan HMS&MIT yöntemi bir TSG için en uzun süreyi harcamaktadır.

Tablo 6. Slayt Tabanlı değerlendirme sonuçları

Metotlar	Slayt Tabanlı Değerlendirme-AUC
HMS & MIT	0,589
Faster RCNN-3.seviye 256x256	0,535
Mask RCNN-3.seviye 256x256	0,571

Tablo 7. Lezyon Tabanlı değerlendirme sonuçları

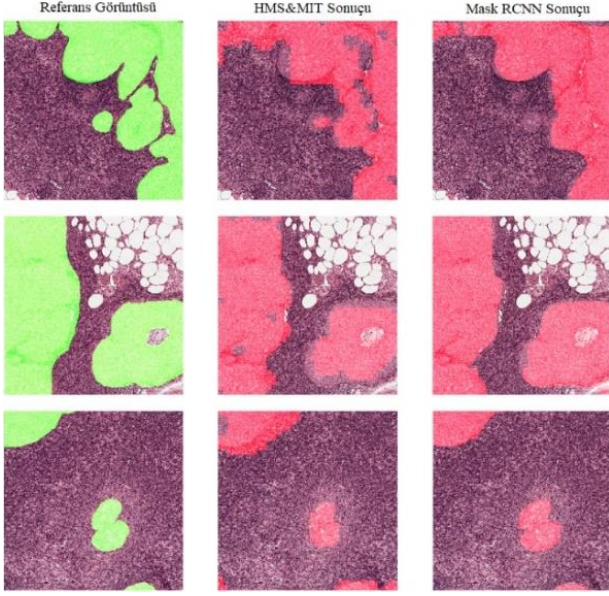
Metotlar	Lezyon Tabanlı Değerlendirme (FROC)
HMS & MIT	0,033
Faster RCNN-3.seviye 256x256	0,042
Mask RCNN-3.seviye 256x256	0,063

Tablo 8. Bir tane TSG maskesi üretmek için harcanan ortalama süre

Metotlar	Süre (Saat)
HMS & MIT	6.39
Faster RCNN-3.seviye 256x256	0.54
Mask RCNN-3.seviye 256x256	2.79

HMS&MIT geliştirdiği yöntem, 0. seviyede alınan görüntüler için tümör olma olasılığına göre tek bir çıkış değeri üretmektedir. Oluşan tümör olasılık haritası TSG'nün 7. seviyesine denk gelmektedir. Tümör olasılık haritası kullanılarak 3. seviyede tümör sınır çizimini ile Mask RCNN tümör sınır çizim sonucu karşılaştırıldığında Mask RCNN daha başarılı sonuç verdiği Şekil 4'te görüntülenmektedir.

Şekil 4'te birinci sütunda referans görüntüsü, tümörlü alanlar yeşil renktedir. İkinci sütun HMS&MIT yöntem sonucu ve üçüncü sütun Mask RCNN sonucunu verilmektedir. Kırmızı alanlar mimarilerin tümör tahmin sonuçlarıdır.



Şekil 4- Birinci sütunda referans görüntüsü, tümürlü alanlar yeşil renktedir. İkinci sütunda HMS&MIT yöntem sonucu ve üçüncü sütunda Mask RCNN sonucu verilmektedir (Kırmızı alanlar mimarilerin tümör tahmin sonuçlarıdır).

5. Sonuçlar

CAMELYON16 veri seti kullanılarak TSG'lerinde tümör tespit çalışmalarında, 2017 yılında başarılı olan HMS&MIT ile görüntü tespit mimarilerinde Faster RCNN ve görüntü tespit ve bölütleme yapan Mask RCNN derin öğrenme algoritmaları kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır.

Yapılan çalışmada, Faster RCNN TSG'lerinin farklı görüntü seviyelerinde (3., 4. ve 5. çözünürlük seviyeleri) sabit boyutlu (256x256) görüntülerden oluşturulan veri seti kullanılarak tümör tespit başarımları değerlendirilmiştir. Görüntülerin boyutlarının büyüklüğü nedeniyle sadece düşük çözünürlükteki üç seviye sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada 3. seviyeden oluşturulan veri seti tümör tespitinde 4. ve 5. çözünürlük seviye veri setlerine göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Mimarinin yüksek çözünürlüğe sahip görüntülerde doku farklılıkları daha iyi bir şekilde analiz edildiği tespit edilmiştir.

Mask RCNN, anlamsal bölütleme ve nesne tespiti yapan derin öğrenme algoritması ise TSG'nün 3. çözünürlük seviyesinden alınan farklı boyut (256x256, 512x512 ve 1024x1024) görüntüler ile oluşturulan veri setleri kullanılarak başarımları değerlendirilmiştir. 256x256 boyutlu veri seti sonuçları 512x512 ve 1024x1024 boyutlu sonuçlara göre başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Son olarak mimarilerin sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Faster RCNN ve Mask RCNN TGS'nin 3. seviye 256x256 boyutlu görüntülerden oluşturulan veri setinde en başarılı sonucu elde ettikleri için karşılaştırmada bu eğitilmiş modeller kullanılmıştır. HMS&MIT, Faster RCNN ve Mask RCNN yöntemleri 18 tane TSG uygulanmış slayt tabanlı değerlendirmede 0. seviyede (en yüksek çözünürlük seviyesi) çalışan HMS&MIT başarılı olmuştur. Slayt tabanlı değerlendirmede Mask RCNN 3. seviyede (düşük çözünürlük seviyesi) çalışmış olmasına rağmen HMS&MIT yöntemine yakın bir sonuç elde edilmiştir. HMS&MIT yöntemi başarılı olmasına rağmen bir TSG'nün ortalama işleme süreleri karşılaştırıldığında en hantal yöntem olduğu gözlenmiştir.

Medikal görüntü işlemlerinde geliştirilen yöntemin doğru analiz yapması önemli bir unsurdur. Aynı zamanda yöntemin hızlı sonuç vermesi de istenen bir durumdur.

Mask RCNN ile elde edilen tümör sınır çizimi başarılı sonuçlar vermektedir. Gelecek çalışmalarda daha üst çözünürlük seviyelerinden oluşturulan veri setleri kullanılarak mimarilerin (Mask RCNN, Faster RCNN) başarımları test edilebilir. Daha hızlı ve doğru sonuçlar elde edilebilir.

Kaynakça

- American Cancer Society. (2019). Surveillance Research, 5. Retrieved from <https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/annual-cancer-facts-and-figures/2019/cancer-facts-and-figures-2019.pdf>
- Babak Ehteshami, B., Geert, L., Nadya, T., Irene, O.-H., André, H., Nico, K., & Jeroen A W M, V. D. L. (2016). Stain specific standardization of whole-slide histopathological images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35(2), 404–415. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7243333/>
- Bejnordi, B. E., Litjens, G., Hermsen, M., Karssemeijer, N., & van der Laak, J. A. W. M. (2015). A multi-scale superpixel classification approach to the detection of regions of interest in whole slide histopathology images. *Medical Imaging 2015: Digital Pathology*, 9420, 94200H.
- Celik, Y., Talo, M., Yildirim, O., Karabatak, M., & Acharya, U. R. (2020). Automated Invasive Ductal Carcinoma Detection Based Using Deep Transfer Learning with Whole-Slide Images. *Pattern Recognition Letters*. Elsevier B.V. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.03.011>
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 1800–1807). IEEE. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/8099678/>
- Ehteshami Bejnordi, B., Balkenhol, M., Litjens, G., Holland, R., Bult, P., Karssemeijer, N., & Van Der Laak, J. A. W. M. (2016). Automated Detection of DCIS in Whole-Slide H&E Stained Breast Histopathology Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35(9), 2141–2150.
- Ehteshami Bejnordi, B., Veta, M., Johannes van Diest, P., van Ginneken, B., Karssemeijer, N., Litjens, G., van der Laak, J. A. W. M., et al. (2017). Diagnostic Assessment of Deep Learning Algorithms for Detection of Lymph Node Metastases in Women With Breast Cancer. *JAMA*, 318(22), 2199. Retrieved from <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.2017.14585>
- Fan, J., Upadhye, S., & Worster, A. (2006). Understanding receiver operating characteristic (ROC) curves. *CJEM*, 8(01), 19–20. Retrieved from https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S1481803500013336/type/journal_article
- Girshick, R. (2015). Fast R-CNN. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2015 Inter*, 1440–1448.
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2016). Region-Based Convolutional Networks for Accurate Object Detection and Segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 38(1), 142–158. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/7112511/>

- Guo, Z., Liu, H., Ni, H., Wang, X., Su, M., Guo, W., Wang, K., et al. (2019). A Fast and Refined Cancer Regions Segmentation Framework in Whole-slide Breast Pathological Images. *Scientific Reports*, 9(1), 1–10. Springer US. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-37492-9>
- Gupta, V., & Bhavsar, A. (2018). Sequential modeling of deep features for breast cancer histopathological image classification. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2018-June*, 2335–2342.
- He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017-October*, 2980–2988. IEEE. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/8237584/>
- Ishikawa, M., Okamoto, C., Shinoda, K., Komagata, H., Iwamoto, C., Ohuchida, K., Hashizume, M., et al. (2019). Detection of pancreatic tumor cell nuclei via a hyperspectral analysis of pathological slides based on stain spectra. *Biomedical Optics Express*, 10(9), 4568. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=boe-10-9-4568>
- Reis, S., Gazinska, P., Hipwell, J. H., Mertzaniidou, T., Naidoo, K., Williams, N., Pinder, S., et al. (2017). Automated Classification of Breast Cancer Stroma Maturity from Histological Images. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64(10), 2344–2352.
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 1–14. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/1506.01497>
- Riaz, N., Wolden, S. L., Gelblum, D. Y., & Eric, J. (2016). Multi-instance Multi-label Learning for Multi-class Classification of Whole Slide Breast Histopathology Images, 118(24), 6072–6078.
- Samah, A. A., Fauzi, M. F. A., & Mansor, S. (2017). Classification of benign and malignant tumors in histopathology images. *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications, ICSIPA 2017*, 102–106.
- Song, Y., Zou, J. J., Chang, H., & Cai, W. (2017). Adapting fisher vectors for histopathology image classification. *Proceedings - International Symposium on Biomedical Imaging*, 600–603. IEEE.
- Spanhol, F. A., Oliveira, L. S., Petitjean, C., & Heutte, L. (2016). A Dataset for Breast Cancer Histopathological Image Classification. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(7), 1455–1462.
- Verma, R., Sharma, S., Vahadane, A., Kumar, N., Sethi, A., & Bhargava, S. (2017). A Dataset and a Technique for Generalized Nuclear Segmentation for Computational Pathology. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 36(7), 1550–1560.
- Wan, S., Lee, H. C., Huang, X., Xu, T., Xu, T., Zeng, X., Zhang, Z., et al. (2017). Integrated local binary pattern texture features for classification of breast tissue imaged by optical coherence microscopy. *Medical Image Analysis*, 38, 104–116. Elsevier B.V. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.media.2017.03.002>
- Wang, D., Khosla, A., Gargeya, R., Irshad, H., & Beck, A. H. (2016). Deep Learning for Identifying Metastatic Breast Cancer, 1–6. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1606.05718>
- Wang, X., Chen, H., Gan, C., Lin, H., & Dou, Q. (2018). Weakly Supervised Learning for Whole Slide Lung Cancer Image Classification. *Pdfs.Semanticscholar.Org*, (Mid1), 1–10. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/35d0/998f2c5b53591073d36c9e2b0ddc89a496b1.pdf>
- Wei, J. W., Tafe, L. J., Linnik, Y. A., Vaickus, L. J., Tomita, N., & Hassanpour, S. (2019). Pathologist-level classification of histologic patterns on resected lung adenocarcinoma slides with deep neural networks. *Scientific reports*, 9(1), 3358.
- Xu, G., Song, Z., Sun, Z., Ku, C., Yang, Z., Liu, C., Wang, S., et al. (2019). CAMEL: A Weakly Supervised Learning Framework for Histopathology Image Segmentation. *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)* (pp. 10681–10690). IEEE. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/9008367/>



Down Sendromlu Bireylerde Beslenme

Kardelen Yoldaş¹, Yasemin Yılmaz^{2*}

¹ Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9632-9908), kardelen.yoldas@gmail.com

² İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2190-073X), yasemin.yilmazer@izu.edu.tr

2

(İlk Geliş Tarihi 25 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.831542)

ATIF/REFERENCE: Yoldaş, K & Yılmaz, Y. (2021). Down Sendromlu Bireylerde Beslenme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 617-626.

Öz

Down sendromu (DS) mental retardasyonla birlikte fiziksel problemlerin de görüldüğü 21. kromozom anomalisidir. DS'li bireyler lösemi, konjenital kalp hastalıkları, görme ve işitme problemleri, obezite, hipotoni, uyku apnesi, anemi, çölyak hastalığı gibi organ işlevlerinde sorunlar sonucu birçok hastalığa yatkındır. Obezite prevalansında artışın endokrin sebepleri olmakla beraber, beslenme düzeni de bu durumu etkilemektedir. DS'li bireylerin büyüme ve gelişmeleri normal bireylere göre daha yavaş ilerlemektedir. DS'li bireylerde hipotoni varlığı, diş problemleri ve ağız anatomisi farklılıkları sonucunda oluşan çiğneme, emme ve yutma problemlerine bağlı olarak besin seçimleri ve katı besine geçiş süresi değişmektedir. Aynı yaştaki sağlıklı bireylere kıyasla makro ve mikro besin ögesi alımlarında önemli farklılıklar vardır. Metabolik değişimler sonucu mikro besin öğelerinin biyokimyasal incelemelerinde vitamin ve mineral değerlerinde çoğunlukla yetersizlikler görülmüştür. DS'li bireylerde besin takviyeleri olarak kurkumin, epikateşin-3-gallat, resveratrol ve hidroksitirozolun uygun miktarlarda tüketimi hastalıkların oluşma riski azaltılırken, yeterli ve dengeli beslenme ile büyüme, gelişme ve yaşam kalitelerinde artış sağlanmaktadır. Bu derlemede DS'li bireylerde sık gözlenen hastalıklar ve bu hastalıklara özgü beslenme önerilerine değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Down Sendromu, Beslenme, Diyet, Obezite

Nutrition in Individuals With Down Syndrome

Abstract

Down syndrome (DS) is the 21st chromosome anomaly with mental retardation as well as physical problems. Individuals having DS are prone to many diseases such as leukemia, congenital heart disease, vision and hearing problems, obesity, hypotonia, sleep apnea, anemia, celiac disease as a result of problems in organ functions. Although there are many endocrine causes to increase in the prevalence of obesity, the nutritional order also affects this condition. The growth and development of the individuals with DS proceeds slower than that of the normal population. Depending on the chewing, sucking and swallowing problems that occur as a result of hypotonia, dental problems and oral anatomy differences in individuals with DS, food choices and the time of transition to solid food vary. There are significant differences in intake of macro and micro nutritional elements compared to healthy individuals of the same age. The result of metabolic varieties, biochemical examinations of the micronutrients show some inadequacies in the value of vitamins and minerals. In the individuals with DS, while usage of curcumin, epicateşin-3-gallat, resveratrol and hydroxytyrosol as supplements has prevented the development of some diseases, the appropriate food choices specified to their diseases has increased their growth, development and the life quality. In this review, common diseases observed in individuals with DS and nutritional recommendations specific to these diseases are mentioned.

Keywords: Down syndrome, Nutrition, Diet, Obesity

* Sorumlu Yazar: yasemin.yilmazer@izu.edu.tr

1. Giriş

Down sendromu (DS) 1866 yılında Langdon Down tarafından tanımlanmıştır (Langdon-Down J. 1866). DS mayoz bölünme esnasında mayoz-1 veya mayoz-2 evresinde homolog kromozomlarının ayrılmasında veya kardeş kromatitlerin erken ayrılması sonucunda, üç adet 21. kromozom varlığı ile oluşmaktadır. DS'li genin karyotipi; 47, XX ya da XY, +21 şeklinde gösterilir. DS epidemiyolojisinde, dünya çapında canlı doğumların 800-1000'de 1'inde gözlenirken, Türkiye'de her yıl 1500 DS'li bireyin doğduğu bildirilmiştir (Sherman SL vd. 2007; Weijerman M.E. vd. 2010; Oster-Granite M.L. vd. 2011; Görmez A vd. 2016). 1954 yılı öncesi DS'li bireyler 30 yaşlarına kadar yaşarken şu an 60'lı yaşlara kadar yaşayabilmektedir (Lott I.T. vd. 2019). DS'li bireyler tipik olarak kısa boylu, ufak ve yassı kafalı, kısa ve geniş enseli, palmar çizgili, düz burunlu, ayırık ve çekik gözlü ve kulakların kafaya göre normalden düşük görüntülere sahiptir. DS özellikle hipotoni ve entelektüel yetersizlik ile karakterizedir; ayrıca intrauterin veya ekstrauterin gelişme gerilikleri, kalp hastalıkları ve gastrointestinal hastalıkların da görülebildiği bir trizomidir (Diamandopoulos K. vd. 2018). DS'li bireylerin IQ seviyeleri 30-70 arasındadır (Bull MJ. 2011; Mégarbané A. vd. 2013). DS'de entelektüel yetersizlikten kaynaklanan yavaş öğrenme, konsantrasyon kaybı ve anksiyete riski artabilmektedir. Eğitimle IQ seviyeleri artırılarak, DS'li bireylerdeki rastlanan bu semptomlar en aza indirilebilir (Grealish K.G. vd. 2020). Beslenme durumlarının saptanması ve bu problemlere uygun beslenme ile yaşam kalitesi artırılır.

2. Risk Faktörleri

Maternal olarak özellikle anne yaşının 35 ve üzeri olması trizomi riskini artırırken, folat ve B12 yetersizliği sonucu metilasyon döngüsündeki değişim, sigara içimi ve oral kontraseptif kullanımı ile mikrosirkülasyon bozulması, düşük sosyoekonomik duruma bağlı yetersiz beslenme, maternal obezite ile de trizomi 21 ilişkilendirilmiştir (Hunter J.E. vd. 2013; Hildebrand E. vd. 2014; Coppédè, F. 2016; Gu Y. 2017; Coppédè F. vd. 2019; Cuckle H. vd. 2019; Hussamy D.J. vd. 2019; Keen C. vd. 2020). Paternal olarak hava kirliliğindeki ince partiküllere (PM 2,5) maruziyet; kırmızı ve işlenmiş et, tereyağı, yüksek yağlı süt, rafine tahıllar, pizza, atıştırmalıklar, yüksek enerjili içecekler ve tatlılar içeren yetersiz ve dengesiz beslenme ile trizomi 21'in ilişkili olabileceği gözlenmiştir. Paternalerde vücuda alınan günlük enerjinin %35 yağ, 300 mg/gün kolesterol ile sınırlandırılması ve şeker içeriğinin azaltılması ile oluşturulan beslenme düzeninin tirozimi riskini azalttığı bildirilmiştir (Jurewicz J. vd. 2015; Jurewicz J. vd. 2016).

3. Down Sendromu ve İlişkili Hastalıklar

DS'li bireylerin %84'ünde işitme kaybı, %65'inde obstrüktif uyku apnesi, %56,8'inde görme problemleri, %55'inde disfaji, %50'sinde hipotiroidizm ve Hashimoto hastalığı, %44'ünde konjenital kalp hastalıkları, %34-40'ında solunum yolu ve immün yetmezliklerindeki enfeksiyonlara bağlı ölümler, %10,5'unda demir (Fe) anemisi, %10'unda geçici anormal miyelopoez, %7-16'sında otizm, %6'sında gastrointestinal anomaliler, %5,4'inde çölyak hastalığı, %5-8'inde nöbetler ve %2,8'inde ortopedik problemler, 65 yaş üzerindekiilerse %68-80'inde demans gözlenmiştir (Bull MJ 2020).

3.1. Kalp ve Kas Hastalıkları

DS'li bireylerde kalp hastalıklarının görülme sıklığı %40-50 arasındadır; konjenital tipi kalp hastalıkları ise %35 ile en sık gözlenen tiptir. Konjenital olarak en sık atriyoventriküler septal defekt gözlenirken; izole ventriküler septal defekt, atriyal septal defekt ve fallot tetralojisi de gözlenmektedir (Körten MA vd. 2016). Konjenital kalp hastalıkları DS'li bireylerde yaşamın ilk 2 yılında ortaya çıkarak mortalite ve morbiditeden sorumlu en yaygın durumdur (Akhtar F. vd. 2020). DS'li bireylerde kalp mitokondrisinde bozulmuş oksidatif yolaklar ve redoks tepkimeleri ile konjenital kalp hastalığı ilişkilendirilmiştir. Kalp hastalıkları varlığında enfeksiyonlar mortalite riskini artırırken, aşı uygulanması enfeksiyona bağlı mortalite riskini azaltmaktadır. Bununla birlikte, kalp hastalıklarına bağlı olarak enerji gereksinimi artmaktadır. Artan enerji gereksinimini karşılamak için ek besin desteği yapılması gereklidir; böylece büyümenin devamlılığı sağlanmaktadır (Hagau N. vd. 2010; Rodrigues BS. vd. 2012; Mazurek D. vd. 2015). DS'li bireylerde sık karşılaşılan hipotoninin, 21. kromozomda kodlanan Tip VI kolajeninin A1 ve A2 zincirlerinde oluşan aşırı ekspresyondan kaynaklandığı bildirilmiştir (Foley C. vd. 2019). DS'li bireylerde hipotoni varlığında motor becerilerde azalma ve gelişimsel gecikme, çığneme ve yutma problemleri, kas güçsüzlükleri, sindirim ve diş problemleri gözlenirken, hipotoninin kalp kasında olmasıyla DS'ye bağlı konjenital kalp hastalıkları görülmektedir (Dey A. vd. 2013).

3.2. İmmün Sistem Hastalıkları

Lösemi riski DS'li bireylerde normal popülasyona göre 15-20 kat fazladır (Çoğulu Ö. 2018). DS'li çocuklarda timüs küçüklüğü ve buna bağlı olarak T ve B lenfositte azalma ile zayıf immünite ilişkilendirilmiştir. Sağlıklı çocuklara kıyasla 5-16 yaş aralığında T lenfositlerin serumda yarı yarıya daha düşük olduğu bildirilmiştir. DS'li bireylerde hafif orta derecede azalmış T ve B hücre sayısı, bebeklik döneminde lenfosit artışı olmaması, aşılama antikor yanıt azlığı, tükürükte azalmış immünoglobülin A ve azalmış nötrofil kemotaksite gözlenmektedir. Artmış apoptoz mekanizmaları ile DS'li bireylerde erken yaşlanma ve 25 yaş sonrası çinko (Zn) eksikliği artmaktadır. DS'li bireylerde alt solunum yolu enfeksiyonları ve alerjik hastalıklara yatkınlık fazladır (Ram G. vd. 2011; Çoğulu Ö. 2018; Yu Y.E. vd. 2020). Çetiner ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, serumda düşük interlekin-6 (IL-6) ve tümör nekroz faktörü- α ile zayıf bir anti-enflamatuar yanıtın DS'li hastalarda enfeksiyonlara yatkınlığın nedeni olabileceği bildirilmiştir (Çetiner S. vd. 2010).

3.3. Gastrointestinal Sistem Hastalıkları

DS'li bireylerde yapısal farklılıklara bağlı gelişen gastrointestinal sistem (GİS) hastalıklarından kabızlık, çölyak, annüler pankreas, duodenal atrezi, hirschsprung hastalığı, imperfore anüs, özofagus atrezisi, gastroözofajial reflü (GÖR) ve mide çıkışı darlığı en sık görülen GİS problemleridir. Enterik sinir sistemindeki gelişimsel anomalilerden ve sık yatar pozisyon tercihlerinden dolayı GÖR riski artmıştır (Holmes G. 2014; Çoğulu Ö. 2018). DS'li 1027 bireyin 10 yıl boyunca GİS hastalıklarının incelendiği bir çalışmada %49'unda kabızlık, %22'sinde intestinal parazitler, %14'ünde GÖR, %5'inde sindirim sistemi malformasyonları, %3'ünde çölyak hastalığı, %3'ünde safra taşı ve %3'ünde peptik ülser varlığı bildirilmiştir (Bermudez B.E. vd. 2019). DS'de kabızlığın sebebi hipotiroidizm, hirschsprung hastalığı, hipotoni varlığı sonucu düz

kaslardaki kasılmaların azalması veya idiopattiktir (Çoğulu Ö. 2018; Robertson J. vd. 2018).

3.4. Obezite

DS'li bireylerde normal popülasyona göre obezite riski artmıştır. DS'li bebekler (0-2 yaş) hipotoni ve doğuştan kalp kusurları varlığında beslenme güçlükleri yaşar, bu durumda diyetlerine ek enerji ihtiyacı oluşur. Diyet enerjisinin artırılması sonucu DS'li bebeklerin obezite riski de artmış olur. Beden kitle indeksi (BKİ) artışı ile uyku apnesi şiddeti de artmış durumdadır (Tamayo C. vd. 2015; Basil J.S. vd. 2016). DS'li bireylerde azalmış kemik kütlesi, yağsız hücre sayısı ve fiziksel aktivite; artmış yağ hücre sayısı, BKİ, leptin seviyeleri, yüksek enerjili düşük besin değerli besin tüketimi ve hipotiroidizm varlığı obezite ile ilişkilendirilmiştir (Bertapelli F. vd. 2016). Leptin seviyeleri DS'li obez çocuklarda, DS'siz obez çocuklara kıyasla daha yüksek iken iki grubun da aynı BKİ'ye sahip oldukları gözlenmiş, bu durum leptin direnci varlığını düşündürmüştü; DS'li bireylerde leptin direnci varlığı ile artmış yağlanma riski ilişkilendirilmiştir (Bjergved L. vd. 2014; Ravel A. vd. 2020; Yamanaka E. vd. 2020). Artmış yağ hücresi sonucu DS'li bireylerde leptin artışının kanser riskini artırıcı, adiponektin artışının ise alzheimer riskini artırıcı etkisinin olduğu bildirilmiştir (Nixon D. 2018). Alkolsüz yağlı karaciğer hastalığı (NAYKH) ile ilişkili siroz, DS'li obez çocukların %82'sinde ve obez olmayan DS'li çocukların %45'inde bulunur. DS'li bireylerde obezite varlığı ile artmış BKİ, trigliseritler, düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) ve leptin seviyeleri ile NAYKH arasında ilişki kurulmuştur (Valentini D. vd. 2017). DS'li çocuklarda, obez olmasalar dahi total kolesterol, trigliserit ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) seviyeleri DS'siz kardeşlerinden daha yüksekken, yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL) seviyeleri daha düşüktür. DS'li kadınlarda DS'siz kadınlara göre gövdede artmış yağ ve yetersiz yağsız vücut kütlesinin olduğu bildirilmiş, bu sebeple metabolik sendrom riskleri artmıştır (Ravel A. vd. 2020).

3.5. Diş ve Çiğneme Problemleri

DS'li bireylerde gecikmiş diş patlaması, küçük ve eksik diş, ağız yapısına göre büyük dil, çiğneme, ordotonti, dişeti problemleri ve çürükler sık gözlenir (Demir D. vd. 2013). Bu durumlar beslenmelerini olumsuz etkilemektedir. DS'li bireylerdeki çiğneme problemlerinden dolayı ailelerin yumuşak besinler hazırlama eğilimlerinin arttığı bildirilmiştir (AlJameel A.H. vd. 2020). DS'li bireylerin karyojenik diyet eğilimi artmıştır; bu durum ağız pH'sının 5,5'un altına düşmesine sebep olarak diş çürükleri riskini artırır (Çoğulu Ö. 2018). Diş çürüğü varlığında katı besinlerin tüketimi ile çiğneme ve yutma problemleri oluşarak öfke, kuma ve yetersiz beslenme gözlenebilmektedir (Anil M.A. vd. 2019).

3.6. Nörolojik Hastalıklar

DS'li bireylerde nörolojik değişimler sonucu dikkat eksikliği, konuşma problemleri, entelektüel yetersizlik, epilepsi, otizm, hipotoni, inme ve uyku apnesi daha sık gözlenir. DS'li çocuklar ve ergenlerde gri ve beyaz cevherin azalması sonucu beynin toplam hacmi sağlıklı yaşlılarına göre %11 daha küçüktür (Rafii MS vd. 2019). DS'li fare modellerinde değişen genler sonucu artan nörotransfer inhibisyonu ile nörojenezde, sinaptik iletimde ve hücre sinyal yollarında iletim sorunlarına sebep olur. Bu durum da öğrenme, hafıza ve beyin gelişiminde geriliklere yol açar (Lana-Elola E. vd. 2011). Bir başka çalışmada DS hücre adezyon molekülü (DSCAM) in vitro olarak hipokampal e-ISSN: 2148-2683

nöronlarda aşırı ekspresyona uğrayarak dendrit dallanmasını inhibe ettiği bildirilmiştir (Alves-Sampaio A. vd. 2010). 5' adenosin monofosfat ile aktive edilen protein kinaz (AMPK) glikoz, kolesterol ve lipid metabolizmalarını düzenleyerek hücre enerji dengesinde rol alan anahtar bir moleküldür (Kismiroğlu C. vd. 2020). DSCAM ile netrin hücreler birleşerek dendrit ve akson artışında azalış gözlenirken, AMPK birleşmeyi engelleyerek netrin-1'de artış sonucu beyin gelişimindeki geriliğin ilerlemesini önler (Zhu K. vd. 2013). 21.kromozomda kodlanan amiloid öncüsü protein (APP) geninin anöploidi sonucu aşırı ekspresyona uğraması, beyinde ve serumda APP birikimine ve sinir hücrelerinde iletim sorunları yol açarak, 40 yaş üzeri DS'li bireylerde Alzheimer hastalığı riskinde artış gözlenir (Chen X.Q. vd. 2018; Alhajraf F. vd. 2019; Lott I.T. vd. 2019). APP'nin aşırı ekspresyonuna ek olarak DS'de erken yaşta Alzheimer hastalığının sebebi olarak immünite de disfonksiyon ve artmış epigenetik yaşlanma bildirilmiştir (Çoğulu Ö. 2019). Kalsinörin düzenleyicisi 1 (RCAN1) 21.kromozomda kodlanmakta ve nörofibril yumağı oluşturarak DS'li bireylerde Alzheimer hastalığına öncülük etmektedir (Martin KR. vd. 2012). Bir başka hipotezde DS'li bireylerde artmış reaktif oksijen molekülleri ile Alzheimer ilişkisi kurulmuştur (Gueant J.L. vd. 2005; Licastro F. 2006; Anronarakis SE vd. 2020). DS'li bireylerde Alzheimer'ın 45 yaşında prevalansı %15 iken bu oran 65 yaşından sonra yaklaşık %75'e yükselir (Lott I.T. vd. 2011).

3.7. Tiroid

DS'li bireyler tiroid otoimmünitesi sonucu gözlenen subklinik, konjenital, hashimato tiroidi ve graves hastalığına yatkındır (Whooten R. vd. 2018). DS'li bireylerde hipotiroidi riski normal bireylere göre 28 kat fazladır. DS'li bireylerde tiroid işlev sorunlarına yol açan oksidatif stres eğiliminde artma; tiroid hormon metabolizmasında yer alan selenyumun (Se) serumda azalması ve gen defektinden dolayı fenilalanin hidroksilaz enzim işlevinin bozulması ile serumda tirozin seviyesinde azalmanın sorumlu olduğu bildirilmiştir (Lavery A. 2013; Çoğulu Ö. 2018). Tedavi edilmeyen hipotiroidizm entelektüel yetersizliği arttırmaktadır (Kavecian I. vd. 2019).

3.8. Kemik Sağlığı

DS'li bireylerde kemik yapım yıkım döngü değişimi sonucu azalmış kemik kütlesi gözlenir (Guijarro M. vd. 2008; Costa R. vd. 2017). Azalmış fiziksel aktivite ve kas kütlesi, serumda düşük kalsiyum (Ca) ve D vitamini, obezite varlığı, malabsorpsiyonlar (çölyak) ve antikonvülsan ilaç kullanımı DS'li bireylerde kemik kütlesinde değişimlere yol açmaktadır (McKelvey KD. vd. 2013). Osteoporoz riski DS'li bireylerde artmıştır (García-Hoyos M. vd. 2017). DS'li bireylerde ligamentöz değişikliğin sebep olduğu atlantoaksiyel instabilite, hipotoni varlığında servikal omurgada gözlenebilen yürüme sorunları, güçsüzlük, azalmış fiziksel aktivite, değişen mesane ve bağırsak sorunları (kabızlık vb.) gözlenebilmektedir. Bu durum varlığında DS'li bireylerin yorucu ve ağır fiziksel aktivite yapmaları önerilmez (Bull MJ. 2020).

3.9. Çölyak Hastalığı

Çölyak otoimmün bir hastalıktır; gluteni sindiremeyen çölyaklılarda gluten tüketimi ile bağırsak hasarı oluşur. DS'de çölyak varlığı ile demir anemisi, kabızlık, ishal, açıklanamayan gelişme geriliği, karın ağrısı, şişkinlik ve saldırgan tavırlar sergileme eğiliminde artış bildirilmiştir (Sharr C. vd. 2016). Altında yatan mekanizma net olarak açıklanamamakla beraber; pro-inflamatuar sitokinlerden tümör nekroz faktörü-alfa'nın, interlökin-1-beta'nın ve interferon-gama'nın serumda artışı

sonucu immünitede azalma ile çölyğa yatkınlığın olduğu bildirilmiştir (Du Y. vd. 2018). DS'li çocuklarda çölyak hastalığı sıklığı genel popülasyona göre altı kat daha yüksektir (Swigonski N. vd. 2006; Pavlovic M. vd. 2017). Glutensiz beslenme temel tedavi yöntemidir (Palmieri B vd. 2019).

4. Beslenme Durumu ve Tedavisi

Down sendromluların beslenme durumlarını hastalıklarına uygun olarak incelenmesi, yeterli ve dengeli beslenme tedavisi uygulaması ile yaşam kaliteleri arttırılır. Entelektüel yetersizlikle karakterize bireylerin 1/3'ü beslenme sorunu yaşamaktadır. Bu sorunlar arasında besin reddi, besin seçiciliği, hızlı yeme, kusma ve disfaji bulunmaktadır (Seiverling L. vd. 2011). DS'li bireylerde beslenme sorunlarının varlığı, günlük besin ögesi ve sıvı alımlarının analizi, DS'li bireylere özgü büyüme gelişme eğrilerine göre persentilinin saptanması, disfaji tespiti, ağız, diş problemleri ile yeme problemlerinin analizi ve fiziksel aktivite tolerans durumları değerlendirilerek doktor gözetiminde ve diyetisyen eşliğinde yeterli ve dengeli bir beslenme planı hazırlanması önerilmektedir (Akbulut G. 2019).

4.1. Down Sendromu'nda Büyüme ve Takibi

DS'li bireylerde boy uzunluğu, baş çevresi, ağırlık, deri kıvrım kalınlığı ve üst orta kol çevresi ölçümü yapılır. DS'li çocuklarda (0-20 yaş) boy kısalığı ve obezite eğilimi fazlalığı olmasıyla persentil eğrileri normal çocuklardan farklıdır. DS'ye özgü boy uzunluğu, ağırlık ve baş çevresi persentil eğri tabloları mevcuttur. DS'li 0-36 aylık bebeklerde baş çevresi, ağırlık ve boy uzunluğu; 3-18 yaşındaki DS'li bireylerde boy uzunluğu ve ağırlık persentil eğrilerinden büyüme takip edilir (Tüysüz B. vd. 2012).

4.2. Besin Alım Durumları

DS'li 0-6 aylık bebeklerde disfaji ve aspirasyon riski artmıştır (Stanley M.A. vd. 2019). İnfant DS'li de beslenme becerisinde gecikmeler gözlenir; hipotoni, emme, yutma, solunum

problemleriyle beraber, baş kontrolü zayıflığı, midfasiyal hipoplazi, anormal diş oluşumu, oturamama, dil büyüklüğü, ağız yapı küçüklüğü ile oral motor gelişimleri geciken DS'lilerin katı besine geçiş ve anne sütünden kesilme süresi uzamaktadır (Coentro V.S. vd. 2020). Konjenital kalp hastalığı varlığında hızlı yorulma ve kusma oluşma riski artarak emme ve beslenme güçlükleri gözlenir. Gastrointestinal anomaliler varlığında DS'li bebeklerde nazogastrik ve gastrostomik yöntemlerle beslenme sağlanır (Van Riper C. 2010; Laverty A. 2013; Akbulut G. 2019). Glass TJ ve arkadaşlarının DS'li oral motor sorunları olan fareler üzerinde yaptıkları çalışmada aynı besini sert ve yumuşak (jöle kıvamında) hale dönüştürmüş; yumuşak besinlerle beslenmesinin disgastrik kas gelişimine fayda sağladığı ve obeziteden koruduğu bildirilmiştir. (Glass TJ. vd. 2018). Koordine nefes alamama ve yutma problemleri sebebiyle aspirasyon riski olan DS'li çocuklar fincan, biberon veya özel ekipmanlar ile beslenmeleri gereklidir (DeBoer E. vd. 2017).

Osaili TM ve arkadaşlarının Birleşik Arap Emirlikleri'nde gerçekleştirdikleri 2 ay boyunca besin davranışları takip edilen 83 DS'li bireyin %62'sinde besin reddinin olduğu, %57'sinde besin tüketimini durduramadığı, %50'sinde besini iyice çiğnemediği, %41,5'inde önüne konulan besinin çok azını yediği, %41,5'inde hızlı yemek yeme davranışı gösterdiği, %39'unda ebeveyne bağımlı yeme davranışı sergilediği ve bu durumların 1 ayda 10'dan fazla kez gerçekleştiği bildirmiştir (Osaili, T.M. vd. 2019). DS'li yetişkinlerin her 10'nundan 1'inde, depresyon veya anksiyete mevcuttur. Depresyon varlığı DS'li bireylerde yeme davranışını etkileyerek yeme bozuklukları, yanlış besin seçimleri, iştah artışı veya kaybı ve kompulsif yeme gözlenmektedir (Mazurek D. vd. 2015).

Tablo 1. Down Sendromlu Bireylerde Beslenmeyi Etkileyen Faktörler

Down Sendromlu Bireylerde Beslenmeyi Etkileyen Faktörler	Sonuçları
Emme, yutma ve solunum problemleri	Yetersiz beslenme, mamaya başlanılması, çene kasının gelişmemesi ile katı besine geçişte gecikme
Hipotoni	Çiğneme, yutma, sindirim problemleri, kas güçsüzlüğü ve fiziksel aktivitede azalma
Hızlı yorulma	Fiziksel aktivitede azalma sonucu obeziteye yatkınlık
Ağız ve diş yapı değişiklikleri	Besin reddi, basit karbonhidrat ve yağlı besinlere yönelim, katı besine geçişte gecikme
Azalmış bazal metabolizma hızı	Obeziteye yatkınlık
Yetersiz vitamin, mineral ve posa alımı	Obeziteye yatkınlık, insülin direncine yatkınlık, kabızlık, artmış oksidatif stresin devamlılığı, büyüme ve gelişme geriliği, sinir sistemi gelişiminde gerilik, homosistein yüksekliği

4.3. Enerji İhtiyacı

Çalışmalar DS'li bireylerin normal bireylere göre bazal metabolizma hızının %10 daha az olduğunu bildirmiştir (Hill DL. vd. 2013). Beslenme ve Diyetetik Akademisi'nin yayınladığı kitapçıkta DS'li bireyler için günlük enerji ihtiyacı hesaplamada boy uzunluğu kullanımının daha etkili olduğu bildirilmiş ve enerji hesaplamasında 5-11 yaşındaki kız DS'li çocuklarda 14,3 kcal/cm ve 5-11 yaş erkek DS'li çocuklarda 16,11 kkal/cm alımını önermiştir (Lucas BL. vd. 2004; Akbulut G. 2019).

4.4. Makro ve Mikro Besin Öğeleri

DS'li bireylerin karbonhidrat (polisakkarit) alımları önerilenden az iken yağ ve protein alımlarının ihtiyaçtan fazla olduğu rapor edilmiştir (Magenis ML. vd. 2017). DS'li anaokulu çocuklarının besin tüketimlerinin incelendiği çalışmada daha az yumurta, süt, balık, meyve ve sebze tüketimi; daha çok hayvansal ve bitkisel yağ, kırmızı et ve şeker tüketimi bildirilmiştir. Az meyve sebze tüketimiyle A ve C vitaminlerinin vücuda alımı sınırlanmaktadır (Wrzochal A. vd. 2019). Özellikle sütü reddeden okul çağındaki DS'li çocukların Ca ve Fe alımlarının az olduğu bildirilmiştir. Basit karbonhidrat tüketimlerinin yüksek olmasıyla insulin direncine eğilimleri fazladır (Magenis M.L. vd. 2017). DS'li bireylerde yapılan bir çalışmada immunoglobulin A ve G antikorlarının serumda arttığı ve besin alerjisi ile çölyak hastalığına yatkınlık olduğu görülmüştür (Lavery A. 2013). Kemik kütle korunumunda ve immünoregülatör görevi olan D vitamini, DS'li bireylerin %45,2'sinde eksiktir. Azalmış immünte, sosyal yaşam ve güneşe maruziyet sonucu D vitamini eksikliği riski artmıştır (Stagi S. vd. 2015). DS'li bireylerde kemik yoğunluğu yaş artışıyla beraber normal bireylere kıyasla daha hızlı azalmaktadır. Kemik yoğunluğunun artırılması için 7-12 yaş DS'li çocuklarda düzenli fiziksel aktivite yapılmasına ek olarak 400 IU/gün D vitamini ve Ca takviyesi önerilmektedir. D vitamini, kalsiyum ve fiziksel aktivite artışı ile demans ve kalp hastalıkları gelişimi de önlenmektedir (Çoğulu Ö. 2018). DS'li bireylerde homosistein yüksekliği veya düşüklüğü gözlenebilmektedir. Homosistein yüksekliği DS'li bireylerde B6, B12 ve folik asit (B9) eksikliğine bağlıdır ve DS'de özellikle B9 eksikliği bildirilmiştir (Magenis ML vd. 2017). Metilasyon döngüsünde yer alan beta sistatinyonin sentaz enzimi 21. kromozomda kodlanmaktadır ve aktivitesi DS'li bireylerde artmıştır. Artan beta sistatinyonin sentaz ile sistein ve metiyonin yüksekliği, S-adenosil homosistein, S-adenosil metiyonin ve homosistein düşüklüğü gözlenir. Bu durumda düşük metiyonin diyeti uygulanması gerektiği bildirilmiştir (Butler C. vd. 2006; Obeid R. vd. 2012; Mazurek D. vd. 2015).

Biyokimyasal parametreleri incelenen DS'li bireylerin besinlerle Zn, Se ve bakır (Cu) alımları yeterli olsa dahi serumda yetersizliği gözlenebilecek minerallerdir (Lima AS. vd. 2010). Zn ve Cu yetersizlikleri eritrositlerdeki Zn-Cu içerikli süperoksit dismutaz (SOD) artışı ile ilişkilendirilmiştir. Başka bir sebep olarak DS'li bireylerde Fe eksikliği varlığında Fe yerine Zn protoporfirin'e bağlanarak Zn protoporfirini oluşturacağı ve böylece eritrosit Zn'de artışa katkıda bulunacağı bildirilmiştir (Thiel R. vd. 2007). Marin A ve ark. DS'li bireylerin besin durumlarını inceledikleri çalışmada artan SOD ve ksantin oksidaz üretimi ile de ürik asit artışı gözlemlendiği, DS'li bireyde artan serum ürik asit seviyelerinin hiperinsülinemi kaynaklı olduğu da düşünülmektedir. DS'li bireylerde artan oksidatif stress için antioksidan bileşenler olan C, E ve beta-karoten vitaminleri ile Zn, Se minerallerine ekstra ihtiyaç duyulmaktadır, kılavuzlarda DS'li bireylere özgü eklenti antioksidan miktarları

belirtilmemiştir (Marin AS vd. 2011). Zn eksikliğinde tiroid disfonksiyonu, immün yetmezlik, gecikmiş büyüme, hatalı DNA onarımı ve yaşlanma rol oynamaktadır (Lavery A. 2013). Tiroid disfonksiyonu olan DS'li bireylerin diyetlerine eklenen Zn ile iştah artışı gözlenebilmektedir (Mazurek D. vd. 2015). İnsülin benzeri büyüme faktörü 1 (IGF-1) karaciğer tarafından üretilerek hücre çoğalmasını ve somatik büyümeyi uyarır. DS'li bireyde IGF-1 ve Zn eksikliğinin büyüme geriliklerine sebep olacağı bildirilmiştir. Zn eksikliğinde; Zn takviyesi sonucu iştah, büyüme hızı, IGF-1 seviyeleri ve bağışıklık artmaktadır (AbdAllah AM vd. 2013). DS'li bireylerde amino asit profili değişmiştir; serumda glutamat, gamma-aminobütirik asit, serotonin ve serin seviyeleri düşük, lizin ve sistein ise yüksektir (Saghazadeh A. vd. 2017). Yapılan çalışmalarda DS'li bireylerde özellikle A, C ve B6 vitamini, folat, Fe, magnezyum, Zn ve Ca mineral eksiklikleri bildirilmiştir (Bertapelli F. vd. 2016; Çoğulu Ö. 2018). DS'li bireylerde paratiroid hormon (PTH) yüksekliğinde tükürükte Ca ve sodyum (Na) yüksek seviyededir, tükürükte Ca yüksekliği osteoporoz, ortopedik sorunlar ve düşük kemik mineral yoğunluğu içinde bir göstergedir. Ca takviyesi, DS'li kişilerde PTH konsantrasyonlarını azaltmada ve kemik döngüsünü iyileştirmede etkili olduğunu kanıtlayan çalışmalar mevcuttur (Saghazadeh A. vd. 2017).

4.5. Down Sendromu'nda Obezite Tedavisi

DS'li bireylerde obezite prevalansının araştırıldığı çalışma da 2-23 yaşında 412 denek katılmış, %55,2'si normal kilolu, %23'ü fazla kilolu, %20,6'ü obez ve %1,2'yi zayıf olarak saptanmış; DS'li kız çocuklarında (2-6 yaş) obezitenin daha sık gözlemlendiği bildirilmiştir (Pierce M. vd. 2019). DS'li bireylerde obezitenin sebepleri azalmış hipotoni varlığı, artmış besin alımı, hipotiroidizm varlığı, dış problemleri sebebiyle daha sıvı ve şekerli besinleri eğilimin artması, azalmış egzersiz, artmış leptin seviyeleri ve yağ oksidasyonundaki azalma ile ilişkilendirilmiştir ve net metabolizma açıklanamamıştır (Lavery A. 2013; Moreau M. vd. 2021). Norveç'te yapılan bir çalışmada DS'li bireylerin %40'ının meyve ve %25'inin sebze tüketimlerinin az iken daha sıklıkla meyve suyu tercih ettikleri gözlemlenmiş böylece lif alımları azalmış; artan BKİ ile azalmış meyve sebze tüketimi ve artan ağırlık ile karotenoid metabolizmasının değişebileceği böylece azalmış serum karotenoidle ilişkilendirilmiştir. Artmış enerji içeceği ve meyve suları tüketimi sonucu dış çürükleri ile ağız problemleri gözlenirken; artmış hazır besin tüketimleri ile yüksek enerji, yağ, tuz beraberinde obeziteyle ilişkilendirilmiştir (Nordstorm M. vd. 2015). Grammatikopoulou ve ark. DS'li bireylerin beslenme durumlarını incelediği araştırmada; 2-18 yaş arası 18 kız ve 16 erkek 24 saatlik besin tüketim kayıtlarında aşırı enerji ve karbonhidrat (total enerjinin %57-60'ı) alımlarının olduğunu gözlemlenmiş ve bu durumla artmış vücut yağ seviyesini ilişkilendirmiştir. Diyetle E vitamini, Ca, Zn, Se ve iyot alımlarında eksiklik olduğunu bildirmiştir (Grammatikopoulou MG vd. 2008). AbdAllah A.M. ve arkadaşlarının çalışmasında diyet örüntüsü incelenen DS'li bireylerin Zn, Ca, Fe ve A vitamini alımlarının ihtiyaçtan düşük olduğu, kalori, yağ ve protein alımlarının ise ihtiyaçtan yüksek tüketildiğini gözlemlenmiştir (AbdAllah, A.M. vd. 2013). Azalan lif ve sıvı alımıyla DS'li bireylerde kabızlık gözlenme riski artmıştır; etiolojisi idiopatik olup, hipotiroidizm varlığında da kabızlık oluşabilmektedir (Marin A.S. vd. 2011; Çoğulu Ö. 2018). Aşırı kilo ve obezitesi olan DS'li çocukların ailelerinde de beslenme bozuklukları daha sık gözlenmektedir (Stefanowicz-Bielska, A. vd. 2020). DS'li bireylerin obezite tedavisini inceleyen çalışmalar da ebeveyn beslenme eğitimi (Doğru porsiyonlama, sağlıklı besin seçimi, yağ ve şeker oranı düşük atıştırmalık ve alkolsüz içecekler yerine

düşük yağlı süt ürünü tercihi) ile DS'li bireyin fiziksel aktiviteye teşviğinin gerekliliği bildirilmiştir (Fleming RK. 2008; Grammatikopoulou MG. vd. 2008; Akbulut G. 2019; Stefanowicz-Bielska, A. vd. 2020; Martínez-Espinosa RM vd. 2021).

DS'li bireylerde nöronal fizyolojiyi ve işlevi etkileyen proteinler, lipidler ve DNA hasarı mevcuttur. Çeşitli çalışmalar, artmış reaktif oksijen türevleri (ROS) üretimi sonucu DS'li bireylerin lipid peroksidasyonunun, oksitlenmiş proteinlerin ve DNA hasarının artmış seviyelerde olduğunu göstermiştir. Proteinlerdeki oksidatif hasar sonucu reseptörlerin, hormonların ve enzimlerin aktivitesi değişir. Hücre içi proteazom sistemi, otofaji ve eksozom yükü ve salımı metabolizmalarında da değişikliklere yol açarak hücre fonksiyonları etkiler. Lipitlerin oksidatif modifikasyonu hücrelerde ve mitokondriyal zarlarda yapısal ve fonksiyonel hasar oluşturur. DS'lilerde artan oksidatif stress mitokondriyal disfonksiyon ve hücre proliferasyonunun kalıcı durması ile erken yaşlanmaya sebep olmaktadır (Muchová J. vd. 2014; Izza A. vd. 2018; Vacca RA vd. 2019; Rueda RN. ve Martínez-Cué C. 2020). Gen malformasyonun yol açtığı oksidatif stres pankreas beta hücresinde azalma ile Tip 1 ve Tip 2 diyabete yakınlık artmaktadır (Moreau M. 2021). Artmış oksidatif stress varlığı DS'li bireyler de otizm spektrum bozukluğu, yaşlanma, insulin idrenci, diyabet, Alzheimer ve kalp hastalıklarının patogeneğinde rol oynayabileceği bildirilmiştir (Valenti D. vd. 2018; Antonarakis SE. vd. 2020; Lanzillotta C. vd. 2021). 21.kromozom üzerinde kodlanan APP aşırı ekspresyonu sonucu DS'li bireylerde yaşlanmaya ve Alzheimer'a yakınlık artmıştır. Antioksidan bileşenlerin tüketimi ile DNA hasarı önlenmektedir. B12 vitamini eksikliği de DS'li Alzheimer hastalarında bildirilmiş; replasman tedavisi almaları hastalığın gelişimini değiştirmedeği bildirilmiştir (Laverty A. 2013). Hücreler aşırı ROS üretimini engelleyici glutatyon, melatonin, amino asitler (arginin, taurin, kreatin), metaller (selenyum ve çinko) ve vitaminler (E ve C vitaminleri) antioksidan bileşiklerine sahiptir. DS'li bireylerde antioksidan bileşik seviyelerinde düşüşler gözlenmektedir. Günlük olarak ve 6 ay boyunca vitamin ve mineral kompleksi (5000 IU A vitamini, 25 IU E vitamini, 100 mg askorbik asit, 10 mg tiamin mononitrat, 10 mg riboflavin, 3 mg piridoksin hidroklorür, 5 µg siyanocobalamin, 50 mg niasinamid, 1 mg folik asit, 12.5 mg kalsiyum pantotenat, 2.5 mg bakır, 60 µg selenyum, 1.4 mg manganez ve 5 µg krom) verilen 5-16 yaş 40 DS'li çocukta ROS azalışı sonucu bilişsel becerilerde iyileşme gözlenmiştir (Rueda R.N. ve Martínez-Cué C. 2020). Başka bir çalışmada egzersiz, DS'li bireylerde oksidatif stresin bir belirteci olan lipid peroksidasyonunu tükürükte azalttığı bildirilmiştir (Lott, I. T. 2012).

4.6. Besin Takviyeleri

Üzüm, kırmızı şarap, yer fıstığı ve meyvelerden izole edilen bir polifenol olan resveratrol; yeşil çayda bulunan en yaygın biyoaktif kateşin olan epikateşin-3-gallat (EGCG), antioksidan etkilere sahiptir ve farklı metabolik yollarla fayda sağlamaktadırlar. Bu moleküller farklı mekanizmalarla nöroproteksiyonunu ve mitokondriyal homeostazı destekler. Yeşil çay polifenolünden elde edilen EGCG verilen DS'li farelerin tübüler kemik mikromimarisinde iyileşme gözlenirken, gücünde artış gözlenmediği bildirilmiştir (Abeysekera I vd. 2016). EGCG ile resveratrol takviyelerinin DS'li bireyler de oksidatif stresi ve mitokondriyal bozulmayı azaltarak bilişsel fonksiyon da iyileşme sağlar (Valenti D vd. 2016). Başka bir çalışmada 12 ay boyunca 9 mg/kg/gün EGCG verilen ve bilişsel eğitimler içeren çift kör,

randomize ve plasebo kontrollü çalışmada DS'li bireylerin görsel zekada artış bildirilmiş (de la Torre R. vd. 2016). DS'li gebe sıçanlarda prenatal dönemde subkutan 300 mg/gün kurkumin enjekte edildiğinde nörojenez azaltarak DS'li bebekte bilişsel olarak gerilemeyi azalttığı gözlenmiştir (Rueda R.N. ve Martínez-Cué C. 2020). Zeytin ve zeytinyağında bulunan bir polifenol olan hidroksitirozol DS eritrositlerinde ROS oluşumunu ve lipid peroksidasyonunu ve hücre içi Fe birikimini azaltarak ROS süpürme ve kararlı hale getirme özellikleri gösterdiği sonucuna varılmıştır (Manna C vd. 2012). Öğrenme, hafıza ve beyin gelişiminde sorunlara yol açan inhibe edilen nöronların etkisini azaltmak için γ -aminobütirik asit antagonistlerinin uygulanması ile bilişsel geriliklerin önenebileceği gözlenmiştir (Lana-Elola E. vd. 2011).

5. Sonuç ve Öneriler

DS'li bireyler işitme, görme kaybı, hipotoni, obezite, hipotiroidi, uyku apnesi, Alzheimer, konjenital kalp ve GİS hastalık riskleri artmıştır. Hastalık risklerini azaltmak için DS'li bireylerin sağlıklı beslenmeye teşviki sağlanmalıdır. DS'li bireylerde artmış hipotoni, leptin seviyeleri, azalmış fiziksel aktivite ve sağlıksız besin seçimleri ile artmış obezite riski vardır. Obeziteyi önlemede ebeveynle birlikte DS'li bireylere beslenme eğitimi verilmesi ve fiziksel aktiviteyi arttırmaya teşvik edilmelidir. Azalmış lif, su, meyve ve sebze, artmış yağ, meyve suyu ve şeker tüketimi sonucu DS'li bireylerde kabızlık görülebilmektedir, şeker ve meyve suyu tüketimi azaltılmalı; lif, meyve, sebze ve su tüketimi artırılmalıdır. Vitamin ve mineral eksikliklerini önlemek için tam tahıl, meyve ve sebze tüketimini destekleyecek sağlıklı beslenme planı ve düzeni oluşturulmalıdır. Sağlıklı çocuklarda günlük enerji hesaplamasında kilogram tek başına veya boy ile kullanılırken, DS'li bireyler de günlük enerji hesaplamasında boy uzunluğu kullanılmalıdır. DS'ye özgü persentil eğrilerinden büyüme ve gelişme takibi yapılmalıdır. DS'li bebeklerde (0-6 ay) disfaji ve aspirasyon riski arttığı için beslenmelerinde bu durumlar değerlendirilerek göz önüne alınmalıdır. Emme ve yutma problemlerinde yumuşak besin eldesi için kullanılan kıvam arttırıcıların enerji değerinin olması, DS'li bireylerin enerji alımında artışa neden olacağından diyetle kıvam arttırıcı eklentisi yapıldığında diyet enerjisine dikkat edilmelidir. Biyokimyasal parametrelerde eksiklik riski olan mikro besin öğeleri (D vitamini, Ca, B12, B9, Fe, Ca, Se, Cu) ve yükseklik riski olan total kolesterol, LDL ve trigliserit parametreleri takip edilmelidir. Takviye besin öğesi kullanımı bilinçsiz yapılmamalı, yalnızca biyokimyasal parametreler de eksiklik saptandığında doktor ve diyetisyen eşliğinde uygulanmalı ve takip edilmelidir. DS'li bireylerde makro ve mikro besin öğesi eksikliğinde miktarları hakkında net veriler bulunmamaktadır aynı yaştaki sağlıklı bireylerle aynı miktarlarda alımları sağlanmalıdır. Kurkumin, resveratrol, epikateşin-3-gallat ve hidroksitirozol takviyeleri DS'li bireyler üzerinde araştırılmış ve tüm takviyelerin bireylerde fayda sağlayabileceği sonucuna ulaşılırken net tüketim miktarları belirtilmemiş ve saptanmamıştır bu yüzden daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Yeterli ve dengeli beslenme ile DS'li bireylerin 30'lu yaşlardan 60'lı yaşlara kadar yaşam süreleri arttırılabilmektedir. Down Sendromlu bireylerde beslenme çalışmaları ile semptomların önlenmesi ve kısıtlı araştırma bulunduğundan bu konuda daha fazla çalışma yapılması önerilmektedir.

Kaynakça

- [1] AbdAllah, A. M., Raffa, S., Alaidaroos, T., Obaid, R., & Abuznada, J. (2013). Nutritional status of some children and adolescents with Down syndrome in Jeddah. *Life Science Journal*, 10(3), 1310-1318.
- [2] Abeyssekera, I., Thomas, J., Georgiadis, T. M., Berman, A. G., Hammond, M. A., Dria, K. J., ... & Roper, R. J. (2016). Differential effects of Epigallocatechin-3-gallate containing supplements on correcting skeletal defects in a Down syndrome mouse model. *Molecular nutrition & food research*, 60(4), 717-726.
- [3] Akbulut, G. (2019). Krause besin ve beslenme bakım süreci, Ankara Nobel Tıp Kitabevi, 2.basım, 915-918.
- [4] Akhtar, F., & Bokhari, S. R. A. (2020). Down Syndrome (Trisomy 21). *StatPearls* [<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526016/>].
- [5] Alhajraf, F., Ness, D., Hye, A., & Strydom, A. (2019). Plasma amyloid and tau as dementia biomarkers in Down syndrome: Systematic review and meta-analyses. *Developmental neurobiology*, 79(7), 684-698
- [6] AlJameel, A. H., Watt, R. G., Tsakos, G., & Daly, B. (2020). Down syndrome and oral health: mothers' perception on their children's oral health and its impact. *Journal of patient-reported outcomes*, 4(1), 1-8.
- [7] Alves-Sampaio, A., Troca-Marín, J. A., & Montesinos, M. L. (2010). NMDA-mediated regulation of DSCAM dendritic local translation is lost in a mouse model of Down's syndrome. *Journal of Neuroscience*, 30(40), 13537-13548.
- [8] Anil, M. A., Shabnam, S., & Narayanan, S. (2019). Feeding and swallowing difficulties in children with Down syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 63(8), 992-1014.
- [9] Antonarakis, S. E., Skotko, B. G., Rafii, M. S., Strydom, A., Pape, S. E., Bianchi, D. W., Sherman, S. L., & Reeves, R. H. (2020). Down syndrome. *Nature reviews. Disease primers*, 6(1), 9.
- [10] Basil, J. S., Santoro, S. L., Martin, L. J., Healy, K. W., Chini, B. A., & Saal, H. M. (2016). Retrospective study of obesity in children with Down syndrome. *The Journal of pediatrics*, 173, 143-148.
- [11] Bermudez, B. E., de Oliveira, C. M., de Lima Cat, M. N., Magdalena, N. I., & Celli, A. (2019). Gastrointestinal disorders in Down syndrome. *American Journal of Medical Genetics Part A*, 179(8), 1426-1431.
- [12] Bertapelli, F., Pitetti, K., Agiovlasis, S., & Guerra-Junior, G. (2016). Overweight and obesity in children and adolescents with Down syndrome—prevalence, determinants, consequences, and interventions: a literature review. *Research in Developmental Disabilities*, 57, 181-192.
- [13] Bjergved, L., Jørgensen, T., Perrild, H., Laurberg, P., Krejbjerg, A., Ovesen, L., ... & Knudsen, N. (2014). Thyroid function and body weight: a community-based longitudinal study. *PLoS One*, 9(4), e93515.
- [14] Bull, M. J. (2011). Health supervision for children with Down syndrome. *American Academy Pediatrics*, 107(2):442
- [15] Bull, M. J. (2020). Down Syndrome. *New England Journal of Medicine*, 382(24), 2344-2352.
- [16] Butler, C., Knox, A. J., Bowersox, J., Forbes, S., & Patterson, D. (2006). The production of transgenic mice expressing human cystathionine beta-synthase to study Down syndrome. *Behavior genetics*, 36(3), 429-438.
- [17] Cetiner, S., Demirhan, O., Inal, T. C., Tastemir, D., & Sertdemir, Y. (2010). Analysis of peripheral blood T-cell subsets, natural killer cells and serum levels of cytokines in children with Down syndrome. *International journal of immunogenetics*, 37(4), 233-237.
- [18] Chen, X. Q., Sawa, M., & Mobley, W. C. (2018). Dysregulation of neurotrophin signaling in the pathogenesis of Alzheimer disease and of Alzheimer disease in Down syndrome. *Free Radical Biology and Medicine*, 114, 52-61.
- [19] Coentro, V. S., Geddes, D. T., & Perrella, S. L. (2020). Altered sucking dynamics in a breastfed infant with Down syndrome: a case report. *International Breastfeeding Journal*, 15(1), 1-6.
- [20] Coppedè, F. (2016). Risk factors for Down syndrome. *Archives of Toxicology*, 90(12), 2917-2929.
- [21] Coppedè, F., Stocco, A., Tannorella, P., & Migliore, L. (2019). Plasma homocysteine and polymorphisms of genes involved in folate metabolism correlate with dnmt1 gene methylation levels. *Metabolites*, 9(12), 298.
- [22] Costa, R., De Miguel, R., García, C., de Asúa, D. R., Castañeda, S., Moldenhauer, F., & Suárez, C. (2017). Bone Mass Assessment in a Cohort of Adults With Down Syndrome: A Cross-Sectional Study. *Intellectual and Developmental Disabilities*, 55(5), 315-324.
- [23] Cuckle, H., & Arbuzova, S. (2019). Epidemiology and genetics of human aneuploidy. *Human Reproductive and Prenatal Genetics*, 529-551.
- [24] Çoğullu Ö. (2018). Down Sendromu A'dan Z'ye, Ankara Nobel Tıp Kitabevleri. Ankara
- [25] Torre, R., Sola, S., Hernandez, G., Farré, M., Pujol, J., Rodriguez, J., Espadaler, J. M., Langohr, K., Cuenca-Royo, A., Principe, A., Xicota, L., Janel, N., Catuara-Solarz, S., Sanchez-
- [26] Benavides, G., Bléhaut, H., Dueñas-Espín, I., Del Hoyo, L., ... TESDAD study group (2016). Safety and efficacy of cognitive training plus epigallocatechin-3-gallate in young adults with Down's syndrome (TESDAD): a double-blind, randomised, placebo-controlled, phase 2 trial. *The Lancet. Neurology*, 15(8), 801-810.
- [27] DeBoer E., Jackson A., Maybee J., Helland S., Hickey F., Daniels D., Fox D., Friedman N., Friedlander J., Terry J., Nickels S. (2017). Aspiration and dysphagia in children with Down syndrome, Clinical pathway. *Children's Hospital Colorado*, 1-18.
- [28] Demir, D. P., & Güler, Ç. (2013). Down Sendromlu Çocuklarda Ağız-Diş Sağlığı. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 23(2), 274-281.
- [29] Dey, A., Bhowmik, K., Chatterjee, A., Sinha, S., & Mukhopadhyay, K. (2013). Down syndrome related muscle hypotonia: association with COL6A3 functional SNP rs2270669. *Frontiers in Genetics*, 4, 57.
- [30] Diamandopoulos, K., & Green, J. (2018). Down syndrome: An integrative review. *Journal of neonatal nursing*, 24(5), 235-241.
- [31] Du, Y., Shan, L. F., Cao, Z. Z., Feng, J. C., & Cheng, Y. (2018). Prevalence of celiac disease in patients with Down syndrome: a meta-analysis. *Oncotarget*, 9(4), 5387.
- [32] Fleming, R. K., Stokes, E. A., Curtin, C., Bandini, L. G., Gleason, J., Scampini, R., ... & Hamad, C. (2008). Behavioral health in developmental disabilities: A comprehensive program of nutrition, exercise, and weight reduction. *International Journal of Behavioral Consultation and Therapy*, 4(3), 287.

- [33]Foley, C., & Killeen, O. G. (2019). Musculoskeletal anomalies in children with Down syndrome: an observational study. *Archives of Disease in Childhood*, 104(5), 482-487.
- [34]García-Hoyos, M., Riancho, J. A., & Valero, C. (2017). Bone health in Down syndrome. *Salud ósea en el síndrome de Down*. *Medicina clinica*, 149(2), 78–82.
- [35]Glass, T. J., Twadell, S. L., Valmadrid, L. C., & Connor, N. P. (2019). Early impacts of modified food consistency on oromotor outcomes in mouse models of Down syndrome. *Physiology & Behavior*, 199, 273-281..
- [36]Görmez, A., & Kırpınar, İ. (2016). Down Sendromu ve Demans: İlişkisi ve Klinik Özellikleri. *Yeni Symposium Dergisi*, 54(1), 25-28.
- [37]Grammatikopoulou, M. G., Manai, A., Tsigga, M., Tsiligioglou-Fachantidou, A., Galli-Tsinopoulou, A., & Zakas, A. (2008). Nutrient intake and anthropometry in children and adolescents with Down syndrome--a preliminary study. *Developmental neurorehabilitation*, 11(4), 260–267.
- [38]Grealish, K. G., Price, A. M., & Stein, D. S. (2020). Systematic review of recent pediatric down syndrome neuropsychology literature: considerations for regression assessment and monitoring. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 41(6), 486-495.
- [39]Gu, Y. (2017). Association between polymorphisms in folate metabolism genes and maternal risk for Down syndrome: A meta analysis. *Molecular and Clinical Oncology*, 7(3), 367-377.
- [40]Gueant, J. L., Anello, G., Bosco, P., Gueant-Rodriguez, R. M., Romano, A., Barone, C., ... & Romano, C. (2005). Homocysteine and related genetic polymorphisms in Down's syndrome IQ. *Journal Of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 76(5), 706-709.
- [41]Guijarro, M., Valero, C., Paule, B., Gonzalez-Macias, J., & Riancho, J. A. (2008). Bone mass in young adults with Down syndrome. *Journal Of Intellectual Disability Research: JIDR*, 52(Pt 3), 182–189.
- [42]Hagau, N., & Culcitchi, C. (2010). Nutritional support in children with congenital heart disease. *Nutritional Therapy & Metabolism*, 28(4), 172-184.
- [43]Hildebrand, E., Källén, B., Josefsson, A., Gottvall, T., & Blomberg, M. (2014). Maternal obesity and risk of Down syndrome in the offspring. *Prenatal Diagnosis*, 34(4), 310-315.
- [44]Hill, D. L., Parks, E. P., Zemel, B. S., Shults, J., Stallings, V. A., & Stettler, N. (2013). Resting energy expenditure and adiposity accretion among children with Down syndrome: a 3-year prospective study. *European Journal Of Clinical Nutrition*, 67(10), 1087-1091.
- [45]Holmes, G. (2014). Gastrointestinal disorders in Down syndrome. *Gastroenterology And Hepatology From Bed To Bench*, 7(1), 6.
- [46]Hunter, J. E., Allen, E. G., Shin, M., Bean, L. J., Correa, A., Druschel, C., ... & Torfs, C. P. (2013). The association of low socioeconomic status and the risk of having a child with Down syndrome: a report from the National Down Syndrome Project. *Genetics in Medicine*, 15(9), 698-705.
- [47]Hussamy, D. J., Herrera, C. L., Twickler, D. M., Mcintire, D. D., & Dashe, J. S. (2019). Number of risk factors in Down syndrome pregnancies. *American Journal Of Perinatology*, 36(01), 079-085.
- [48]Izzo, A., Mollo, N., Nitti, M., Paladino, S., Cali, G., Genesisio, R., ... & Nitsch, L. (2018). Mitochondrial dysfunction in down syndrome: molecular mechanisms and therapeutic targets. *Molecular Medicine*, 24(1), 1-8.
- [49]Jurewicz, J., Radwan, M., Sobala, W., Gromadzińska, J., Jabłońska, E., Radwan, P., ... & Hanke, W. (2016). Dietary patterns and the frequency of disomy in human sperm. *Urology*, 93, 86-91.
- [50]Jurewicz, J., Radwan, M., Sobala, W., Polańska, K., Radwan, P., Jakubowski, L., ... & Hanke, W. (2015). The relationship between exposure to air pollution and sperm disomy. *Environmental And Molecular Mutagenesis*, 56(1), 50-59.
- [51]Kara M., Kargün K., Köse H., Aygün A.D., & Şen A. (2013). Double trizomiye (48, XXX,+ 21) sahip down sendromlu bir çocuk: Olgu sunumu. *Fırat Tıp Dergisi*, 18(2), 126-129.
- [52]Kavecán, I., Privrodski, J. J., Obrenovic, M., Privrodski, B., & Mudrinic, T. R. (2019, May). Hypothyroidism and Down syndrome. In 21st European Congress of Endocrinology (Vol. 63). BioScientifica.
- [53]Keen, C., Hunter, J. E., Allen, E. G., Rocheleau, C., Waters, M., & Sherman, S. L. (2020). The association between maternal occupation and down syndrome: A report from the national Down syndrome project. *International Journal Of Hygiene And Environmental Health*, 223(1), 207-213.
- [54]Kismiroğlu, C, Cengiz, S, Yaman, M. (2020). AMPK'nin Biyokimyası: Etki mekanizmaları ve diyabetin tedavisindeki önemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 162-170.
- [55]Körten, M. A., Helm, P. C., Abdul-Khaliq, H., Baumgartner, H., Kececioglu, D., Schlensak, C., ... & Competence Network for Congenital Heart Defects Investigators. (2016). Eisenmenger syndrome and long-term survival in patients with Down syndrome and congenital heart disease. *Heart*, 102(19), 1552-1557.
- [56]Lana-Elola, E., Watson-Scales, S. D., Fisher, E. M., & Tybulewicz, V. L. (2011). Down syndrome: searching for the genetic culprits. *Disease Models & Mechanisms*, 4(5), 586-595.
- [57]Langdon-Down, J. (1866). Observations on an ethnic classification of idiots. *London Hospital Reports* 3, 259–262.
- [58]Lanzillotta, C., Tramutola, A., Di Giacomo, G., Marini, F., Butterfield, D. A., Di Domenico, F., ... & Barone, E. (2021). Insulin resistance, oxidative stress and mitochondrial defects in Ts65dn mice brain: A harmful synergistic path in Down syndrome. *Free Radical Biology and Medicine*, 165, 152-170.
- [59]Laverty, A. (2013). Down's Syndrome: Nutritional aspects. *Encyclopedia of Human Nutrition*, 3, 84–89.
- [60]Licastro, F., Marocchi, A., Penco, S., Porcellini, E., Lio, D., Dogliotti, G., & Corsi, M. M. (2006). Does Down's syndrome support the homocysteine theory of atherogenesis?: Experience in elderly subjects with trisomy 21. *Archives Of Gerontology And Geriatrics*, 43(3), 381–387.
- [61]Lima, A. S., Cardoso, B. R., & Cozzolino, S. F. (2010). Nutritional status of zinc in children with Down syndrome. *Biological Trace Element Research*, 133(1), 20-28.
- [62]Lott, I. T. (2012). Antioxidants in Down syndrome. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1822(5), 657-663.
- [63]Lott, I. T., & Head, E. (2019). Dementia in Down syndrome: unique insights for Alzheimer disease research. *Nature Reviews Neurology*, 15(3), 135-147.
- [64]Lott, I. T., Doran, E., Nguyen, V. Q., Tournay, A., Head, E., & Gillen, D. L. (2011). Down syndrome and dementia: a randomized, controlled trial of antioxidant supplementation. *American Journal of Medical Genetics Part A*, 155(8), 1939-1948.

- [65] Lucas, B. L., Feucht, S. A., & Grieger, L. (2004). Children with special health care needs: Nutrition care handbook. American Dietetic Association, 41.
- [66] Magenis, M. L., Machado, A. G., Bongioiolo, A. M., Silva, M. A. da, Castro, K., & Perry, I. D. S. (2017). Dietary practices of children and adolescents with Down syndrome. *Journal of Intellectual Disabilities*, 22(2), 125–134.
- [67] Manna, C., Tagliafierro, L., Scala, I., Granese, B., Andria, G., & Zappia, V. (2012). The role of iron toxicity in oxidative stress-induced cellular degeneration in down syndrome: protective effects of phenolic antioxidants. *Current Nutrition & Food Science*, 8(3), 206-212.
- [68] Marin, A. S., & Graupera, J. M. X. (2011). Nutritional status of intellectual disabled persons with Down syndrome. *Nutricion Hospitalaria*, 26(5), 1059-1066.
- [69] Martin, K. R., Corlett, A., Dubach, D., Mustafa, T., Coleman, H. A., Parkington, H. C., ... & Finkelstein, D. I. (2012). Over-expression of RCAN1 causes Down syndrome-like hippocampal deficits that alter learning and memory. *Human Molecular Genetics*, 21(13), 3025-3041.
- [70] Martínez-Espinosa, R. M., Molina Vila, M. D., & Reig García-Galbis, M. (2020). Evidences from Clinical Trials in Down Syndrome: Diet, Exercise and Body Composition. *International journal of environmental research and public health*, 17(12), 4294.
- [71] Mazurek, D., & Wyka, J. (2015). Down syndrome-genetic and nutritional aspects of accompanying disorders. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 66(3), 189-194.
- [72] McKelvey, K. D., Fowler, T. W., Akel, N. S., Kelsay, J. A., Gaddy, D., Wenger, G. R., & Suva, L. J. (2013). Low bone turnover and low bone density in a cohort of adults with Down syndrome. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 24(4), 1333–1338.
- [73] Mégarbané, A., Noguier, F., Stora, S., Manchon, L., Mircher, C., Bruno, R., ... & Ravel, A. (2013). The intellectual disability of trisomy 21: differences in gene expression in a case series of patients with lower and higher IQ. *European Journal of Human Genetics*, 21(11), 1253-1259.
- [74] Moreau, M., Benhaddou, S., Dard, R., Tolu, S., Hamzé, R., Vialard, F., Movassat, J., & Janel, N. (2021). Metabolic Diseases and Down Syndrome: How Are They Linked Together?. *Biomedicines*, 9(2), 221.
- [75] Muchová, J., Žitňanová, I., & Ďuračková, Z. (2014). Oxidative stress and Down syndrome. Do antioxidants play a role in therapy?. *Physiological research*, 63(5), 535–542.
- [76] Nixon, D. W. (2018). Down syndrome, obesity, alzheimer's disease, and cancer: A brief review and hypothesis. *Brain sciences*, 8(4), 53.
- [77] Nordstrøm, M., Paus, B., Andersen, L. F., & Kolset, S. O. (2015). Dietary aspects related to health and obesity in Williams syndrome, Down syndrome, and Prader–Willi syndrome. *Food & Nutrition Research*, 59(1), 25487.
- [78] Obeid, R., Hartmuth, K., Herrmann, W., Gortner, L., Rohrer, T. R., Geisel, J., ... & Nijhout, H. F. (2012). Blood biomarkers of methylation in Down syndrome and metabolic simulations using a mathematical model. *Molecular Nutrition & Food Research*, 56(10), 1582-1589.
- [79] Osaili, T. M., Attlee, A., Naveed, H., Maklai, H., Mahmoud, M., Hamadeh, N., ... & Obaid, R. S. (2019). Physical status and parent-child feeding behaviours in children and adolescents with Down syndrome in the United Arab Emirates. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 16(13), 2264.
- [80] Oster-Granite, M. L., Parisi, M. A., Abbeduto, L., Berlin, D. S., Bodine, C., Bynum, D., ... & Kaufmann, P. (2011). Down syndrome: national conference on patient registries, research databases, and biobanks. *Molecular Genetics And Metabolism*, 104(1-2), 13-22.
- [81] Palmieri, B., Vadala', M., & Laurino, C. (2019). Gluten-free diet in non-celiac patients: beliefs, truths, advantages and disadvantages. *Minerva gastroenterologica e dietologica*, 65(2), 153–162.
- [82] Pavlovic, M., Berenji, K., & Bukurov, M. (2017). Screening of celiac disease in Down syndrome-Old and new dilemmas. *World journal of clinical cases*, 5(7), 264.
- [83] Pierce, M., Ramsey, K., & Pinter, J. (2019). Trends in obesity and overweight in Oregon children with Down syndrome. *Global pediatric health*, 6, 2333794X19835640.
- [84] Rafii, M. S., Kleschevnikov, A. M., Sawa, M., & Mobley, W. C. (2019). Down syndrome. *Handbook of Clinical Neurology*, 167, 321-336.
- [85] Ram, G., & Chinen, J. (2011). Infections and immunodeficiency in Down syndrome. *Clinical & Experimental Immunology*, 164(1), 9-16.
- [86] Ravel, A., Mircher, C., Rebillat, A. S., Cieuta-Walti, C., & Megarbane, A. (2020). Feeding problems and gastrointestinal diseases in Down syndrome. *Archives de Pédiatrie*, 27(1), 53-60.
- [87] Robertson, J., Baines, S., Emerson, E., & Hatton, C. (2018). Prevalence of constipation in people with intellectual disability: A systematic review. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 43(4), 392-406.
- [88] Rodrigues, B. S., Pellanda, L. C., & Gottschall, C. B. A. (2012). Nutritional assessment of children and teenagers with Down syndrome and congenital cardiopathy. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(2), 151-158.
- [89] Roizen, N. J., Magyar, C. I., Kuschner, E. S., Sulkes, S. B., Druschel, C., van Wijngaarden, E., ... & Hyman, S. L. (2014). A community cross-sectional survey of medical problems in 440 children with Down syndrome in New York State. *The Journal of pediatrics*, 164(4), 871-875.
- [90] Rueda Revilla, N., & Martínez-Cué, C. (2020). Antioxidants in Down Syndrome: From Preclinical Studies to Clinical Trials. *Antioxidants*, 9(8), 692.
- [91] Rueda, N., Vidal, V., García-Cerro, S., Puente, A., Campa, V., Lantigua, S., ... & Martínez-Cué, C. (2020). Prenatal, but not postnatal, curcumin administration rescues neuromorphological and cognitive alterations in Ts65Dn Down syndrome mice. *The Journal of Nutrition*, 150(9), 2478-2489.
- [92] Saghazadeh, A., Mahmoudi, M., Dehghani Ashkezari, A., Olliaie Rezaie, N., & Rezaei, N. (2017). Systematic review and meta-analysis shows a specific micronutrient profile in people with Down Syndrome: Lower blood calcium, selenium and zinc, higher red blood cell copper and zinc, and higher salivary calcium and sodium. *PloS one*, 12(4), e0175437.
- [93] Seiverling, L., Hendy, H. M., & Williams, K. (2011). The Screening Tool of Feeding Problems applied to children (STEP-CHILD): psychometric characteristics and associations with child and parent variables. *Research in developmental disabilities*, 32(3), 1122–1129.
- [94] Sharr, C., Lavigne, J., Elsharkawi, I. M., Ozonoff, A., Baumer, N., Brasington, C., ... & Kishnani, P. (2016).

- Detecting celiac disease in patients with Down syndrome. *American Journal of Medical Genetics Part A*, 170(12), 3098-3105.
- [95] Sherman, S. L., Allen, E. G., Bean, L. H., & Freeman, S. B. (2007). Epidemiology of Down syndrome. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 13(3), 221-227.
- [96] Stagi, S., Lapi, E., Romano, S., Bargiacchi, S., Brambilla, A., Giglio, S., ... & de Martino, M. (2015). Determinants of vitamin d levels in children and adolescents with down syndrome. *International journal of endocrinology*, 2015, 11.
- [97] Stanley, M. A., Shepherd, N., Duvall, N., Jenkinson, S. B., Jalou, H. E., Givan, D. C., ... & Roper, R. J. (2019). Clinical identification of feeding and swallowing disorders in 0–6 month old infants with Down syndrome. *American Journal of Medical Genetics Part A*, 179(2), 177-182.
- [98] Stefanowicz-Bielska, A., Wierzba, J., Stefanowicz, J., & Chamienia, A. (2020). Factors affecting the prevalence of overweight and obesity in children with Down syndrome. *Minerva Pediatrica*.
- [99] Swigonski N, Kuhlenschmidt H, Bull M, Corkins M, Downs S. (2006). Screening for celiac disease in asymptomatic children with Down syndrome: cost-effectiveness of preventing lymphoma. *Pediatrics*, 118(2), 594–602.
- [100] Tamayo, C., Manlhiot, C., Patterson, K., Lalani, S., & McCrindle, B. W. (2015). Longitudinal evaluation of the prevalence of overweight/obesity in children with congenital heart disease. *Canadian Journal of Cardiology*, 31(2), 117-123.
- [101] Thiel R, Fowkes SW (2007). Down syndrome and thyroid dysfunction: should nutritional support be the first-line treatment?. *Medical Hypotheses*, 69:809–815
- [102] Tüysüz B, Göknaar NT, Öztürk B. (2012). Growth charts of turkish children with Down syndrome. *Am J Med Genet Part A* 158A:2656–2664.
- [103] Tamayo, C., Manlhiot, C., Patterson, K., Lalani, S., & McCrindle, B. W. (2015). Longitudinal evaluation of the prevalence of overweight/obesity in children with congenital heart disease. *Canadian Journal of Cardiology*, 31(2), 117-123.
- [104] Thiel R, Fowkes SW (2007). Down syndrome and thyroid dysfunction: should nutritional support be the first-line treatment?. *Medical Hypotheses*, 69:809–815
- [105] Tüysüz B, Göknaar NT, Öztürk B. (2012). Growth charts of turkish children with Down syndrome. *Am J Med Genet Part A* 158A:2656–2664.
- [106] Vacca, R. A., Bawari, S., Valenti, D., Tewari, D., Nabavi, S. F., Shirooie, S., Sah, A. N., Volpicella, M., Braidy, N., & Nabavi, S. M. (2019). Down syndrome: Neurobiological alterations and therapeutic targets. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 98, 234–255.
- [107] Valenti, D., de Bari, L., de Rasmio, D., Signorile, A., Henrion-Caude, A., Contestabile, A., & Vacca, R. A. (2016). The polyphenols resveratrol and epigallocatechin-3-gallate restore the severe impairment of mitochondria in hippocampal progenitor cells from a Down syndrome mouse model. *Biochimica et biophysica acta*, 1862(6), 1093–1104.
- [108] Valenti, D., Braidy, N., De Rasmio, D., Signorile, A., Rossi, L., Atanasov, A. G., ... & Vacca, R. A. (2018). Mitochondria as pharmacological targets in Down syndrome. *Free Radical Biology and Medicine*, 114, 69-83.
- [109] Valentini, D., Alisi, A., di Camillo, C., Sartorelli, M. R., Crudele, A., Bartuli, A., ... & Villani, A. (2017). Nonalcoholic fatty liver disease in Italian children with Down syndrome: Prevalence and correlation with obesity-related features. *The Journal of Pediatrics*, 189, 92-97.
- [110] Van Riper, C. (2010). Position of the American Dietetic Association: Providing nutrition services for people with developmental disabilities and special health care needs. *Journal of the American Dietetic Association*, 110(2), 296-307.
- [111] Weijerman ME, de Winter JP (2010) Clinical practice. The care of children with Down syndrome. *European Journal of Pediatrics*, 169:1445–1452
- [112] Whooten, R., Schmitt, J., & Schwartz, A. (2018). Endocrine manifestations of Down syndrome. *Current opinion in endocrinology, diabetes, and obesity*, 25(1), 61.
- [113] Wrzochal, A., Gładys-Jakubczyk, A., & Suliga, E. (2019). Evaluation of diet in preschool-age children with Down syndrome – preliminary examination.
- [114] Yamanaka E., Inayama T., Ohkawara K., Okazaki K., Kita I. (2020). The association between obesity and sedentary behavior or daily physical activity among children with Down's syndrome aged 7–12 years in Japan: A cross-sectional study. *Cell Press Heliyon*, 6(9), e04861.
- [115] Yu, Y. E., Xing, Z., Do, C., Pao, A., Lee, E. J., Krinsky-McHale, S., ... & Tycko, B. (2020). Genetic and epigenetic pathways in Down syndrome: Insights to the brain and immune system from humans and mouse models. In *Progress in Brain Research* (Vol. 251, pp. 1-28). Elsevier.
- [116] Zhu, K., Chen, X., Liu, J., Ye, H., Zhu, L., & Wu, J. Y. (2013). AMPK interacts with DSCAM and plays an important role in Netrin-1 induced neurite outgrowth. *Protein & cell*, 4(2), 155-161.



Experimental Analysis of PV/T Collectors Assisted with PCM for Off-Grid Domestic Applications

Eda Bakır^{1*}, Fatih Bayrak², Hakan Öztıp³

^{1*} Tunceli Vocational School, Munzur University, Tunceli, Turkey (ORCID: 0000-0002-6522-9397), edabakr23@gmail.com

² Department of Mechanical Engineering, Engineering Faculty, Siirt University, Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0003-3715-6458), fatih.byrc@gmail.com

³ Department of Mechanical Engineering, Technology Faculty, Firat University, Elazig, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2161-0639), hfoztop4@gmail.com

(First received 17 December 2020 and in final form 6 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.841922)

ATIF/REFERENCE: Bakır, E., Bayrak, F., Öztıp, H.F. (2021). Experimental Analysis of PV/T Collectors Assisted with PCM for Off-Grid Domestic Applications. *European Journal of Science and Technology*, (23), 627-636.

Abstract

An experimental study was carried out to examine the efficiency of solar energy in photovoltaic thermal collectors (PV/T) with energy storage. A photovoltaic thermal collector was used to generate both electrical energy and hot water. The effects of inclination angle of PV/T collectors on power, temperature, energy and exergy values were investigated. Also, effects of cellular shading are tested and discussed. PV/T was compared with the conventional PV/T collector by adding phase change material (PCM) for one of the collectors. In addition, the effect of different shading conditions (small, medium and large circle) on the power and hot water output of the PV/T collector at optimum slope angle were investigated. It is found that 7 °C temperature differences are occurred in the hot water outlet between the PV/T collector and the PV/T-PCM collector. The highest energy efficiencies of PV/T-PCM collectors are obtained as 73.26%, 84.70% and 68.96% for slope angle 25°, 30° and 35°, respectively. The highest exergy efficiencies of shaded collectors are obtained as 11.92% for PV/T and 23.38% for PV/T-PCM.

Keywords: Photovoltaic/Thermal, Phase Change Material, Angle, Energy, Exergy, Shading

Şebekeden Bağımsız Ev Tipi Uygulamaları için PCM Destekli PV/T Kollektörlerinin Deneysel Analizi

Öz

Enerji depolamalı fotovoltaiik termal kollektörlerde (PV/T) güneş enerjisinin verimini incelemek için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Hem elektrik enerjisi hem de sıcak su üretmek için bir fotovoltaiik termal kollektör imal edilmiştir. PV/T kollektörlerinin eğim açısının; güç, sıcaklık, enerji ve ekserji değerlerine etkileri ile hücresel gölgelendirmenin etkileri araştırılmıştır. PV/T kollektörlerinden birinin içine faz değişim malzemesi (PCM) eklenerek PV/T kollektörüyle karşılaştırılarak farklı gölgeleme koşullarının (küçük, orta ve büyük daire) PV/T kollektörünün optimum eğim açısındaki gücü ve sıcak su çıkışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. PV/T kollektörü ile PV/T-PCM kollektörü arasındaki sıcak su çıkışında 7 °C sıcaklık farkı olduğu bulunmuştur. PV/T-PCM kollektörünün en yüksek enerji verimleri sırasıyla 25°, 30° ve 35° eğim açısı için %73,26, %84,70 ve %68,96 olarak elde edilmiştir. Gölge kollektörlerin en yüksek ekserji verimleri ise PV/T kollektör için % 11,92 ve PV/T-PCM kollektörü için ise %23,38 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaiik/Termal, Faz Değişiren Malzeme, Aç, Enerji, Ekserji, Gölgeleme

* Corresponding Author: edabakr23@gmail.com

1. Introduction

The photovoltaic panels are energy conversion systems that produce electricity by absorbing solar irradiation as well known. The waste heat is produced from the back side of the PV. So as to reduce the electrical losses in the PV systems, the cooling of the PV systems has been studied. The PV/T systems have been developed and fluids are passed through the bottom of the panel in order to distribute the heat from the PV panel. Generally, air or water is preferred as a fluid. In this way, excessive heat flow on the PV panel is stored and made available as thermal energy.

In many works, the thermal and electrical performance of air/water based PV/T panel combined with PCMs or without PCMs has been assumed. In this context, Hussain et al. (Hussain et al., 2015) experimentally studied of PV/T collector with and without hexagonal honeycomb. They obtained that the thermal efficiency of systems at the mass flow rate of 0.11 kg/s. Also, the electrical efficiency of the PV panel is developed by 0.1% during the range of the mass flow rate. Browne et al. (Browne et al., 2016) investigated the PV/T-PCM system that in outdoor conditions, generates electricity, stores heat and preheating water. The system performance was compared to different cases. They were indicated that the temperature achieved by the water was about 5.5 °C higher when compared to a PV/T system without PCM. Fayaz et al. (Fayaz et al., 2019a) examined the performances of PV/T-PCM collectors both numerically and experimentally. They found that the electrical efficiency of the PV/T collector was 12.4% for the numerical and 12.28% for the experimental. The electrical efficiency of PV/T-PCM collector was 12.59% for numerical and 12.75% for experimental. Fayaz et al. (Fayaz et al., 2019b) tested the electrical performance of PV/T collector systems by using PCM numerically and experimentally. In the results obtained, the electrical efficiency values of the systems are 13.56% for PV panel, 13.74% for PV/T collector and 13.87% for PV/T-PCM. Hossain et al. (Hossain et al., 2019) carried out thermodynamic and economic analysis of the system using lauric acid as PCM in the PV/T collector. The highest energy and exergy efficiency values for the PV system are 9.88% and 7.09%, for PV/T-PCM systems these values are 11.08% and 12.19%, respectively. Qiu et al. (Qiu et al., 2016) examined a PV/T system with PCM as the working fluid. The results shown that the microencapsulated PCM slurry based PV/T system was superior to typical air based and water based PV/T systems. Su et al. (Su et al., 2017) presented the electrical performances of PV/T integrated with PCMs as upper and lower channel. The results showed that upper PCM mode in the PV/T collector can remarkably improve the performances of PV/T collector. Solanki et al (Solanki et al., 2009) made a comparison between theoretical and experimental results for efficiencies of PV/T collectors. They conducted his experiments in different air mass flow rate. As a result, the thermal efficiency increased with flowrate.

Agrawal and Tiwari (Agrawal and Tiwari, 2011) numerically worked on the energy and exergy analysis of micro-channel (MC) and single-channel (SC) photovoltaic thermal (PV/T) module. They observed that annual thermal and exergy gains have been increased with MCPVT module. Tiwari and Sodha (Tiwari and Sodha, 2006) investigated a thermal model for a photovoltaic/thermal water collector and informed a daily thermal efficiency of about 58%. Fudholi et al. (Fudholi et al., 2018) have theoretically and experimentally studied the thermodynamic analyses of PV/T collector with V-groove. They also stated that mass flow rate had a significant effect on energy efficiency, while it had a minimal effect on exergy efficiency. Zhao et al. (Zhao et

al., 2019) tested their performance by adding PCM to PV panels. It contributed positively to the decrease of PV panel surface temperature and increase of output power of PCMs. Hasan et al. (Hasan et al., 2017) conducted an experimental study and used the MATLAB Simulink Toolbox for the annual energy efficiency of a hot-climate PV-PCM system. The use of PV-PCM was improved and the annual electrical energy efficiency of PV was increased by 5.9 percent in hot climate situations. An experimental study using PCMs was proposed by Radziemska and Kucharek (Klugmann-Radziemska and Wcisło-Kucharek, 2017), and the best results were obtained from the PV/PCM configuration of a steel tank PCM1 (42-44 paraffin) filled PV module. Khanna et al. (Khanna et al., 2018) analyzed the impact of the operating conditions on the optimum depth of the PCM container. The results showed that PCM thickness can be used as a control parameter for energy storage.

Rajput et al. (Rajput et al., 2016) experimentally investigated the formation of hot spots in opaque and semitransparent PV panels. In both PV panels, they indicated that the hot spot temperature decreased as hot spots increased. The efficiencies of PV panels in one and two hot spot formations were 10.41% and 10.41% for opaque panels and 10.62% and 10.54% for semitransparent panels. Dhimish et al. (Dhimish et al., 2018b) investigated the PV output power and found that the partial shading on the panel causes loss of power and increases the surface temperature of the panel. In both of the proposed techniques, the output power of the PV panel increased while the surface temperature decreased. Before and after the activation of the proposed hot spot mitigation process, Dhimish et al. (Dhimish et al., 2018a) analyzed the output power efficiency of PV panels. Bayrak et al. (Bayrak et al., 2017b) investigated the effect of partial (cellular, horizontal and vertical) shading types on energy and exergy efficiencies for PV panels. According to the data obtained, the highest negative effect on the system performance occurred in horizontal shading. The effects of shading the different sizes on PV panels were studied by Dolara et al. (Dolara et al., 2013). They suggested that as each shading rate was raised, the maximum power point decreased. In terms of their performances under partial shading of PV panels, Silvestre et al. (Silvestre, S., Chouder, 2008) compared the simulation and experimental results. They found that, due to the complete shadow of a single solar cell, the power loss of the PV module was around 30 percent. The efficiency of the photovoltaic thermal device cooled with PCM and nanofluid was investigated experimentally by Sarafraz et al. (Sarafraz et al., 2019). They also found that a photovoltaic (PV) panel can be generated between 1:30 pm and 3:30 pm at 0.2wt percent, ~ 45 percent of electricity and 44 percent of thermal power.

Esfe et al. (Hemmat Esfe et al., 2020) made a literature review of fluid and nanofluid applications of photovoltaic thermal systems. It was stated that the electrical efficiency of PV-PCM and PV/T nanofluid systems was increased by 15-23% and 20%-37%, respectively. Elsheniti et al. (Elsheniti et al., 2020) analyzed the temperature distribution of PV-PCM systems with CFD and a new approach "1D Enhanced Conduction Model (ECM)". In addition, electrical efficiencies of PV systems with and without PCM at different slope angles of each season in Alexandria, Egypt were obtained. Kazemian et al. (Kazemian et al., 2019) performed a numerical analysis of an integrated photovoltaic thermal system with phase change material. It was observed that the melting temperature of PCM increased from 40 °C to 65 °C, the surface temperature of the PV panel increased and the output power decreased. In addition, they stated that the increase in thermal

conductivity of PCM increased both the electrical and thermal energy efficiency of the PV/T-PCM system. Al-Waeli et al. (Al-Waeli et al., 2020) aimed to improve the power generation performance of PV/T based on three cooling models using nanofluid, SiC-water and nano-PCM. They stated that with the correct estimates they obtained, errors in other studies can be reduced. Gan and Xiang (Gan and Xiang, 2020) experimentally investigated the effect of PCM storage thickness and fin effect on temperature and output power in PV/T systems. PV/T system 20, 30 and 50 mm thickness PCM storage was integrated and the best results were obtained from the 30 mm thick PV/T-PCM system. It has also been observed that when the fins is integrated into the 30 mm thickness PV/T-PCM system, it has a better cooling than the without fins system. Kayabaşı and Kaya (Kayabaşı and Kaya, 2019) have succeeded in reducing the system surface temperature by using thermoelectric modules and phase change materials from the waste heat of photovoltaic panels. Gani et al. (Gani et al., 2020) investigated the tracking of photovoltaic panels' maximum power points under varying load and solar radiation with neural fuzzy controllers. The proposed follow-up structure stated that in both cases, the photovoltaic system is better adapted to the changes in the maximum power operating point than the incremental conductivity method.

The main purpose of this experimental study is to use the waste heat generated on the PV surface as thermal energy and to benefit more from the PV efficiency. Furthermore, in addition to generating electricity from photovoltaic systems that are advancing rapidly among renewable energy systems, cooling of these systems with cheap methods gives hope to use in industrial scale projects. For this reason, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, which is cost effective, has high thermal conductivity and is easy to obtain, has been chosen in the system. In addition, the electrical and thermodynamic analysis of the PV/T collectors under different partial shading has been examined and provided a detailed analysis.

2. Material and Method

2.1. Experimental Setup

The experiments were carried out in Firat University, Turkey. Experiments were carried out on days when the weather was not cloudy for July, 2017. PV/T collector was designed by installing copper piping on the back of the panels in order to use the waste heat in the PV panels as thermal energy. The PV/T-PCM collector is designed by filling the empty parts of the PV/T collector with Calcium Chloride Hexahydrate (PCM). Since the circulation pump is not used in newly designed systems, the power obtained from the system is equal to the net power ($P=P_{\text{net}}$). PV and PV/T collectors were tested and compared at different inclination angles ($\phi=25^\circ, 30^\circ$ and 35°). The electrical and thermal performances of PV/T collectors were investigated by applying artificial cellular shading of different sizes (small, medium and large) on PV/T collectors with and without PCM at optimum slope angle. From the experiments, power, radiation, hot water, energy and exergy analysis are obtained. All tests were taken between 9 a.m. and 6 p.m. The images and schematic diagram of the experimental setups are shown in Fig. 1 (a-b). Fig. 2 exhibits the artificial cellular shading in the PV/T collectors. 3 different shading is used. In the first shading, a circular non-transparent material with a radius of 40 mm, a circular object with a 78 mm radius so that the second shading is tangent to the cell edges, and a 97.5 mm radius artificial shading was used in the third shading over the cell edges. According to the area ratio, the first shading was found to be A_{r1}

$= 0.20$, the second shading $A_{r2} = 0.80$ and the third shading $A_{r3} = 1.20$.

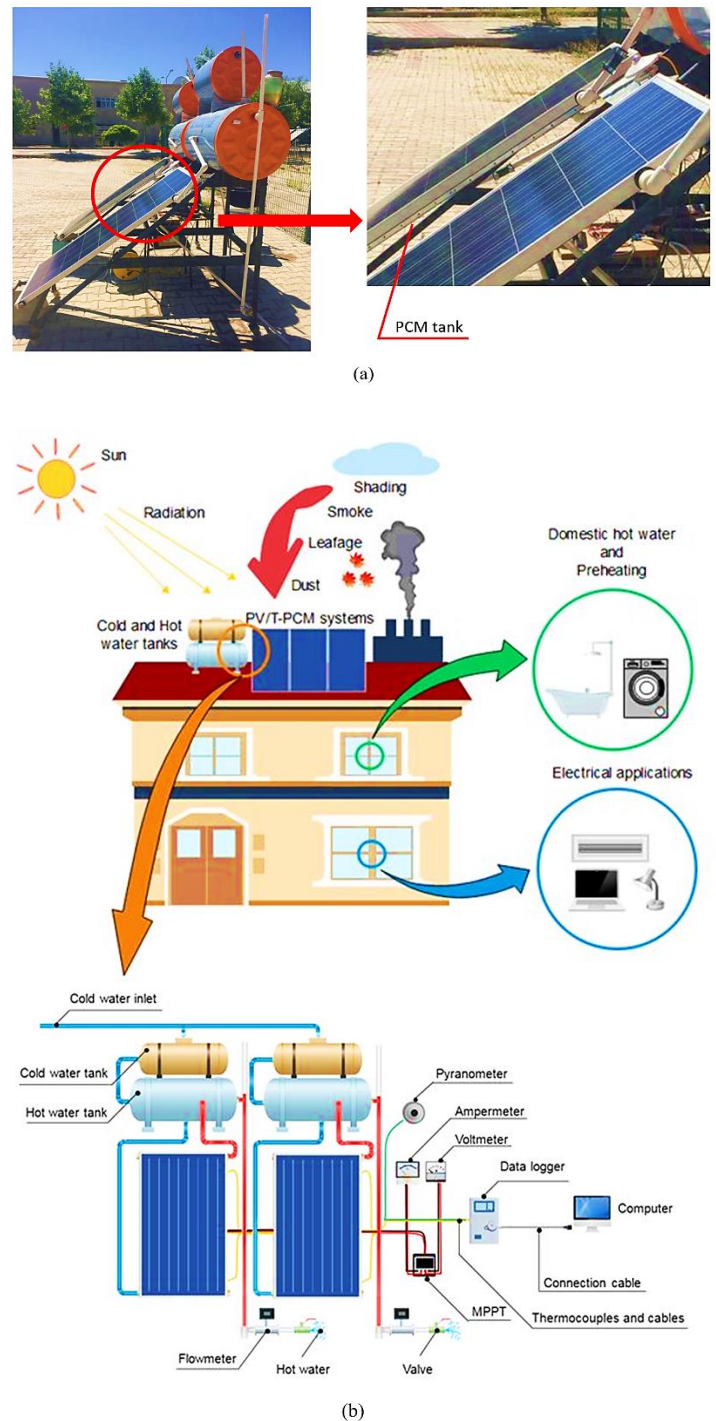


Figure 1. (a) The side view (b) schematic of PV/T systems

All temperature values in experimental measurements were measured with T-type thermocouple (OMEGA). The sensitivity of thermocouples is $\pm 0.5\%$ between -200°C and $+300^\circ\text{C}$. KIPP & ZONEN-CMP3 model was used to measure solar radiation, and CEM-DT-619 model anemometer was used to measure wind speed. The sensitivities of these devices are ± 0.05 between -40°C and $+40^\circ\text{C}$, ± 0.1 between $+40^\circ\text{C}$ and $+80^\circ\text{C}$, $\pm 0.2\text{ m/s}$, respectively. The multimeter is used to measure current and voltage values and the accuracy of this device is ± 0.1 for current and voltage values. The KEITHLEY brand 2701 model 40 channel datalogger was used to transfer all values to the computer. The $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ from Sigma-Aldrich (98% purity) was used as

PCM for the PV panel to storage heating for water. The specifications of this PCM are measured and given in Table 1. In the experiments, two polycrystalline PV panels were used and each panel has 150W power. The properties of the PV panels are also shown in Table 2. The DSC analysis of PCM (CaCl₂.6H₂O) is given Fig. 3.

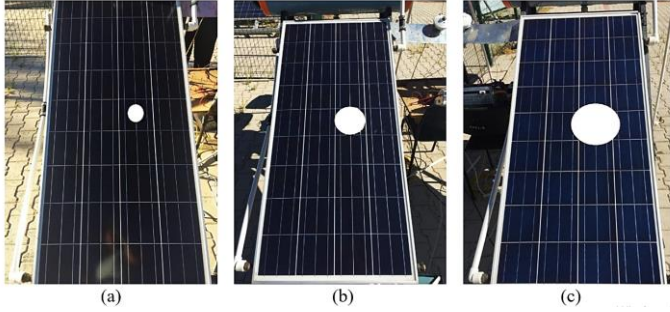


Figure 2. Cellular shading in PV/T collectors with and without PCM (a) Ar₁=0.20, (b) Ar₂=0.80 and (c) Ar₃=1.20

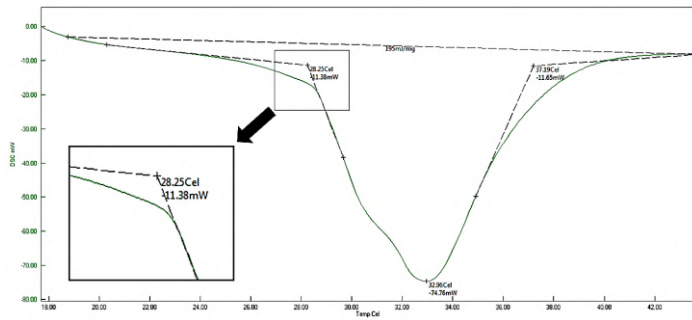


Figure 3. DSC analysis of PCM used in experiments

Table 1. Physical properties of PCM (Rezvanpour et al., 2020)

Property	Catalog values	Measured values
Melting point (°C)	29	28.25
Latent heat capacity (kJ/kg)	195	210.12
Heat cond. coeff. (solid) (W/mK)	1.088	1.09
Heat cond. coeff. (liquid) (W/mK)	0.536	0.54

Table 2. Technical properties of the PV panel

Parameters	Values
Dimensions of the PV module	1480x680x35 mm
Dimensions of a solar cell	156x156
Thickness of the glass cover	3.2 mm
Thickness of the EVA	0.5 mm
Thickness of the solar cells	0.3 mm
Thickness of the Tedlar	0.35 mm
Maximum Power (STC) (P _m)	150 W
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	22.36 V
Optimum Operating Voltage (V _m)	18.79 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	8.52 A
Operating Current (I _m)	7.98 A
Operating Temperature (°C)	-40 to 85

2.1.1. Energy and Exergy Analysis of PV/T

The energy efficiency of the PVs is defined as the ratio of the input energy of the system to the output. Electrical efficiency of PV/T was calculated with equation is reported by Tiwari et al. (Bayrak et al., 2020; Tiwari et al., 2009).

$$\eta_{elec.PV} = \frac{I_{max} V_{max}}{I_s A} \quad (1)$$

The energy of PV/T systems are related to two main components, electricity and heat. Although electricity is produced due to photovoltaic effect, the cells are heated by solar radiation. The thermal energy on the top surface of the photovoltaic panel is not useful energy. The energy output from the photovoltaic system can be defined as follows (Bayrak et al., 2017a, 2017b; Hepbasli, 2008; Petela, 2008)

$$\dot{E}n_o = \dot{E}n_e + \dot{E}n_t = V_{oc} I_{sc} + Q \quad (2)$$

Exergy output from the photovoltaic system is expressed as follows

$$\dot{E}x_o = \dot{E}x_e + \dot{E}x_t + \dot{E}x_d = \dot{E}x_e + I' \quad (3)$$

here I' is;

$$I' = \dot{E}x_t + \dot{E}x_d \quad (4)$$

This equation contains both internal contains losses. The exergy and heat loss are:

$$\dot{E}x_e = \dot{E}n_e - I' \quad (5)$$

$$\dot{E}x_e = V_{oc} I_{sc} - (V_{oc} I_{sc} - V_m I_m) \quad (6)$$

In Eq. (5), the first expression (V_{oc} I_{sc}) is the electrical energy and the second expression (V_{oc} I_{sc} - V_m I_m) represents the exergy deterioration resulting from irreversibility. These two differences express the electrical exergy as follows

$$\dot{E}x_e = V_m I_m \quad (7)$$

The thermal exergy (Ėx_t) of the system consists of the loss of heat from the upper surface of the cells and is expressed in thermodynamics as follows (Bayrak et al., 2019).

$$\dot{E}x_t = \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) \dot{Q} \quad (8)$$

where

$$\dot{Q} = h_{ca} A (T_c - T_a) \quad (9)$$

$$h_{ca} = 5.7 + 3.8v \quad (10)$$

The electrical and thermal exergy of a PV/T systems is:

$$\dot{E}x_o = V_m I_m + \left(1 - \frac{T_c}{T_a}\right) h_{ca} A (T_c - T_a) \quad (11)$$

Input exergy of a PV system is (Hepbasli, 2008; Selimefendigil et al., 2018)

$$\dot{E}x_i = \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) I_s A \quad (12)$$

where T_s is value as 5777 K.

Exergy efficiency of the system;

$$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_o}{\dot{E}x_i} \quad (13)$$

can be calculated.

2.1.2. Uncertainty analysis

In order to show the precision of the data in experimental tests, a study of the uncertainty of the instruments used should be carried out. In experiments, measured values (R) and effective parameters of n independent parameters (x_1, x_2, \dots, x_n) are defined. Error ratio for each variable and calculated are found as W_1, W_2, \dots, W_n . (Bakır, 2017; Esen, 2008; Holman, J.P., 1994).

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (16)$$

3. Results and Discussion

In this experimental study inclination angle on a novel designed PV/T collector with and without phase change material (PCM). In addition, the output power, hot water output and efficiency values in different shading conditions were analyzed in PV/T collectors at optimum slope angle.

Optimum inclination angles and load resistance of the PV panels were determined before starting the experiments. Table 3 shows the current-voltage values of PV panels under the same environmental conditions. The reached highest power is: the panel at 30 degrees with 82.79 W at 1034 W/m² solar radiation at 12:00.

Table 3. Current-voltage values of PV panels at different tilt angles

Time	Inclination angles						Radiation (W/m ²)
	25°		30°		35°		
	I_m	V_m	I_m	V_m	I_m	V_m	
09:00	5.55	12.06	5.58	12.34	5.56	12.01	762.1516
09:30	5.63	12.39	5.66	12.55	5.63	12.59	844.2997
10:00	5.75	12.84	5.77	13.01	5.76	12.92	911.5988
10:30	5.89	12.9	5.93	13.46	5.9	13.04	983.279
11:00	6.02	13.05	6.04	13.53	6.02	13.24	1016.2644
11:30	6.04	13.07	6.05	13.6	6.03	13.26	1027.9872
12:00	6.05	13.08	6.07	13.64	6.04	13.29	1034.8557
12:30	6.01	12.86	6.03	13.61	6.02	13.07	1029.8015
13:00	5.95	12.7	5.97	13.43	5.97	12.96	1017.6934
13:30	5.78	12.61	5.8	13.17	5.8	12.87	999.4123
14:00	5.68	12.46	5.74	12.95	5.69	12.57	941.3265
14:30	5.6	12.42	5.66	12.65	5.67	12.52	880.1496
15:00	5.51	12.39	5.59	12.54	5.57	12.33	787.8873

The maximum power point changes with the power of the PVs and the internal resistance of the system. Fig.4 illustrates the variation of resistance with power at different solar radiation values. The PV/T system was measured as 81.25 W under 985 W/m² radiation and 65.61 W in 680 W/m² radiation when the system had a 30° slope angle. In both solar radiation value, the load resistance of the system is measured as 2.5 ohms. In Fig. 4 shows the power values of a panel.

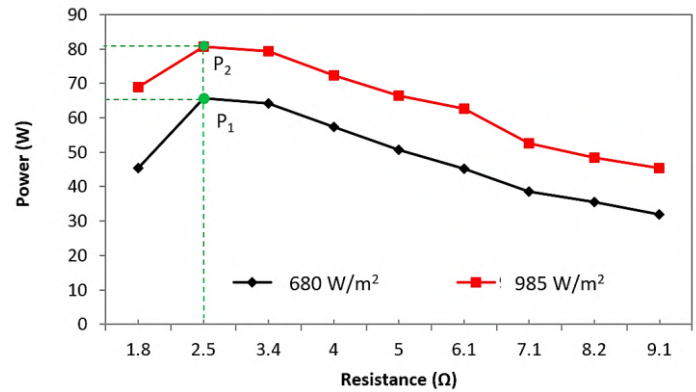


Figure 4. Determination of maximum power point at different resistance values

The experiments were taken once for every half an hour between 09:00 and 18:00 and the results were compared with each other. Power exchange of the PV/T with and without PCM depending on the radiation of the collector with a slope angle of 25° is shown in Fig 5 (a). Using of a PCM enhances the electrical power. The highest value of power was obtained at 11:30 in the collector with PCM. It is seen that these maximum values are obtained as 79.77 W and 77.17 W the PCM systems, respectively. As seen from the figure that for all cases higher power is formed for collector with the PCM. The obtained power goes 2 Watt around 18:00. Even at 18:00 higher power is formed for collector with the PCM. The power exchange for PV/T collector PCM depending on the solar radiation of the collector with a slope angle of 30° is indicated Fig. 5 (b). In this case the highest value of power is obtained around 12:00 and with 83.65 W. In PV/T without PCM the power rating is lower and the value is measured as about 82.01 W while the radiation value was measured as 1080 W/m². It means that addition of the PCM is helped to cool PV panel. Thus, its power is increased with the using of the PCM. The power change of 35° inclined PV/T collectors is given in Figure 5 (c). The highest value reached at 12:00 and a measured at about 80.09 W. In PV/T without PCM the power rating is lower and the value is measured as about 78.37 W.

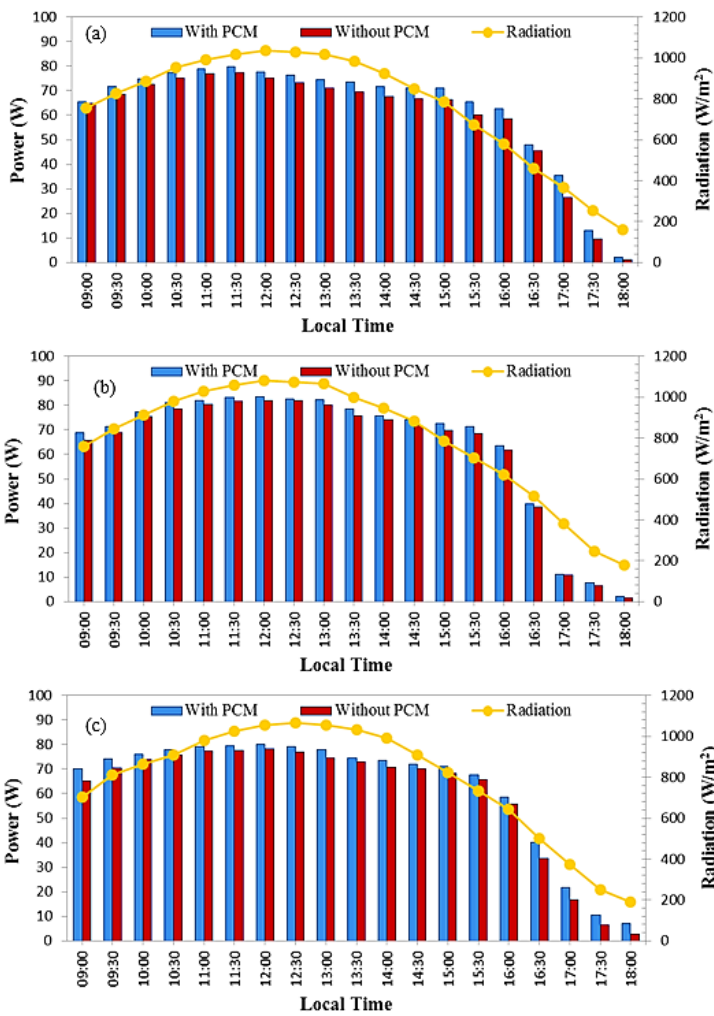


Figure 5. Power change of PV/T collectors with and without PCM depending on solar radiation during the daily (a) $\phi=25^\circ$, (b) $\phi=30^\circ$, (c) $\phi=35^\circ$

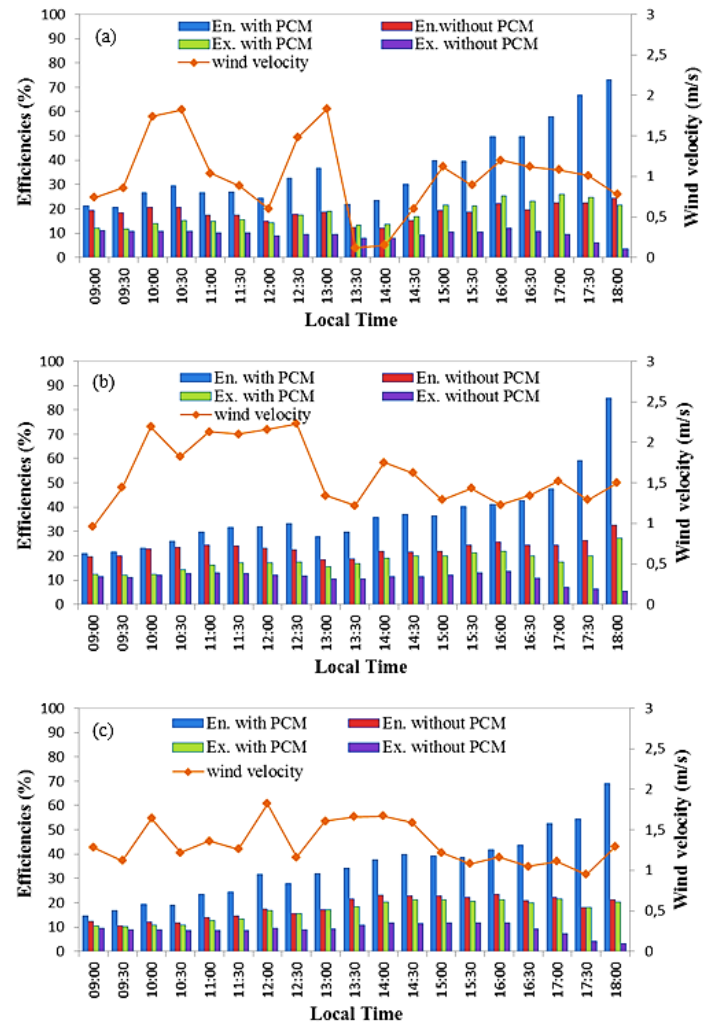


Figure 6. Energy and exergy efficiencies for PV/T collectors with and without PCM at (a) $\phi=25^\circ$, (b) $\phi=30^\circ$, (c) $\phi=35^\circ$

Figure 6 shows the variation according to time in energy and exergy efficiencies of PV/T with 25°, 30° and 35° inclination angles. In Figure 6 (a), the highest efficiencies of the PV/T PCM collectors were recorded as 73.26% and 24.53% at 18:00, 25.40% and 12.05% at 16:00. Even though the power values decrease in the evening hours, the reason for the high efficiency values can be explained as the positive effect of beneficial heat on the system. Figures 6 (a-c) shows the increase in the efficiency of the collectors at the 25° inclination angle at 13:30 when the solar radiation is highest. This is caused by an increase in solar radiation and an increasing of the temperature of the PV surface. The minimum wind speed in Figure 6 (a) adversely affected the efficiency values. In order to have high efficiency values, panel surface temperature should be low and wind speed should be high. Increasing or increasing the output power by cooling the photovoltaic panels is related to these terms. In Figure 6 (b), the highest efficiencies are 84.7% and 27.16% for PVT-PCM collector, 32.51% and 13.10% for PV/T collector, respectively. In Figure 6 (c), the highest energy and exergy efficiency values are 68.96% and 21.58% for PVT-PCM collector, 23.57% and 11.89% for PV/T collector, respectively.

Table 4 shows the hot water values of PV/T collectors with 25°, 30° and 35° angle of inclination. The temperature of the mains water is about 26 °C within 3 days of the experiments. The highest leaving water temperature obtained for generally taken from 25° inclined construction. The difference between the hot water outlets of the PV/T collectors at different angles of inclination varied between about 0.55 °C and 1 °C. In the PV/T-PCM, the hot water output of the 25° inclined collector was higher than the others. The difference between the hot water outlets of the PV/T-PCM collectors is about 0.5 °C. Since the melting temperature of the phase-changing material is about 30 °C, the hot water outlets of the PV/T-PCM collectors are measured between 30 °C and 33 °C. The difference between the hot water outlets is about 7 °C. In general, PV/T collectors increased the mains water by 7 °C and 15 °C. The results for uncertainty are listed in Table 5. According to the results of this analysis, the uncertainty results of all parameters are less than 2%. This value can be accepted.

Table 4. Hot water outlets at PV/T systems (a) $\phi = 25^\circ$, (b) $\phi = 30^\circ$, (c) $\phi = 35$

Time	Main water (°C)	Temperatures (°C)					
		PV/T			PV/T-PCM		
		25°	30°	35°	25°	30°	35°
09:00	26.99	33.30	36.60	36.88	31.17	30.86	29.32
09:30	26.41	37.44	35.99	36.81	32.00	31.40	29.59
10:00	26.59	37.65	37.41	36.92	32.07	32.05	29.70
10:30	26.64	38.25	37.30	36.75	32.69	31.64	29.99
11:00	26.66	38.65	36.74	36.68	32.59	31.88	30.50
11:30	26.68	38.99	37.92	37.48	32.57	32.08	30.98
12:00	26.15	39.12	38.79	38.21	32.89	32.40	31.21
12:30	26.98	39.36	39.09	38.70	33.36	32.75	31.83
13:00	26.49	40.27	39.78	38.66	33.65	32.76	32.13
13:30	26.06	40.39	39.92	39.40	33.94	33.33	32.24
14:00	26.70	41.37	40.55	39.60	34.00	33.09	32.71
14:30	26.19	40.29	40.49	40.99	33.83	33.39	33.16
15:00	26.62	42.48	39.73	41.15	33.98	33.58	33.64
15:30	26.39	41.63	40.11	41.34	33.70	33.55	33.41
16:00	26.80	40.92	40.34	41.13	33.65	33.48	33.40
16:30	26.55	40.72	40.12	40.48	33.99	33.20	33.43
17:00	26.85	40.64	40.16	41.35	33.92	33.25	33.02
17:30	26.81	40.16	39.24	40.24	33.07	32.89	33.36
18:00	26.47	38.17	39.12	40.54	32.81	32.13	33.22

Table 5. Results for Uncertainty analysis.

Description	Unit	Total uncertainty (%)
Temperatures	°C	±0.702
Velocity	m/s	±0.034
Solar Irradiance	W/m ²	±0.026
Current	A	±0.83
Power	W	±1.50

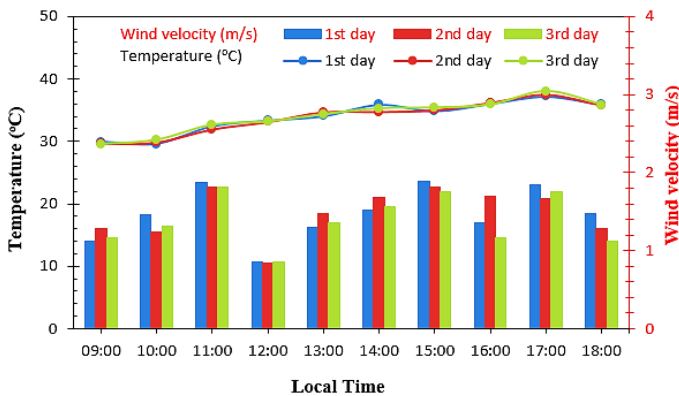


Figure 7. Environmental temperature and wind velocity values for different test days

In Table 6, hot water values of PV/T collectors in different shading conditions are given according to time. Figure 7 shows the ambient temperature and wind speed values on these test days. Ambient temperature did not change on consecutive test days. Although the wind speed varies between 1-2 m/s, it could not reach the speed that will play an active role in the cooling of PV panels. The closest temperature and wind speed values of the three days were recorded as 12:00. The maximum temperature difference between the hot water output values of the shaded PV/T collectors at this measuring point is 2.72 °C for the PV/T collector

and 1.16 °C for the PV/T-PCM collector. Furthermore, the solar radiation values of these days at 12:00 are 1053, 1060 and 1059 W/m², respectively. At the end of these tests, it was seen that different parameters can be tested on different days.

Table 6. Hot water outlets of PV/T collectors in different shading conditions (inlet water °C = 25 °C)

Time	Temperatures (°C)					
	1st day Ar ₁ =0.20		2nd day Ar ₂ =0.80		3rd day Ar ₃ =1.20	
	PV/T	PV/T-PCM	PV/T	PV/T-PCM	PV/T	PV/T-PCM
09:00	37.28	30.05	38.04	30.50	38.69	30.95
10:00	37.24	30.29	38.27	30.90	38.33	31.50
11:00	38.85	31.46	39.36	31.68	39.31	32.15
12:00	38.88	32.03	40.46	32.59	41.60	33.19
13:00	40.81	33.04	40.88	33.27	41.82	33.66
14:00	40.61	33.67	41.50	34.33	41.83	34.36
15:00	40.85	34.62	43.34	34.26	43.29	34.63
16:00	41.04	34.32	43.07	34.20	41.79	34.65
17:00	41.82	33.79	42.03	34.41	40.91	34.80
18:00	42.11	33.63	42.42	34.59	40.07	34.62

In Fig. 8, the PV/T collector is shaded to be small, medium and large on a cell in the second row from the right. The purpose of this shading is to investigate the electrical losses that may occur in any shading scenarios that may occur in PV/T collectors. In general, shading occurs in either cellular or horizontal array in PV/T systems. Sometimes diagonal (triangular) shading types are seen. Shading of different sizes on any cell selected on the PV/T collector adversely affects the output power of the PV/T collector. A small shading at the very center of the solar cell selected in Figure 8 (a) results in very small losses in the output power of the PV/T collector. In Fig. 8 (b and c), it is seen that the output power decreases considerably in a shade of the same selected solar cell diameter and size exceeding its diameter. This is due to the activation of the bypass diode connected to the PV panels in the event of shading and the failure of current to complete the electrical circuit over all solar cells. Table 7 shows the exergy values of partially shaded PV/T collectors.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, Calcium Chloride Hexahydrate (PCM) was selected as energy storage element and used in water based PV/T collector. The thermal, electrical and thermodynamic values of PV/T and PV/T-PCM collectors were compared. In addition, different shading scenarios that may occur in the system have been studied experimentally. It is found as:

- The panel with 30° slope produces more power during the day than the panels with other angles. Also, it has been observed the hot water temperature with the inclination a tilt of 25 degrees is higher than that of the panels with the inclination of 30, 35 degrees.
- The highest panel surface temperatures during the day were measured in 25° inclined collectors. In addition, the average surface temperature was measured as the highest in these collectors.

- Different angular panels give different power according to the geographical position in which they are located. According to Elazig's geographical position, it is decided that the highest power was reached at the 30 degree of the panel.

- In the PV/T-PCM collectors, a PCM with a high melting temperature should be selected when the leaving water temperature is desired.
- Cellular shading had a negative effect on producing the electricity and had a positive effect on hot water output.

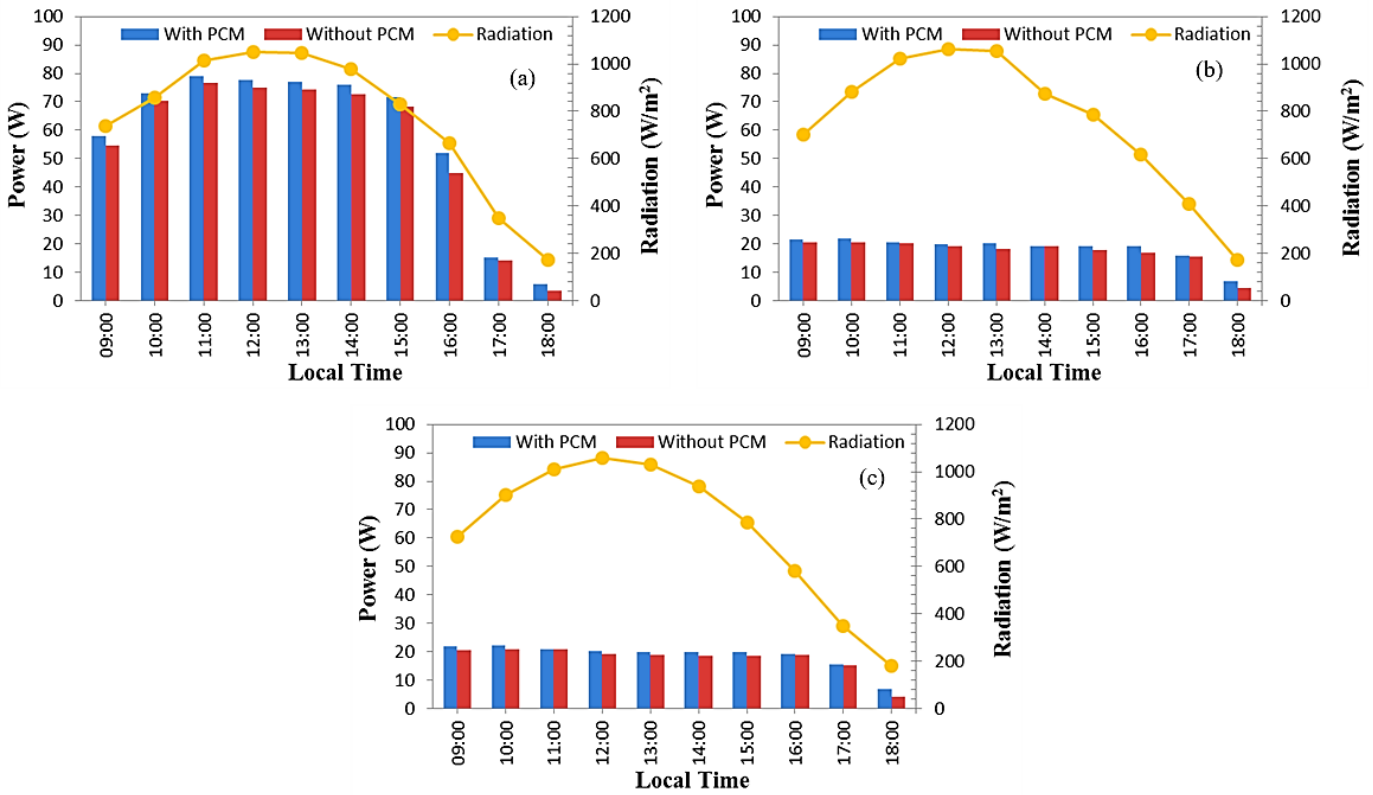


Figure 8. Output power variations of PV/T collectors at different shading rates (a) $Ar_1=0.20$ (b) $Ar_2=0.80$ (c) $Ar_3=1.20$

Table 7. Electrical exergy, thermal exergy and exergy efficiency values of PV/T collectors for PCM in different shading scenarios

Local Time	PV/T								
	$\dot{E}x_e$ (W)			$\dot{E}x_t$ (W)			η_{II}		
	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
09:00	54.49	20.43	20.58	19.71	22.38	19.30	10.04	6.08	5.49
10:00	70.17	20.59	20.91	32.00	38.12	16.54	11.92	6.65	4.15
11:00	76.73	20.31	20.88	24.33	26.89	29.03	9.94	4.61	4.94
12:00	75.13	19.22	19.30	24.49	21.68	18.68	9.46	3.85	3.58
13:00	74.21	18.20	18.93	23.05	20.80	27.61	9.28	3.70	4.51
14:00	72.70	19.14	18.56	20.37	29.99	17.99	9.50	5.61	3.90
15:00	68.20	17.95	18.40	29.20	30.15	25.20	11.75	6.12	5.56
16:00	44.96	16.88	18.82	12.92	19.15	9.53	8.72	5.84	4.87
17:00	14.09	15.50	15.14	8.89	4.14	4.31	6.56	4.80	5.56
18:00	3.56	4.34	4.19	1.19	1.09	3.32	2.75	3.15	4.20
	PV/T-PCM								
09:00	58.04	21.66	21.97	17.31	12.23	12.79	10.20	4.81	4.78
10:00	73.11	21.92	22.24	52.67	55.01	23.78	14.67	8.71	5.11
11:00	78.98	20.51	20.81	82.12	86.82	63.11	15.85	10.48	8.31
12:00	77.81	19.84	20.17	75.46	73.28	58.67	14.56	8.77	7.44
13:00	76.91	20.04	19.94	89.71	96.26	99.28	15.90	11.02	11.54
14:00	75.93	19.23	19.82	94.65	120.99	68.29	17.41	16.01	9.40
15:00	71.51	19.29	19.69	122.24	120.01	93.79	23.38	17.72	14.46
16:00	52.03	19.07	19.30	71.44	93.22	40.12	18.59	18.21	10.20
17:00	15.28	15.81	15.65	55.94	29.03	30.77	20.32	10.97	13.26
18:00	5.91	6.87	6.81	27.52	20.06	25.92	19.34	15.61	18.30

5. Acknowledge

The authors thank to thank Firat Univ. Scientific Research Unit (FÜBAP) for their financial support for this project (TEKF.16.13).

Nomenclature

A	Area (m ²)
DSC	Differential scanning calorimetry
En	Energy (W)
Ex	Exergy (W)
h_{ca}	Heat transfer coefficient (W/m ² K)
I	Current (A)
I_s	Solar radiation (W/m ²)
PCM	Phase change material
PV	Photovoltaic
PVT	Photovoltaic/Thermal
V	Voltage (V)
Q	Heat emitted to the surrounding (W)
v	Wind velocity (m/s)
W	Uncertainty in the measurement (%)
<i>Greek letters</i>	
η	energy efficiency (-)
η_{II}	exergy efficiency (-)
<i>Subscripts</i>	
a	ambient
c	cell
d	destroyed
$e, elec$	electrical
i	input
L	load
max	maximum
oc	open circuit
o	Output
s	sun
sc	short circuit
t	thermal

References

- Agrawal, S., Tiwari, G.N., 2011. Energy and exergy analysis of hybrid micro-channel photovoltaic thermal module. *Solar Energy* 85, 356–370. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.11.013>
- Al-Waeli, A.H.A., Kazem, H.A., Yousif, J.H., Chaichan, M.T., Sopian, K., 2020. Mathematical and neural network modeling for predicting and analyzing of nanofluid-nano PCM photovoltaic thermal systems performance. *Renewable Energy* 145, 963–980. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.099>
- Bakır, E., 2017. Enerji depolamalı yeni nesil fotovoltaiik/termal kolektörlerin ısı performanslarının incelenmesi. Master's Thesis, Firat University.
- Bayrak, F., Abu-Hamdeh, N., Alnefaie, K.A., Öztop, H.F., 2017a. A review on exergy analysis of solar electricity production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74, 755–770. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.012>
- Bayrak, F., Ertürk, G., Oztop, H.F., 2017b. Effects of partial shading on energy and exergy efficiencies for photovoltaic panels. *Journal of Cleaner Production* 164, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.108>
- Bayrak, F., Oztop, H.F., Selimefendigil, F., 2020. Experimental study for the application of different cooling techniques in photovoltaic (PV) panels. *Energy Conversion and Management* 212, 112789. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112789>
- Bayrak, F., Oztop, H.F., Selimefendigil, F., 2019. Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. *Solar Energy* 188, 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.036>
- Browne, M.C., Norton, B., McCormack, S.J., 2016. Heat retention of a photovoltaic/thermal collector with PCM. *Solar Energy* 133, 533–548. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.04.024>
- Dhimish, M., Holmes, V., Mather, P., Sibley, M., 2018a. Novel hot spot mitigation technique to enhance photovoltaic solar panels output power performance. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 179, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.02.019>
- Dhimish, M., Holmes, V., Mehrdadi, B., Dales, M., Mather, P., 2018b. PV output power enhancement using two mitigation techniques for hot spots and partially shaded solar cells. *Electric Power Systems Research* 158, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.01.002>
- Dolara, A., Lazaroiu, G.C., Leva, S., Manzolini, G., 2013. Experimental investigation of partial shading scenarios on PV (photovoltaic) modules. *Energy* 55, 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.009>
- Elsheniti, M.B., Hemedah, M.A., Sorour, M.M., El-Maghlany, W.M., 2020. Novel enhanced conduction model for predicting performance of a PV panel cooled by PCM. *Energy Conversion and Management* 205, 112456. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112456>
- Esen, H., 2008. Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Building and Environment* 43, 1046–1054. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.02.016>
- Fayaz, H., Rahim, N.A., Hasanuzzaman, M., Nasrin, R., Rivai, A., 2019a. Numerical and experimental investigation of the effect of operating conditions on performance of PVT and PVT-PCM. *Renewable Energy* 143, 827–841. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.041>
- Fayaz, H., Rahim, N.A., Hasanuzzaman, M., Rivai, A., Nasrin, R., 2019b. Numerical and outdoor real time experimental investigation of performance of PCM based PVT system. *Solar Energy* 179, 135–150. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.057>
- Fudholi, A., Zohri, M., Jin, G.L., Ibrahim, A., Yen, C.H., Othman, M.Y., Ruslan, M.H., Sopian, K., 2018. Energy and exergy analyses of photovoltaic thermal collector with \square -groove. *Solar Energy* 159, 742–750. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.056>
- Gan, G., Xiang, Y., 2020. Experimental investigation of a photovoltaic thermal collector with energy storage for power generation, building heating and natural ventilation.

- Renewable Energy 150, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.112>
- Gani, A., Açıkgöz, H., Şekkel, M., 2020. Fotovoltaik Sistemlerde Değişken Yük ve Güneş Işınımı Altında Sinirsel-Bulanık Denetleyici ile Maksimum Güç Noktası Takibi Maximum Power Point Tracking with Neuro-Fuzzy Controller Under Variable Load and Solar Irradiance in Photovoltaic Systems 734–745. <https://doi.org/10.31590/ejosat.748384>
- Hasan, A., Sarwar, J., Alnoman, H., Abdelbaqi, S., 2017. Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate. Solar Energy 146, 417–429. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.070>
- Hemmat Esfe, M., Kamyab, M.H., Valadkhani, M., 2020. Application of nanofluids and fluids in photovoltaic thermal system: An updated review. Solar Energy 199, 796–818. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.015>
- Hepbasli, A., 2008. A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, 593–661. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.001>
- Holman, J.P., 1994. Experimental Methods for Engineers, sixth ed. McGraw-Hill.
- Hossain, M.S., Pandey, A.K., Selvaraj, J., Abd, N., Islam, M.M., Tyagi, V. V., 2019. Two side serpentine flow based photovoltaic-thermal-phase change materials (PVT-PCM) system : Energy , exergy and economic analysis. Renewable Energy 136, 1320–1336. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.097>
- Hussain, F., Othman, M.Y.H., Yatim, B., Ruslan, H., Sopian, K., Anuar, Z., Khairuddin, S., 2015. An improved design of photovoltaic/thermal solar collector. Solar Energy 122, 885–891. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.10.008>
- Kayabaşı, R., Kaya, M., 2019. Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi. European Journal of Science and Technology 310–324. <https://doi.org/10.31590/ejosat.562859>
- Kazemian, A., Salari, A., Hakkaki-Fard, A., Ma, T., 2019. Numerical investigation and parametric analysis of a photovoltaic thermal system integrated with phase change material. Applied Energy 238, 734–746. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.103>
- Khanna, S., Reddy, K.S., Mallick, T.K., 2018. Optimization of solar photovoltaic system integrated with phase change material. Solar Energy 163, 591–599. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.002>
- Klugmann-Radziemska, E., Wcisło-Kucharek, P., 2017. Photovoltaic module temperature stabilization with the use of phase change materials. Solar Energy 150, 538–545. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.016>
- Petela, R., 2008. An approach to the exergy analysis of photosynthesis. Solar Energy 82, 311–328. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.09.002>
- Qiu, Z., Ma, X., Zhao, X., Li, P., Ali, S., 2016. Experimental investigation of the energy performance of a novel Micro-encapsulated Phase Change Material (MPCM) slurry based PV/T system. Applied Energy 165, 260–271. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.053>
- Rajput, P., Tiwari, G.N., Sastry, O.S., 2016. Thermal modelling and experimental validation of hot spot in crystalline silicon photovoltaic modules for real outdoor condition. Solar Energy 139, 569–580. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.10.016>
- Rezvanpour, M., Borooghani, D., Torabi, F., Pazoki, M., 2020. Using CaCl₂·6H₂O as a phase change material for thermo-regulation and enhancing photovoltaic panels' conversion efficiency: Experimental study and TRNSYS validation. Renewable Energy 146, 1907–1921. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.075>
- Sarafraz, M.M., Safaei, M.R., Leon, A.S., Tili, I., Alkanhal, T.A., Tian, Z., Goodarzi, M., Arjomandi, M., 2019. Experimental investigation on thermal performance of a PV/T-PCM (photovoltaic/thermal) system cooling with a PCM and nanofluid. Energies 12, 1–16. <https://doi.org/10.3390/en12132572>
- Selimefendigil, F., Bayrak, F., Oztop, H.F., 2018. Experimental analysis and dynamic modeling of a photovoltaic module with porous fins. Renewable Energy 125, 193–205. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.002>
- Silvestre, S., Chouder, A., 2008. Effects of shadowing on photovoltaic module performance. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 16, 141–149. <https://doi.org/10.1002/pip>
- Solanki, S.C., Dubey, S., Tiwari, A., 2009. Indoor simulation and testing of photovoltaic thermal (PV/T) air collectors. Applied Energy 86, 2421–2428. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.013>
- Su, D., Jia, Y., Alva, G., Liu, L., Fang, G., 2017. Comparative analyses on dynamic performances of photovoltaic-thermal solar collectors integrated with phase change materials. Energy Conversion and Management 131, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.002>
- Tiwari, A., Dubey, S., Sandhu, G.S., Sodha, M.S., Anwar, S.I., 2009. Exergy analysis of integrated photovoltaic thermal solar water heater under constant flow rate and constant collection temperature modes. Applied Energy 86, 2592–2597. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.004>
- Tiwari, A., Sodha, M.S., 2006. Performance evaluation of solar PV/T system: An experimental validation. Solar Energy 80, 751–759. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.07.006>
- Zhao, J., Li, Z., Ma, T., 2019. Performance analysis of a photovoltaic panel integrated with phase change material. Energy Procedia 158, 1093–1098. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.264>



The Importance of Solar Panel Maintenance an experimental study on effectiveness of PV panels cleaning with deionized pure water in Turkey

Mahmut Turhan *

Medel Mühendislik ve Elektronik A.Ş. İstanbul, Turkey, (ORCID:0000-0001-7633-4830)
mahmutturhan@medelelektronik.com

(First received 14 January 2020 and in final form 7 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.861434)

ATIF/REFERENCE: Turhan, M. (2021). The Importance of Solar Panel Maintenance an experimental study on effectiveness of PV panels cleaning with deionized pure water in Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (23), 637-642.

Abstract

Energy has a vital importance on the behalf of social and economic development. In more recent times and nowadays, solar power has been getting more important in the sense of its high flexibility and reliability when the potential of the MENA Region and geopolitical location of Turkey are considered. Photovoltaic (PV) technology has the largest share among the other solar technologies and in the regard of reliability of PV panels, accumulated Aeolian dust and dirt reduce system performance. Thus, this study intentionally aims to focus on efficiency and productivity of the panels associated with their periodical cleaning. For this purpose, voltage and current measures were scaled and fluctuant total outputs were observed. In accordance with the results, it is able to be asserted that cleaning of regarding PV modules is essentially needed. By doing so, overall productivity is being increased while operational lifetime of the entire power plant can be prolonged as well as avoiding degradation.

Keywords: Environment, clean energy, efficiency, energy, measurement, solar, photovoltaics.

Solar Panel Bakımının Önemi Türkiye'de iyonize edilmemiş saf su ile PV panel temizliğinin etkinliği üzerine deneysel bir çalışma

Öz

Enerji, sosyal ve ekonomik kalkınma için hayati bir öneme sahiptir. MENA Bölgesi'nin potansiyeli ve Türkiye'nin jeopolitik konumu düşünüldüğünde, son zamanlarda ve günümüzde yüksek esneklik ve güvenilirlik anlamında güneş enerjisi daha da önem kazanmaktadır. Fotovoltaik (PV) teknolojisi, diğer güneş enerjisi teknolojileri arasında en büyük paya sahiptir ve PV panellerinin güvenilirliği açısından, biriken Aeolian tozu ve kir, sistem performansını düşürür. Bu nedenle, bu çalışma, kasıtlı olarak, periyodik temizliği ile ilişkili panellerin verimliliği ve üretkenliğine odaklanmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla gerilim ve akım ölçüleri ölçeklendirilmiş ve dalgalı toplam çıktılar gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, PV modülleri ile ilgili temizliğin esasen gerekli olduğu söylenebilir. Böylelikle, genel üretkenlik artırılırken, tüm santralin çalışma ömrü uzatılabildiği gibi bozulma önlenir.

Anahtar Kelimeler: Çevre, temiz enerji, verimlilik, enerji, ölçüm, güneş, fotovoltaik

*Sorumlu Yazar: mahmutturhan@medelelektronik.com

1. Introduction

Energy is one of the most crucial needs of our modern lifestyle and in line with the latest technological developments; demand of regarding energy is ever-increasingly rising. However, as well as faced environmental problems, accessibility and availability of energy underline the importance of renewable energy sources, specifically solar energy recently [1].

The sun is the main source of energy for our world. We currently use fossil fuels as our main energy source, but fossil fuels are not suitable fuels for the future and health of our world. It is possible to use environmentally friendly solar energy as a renewable energy source [2].

To the use of solar energy, which is one of the environmentally friendly renewable energy sources; The interest increases as time progresses, as it is easy to manufacture and install from one watt to mega watts, appeals to every segment, and provides a quick solution to energy needs.[3, 4].

With respect to its geographical position with yearly high quantity of sun radiation and modern grid network, Turkey becomes center of interest on behalf of solar systems [5]. Bright sunshine duration is perhaps the most important measured parameter. The use of meteorological satellites and earth data is of great importance in predicting solar irradiation. Estimation of the global solar irradiation on a horizontal surface is vital for the performance calculations of solar converters and for all related energy systems in building and urban applications. [32-35]. Moreover, in accordance with the potential, generated energy from solar power in Turkey has been increasing rapidly due to many beneficial circumstances as profitable feed-in tariff politics with additional governmental subsidies, suitable application locations and modularity [6].

Basically, PV panels or solar panels are required for us to convert solar energy into electrical energy. In parallel with the increase in the amount of energy obtained from solar energy, PV panel production is also increasing. [7]. Among the solar applications, PV technology has the flagship position with its application share [8-9]. "During 2016, 75 GW of solar PV capacity was added worldwide, which is equivalent to the installation of more than 31,000 solar panels every hour." [6] Fast forward a couple of years and behold the rapid need of accessible energy, advanced PV systems are going to be spread all through entire Turkey. On the other hand, with these progressively expanding solar implementations, a very essential question has been rising currently; how it could be possible to maximize the energy yield in terms of getting better operation and maintenance actions done [6-7].

In the fixed homogenous working environment, similar solar modules receive similar radiation and give similar rated power output, as outside surface temperature of the modules seem steady [8]. However, under inhomogeneous conditions as partial shadow, dust or dirt, the formerly mentioned outcomes cannot be observed obviously [8-9]. The soiling over solar cells creates a barrier between radiation and the cells; and as a result of this accumulation of both dust and dirt and some other scales, efficiency reduces sharply, while degradation of the modules during the lifetime increases [10-11]. In addition to that, as the physical characteristics of these modules are considered under various working conditions, it is able to be realized that surrounding and environmental conditions play a critically

important role for the point of better plant operation and maintenance actions as well [12].

There are many cleaning techniques that are presently used to clean the PV panel service, like wiping and brushing. Unfortunately, these methods are not very efficient in removing minuscule particles and pollutants most of the time. Also, they may raise the corrosion and new impurities due to abrasion. Because of this, there are many alternative methods that are much more suitable for cleaning PV panels such as electrostatic and dielectrophoretic forces, using a robotic device for cleaning PV panel arrays, and employing super hydrophobic nano-self cleaner [17-18].

This study aims to focus on efficiency and productivity of PV modules associated with their periodical cleaning. In the scope of this paper, working conditions of regarding modules were monitored and amount of produced power noted. With relation to the different cleaning schedule, efficiencies were calculated and the results were stated with operational suggestions.

2. Solar Power in Turkey

Turkey has quiet significant solar power potential due to its geographical location (36° and 42° N latitudes). The country located on the Mediterranean Climate Zone, which is close to the MENA region; and receives 3.6 kW h/m²day average radiations yearly. In another words, Turkey has almost 2610 h total yearly radiation period (7.2 hours per day), which carries the country rank among the top three with Spain and Portugal in Europe [3-9].

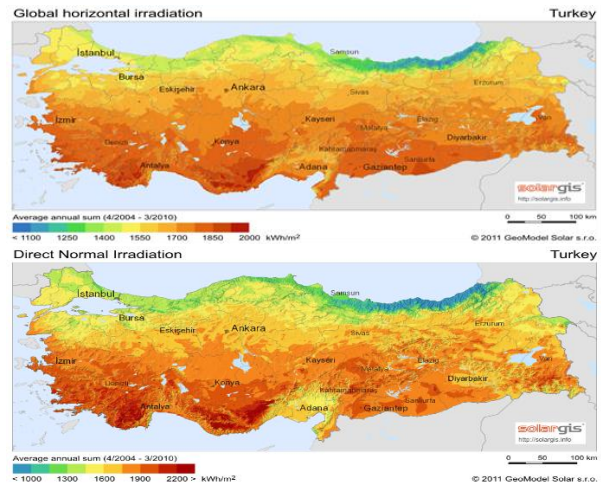
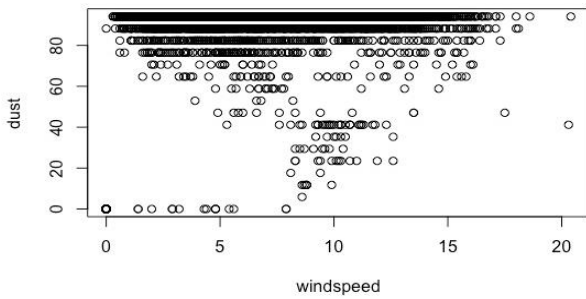


Figure 1: Irradiation maps of Turkey (GHI & DNI)

Formerly, Turkey was abandoned on the point of solar power, but in accordance with the potential as shown above (see Figure 1), Turkey has been officially trying to spread PV system technology throughout the entire country these days. Cumulated

with the new investments, the government aims to expand the total installed capacity from 600 MW to at least 3 GW by 2023 as a future plan [8-9]



3. Research Aim and Methodology

In this study, via a statistical analysis, the main ambition was to see the real effects of dirt and dust, on outputs from a PV power plant, in terms of efficient operation and maintenance such as the cleaning process. As heretofore asserted in concerning literature, particles, which are carried by wind, cover the plants and decrease the power about 40% at least [19-20]. In addition to that, as if these particles heap together on a certain point, they cause partial shadow effect and lead to temperature increases on corresponding cells, which reduce the efficiency as well [21]

First of all, a suitable solar power plant was chosen for condition monitoring and data gathering. The expected main criteria from the selected solar power plant were to reflect the general solar radiation characteristics of Turkey in accordance with the Mediterranean climate belt. The Aegean Region was one of the most important alternative options and therefore, it was decided on 250 kW powered solar power plant of Izmir KatipCelebi University (IKCU) in Cigli, Izmir (see Picture 1).



Picture 1: IKCU solar power plant

At the beginning of this study, real time operational data under expected conditions was collected as time series during the electricity generation from the power plant and subsequently merged with the core plant data. Respecting time series data contain the outputs, which comes from 3 different groups of plants according to their cleaning regularity.

As the interaction between the wind and dust were observed, it was clear to see with increasing speed of wind carries more dust on the modules in the test area.

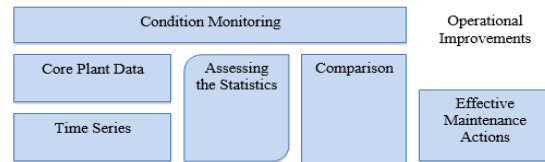
Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr (> t)	
(Intercept)	89.57398	0.25135	356.367	2e-16 *	(1)
Wind Speed	0.20822	0.03282	6.345	2.34e-10 *	(2)

Here, p-values are smaller than 99% significance level (0.01) therefore, wind speed parameter seems significant.

Figure 2: Wind speed (m/s) and dust (µm) interaction diagram

While these statistics were being assessed, operational losses, due to dirt and dust on the plants, were determined. Afterwards, the results were compared with other experiments and at last, suggestions were given in connection with operational improvements and effective maintenance actions under cleaning subtitle as shown below (see Table 1):



4. Case Study

In spite of the fact that there are many highly radiated locations in Turkey, the power plant of IKCU was chosen because of its suitable terrain and climate variety under the Mediterranean climate belt. The power plant has 250 kW generation capacity with new type SunPower E20 series monocrystalline (E20-245) panels, which have the highest efficiency rate in the market as asserted by the National Renewable Energy Laboratory (NREL) in the USA. General technical specifications are given below (see Table 2):

Table 2: General technical specifications of the PV panels

SunPower E20-245 Solar PV Panels	
Nominal Power	245W
Power Tolerance	+5/-0%
Avg. Panel Efficiency	20.0%
Rated Voltage (Vmpp)	40.5 V
Rated Current (Impp)	6.05 A
Open-Circuit Voltage (Voc)	48.8 V
Short-Circuit Current (Isc)	6.43 A
Max. System Voltage	600 VUL&1000 V IEC
Power Temp Coef.	-0.38%/C
Voltage Temp Coef.	-132.5mV/C
Current Temp Coef.	3.5mA/C
Cell type	Monocrystalline

Preliminarily, according to the test suite structure and main purpose, the same type series panels were divided into 3 main groups homogeneously, which haven't had any cleaning action in defined time dilemma (see Table 3).

Table 3: Experiment groups

250 kW IKCU Solar Power Plant	Uncleaned Time
Group I	2 weeks (14 days)
Group II	4 weeks (28 days)
Group III	8 weeks (56 days)

In conjunction with shown division on Table 3, there was no specific criterion literally. The time intervals were chosen randomly and only data and comparison axiom accuracy were targeted in this regard.

Therefore, total power outputs of these panels were measured daily under the same sun angle, which can be seen below (see Figure 3), and the statistics were noted.

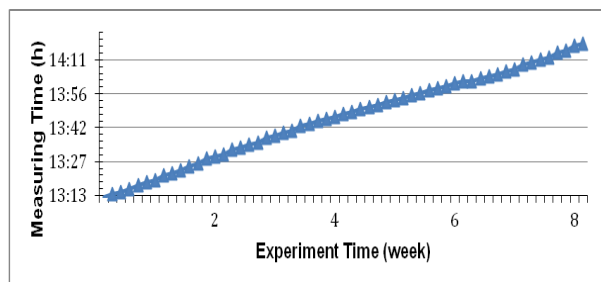
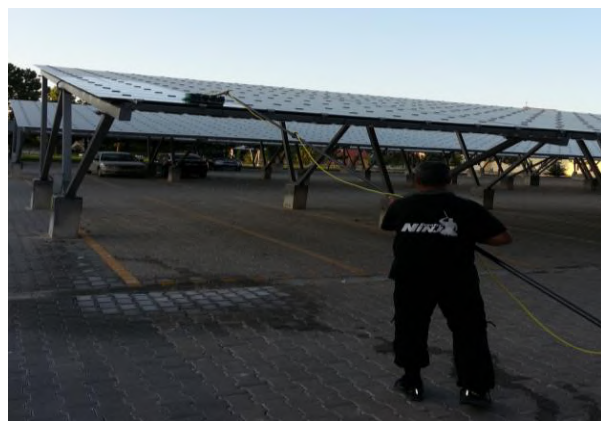


Figure 3: Measuring time of the outputs

The first group of panels was cleaned only once in 2 weeks, the second group was cleaned once in 4 weeks and following third group was cleaned once in 8 weeks during the 8 weeks experiment. During the cleaning process, deionized water was used because of its purity with a special brush [16] (see Picture 2-5).



Picture 2: Cleaning of PV panels with deionized water and a special brush



Picture 3: Cleaning of Group I (after 2 weeks)



Picture 4: Panel Group II (after 4 weeks)



Picture 5: Panel Group III (after 8 weeks)

And overall outputs were illustrated with I-V curves, which show the interaction between current (I) and voltage (V) (see Figure 4).

5. Experimental Results

From Current and Voltage information, generated power was observed essentially.

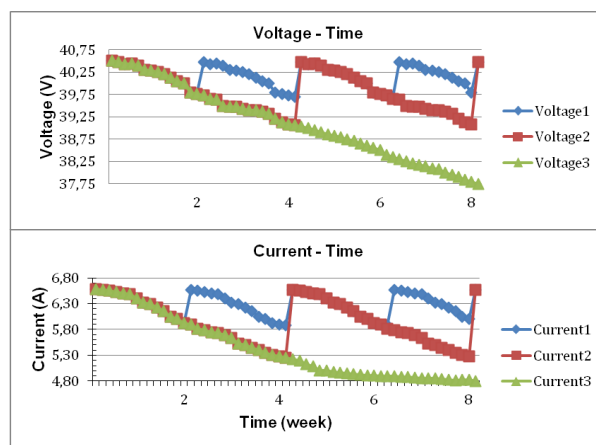


Figure 4: Voltage - Current comparison

In the graph below (see Figure 5), power outputs were illustrated as panel Group I colored blue, Group II red and Group III green. According to the results, overall power losses were statistically proven and calculated for Group I as about 11%; for Group II as 23%; and for Group III as 33%. This diversity of power losses shows the productivity deficiency [20-21]. Moreover the degradation due to outer surface wear failure of the panels was calculated between 1.2 – 2.1% for entire panels proportional to their proper cleaning schedule [22-23]. These results can also be analyzed in curve fitting statistical approach. According to curve fitting analysis, data can be visualized and illustrated in a special curve structure. Decreased tended curve will be obtained in this approach.

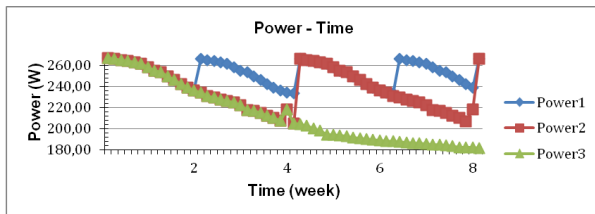


Figure 5: Power comparison of each panel group

On the other hand, this experiment has been repeated in the same region on polycrystalline solar panels and hot spot effect was measured as well [12-23]. It was statically verified that, there is no significant efficiency difference between mono-and-polycrystalline PV modules, when the modules were covered by dust and dirt after minimum 2 weeks time interval and at the end, almost the same energy inefficiency were seen on both different types [24].

6. Conclusion

Subsequently, it was understood that a continuous cleaning of PV modules is essentially needed. By doing so, overall productivity is able to be increased while operational lifetime of the entire power plant is prolonged as well as avoiding mentioned degradation.

Further to that, with this study, the awareness against the importance of regular cleaning of PV plants can be raised as well. Despite of the fact that, there was no accurate answer for the frequency of cleaning process of the panels, this study provides an insight into it. Under Mediterranean climate conditions, panels must be cleaned at least once in 2 weeks. However, for a windy and dusty area, frequency can be once in 3 or 4 days as well [25-26].

For cleaning process, pressurized deionized (demineralized) water should be used with special brushes, as the best medium rather than chemical solutions and tap water because purified water doesn't leave any scale or salt on the cells [27-28]. Automatic cleaning by means of robots will provide a cheap and safe periodic maintenance as well as the increase in efficiency achieved by cleaning. Moreover, in accordance with respected literature (see the ref. 29-30-31), during the experiment, it was noticed that cleaning of the panels made a cooling impact, which enhance the efficiency positively as well.

7. References

[1] Bakirci K. Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey. Department of Mechanical Engineering, University of Ataturk, Erzurum: Elsevier Ltd; 2009.

[2] AminmohammadSaberian, H. Hizam, M. A. M. Radzi, M. Z. A. Ab Kadir, and Maryam Mirzaei, "Modelling and Prediction of Photovoltaic Power Output Using Artificial Neural Networks," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2014, Article ID 469701, 10 pages, 2014. doi:10.1155/2014/469701.

[3] Mahdi M. M. El-Arini, Ahmed M. Othman, and Ahmed Fathy, "A New Optimization Approach for Maximizing the Photovoltaic Panel Power Based on Genetic Algorithm and Lagrange Multiplier Algorithm," *International Journal of*

Photoenergy, vol. 2013, Article ID 481468, 12 pages, 2013. doi:10.1155/2013/481468.

[4] R. Mazón-Hernández, J. R. García-Cascales, F. Vera-García, A. S. Káiser, and B. Zamora, "Improving the Electrical Parameters of a Photovoltaic Panel by Means of an Induced or Forced Air Stream," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2013, Article ID 830968, 10 pages, 2013. doi:10.1155/2013/830968.

[5] Dincer I. *Renewable energy and sustainable development: a crucial review*. Dhahram: Elsevier Ltd; 1999.

[6] Ren21. 2017. *Renewables 2017 Global Status Report*, Paris: REN21 Secretariat; 2017.

[7] L. Martin, L. F. Zarzalejo, J. Polo, A. Navarro, R. Marchante, and M. Cony, "Prediction of global solar irradiance based on time series analysis: application to solar thermal power plants energy production planning," *Solar Energy*, vol. 84, no. 10, pp. 1772–1781, 2010.

[8] Sozen A, Arcaklioglu E, Ozalp M, Kanit E G. *Solar energy potential in Turkey*. Ankara: Elsevier Ltd; 2004.

[9] Uyan M. GIS based solar forms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya. Directorate of Construction and Technical Works, Selcuk

[10] Mazumder M., *Electrodynamics removal of dust from solar panels: effect of surface mass density, micro-structural deposition pattern, and adhesion of dust on PV performance*. Department of Electrical and Computer Engineering, Boston University, Adhesion Society Meeting, 14–16 February; 2011.

[11] Dorobantu L, Popescu MO, Popescu CI, Craciunescu A. The effect of surface impurities on photovoltaic panels. International conference on renewable energies and power quality, European Association for the Development of Renewable Energies Environment and Power Quality (EA4EPQ), Electrical Engineering Faculty, Politehnica University of Bucharest, 13–15 April; 2011.

[12] Zorrilla-Casanova J, Piliouguine M, Carretero J, Bernaola P, Carpena P, Mora- López L, et al. Analysis of dust losses in photovoltaic modules. University de Málaga, Spain: World renewable energy congress; 2011.

[13] Sulaiman SA, Hussain HH, Nik Siti H, Leh N, Razali MSI. Effects of dust on the performance of PV panels. World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 58; 2011. p. 588–93.

[14] Kimber A, Mitchell L, Nogradi S, Wenger H. The effect of soiling on large grid connected photovoltaic systems in California and the Southwest region of the United States, PowerLight Corporation, 2954 San Pablo Avenue, Berkeley; 2005.

[15] Mavroidis C, Hastie J, Grandy A, Anderson M, Sweezy A, Markpolous Y, Robotic device for cleaning photovoltaic panel arrays. Department of Mechanical and Industrial Engineering, Northeastern University, Green Project – Sustainable Technology and Energy Solutions, Patent Number 61/120097, 2009.

[16] Abd-Elhady, M.S., Zayed, S.I.M., Rindt, C.C.M., 2011. Removal of dust particles from the surface of solar cells and solar collectors using surfactant. In: International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning, 5–10 June. Crete, Greece, pp. 342–348

[17] Chaichan, Miqdam T., Bashar A. Mohammed, and Hussein A. Kazem. "Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study." *International*

- Journal of Scientific and Engineering Research 6.4 (2015): 594-601.
- [18] HussamKhonkar, AbdulazizAlyahya, MazzenAljuwaied, Mohammad Halawani, Abdulrahman Al Saferan, Fawwaz Al-khaldi, FawazAlhadlaq, Brent A. Wacaser, Importance of cleaning concentrated photovoltaic arrays in a desert environment, In Solar Energy, Volume 110, 2014, Pages 268-275, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.08.001>.
- [19]Adinoyi, M.J., Said, S.A., 2013. Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules. *Renew. Energy* 60, 633–636.
- [20]Al-Hasan, A.Y., 1998. A new correlation for direct beam solar radiation received by photovoltaic panel with sand dust accumulated on its surface. *Solar Energy* 63 (5), 323–333.
- [21]Al-Hasan, A.Y., Ghoneim, A.A., 2005. A new correlation between photovoltaic panel's efficiency and amount of sand dust accumulated on their surface. *Int J Sustain Energy* 24 (4), 187–197.
- [22]Appels, R., Muthirayan, B., Beerten, A., Paesen, R., Driesen, J., Poortmans, J., 2012. The effect of dust deposition on photovoltaic modules. In: 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 3–8 June. Austin, TX, pp. 001886–001889.
- [23]Bajpai, S.C., Gupta, R.C., 1988. Performance of silicon solar cells under hot & dusty environmental conditions. *Ind. J. Pure Appl. Phys.* 26, 364–369.
- [24]Bethea, R.M., Barriger, M.T., Williams, P.F., Chin, S., 1981. Environmental effects on solar concentrator mirrors. *Solar Energy* 27 (6), 497–511.
- [25]El-Shobokshy, M.S., Mujahid, A., Zakzouk, A.K.M., 1985. Effects of dust on the performance of concentrator photovoltaic cells. *IEE Proc. I (Solid-State Electron Dev.)* 132 (1), 5–8.
- [26]Hee, J.Y., Kumar, L.V., Danner, A.J., Yang, H., Bhatia, C.S., 2012. The effect of dust on transmission and self-cleaning property of solar panels. *Energy Proc.* 15, 421–427.
- [27]Elminir HK, Ghitas AE, Hamid RH, El-Hussainy F, Beheary MM, Abdel-Moneim KM. Effect of dust on the transparent cover of solar collectors. *Energy Convers Manage* 2006;47:3192–203.
- [28]El-Shobokshy MS, Hussein FM. Effect of the dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells. *Solar Energy* 1993;51(6):505–11.
- [29]Bock JP, Robison JR, Sharma R, Zhang J, Mazumder MK. An efficient power management approach for self-cleaning solar panels with integrated electrodynamic. In: Proceedings of ESA annual meeting on electrostatics, Paper O2; 2008.
- [30]Sims RA, Biris AS, Wilson JD, Yurteri CU, Mazumder CU, Calle CI, et al. Development of a transparent self-cleaning dust shield for solar panels. NASA Kennedy Space Center, FL, 32899: Department of Applied Science, University of Arkansas at Little Rock; 2002.
- [31]Park Y-B, Im H, Im M, Choi Y-K. Self-cleaning effect of highly water-repellent microshell structures for solar cell applications. *J Mater Chem Korea Adv Inst Sci Technol* 2010;21:633-6.
- [32]D.Cano, M.J. Monget, [M. Albuissou](#), H. Guillard, [N.Regas](#), [L.Wald](#) “A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data” [Solar Energy Volume 37, Issue 1](#), 1986, Pages 31-39
- [33]Selmin Ener Rusen, Annette Hammer, Bulent G. Akinoglu “Coupling satellite images with surface measurements of bright sunshine hours to estimate daily solar irradiation on horizontal surface” [Renewable Energy Volume 55](#), July 2013, Pages 212-219
- [34]Selmin Ener Rusen, Annette Hammer, Bulent G. Akinoglu “Estimation of daily global solar irradiation by coupling ground measurements of bright sunshine hours to satellite imagery” [Energy Volume 58](#), 1 September 2013, Pages 417-425
- [35]Selmin Ener Rusen, Aycan Konuralp “Quality control of diffuse solar radiation component with satellitebased estimation methods” [Renewable Energy Volume 145](#), January 2020, Pages 1772-1779



1999 Marmara Depremi ve Güneş Tutulmasının Naive Bayes Sınıflayıcısı ile İstatistiksel Analizi

Seçil Karatay^{1*}, Muna O.A. Algahani²

^{1*} Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1942-6728), skaratay@kastamonu.edu.tr

² Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9451-5376), munao3060@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 7 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 7 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.876223)

ATIF/REFERENCE: Karatay, S. & Algahani, M.O.A. (2021). 1999 Marmara Depremi ve Güneş Tutulmasının Naive Bayes Sınıflayıcısı ile İstatistiksel Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 643-648.

Öz

İyonosfer, atmosferin 50 ila 1000 km yükseklikleri arasında yer alan, güneşten gelen radyasyonla plazma durumuna iyonize olmuş, önemli bir katmandır. İyonosferik plazmanın en belirleyici parametresi, güneş, jeomanyetik ve sismik hareketlilikle ve güneş patlamaları, Güneş Lekelerinin Sayısı, güneş rüzgârı, jeomanyetik fırtınalarla değişkenlik ve bağlaşım gösteren elektron yoğunluğudur. Elektron yoğunluğunun ölçülebilir önemli bir niceliği de, iyonosfer ve üst atmosferin yapısını araştırmak için etkili bir yol sağlayan Toplam Elektron İçeriği'dir (TEİ). TEİ, bir ışın yolu boyunca elektron yoğunluğunun çizgi integrali veya bir ışın yolu boyunca toplam elektron sayısı olarak tanımlanmaktadır. İyonosferin uzamsal-zamansal değişkenliği, ayrıca, uzamsal-zamansal yönsemeler ve Yer'in manyetik alanındaki bozulmalar, yerçekimi dalgaları ve sismik hareketliliğin üst atmosfere ve iyonosfere bağlaşımından da etkilenmektedir. Bu değişkenliklerin bazıları iyonosferde belirli bir frekans, süre ve hızda yayılan dalga benzeri salınımlar üretir. Bu çalışmada, sismik, güneş ve jeomanyetik hareketliliğe bağlı olarak iyonosferde meydana gelen bozulmaların ve iyonosferin sakin olarak nitelendirilen durumundan sapmaların tespiti için Naive Bayes Sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Naive Bayes Sınıflandırıcısı, Türkiye üzerinde konumlandırılmış Yerkesel Konumlama Sistemi (YKS) istasyonlarından 1999 yılında meydana gelen güneş tutulması ve Marmara Depremi periyodunca kestirilen TEİ verilerine uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Naive Bayes Sınıflayıcısı, İyonosfer, TEİ, Deprem.

Statistical Analysis of 1999 Marmara Earthquake and Solar Eclipse with Naive Bayes Classifier

Abstract

The ionosphere is an important layer of the atmosphere between 50 and 1000 km altitudes, which is ionized to the plasma state by radiation from the sun. The most determining parameter of ionospheric plasma is the electron density, which varies and correlates with solar, geomagnetic and seismic activity and solar flares, Sun Spots Number, solar wind and geomagnetic storms. An important measurable quantity of electron density is the Total Electron Content (TEC), which provides an efficient way to investigate the structure of the ionosphere and upper atmosphere. TEC is defined as the line integral of electron density along a beam path or the total number of electrons along a beam path. The spatio-temporal variability of the ionosphere is also affected by the spatial and temporal trends and disturbances in the geomagnetic field, gravitational waves and seismic activity coupled to the upper atmosphere and ionosphere. Some of these variations produce wave-like oscillations propagating in the ionosphere at a certain frequency, duration and speed. In this study, the Naive Bayes Classifier is used to detect disturbances in the ionosphere due to seismic, solar and geomagnetic activities and deviations from the quiet state of the ionosphere. Naive Bayes Classifier is applied to TEC values obtained from Global Positioning System (GPS) stations during 1999 solar eclipse and the Marmara earthquake periods.

Keywords: Naive Bayes Classifier, Ionosphere, TEC, Earthquake.

* Sorumlu Yazar: skaratay@kastamonu.edu.tr

1. Giriş

İyonosfer, atmosferin 50 ila 1000 km arasında yer alan önemli bir katmanıdır. İyonosfer, aynı şekilde, plazma olarak anılan, yeterli miktarda yüklü parçacıkların bulunduğu üst iklim alanıdır. İyonosfer elektriksel olarak nötrdür; ancak güneş ışınları nüfuz ettiğinde, nötr parçacıklar iyonlaşarak iyonosferik plazmayı iletken hale getirir. Radyo dalgalarının iyonosferde çoğaldığı noktada yansıma, kırılma, dağılım, emilim, polarizasyon ve yayılım gerçekleşir. Bu nedenle iyonosfer katmanı, radyo telekomünikasyon, uydu haberleşme, HF (High Frequency: Yüksek Frekans) yayılımı, plazma fiziği ve uzay havası çalışmalarında önemli bir yere sahiptir (Fuller-Rowell vd., 2000).

İyonosferin en önemli parametresi, coğrafik konum, zaman, yükseklik, güneş hareketliliği ile jeomanyetik ve sismik hareketlilikle değişim gösteren ve metreküpte 10^8 ile 10^{13} arasındaki değerlere sahip elektron yoğunluğudur. İyonosferin elektron yoğunluğu özellikle güneşteki ve buna bağlı olarak Yer'in manyetik alanındaki değişimlere bağlı olarak önemli değişimler sergiler. Güneş hareketliliğindeki ve buna bağlı olarak Yer'in manyetik alanındaki bu değişimler, bazı özel indislerle ölçülmektedir. İyonosfer için önemli bir diğer tanımlayıcı nicelik de, Toplam Elektron İçeriği'dir (TEİ). 1 metrekare kesitli bir silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olarak da yorumlanan TEİ'nin birimi TECU'dur. 1 TECU, metrekarede 10^{16} elektrona eşittir. TEİ değerleri incelenerek iyonosferdeki kısa ve uzun dönem değişimler yakından izlenebilir. İyonosfer araştırmaları ve TEİ kestirimi için, teorik ve deneysel modellerin yanında yer tabanlı ve uydu tabanlı çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Son yıllarda, Yerküresel Konumlandırma Sistemi (YKS) alıcılarından oluşan sistemle, TEİ (YKS-TEİ) değerlendirmesinde ve iyonosferin değişkenliğini gözlemlemede uygun maliyetli bir imkân sağlar (Arikan vd., 2003; Arikan, vd., 2008; Sezen vd., 2013).

İyonosferin elektron yoğunluğu miktarı, 11-yıllık güneş döngüsüne, gece ve gündüze göre, dünyanın güneş etrafındaki ve ayın dünya etrafındaki aylık, mevsimlik ve yıllık hareketlerine bağlıdır. İyonosfer bu süreçlerde özellikle güneş hareketliliği ve buna bağlı olarak da jeomanyetik hareketliliğinin etkisinde, bazı aykırılıklar (anomaliler) sergiler. Özellikle güneş tutulmasının meydana geldiği dönemlerde, iyonosferin elektron yoğunluğunda azalmalar, tutulma zamanı boyunca iyonosferin E-Bölgesi'nde oluşan akımların meydana getirdiği manyetik alan şiddetinde azalmalar ve iyonosferin tüm katmanlarının kritik frekanslarında önemli değişimler meydana geldiği gözlenmiştir (Korte vd., 2001; Ozcan & Aydogdu, 2004; Le vd., 2008). Son yıllarda yapılan çalışmalarda, sismik hareketliliğin de iyonosferde büyük ölçekli bozulmalar yarattığı ortaya konmuştur (Liu vd., 2000; Pulnits vd., 2003; Chen vd., 2004; Karatay vd., 2010). Güçlü sismik sarsıntılar sırasında, öncesinde ve sonrasında, iyonosferik parametrelerde, özellikle iyonosferin F2-Bölgesi kritik frekansında, parçacık sıcaklıklarında ve TEİ'de önemli ölçüde aykırılıklar ve bozulmalar gözlenmiştir.

Literatürde, iyonosferik bozulmaların tespiti için tipik olarak, yer tabanlı çift frekanslı Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) alıcılarından kestirilen TEİ verilerine dayanan zamansal türev tabanlı yöntemler kullanılmıştır (Krankowski vd., 2006; Efendi & Arikan, 2017; Karatay vd., 2017; Karatay, 2020). İstatistikte Naive Bayes sınıflandırıcıları, özellikler arasındaki güçlü (naif) bağımsızlık varsayımları ile Bayes Teoremi'nin uygulanmasına dayanan basit "olasılıksal sınıflandırıcılar"

ailesidir. Bir Naive Bayes sınıflandırıcı, her özneliğin birbirinden koşulsal bağımsız olduğu ve öğrenilmek istenen kavramın tüm bu özneliklere koşulsal bağlı olduğu bir Bayes ağı olarak düşünülmektedir (Domingos & Pazzani, 1997; Hand & Yu, 2007). Bu çalışmada, 11 Ağustos 1999 güneş tutulması ve 17 Ağustos 1999 büyük Marmara Depremi dönemlerinde veri elde edilebilen iki YKS istasyonundan kestirilen TEİ'nin değişkenliğini incelemek için, Naive Bayes sınıflayıcıları literatürde ilk defa bu bağlamda TEİ veri seti üzerine uygulanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan Naive Bayes sınıflayıcılarına Bölüm 2'de; elde edilen bulgulara da Bölüm 3'te yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Herhangi bir YKS alıcısından, alıcı numarası u , toplam ölçüm sayısı N ve örnek numarası n olmak üzere, d günü için kestirilen TEİ değerleri, $\mathbf{x}_{u,d}$ vektörüyle ifade edilir:

$$\mathbf{x}_{u,d} = [\mathbf{x}_{u,d}(1) \dots \dots \mathbf{x}_{u,d}(n) \dots \dots \mathbf{x}_{u,d}(N)]^T \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de, T , transpoz operatörü ve $1 \leq n \leq N$ 'dir. Bu çalışmada, Naive Bayes Sınıflandırıcısı'nın uygulaması için kullanılan parametrelerden biri de IONOLAB-TEC olarak kestirilen TEİ değerleridir (IONOLAB).

Bayes Teoremi, sınıf değişkeni y ve bağımlı özellik vektörünün $\mathbf{x}_{u,d}(1)$ ile $\mathbf{x}_{u,d}(N)$ örnekleri arasındaki aşağıdaki ilişkiyi belirtir (Scikit-Learn; Papoulis, 1984; Domingos & Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak vd., 2016):

$$P(y \setminus \mathbf{x}_{u,d}(1), \dots, \mathbf{x}_{u,d}(N)) = \frac{P(y) P(\mathbf{x}_{u,d}(1), \dots, \mathbf{x}_{u,d}(N) \setminus y)}{P(\mathbf{x}_{u,d}(1), \dots, \mathbf{x}_{u,d}(N))} \quad (2)$$

Aşağıdaki eşitlikte verilen saf koşullu serbestlik varsayımı kabul edilirse (Scikit-Learn; Domingos & Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak vd., 2016):

$$P(\mathbf{x}_{u,d}(n) \setminus y, \mathbf{x}_{u,d}(1), \dots, \mathbf{x}_{u,d}(n-1), \mathbf{x}_{u,d}(n+1), \dots, \mathbf{x}_{u,d}(N)) = P(y \setminus \mathbf{x}_{u,d}(n)) \quad (3)$$

Tüm n örnekleri için, Eşitlik (1), aşağıdaki gibi indirgenebilir (Scikit-Learn; Domingos & Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak vd., 2016):

$$P(y \setminus \mathbf{x}_{u,d}(1), \dots, \mathbf{x}_{u,d}(N)) = \frac{P(y) \prod_{n=1}^N P(\mathbf{x}_{u,d}(n) \setminus y)}{P(\mathbf{x}_{u,d}(1), \dots, \mathbf{x}_{u,d}(N))} \quad (4)$$

Eşitlik (4)'te, $P(\mathbf{x}_{u,d}(1), \dots, \mathbf{x}_{u,d}(N))$ girdisi sabit olduğundan, aşağıda verilen sınıflandırma kuralı kullanılabilir (Scikit-Learn; Domingos & Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak vd., 2016):

$$P(y \setminus \mathbf{x}_{u,d}(1), \dots, \mathbf{x}_{u,d}(N)) \propto P(y) \prod_{n=1}^N P(\mathbf{x}_{u,d}(n) \setminus y) \quad (5)$$

Böylelikle, Eşitlik (6) elde edilir (Scikit-Learn; Domingos & Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak vd., 2016):

$$\hat{y} = \underset{y}{\arg \max} P(y) \prod_{n=1}^N P(\mathbf{x}_{u,d}(n) \setminus y) \quad (6)$$

Eşitlik (5) ve (6) kullanılarak $P(y)$ ve $P(\mathbf{x}_{u,d}(n) \setminus y)$ 'yi tahmin etmek için Maksimum A Sonsalı (Maksimum A Posteriori-MAP) tahmini kullanılabilir. Buradaki bir önceki, eğitim setindeki y

sınıfının göreceli frekansdır. Saf Bayes sınıflandırıcıları, gerekli parametreleri tahmin etmek için az miktarda eğitim verisine ihtiyaç duyarlar (Scikit-Learn; Domingos & Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak vd., 2016).

2.1. Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı

Sürekli verilerle çalışırken, sıklıkla kabul edilen bir varsayım, her sınıfla ilişkili sürekli değerlerin normal (veya Gauss) bir dağılıma göre dağıtıldığıdır. Gaussian Naive Bayes, sınıflandırma için Gauss Naive Bayes algoritmasını uygular. Özelliklerin olasılığının Gauss olduğu varsayılır (Papoulis, 1984; Domingos & Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak vd., 2016; Witten vd., 2016):

$$P(\mathbf{x}_{u,d}(n) \setminus y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left(-\frac{(\mathbf{x}_{u,d}(n)-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (7)$$

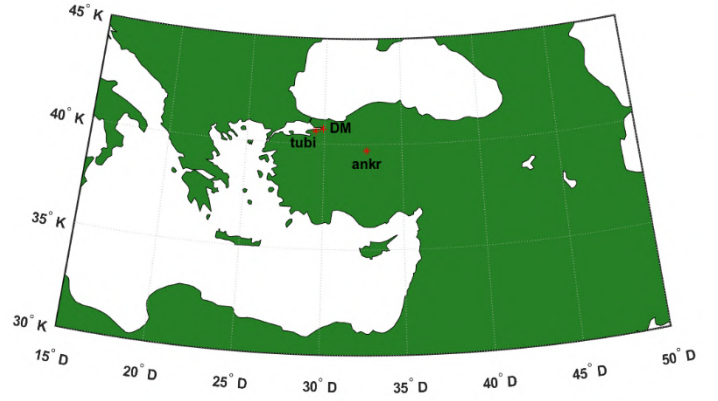
Yukarıdaki bağıntıda σ_y ve μ_y sırasıyla, sınıf değişkeni y 'nin Bessel düzeltilmiş değişimi (varyans) ve ortalama değerini ifade etmektedir. Gauss Naive Bayes, her biri bir Gauss (normal) dağılıma uygun olarak sürekli değerli özellikleri ve modelleri destekler (Papoulis, 1984; Domingos & Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak vd., 2016; Witten vd., 2016).

Bu çalışmada da, tam güneş tutulması ve depremine iyonosferin olası tepkilerinin istatistiksel analizi ve YKS istasyonlarından elde edilen TEİ'nin değişkenliğini incelemek için, iyonosferin jeomanyetik açıdan bozulmalı ve sakin durumları da göz önüne alınarak, Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı literatürde ilk defa bu bağlamda TEİ veri seti üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara Bölüm 3'te yer verilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

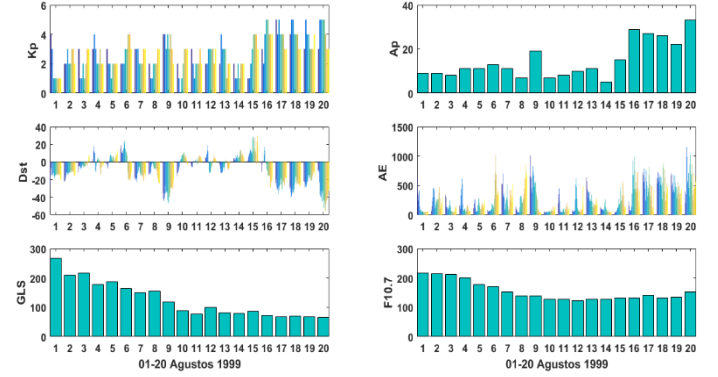
Bu çalışmada, veri kaynağı olarak çift frekanslı YKS alıcılarından IONOLAB-TEC olarak kestirilen TEİ değerleri kullanılmıştır. Düzenlenmiş Kestirim (Regularized-Estimation: Reg-Est) algoritmasına dayanan IONOLAB-TEC, çift frekanslı YKS alıcılarından yerel zenit yönünde tek bir istasyon üzerinden YKS-TEİ kestirimi sağlayan, literatürdeki en sağlam, güvenilir ve doğru algoritmalarından biridir (Arıkan vd., 2003; Arıkan vd., 2004).

Bu çalışmada, ilk olarak, Bölüm 2'de anlatılan Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı, bazı bozulmaların olduğu günlerde Şekil 1'de konumları gösterilmiş YKS istasyonlarından kestirilen IONOLAB-TEC değerleri ile bazı güneş ve jeomanyetik indisleri içeren veri setine uygulanmıştır. Olaylar, 11 Ağustos 1999 güneş tutulmasını ve 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'ni, çeşitli güneş, jeomanyetik ve sismik hareketliliğin de olduğu yirmi günlük bir periyodu içermektedir. Marmara Depremi 17 Ağustos 1999 tarihinde YZ 03.02'de (GS 00:00:02) Gölçük, Kocaeli'nde meydana geldi. Depremin Richter ölçeğine göre büyüklüğü Mw 7.5 olarak kaydedildi. Depremin merkez üssü 40.70° K ve 29.91° D coğrafi koordinatlarında yer almaktadır ve Şekil 1'de, kırmızı yıldız ve DM ile gösterilmiştir (USGS). Depremin merkez üssünü çevreleyen mevcut IGS (International GNSS Service) istasyonlarından sadece ankr (39.69° K, 32.75° D) Ankara, Türkiye ve tubi (40.59° K, 29.45° D) Gebze, Türkiye'den veri sağlanabilmiştir. Bu istasyonların konumu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma kapsamında kullanılan IGS istasyonları ve Deprem Merkezi (DM).

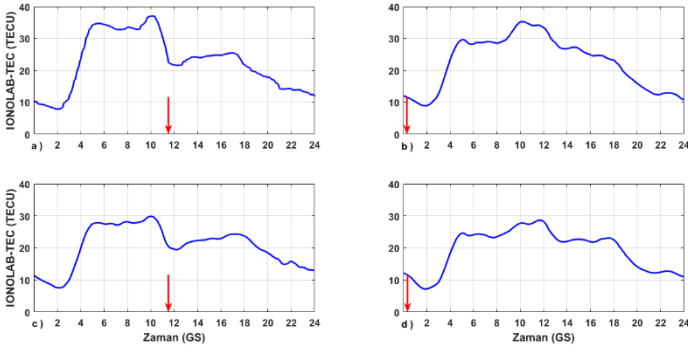
Jeomanyetik Kp ve Ap indisleri ve güneş indisleri GLS ve F10.7, Space Weather Prediction Center'dan sağlanmıştır (NOAA). Yine, jeomanyetik indisler AE ve Dst de World Data Center for Geomagnetism'den elde edilmiştir (World Data Center for Geomagnetism). Kp, Ap, AE, Dst, GLS ve F10.7 indislerinin yirmi günlük değişimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. 01 ila 20 Ağustos 1999 tarihleri arasındaki Ap, Kp, Dst, AE, GLS ve F10.7 indislerinin değişimi (NOAA; World Data Center for Geomagnetism).

Şekil 3'te 11 ve 17 Ağustos tarihlerinde ankr ve tubi istasyonları için IONOLAB-TEC değerleri verilmiştir. Tam güneş tutulmasının gözlemlendiği ve depremin meydana geldiği saatler, Greenwich Saati'ne (GS) göre kırmızı oklarla gösterilmiştir. Tam güneş tutulmasının hemen ardından, her iki istasyon için IONOLAB-TEC değerlerinde ani bir azalma gözlenmektedir. Her iki olayda da IONOLAB-TEC'in Türkiye için dinamik seviyesinin çok da değişmediği görülmektedir.

Bu çalışmada güneş tutulmasının ve sismik hareketliliğin iyonosferde meydana getirdiği etkileri incelemek için, Naive Bayes sınıflayıcılarından Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı, 01 ila 20 Ağustos tarihleri için IGS ankr ve tubi istasyonlarından kestirilen IONOLAB-TEC verilerine uygulanmıştır. Özellikle tubi istasyonu, 11 Ağustos 1999'daki depremin merkezine oldukça yakındır. Diğer kontrol istasyonu olarak seçilen ankr istasyonunun da deprem merkezine uzaklığı 300 km'den fazladır. Her iki istasyon için yirmi günlük veride, iyonosferin sakin olduğu ve hiçbir olayın gerçekleşmediği örnek sayısı 11.393'tür. Güneş hareketliliğinin gözlemlendiği örnek sayısı 75; sismik hareketliliğin gözlemlendiği örnek sayısı da 52'dir.



Şekil 3. 11 Ağustos 1999 tarihinde a) ankr, c) tubi ve 17 Ağustos 1999 tarihinde b) ankr, d) tubi istasyonları için IONOLAB-TEC değerleri (IONOLAB).

Şekil 4’te, sırasıyla tubi ve ankr istasyonu için istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen tüm bulgularda ve Şekil 4’te, IONOLAB-TEC değerleri “tec”, GLS değerleri “sun” ve F10.7 değerleri de “solar” olarak isimlendirilmiştir. Şekle bakıldığında, deprem merkezinden uzaklaştıkça ortalama değer, standart sapma, minimum, çeyrekler ve maksimum değerlerinin arttığı gözlenmektedir.

Index	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst
count	11520	11520	11520	11520	11520	11520	11520
mean	22.22	14.55	2.73	153.5	124.8	279.8	-9.44
std	7.18	8.18	1.12	31.53	59.75	232.96	15.68
min	6.41	5	0	123	65	39	-56
25%	16.84	8.75	2	130.25	74.75	81	-20
50%	22.92	11	3	138	94.5	203	-9
75%	27.21	19.75	3	171.75	167.25	437.25	3
max	41.33	33	5	216	267	1155	30

a)

Index	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst
count	11520	11520	11520	11520	11520	11520	11520
mean	25.83	14.55	2.73	153.5	124.8	279.8	-9.44
std	9.55	8.18	1.12	31.53	59.75	232.96	15.68
min	7.25	5	0	123	65	39	-56
25%	17.9	8.75	2	130.25	74.75	81	-20
50%	26.09	11	3	138	94.5	203	-9
75%	32.52	19.75	3	171.75	167.25	437.25	3
max	51.43	33	5	216	267	1155	30

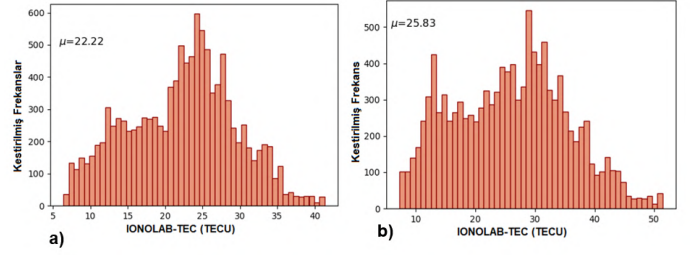
b)

Şekil 4. a) tubi ve b) ankr istasyonları için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum, çeyrekler ve maksimum değerleri.

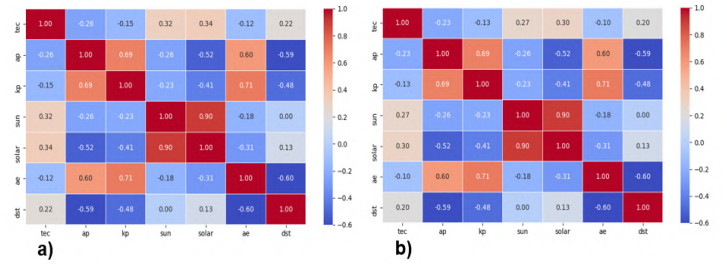
Şekil 5’te, tubi istasyonlarının IONOLAB-TEC değerlerinin normalize edilmiş kutucuklara göre kestirilmiş frekansları verilmiştir. Şekle bakıldığında tubi istasyonu için en büyük frekansın 25 TECU civarında; ankr istasyonu için de en büyük frekansın 30 TECU civarında kümelendiği görülmektedir. Deprem merkezine yaklaştıkça TEİ değerleri azalmıştır. Ortalama değer tubi istasyonu için $\mu=22.22$ olarak; ankr istasyonu için de $\mu=25.83$ olarak elde edilmiştir. Deprem merkezinden uzaklaştıkça ortalama değer arttığı gözlenmektedir.

Şekil 6’da, tubi ve ankr istasyonları için, veri setinde kullanılan yedi parametrenin, birbirleriyle ilintilerini gösteren Öznitelik İlinti Isı Haritası verilmiştir. Şekil 6’ya bakıldığında, tubi istasyonu için en yüksek ilintinin 0.9 değeriyle GLS ile F10.7

arasında olduğu görülmektedir. İkinci en yüksek ilinti ise 0.71 değeriyle AE ve Kp indisleri arasında olduğu gözlenmektedir. IONOLAB-TEC ile en yüksek ve pozitif ilintiye de 0.34 oranıyla F10.7 indisinin sahip olduğu görülmektedir. Birbirlerinden türeyen Ap ve Kp indisleri arasındaki ilintinin de 0.69 olduğu, görülmektedir. Yine Şekil 6’ya bakıldığında, IONOLAB-TEC ile en yüksek ve pozitif ilintinin ankr istasyonu için 0.30 oranıyla F10.7 indisinin sahip olduğu görülmektedir. Bu oranın, tubi istasyonuna göre daha küçük olması, ankr istasyonunun coğrafi konumuna (enlem farkı) göre farklılık göstermesiyle açıklanabilir.



Şekil 5. a) tubi ve b) ankr istasyonlarına ait IONOLAB-TEC için kestirilmiş frekanslar.



Şekil 6. a) tubi ve b) ankr istasyonları için parametreler arası Öznitelik İlinti Isı Haritası.

Merkez istasyon tubi için kullanılan normal örnek sayısı 3279, deprem örnek sayısı 126 ve güneş örnek sayısı 51’dir. Merkez istasyon tubi için Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı, bu üç olayda kullanılan örnek sayılarından 3279 normal örneğin 3279’unu; 126 deprem örneğinin 19’unu ve 51 güneş örneğinin 24’ünü doğru tahmin etmiştir. Bu da sırasıyla, %100, %15 ve %47 tahmin oranlarına karşılık gelmektedir. Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı için toplam tahmin oranı %96.12 olarak elde edilmiştir.

Kontrol istasyonu ankr için normal örnek sayısı 3282, deprem örnek sayısı 107 ve güneş örnek sayısı 24’tür. Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı, bu üç olayda kullanılan örnek sayılarından 3282 normal örneğin 3282’sini tahmin ederek %100 sonuç vermiştir. Yine Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı 126 deprem örneğinin 19’unu tahmin ederek %15 sonuç vermiştir. Son olarak da Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı, 48 güneş örneğinin 24’ünü doğru tahmin ederek %50 doğru sonuç vermiştir. Merkez istasyon tubi için elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, IONOLAB-TEC üzerinden normal ve deprem tahminlerinin değişmediği, sadece %0.03 kadar tahmin doğruluğunun arttığı gözlenmiştir. Bu durum yine, iki istasyon arasındaki coğrafik konum farklılığıyla açıklanabilir. Her üç durum için Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı kullanılarak ankr istasyonu için elde edilen toplam tahmin oranı %96.20’dir. Toplam tahmin doğruluk oranında da ankr istasyonu için elde edilen oran %0.08 daha büyük olarak elde edilmiştir. Önce tubi istasyonu, sonra da ankr istasyonu için elde

edilen Model Performans Metrikleri, Ekler bölümünde verilmiştir.

Çalışmanın son kısmında, merkez istasyon tubi ve kontrol istasyonu ankr'nin birleşik istatistiksel analizi yapılmıştır. Şekil 7'de, tubi ve ankr istasyonun deprem, güneş ve normal durumlarındaki birleşik istatistikleri verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, IONOLAB-TEC için en küçük ortalama değer deprem durumunda ortaya çıktığı görülmektedir. Güneş ve normal durumda elde edilen ortalama değerler birbirine çok yakındır. Deprem durumunda ortalama değer neredeyse yarıya yarıya azalmıştır. Buna karşın standart sapma, güneş durumunda 1.5'e, deprem durumunda da 4.87'ye düşmüştür. İyonosferde bir bozulma meydana geldiğinde, standart sapma azalmıştır. Normal durumda daha düşük olan minimum değer, deprem durumunda biraz artmış, güneş durumunda ise oldukça artmıştır. Güneş tutulması ve deprem meydana geldiğinde, IONOLAB-TEC'in minimum değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Normal dönemde maksimum değer 51.43 TECU iken, deprem ve güneş durumunda maksimum değer yarı yarıya azalarak 24.87 TECU değerini almıştır.

	deprem										gunes										normal									
	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst									
count	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	22786.00	22786.00	22786.00	22786.00	22786.00	22786.00	22786.00									
mean	13.16	27.0	4.46	141.0	67.0	673.54	-29.62	24.07	8.0	2.0	76.0	66.53	1.29	24.08	14.54	2.73	153.72	125.39												
std	4.87	0.0	0.50	0.0	0.0	109.43	1.50	1.70	0.0	0.0	0.0	25.61	3.32	8.65	8.16	1.12	31.62	59.82												
min	7.23	27.0	4.00	141.0	67.0	563.00	-31.00	21.19	8.0	2.0	76.0	46.00	-3.00	6.41	5.00	0.00	123.00	65.00												
25%	9.15	27.0	4.00	141.0	67.0	563.00	-31.00	22.44	8.0	2.0	76.0	46.00	-3.00	17.37	9.00	2.00	131.00	76.00												
50%	11.88	27.0	4.00	141.0	67.0	644.00	-31.00	23.83	8.0	2.0	76.0	49.00	2.00	24.25	11.00	3.00	138.00	100.00												
75%	16.71	27.0	5.00	141.0	67.0	789.00	-28.00	25.75	8.0	2.0	76.0	99.00	5.00	29.88	19.00	3.00	177.00	177.00												
max	24.87	27.0	5.00	141.0	67.0	789.00	-28.00	26.21	8.0	2.0	76.0	114.00	5.00	51.43	33.00	5.00	216.00	267.00												

Şekil 7 ankr ve tubi istasyonları için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum, çeyrekler ve maksimum değerleri.

Merkez istasyon tubi ile kontrol istasyonu ankr'nin birleşik frekans analizi ile birleşik kestirilmiş frekansları elde edilmiştir. İstasyonların birleşik frekanslarının 25 TECU civarında kümelendiği gözlenmiştir. Öznitelik Işı haritasında da, IONOLAB-TEC'in en büyük ilintiye F10.7 ile 0.30 oranında sahip olduğu gözlenmiştir. Birleşik analizde kullanılan normal durum örnek sayısı 22.786, güneş durumu örnek sayısı 150 ve deprem durumu örnek sayısı da 104'tür.

4. Sonuç

Bu çalışmada, güneş ve sismik hareketliliğin İyonosferde meydana getirdiği bozulma ve düzensizlikler, 11 Ağustos 1999 güneş tutulması ve 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi periyodunca IGS ağı içinde yer alan iki istasyondan kestirilen IONOLAB-TEC verileri kullanılarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, merkez istasyon konumunda tubi ve kontrol istasyonu konumunda ankr istasyonlarından elde edilen IONOLAB-TEC verilerine ve dört jeomanyetik ile iki güneş indisi verilerine Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı uygulanarak, İyonosferin yirmi günlük zaman aralığında istatistiksel analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgularda, istasyonların deprem merkezine uzaklığı arttıkça, ortalama değer, standart sapma, minimum, çeyrekler ve maksimum değerlerin de arttığı gözlenmiştir. Deprem merkezine daha yakın istasyonun IONOLAB-TEC değerlerinde deprem döneminde 5 TECU kadar bir azalma meydana geldiği, dolayısıyla, yakın istasyonun IONOLAB-TEC değerlerinin, uzak istasyona göre daha az bir frekansta kümelendiği gözlenmiştir.

Çalışma kapsamında seçilen yedi parametrenin çapraz ilinti analizinde, TEİ ile ilintisi en yüksek olan parametrenin, güneş akı indisi F10.7 olduğu tespit edilmiştir. Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısının uygulanmasında, deprem, güneş ve hiçbir olayın gözlenmediği ve İyonosferin sakin kabul edildiği normal durumları olmak üzere üç durum kabul edilmiştir. Sınıflayıcının, deprem olarak kabul edilen ihtimali, her iki istasyon için de eşit ve %15 olarak tahmin edebildiği gözlenmiştir. Aynı sınıflayıcının, güneş hareketliliği ihtimalini de her iki istasyon için benzer oranlarda tahmin edebildiği gözlenmiştir. İki istasyonun birleşik istatistiksel analizinde, IONOLAB-TEC için en küçük ortalama değer deprem durumunda ortaya çıktığı; güneş ve normal durumda elde edilen ortalama değerler birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Minimum değer, deprem durumunda biraz; güneş durumunda ise oldukça arttığı tespit edilmiştir. Maksimum değer ise deprem ve güneş durumunda yarı yarıya azaldığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada, Gaussian Naive Bayes sınıflayıcısı, literatürde ilk defa YKS-TEİ verilerine uygulanmış ve bu kapsamda ilk defa kullanılmıştır. Gelecek çalışmalar, sadece YKS-TEİ verileri kullanılmak, daha fazla istasyon ağı üzerinden ve sismik hareketliliğin bozduğu verilerin sayısı geniş tutulmak, çalışılan olay (deprem) sayısı artırılmak suretiyle yapılacak ve başka öğrenme ve sinyal işleme teknikleri de denenecektir.

5. Teşekkür

Bu çalışmada, IONOLAB-TEC'in hesaplanmasında kullanılan GIM-TEC, Satellite DCB ve efemeris verileri, <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex> adresindeki IGS Analysis Center of Jet Propulsion Laboratory (JPL)'den sağlanmıştır. Yazarlar, makaleyi geliştirmede yazarlar için çok yararlı ve yapıcı olan yorumları ve katkıları için anonim hakemlere teşekkür eder. Yazarlar son olarak, Prof. Dr. Feza Arıkan ve IONOLAB grubuna IONOLAB-BIAS ve IONOLAB-TEC Algoritması üzerindeki üstün emeklerinden dolayı teşekkür eder.

Ekler

Model Performans Metrikleri: tubi

Doğruluk: 0.9612
Hassasiyet: 0.9917
Anımsama: 0.9612
F1 Puanı: 0.9737

Model Sınıflama Raporu:

	hassasiyet	anımsama	f1-puanı	destek
normal	1.00	0.96	0.98	3413
deprem	0.15	1.00	0.26	19
güneş	0.47	1.00	0.64	24
doğruluk			0.96	3456
makro ort	0.54	0.99	0.63	3456
ağırlık ort	0.99	0.96	0.97	3456

Tahmin Karışıklık Matrisi:

	Tahmin edilen:		
	normal	deprem	güneş
Gerçek: normal	3279	107	27

deprem	0	19	0
güneş	0	0	24

Model Performans Metrikleri: ankr

Doğruluk: 0.9621
Hassasiyet: 0.9919
Anımsama: 0.9621
F1 Puanı: 0.9743

Model Sınıflama Raporu:

	hassasiyet	anımsama	f1-puanı	destek
normal	1.00	0.96	0.98	3413
deprem	0.15	1.00	0.26	19
güneş	0.5	1.00	0.67	24
doğruluk		0.96	3456	
makro ort	0.55	0.99	0.64	3456
ağırlık ort	0.99	0.96	0.97	3456

Tahmin Karışıklık Matrisi:

	Tahmin edilen:		
	normal	deprem	güneş
Gerçek: normal	3282	107	24
deprem	0	19	0
güneş	0	0	24

Kaynakça

- Arikan, F., Erol, C., & Arikan, O. (2003). Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data. *Space Physics*, 108(A12), 1-12. doi:10.1029/2002JA009605
- Arikan, F., Erol, C., & Arikan, O. (2004). Regularized estimation of vertical total electron content from GPS data for a desired time period. *Radio Science*, 39(6), 1-10. doi:10.1029/2004RS003061
- Arikan, F., Nayir, H., Sezen, U., & Arikan, O. (2008). Estimation of single station interferometry receiver bias using GPS-TEC. *Radio Science*, 43(4), 1-13. doi:10.1029/2007RS003785
- Budak, C., Turk, M., & Toprak, A. (2016). Removal of impulse noise in digital images with naive Bayes classifier method. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24(4), 2717 – 2729. doi:10.3906/elk-1401-57
- Chen, Y., Liu, J., Tsai, Y., & Chen, C. (2004). Statistical Tests for Pre-earthquake Ionospheric Anomaly. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15(3), 385-396. doi:10.3319/TAO.2004.15.3.385(EP)
- Domingos, P., & Pazzani, M. (1997). Beyond independence: Conditions for the optimality of the simple Bayesian classifier. *Machine Learning*, 29, 103–130.
- Efendi, E., & Arikan, F. (2017). A fast algorithm for automatic detection of ionospheric disturbances: DROT. *Advances in Space Research*, 59(12), 2923-2933. doi:10.1016/j.asr.2017.03.018
- Fuller-Rowell, T., Codrescu, M., & Wilkinson, P. (2000). Quantitative modeling of the ionospheric response to geomagnetic activity. *Annales Geophysicae*, 18, 766–781. doi:10.1007/s00585-000-0766-7
- Hand, D., & Yu, K. (2007). Idiot's Bayes: Not So Stupid after All? *International Statistical Review*, 69(3), 385 - 398. doi:10.1111/j.1751-5823.2001.tb00465.x

- IONOLAB.IONOLAB: www.ionolab.org adresinden alındı
- Karatay, S. (2020). Estimation of frequency and duration of ionospheric disturbances over Turkey with IONOLAB-FFT algori. *Journal of Geodesy*, 94(89), 1-24. doi:10.1007/s00190-020-01416-1
- Karatay, S., Arikan, F., & Arikan, O. (2010). Investigation of total electron content variability due to seismic and geomagnetic disturbances in the ionosphere. *Radio Science*, 45(5), 1-12. doi:10.1029/2009RS004313
- Karatay, S., Cinar, A., & Arikan, F. (2017). Ionospheric responses during equinox and solstice periods over Turkey. *Advances in Space Research*, 60(9), 1958-1967. doi:10.1016/j.asr.2017.07.038
- Korte, M., Lühr, H., Förster, M., Haak, V., & Bencze, P. (2001). Did the solar eclipse of August 11, 1999, show a geomagnetic effect? *Journal of Geophysical Research*, 106(A9), 18563-18575. doi:10.1029/2001JA900006
- Krankowski, A. I., Shagimuratov, I., Baran, L., Ephishov, I., & Tepenitzyna, N. (2006). The occurrence of polar cap patches in TEC fluctuations detected using GPS measurements in southern hemisphere. *Advances in Space Research*, 38(11), 2601-2609. doi:10.1016/j.asr.2005.12.006
- Le, H., Liu, L., Yue, X., & Wan, W. (2008). The ionospheric responses to the 11 August 1999 solar eclipse: observations and modeling. *Annales Geophysicae*, 26(1), 107-116. doi:10.5194/angeo-26-107-2008
- Liu, J., Chen, Y., Pulnits, S., Tsai, Y., & Chuo, Y. (2000). Seismo-ionospheric signatures prior to M \geq 6.0 Taiwan earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 27(16), 3113-3116. doi:10.1029/2000GL011395
- NOAA. NOAA: ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old_indices/ adresinden alındı
- Ozcan, O., & Aydogdu, M. (2004). Possible effects of the total solar eclipse of August 11, 1999 on the geomagnetic field variations over Elazığ-Turkey. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 66(11), 997-1000. doi:10.1016/j.jastp.2004.03.009
- Papoulis, A. (1984). *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Pulnits, S., Legen'ka, A., Gaivoronskaya, T., & Depue, V. (2003). Main phenomenological features of ionospheric precursors of strong earthquakes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 65(16-18), 1337-1347. doi:10.1016/j.jastp.2003.07.011
- Scikit-Learn. *Scikit-Learn*: https://scikit-learn.org/stable/modules/naive_bayes.html#out-of-core-naive-bayes-model-fitting adresinden alındı
- Sezen, U., Arikan, F., Arikan, O., Ugurlu, O., & Sadeghimorad, A. (2013). Online, automatic, near-real time estimation of GPS-TEC: IONOLAB-TEC. *Space Weather*, 11(5), 297–305. doi:10.1002/swe.20054
- USGS.USGS: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes adresinden alındı
- Webb, G., Boughton, J., & Wang, Z. (2005). Not So Naive Bayes: Aggregating One-Dependence Estimators. *Machine Learning*, 58, 5-24. doi:doi.org/10.1007/s10994-005-4258-6
- Witten, I., Frank, E., Hall, M., & Pal, C. (2016). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Burlington, Massachusetts: Morgan Kaufmann.
- World Data Center for Geomagnetism. *World Data Center for Geomagnetism*: http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html adresinden alındı



Mg-Sn-Zr Magnezyum Alaşımalarının Sıcak Pres Yöntemiyle Üretimi

Ali Erçetin^{1*}

^{1*} Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7631-1361), aliercetin@bingol.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 23 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 9 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.866892)

ATIF/REFERENCE: Erçetin, A. (2021). Mg-Sn-Zr Magnezyum Alaşımalarının Sıcak Pres Yöntemiyle Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 649-655.

Öz

Mg alaşımları, oldukça düşük yoğunluğuyla hafif alaşımlar grubunda yer almaktadır. Farklı alaşım elementlerinin ilavesiyle özellikle mekanik özelliklerinde gelişmeler sağlanmaktadır. İlave edilen alaşım elementlerinin mikroyapıda homojen dağılması, alaşımın özelliklerini etkileyen önemli etmenlerdendir. Bu çalışmada, ağırlıkça farklı oranlarda ($x = 0,5, 1, 1,5$ ve 2) Zr ilavesi içeren Mg alaşımları, sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir. Sinterleme prosesi, 610 °C'de, 50 MPa basınç altında 60 dk süreyle gerçekleştirilmiştir. Mg ve Zr tozlarının havayla temasını önlemek için, tozlar hacimce 20 oranında parafin ile kaplanmıştır. Alaşımların yüzeyine ait mikroyapı incelemelerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı spektrometri (EDS) analizleri uygulanmıştır. Mikroyapıdaki faz oluşumları X-ışını kırınımı (XRD) analizi ile tespit edilmiştir. Sinterleme işlemi öncesinde parafin kaplama tekniğiyle, sinterleme esnasında ise koruyucu argon gazı ile oksidasyon önlenmiştir. Uygulanan sıcak presleme yöntemiyle, Mg alaşımları $98,8$ 'in üzerinde bağıl yoğunluğa ulaşmıştır. Uygulanan sıcak presleme yöntemi, homojen mikroyapılı Mg alaşımlarının üretiminde etkili olmuştur. Zr ilavesiyle tane sınırlarında homojen bir şekilde dağılan α -Zr fazları, mekanik özelliklerin gelişmesinde (yaklaşık 30 %) etkili olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mg Alaşımı, Zr İlavesi, Bağıl Yoğunluk, Mikroyapı, Mekanik Özellikler.

Production of Mg-Sn-Zr Magnesium Alloys Through Hot Press Method

Abstract

Mg alloys are in the light alloys group with their very low density. With the addition of different alloying elements, improvements are achieved especially in mechanical properties. The homogeneous distribution of the added alloy elements in the microstructure is one of the important factors affecting the properties of the alloy. In this study, Mg alloys containing Zr addition in different proportions ($x=0.5, 1, 1.5$ and 2) by weight were produced by hot pressing method. The sintering process was carried out at 610 °C under 50 MPa pressure for 60 min. In order to prevent Mg and Zr powders from contacting with air, the powders are covered with 20 % paraffin by volume. Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectrometry (EDS) analyses were applied in the microstructure studies of the surface of alloys. Phase formations in the microstructure were determined by X-ray diffraction (XRD) analysis. Oxidation could be prevented by the paraffin coating technique before the sintering process and by the protective argon gas during sintering. With the hot pressing method applied, Mg alloys have reached a relative density of over 98.8 %. The hot pressing method applied was effective in the production of homogeneous microstructure of Mg alloys. The α -Zr phases, homogeneously distributed in the grain boundaries with the addition of Zr, have been effective in the development of mechanical properties (approximately 30 wt.%).

Keywords: Mg Alloy, Zr Addition, Relative Density, Microstructure, Mechanical Properties.

* Sorumlu Yazar: aliercetin@bingol.edu.tr

1. Giriş

Magnezyum, en hafif yapısal metaldir. Mg'ye alaşım elementi ilavesiyle, Mg alaşımlarının mekanik, korozyon ve biyo özelliklerinde önemli ölçüde gelişmeler sağlanmıştır (Candan et al., 2018; Çetin et al., 2020). Mg alaşımlarının dayanım/yoğunluk oranı, diğer metallere göre oldukça yüksektir. Bununla birlikte, iyi dökülebilirlik ve çok iyi işlenebilirlik gibi özelliklere de sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, son yıllarda diğer yapısal malzemelere göre daha fazla tercih edilmektedirler (Wang et al., 2020; Yang et al., 2011; Yin et al., 2020). Otomotiv, havacılık, savunma, elektronik ve biyomedikal gibi uygulamalarda, Mg alaşımları önemli bir yere sahiptir (J. Li et al., 2013; Öztürk & Kaçar, 2012; Sun et al., 2009; Yin et al., 2020).

Piyasada en sık kullanılan Mg alaşımlarında, ana alaşım elementi olarak Al ilavesi bulunmaktadır (Akkaş et al., 2018; Candan et al., 2014; Çelik, 2019). Ancak, ticari olarak temin edilebilen Mg-Al alaşımların uygulanması, yüksek sıcaklıklarda ($> 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) zayıf sürünme davranışları ile sınırlıdır (Yang et al., 2011). Bu durum, mikroyapıda bulunan $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ fazının düşük ergime sıcaklığına ($462\text{ }^{\circ}\text{C}$) sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Wang et al., 2020). Sn alaşım elementi, $561\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de Mg içerisindeki maksimum katı çözünürlüğü ağırlıkça %14,85 civarındadır. Oda sıcaklığına hızlı soğuma gerçekleştirildiğinde, mikroyapıda Mg_2Sn fazı oluşmaktadır (Gökçe, 2020b). Mg_2Sn fazının yüksek ergime sıcaklığına ($770\text{ }^{\circ}\text{C}$) sahip olması, Mg alaşımlarının yüksek sıcaklık uygulamalarında servis ömrünü geliştirebilmektedir (Wang et al., 2020). Mg'ye ilave edilen alaşım elementlerinden Zr, ağırlıkça %0,43 oranında ilave edildiğinde, herhangi bir yeni faz oluşmamaktadır (Pan & Yang, 2011; Wang et al., 2020). Bu orandan daha fazla Zr ilave edilerek alaşım hızlı soğutulduğunda, Zr alaşım elementi, tane sınırlarında α veya β fazında bulunabilmektedir. Alaşım elementi ilavesi kadar mekanik özellikleri etkileyen diğer bir durum ise, üretim yöntemleridir.

Günümüzde Mg alaşımları genellikle döküm yöntemiyle üretilmektedir (Akyüz, 2018, 2019). Döküm yönteminde farklı oranlarda alaşım elementi ilavesi, alaşımın diğer özellikleri ile birlikte dökülebilirliği de etkilemektedir (Akyüz, 2020; Elen et al., 2019). Dolayısıyla, her oranda alaşım elementi ilavesiyle döküm gerçekleştirilememektedir. Ayrıca, döküm yöntemiyle üretilen Mg alaşımları, tam yoğun bir yapıya sahip olmadığı için alaşımlara ilave proses olarak ekstrüzyon işlemi uygulanmaktadır (Mert, 2018). Bununla birlikte, mikroyapıda segregasyon oluşumları da gerçekleşebilmektedir. Bu sebeple döküm sonrası ayrıca bir homojenizasyon işlemi uygulanabilmektedir (Q. Liu et al., 2018; Özgün et al., 2020). Homojen bir mikroyapı eldesinde TM yöntemi etkili yöntemlerdendir (Erden, 2016a; Gökçe, 2020a; Özgün & Erçetin, 2017). Ancak, Mg alaşımları geleneksel TM yöntemiyle üretildiğinde alaşımlarda tam yoğunlaşma gerçekleştirilememektedir. Dolayısıyla, toz metalurjisi tekniklerinden sıcak presleme yönteminde, sinterleme ve basınç eş zamanlı uygulanmakta ve yoğun mikroyapıya sahip Mg alaşımları üretilebilmektedir (Aydoğmuş et al., 2020; Erçetin et al., 2020).

Bahsedilen literatür çalışmalarına göre, Mg alaşımlarının sıcak presleme metoduyla üretimine dair çok az sayıda çalışma olduğu anlaşılmaktadır. Aynı şekilde, sıcak presleme yöntemiyle

üretilen Zr içerikli Mg alaşımlarına ait çalışmalar da literatürde yok denecek kadar azdır. Bu çalışmada, farklı oranlarda Zr içeriğine sahip $\text{Mg}_6\text{Sn-xZr}$ alaşımı sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen alaşımların mikroyapısal ve mekaniksel özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, yüksek saflıkta ve mikron boyutlarında Mg ($<45\text{ }\mu\text{m}$), Sn ($<10\text{ }\mu\text{m}$), Mn ($<15\text{ }\mu\text{m}$) ve Zr ($<5\text{ }\mu\text{m}$) tozlarının tartılması ve belirlenen kompozisyonlarda karıştırılması aşamalarında, tozların oksidasyona maruz kalması veya karıştırma esnasında tozların sürtünmesinden kaynaklı olarak tutuşma riski vardır. Bu nedenle, Mg ve Zr tozları çalışmanın başlangıcında parafin kaplama tekniği ile hacimce %20 oranında parafin ile kaplanmıştır. Mg ve Zr tozlarının parafin kaplanması tekniğine ait ayrıntılı bilgiler geçmiş deneysel çalışmalarımızda görülebilir (Erçetin et al., 2020, 2021). Toz metalurjisi yönteminde karıştırma süresinin tozların homojen karışmasında önemli ölçüde etkisi vardır (Erden, 2016b). Şimdiki çalışmada, parafin kaplama esnasında optimum karıştırma süresi, 180 rpm ve 1 saat uygulanmıştır. Tozların tartılmasında Precisia marka (10^{-4} hassasiyetinde) hassas terazi kullanılmıştır.

Tablo 1. Farklı oranlarda Zr içeren Mg alaşımlarının kimyasal bileşimi

Alaşım Kodu	Sn (ağ.%)	Mn (ağ.%)	Zr (ağ.%)	Mg (ağ.%)
TK-1	6	0,1	0,5	Kalan
TK-2	6	0,1	1	Kalan
TK-3	6	0,1	1,5	Kalan
TK-4	6	0,1	2	Kalan

Tablo 1'de belirtilen oranlarda sağlanan karışımlar, $30\times 10\text{ mm}$ ölçülerindeki grafit kalıp içerisine doldurulmuştur. Öncelikle tüm alaşımlar, $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bağlayıcı giderme işlemine tabi tutulmuş, daha sonra $610\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 50 MPa basınç altında 60 dk süreyle sinterlenmiştir. Sinterleme esnasında oksidasyonu önlemek için koruyucu argon gazı kullanılmıştır. Sinterlenen numunelere sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. Dağlama sıvısı olarak hacimce %5 nitrik asit ve %95 etil alkol karışımı kullanılmıştır. Sinterleme sonrası üretilen alaşımların mikroyapısında oluşan fazların tayini için, XRD analizinden yararlanılmıştır. Mg alaşımlarının mikroyapı yüzey morfolojisi için SEM-EDS analizleri uygulanmıştır. Alaşımların teorik yoğunluğu Tablo 1'de belirtilen oranlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Arşimed prensibinden yararlanılarak, alaşımların gerçek yoğunluk değerleri literatür çalışmaları doğrultusunda ölçülmüştür (Erçetin et al., 2021; Majeed et al., 2020; Özgün et al., 2020).

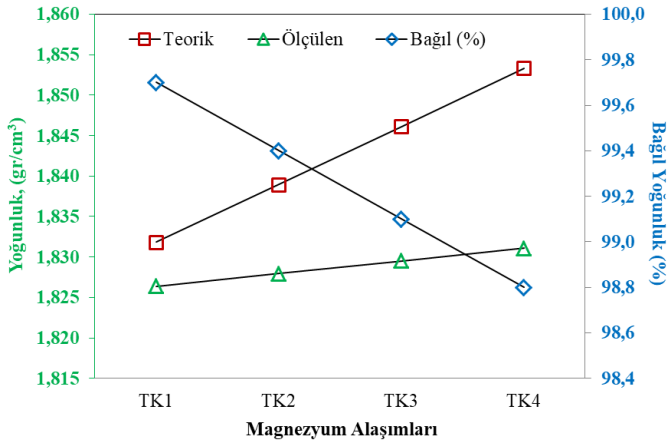
Mekanik özelliklerin belirlenmesinde mikro Vickers sertlik testleri uygulanmıştır. Mikro testler, 10 saniye süreyle 200 gr yük altında, her bir alaşım yüzeyinin 5 farklı noktasından alınarak gerçekleştirilmiştir. 5 noktadan alınan ölçümlerin ortalaması, ilgili alaşımın sertlik değeri olarak kabul edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

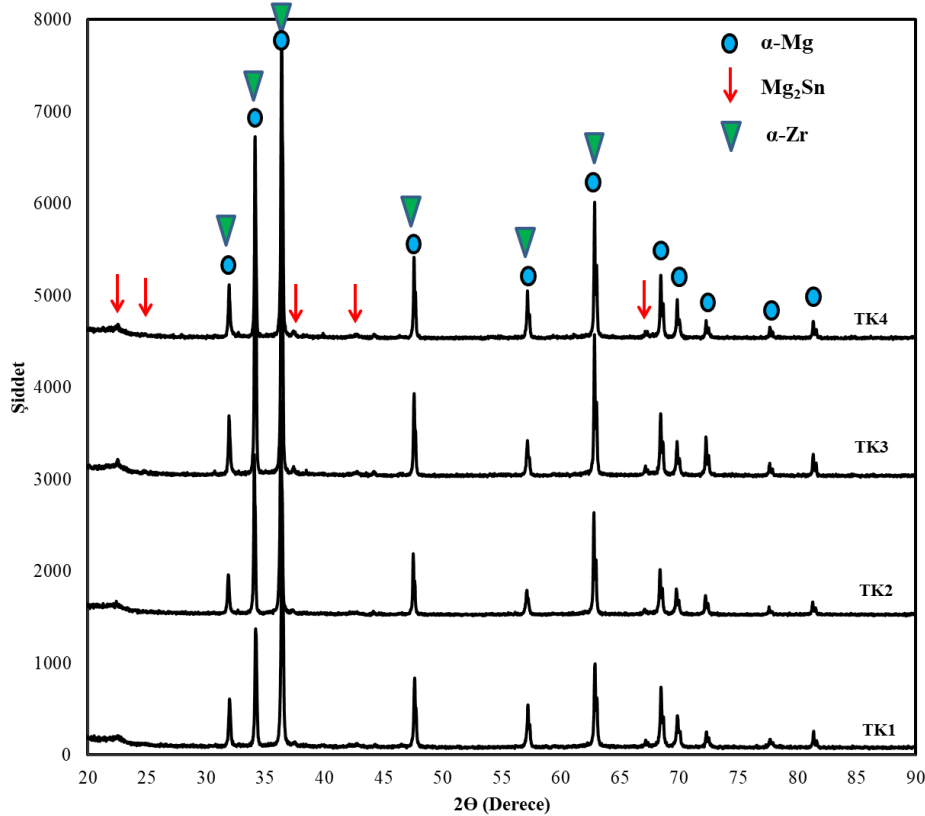
3.1. Yoğunluk Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Farklı oranlarda Zr ilavesi içeren Mg alaşımlarının, sinterleme sonrası ölçülen yoğunluk, teorik yoğunluk ve (%)

bağıl yoğunluk değerleri Şekil 1'de verilmektedir. Artan Zr ilavesine bağlı olarak, teorik ve ölçülen yoğunluk değerleri artmaktadır. Ancak, ölçülen yoğunluk değerlerindeki artışa rağmen, bağıl yoğunluk değerleri azalmaktadır. (%) Bağıl yoğunluk değerleri, ölçülen yoğunlukların teorik yoğunluklara oranlanmasıyla elde edilmektedir. Şekil 1'deki ölçülen ve teorik yoğunluk grafikleri beraber incelendiğinde artış eğimleri farklılık göstermektedir. Ancak, minimum ve maksimum bağıl yoğunluk değerleri arasında çok az bir farklılık (<%1) bulunmaktadır. Toz metalürjisi ile yapılan üretimlerde, bağıl yoğunluğun belirli bir oranın (\geq %95) üzerinde elde edilmesi, sinterlemenin başarılı olduğunu ifade etmektedir (Majeed et al., 2020; Özgün et al., 2015). Şimdiki çalışmada ise, minimum (%) bağıl yoğunluk değeri, %98,8 olarak TK4 magnezyum alaşımından elde edilmiş ve literatürde belirtilen orandan oldukça yüksektir (Majeed et al., 2020; Özgün et al., 2015).



Şekil 1. Farklı oranlarda Zr içeren Mg alaşımlarının teorik, ölçülen ve bağıl yoğunluk değerleri



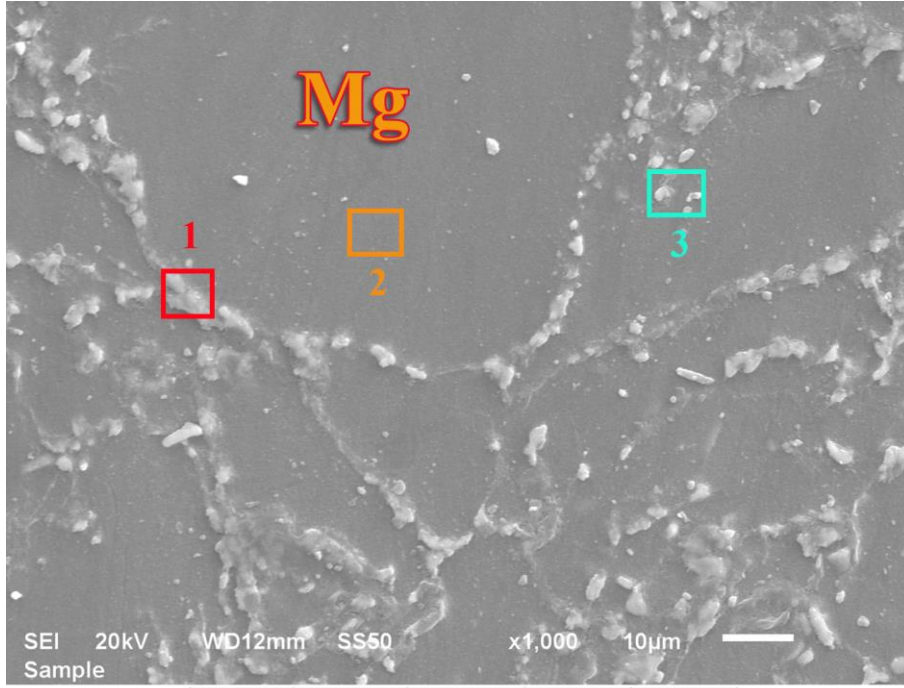
Şekil 2. Farklı oranlarda Zr içeren Mg alaşımlarının XRD desenleri

3.2. XRD Analizi

Sıcak presleme yöntemiyle üretilen Zr ilaveli Mg alaşımlarına ait XRD desenleri Şekil 2'de verilmiştir. Alaşımların XRD desenleri, α -Mg, Mg_2Sn ve α -Zr piklerini içermektedir. Her bir alaşıma ait XRD desenleri incelendiğinde, herhangi bir oksijen (O) içerikli faza rastlanmamıştır. Bu durum, sinterleme prosesinin argon koruyucu gaz atmosferinde başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğine işaret etmektedir. Mg_2Sn fazına ait pikler, her bir alaşımda yaklaşık aynı şiddetlerde olduğu görülmektedir. Literatür çalışmalarına göre (H. Liu et al., 2007), Mg'ye ağırlıkça %5'ten daha fazla Sn ilave edildiğinde, Mg_2Sn fazları elde edilmiştir. Şimdiki çalışmada da, %6 Sn ilavesine bağlı olarak, Mg alaşımlarında Mg_2Sn fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Alaşımların içerdiği Zr oranındaki artışla birlikte, α -Zr'nin bulunduğu pikler artış göstermiştir. α -Zr fazına ait pikler, benzer bir çalışmadaki XRD analizinde, aynı açı değerlerinde tespit edilmiştir (Kim et al., 2019).

3.3. EDS ve SEM Analizleri

Şekil 3'te, ağırlıkça %2 Zr içeren (TK4) Mg alaşımına ait 1000x büyütmede alınan SEM görüntüsü ile EDS analizi sonuçları verilmektedir. SEM görüntüsü üzerinde 3 farklı bölgeden (tane içi ve tane sınırlarından) elementel analiz sonuçları alınmıştır. İntermetalik fazların tane sınırlarında yoğun miktarda çökelediği net bir şekilde görülmektedir. Tane içleri koyu gri renkli, tane sınırları ise beyaz ve açık gri renkli yapılardan oluşmaktadır.



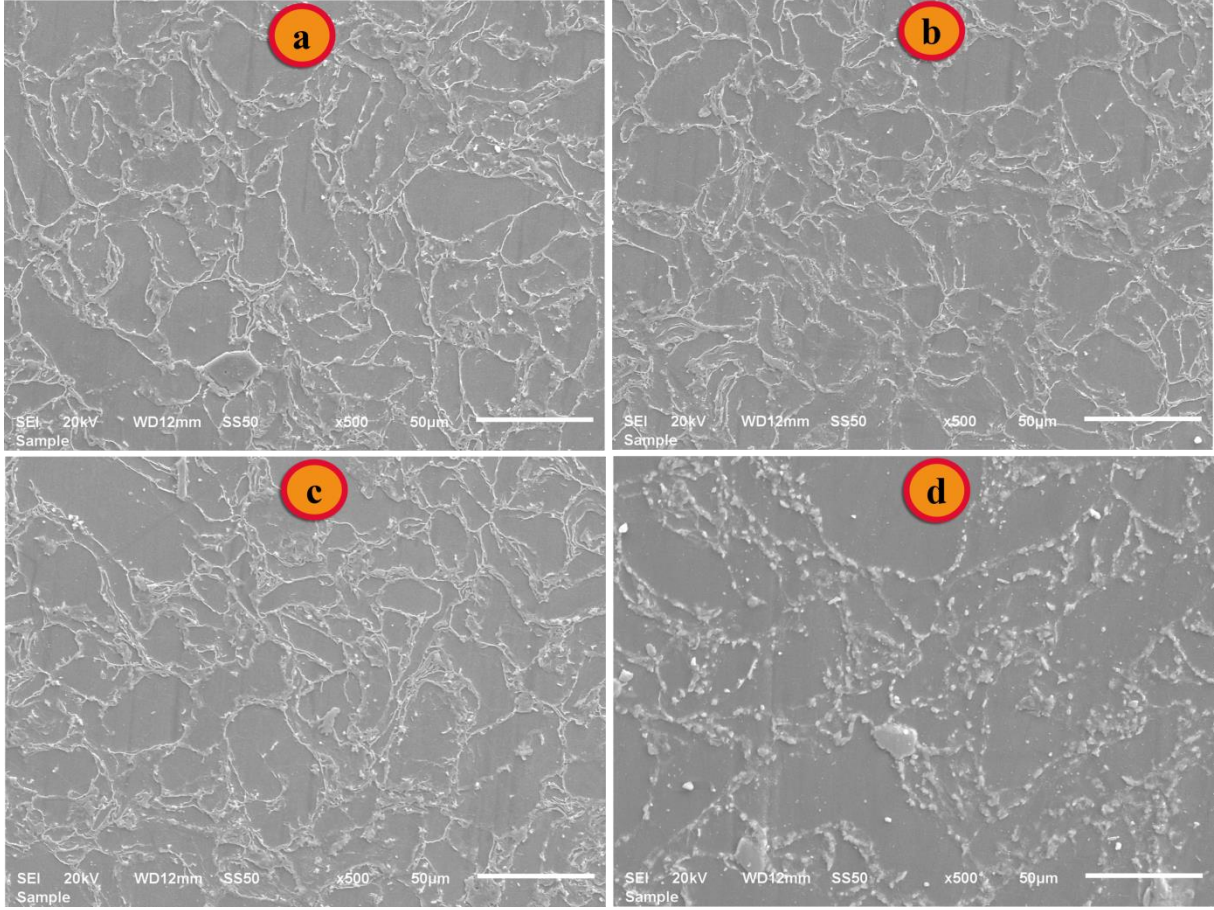
	Mg (ağ.%)	Sn (ağ.%)	Zr (ağ.%)	Mn (ağ.%)
1	65,680	32,211	1,884	0,225
2	96,542	2,672	0,469	0,317
3	15,791	3,672	80,169	0,368

Şekil 3. Ağırlıkça %2 Zr içeren Mg alaşımına ait noktasal EDS analizi

1 nolu bölgede Mg ve Sn içeriklerinin oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu bölgenin, XRD analizinde tespit edilen Mg_2Sn faz içeriği bakımından zengin olduğu düşünülmektedir. 2 nolu bölgede (tane içi), sadece Mg içeriğinin zengin olduğu tespit edilmiştir. Tane içlerinde diğer alaşım elementlerinin de bulunması, bu elementlerin oda sıcaklığında Mg içerisinde katı çözültü oluşturduğuna işaret etmektedir. 3 nolu bölgede belirtilen beyaz renkli, ince ve oldukça küçük yapılar Zr içeriği bakımından oldukça zengindir. Bu yapılar tane sınırlarında homojen ve süreksiz bir şekilde dizilmektedir.

Sıcak presleme yöntemiyle üretilen Mg alaşımlarının 500x büyütmede alınan SEM görüntüleri Şekil 4'te verilmektedir. Her

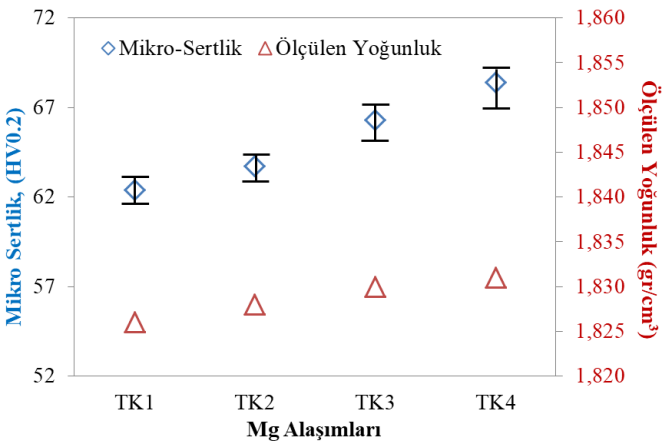
bir alaşıma ait SEM görüntüleri incelendiğinde, mikroyapıların gözeneksiz, ince taneli ve oldukça yoğun yapılarda olduğu belirlenmiştir. Pan ve Yang'ın benzer çalışmasında da (Pan & Yang, 2011), Zr ilavesiyle mikroyapıda daha ince taneli yapılar elde edilmiştir. XRD ve EDS analizlerinde tespit edilen fazlar, tane sınırlarında yoğunlaşmış ve homojen olarak dağılmıştır. Yüksek oranda Zr alaşım elementinin ilave edildiği SEM görüntüsünde (Şekil 4d), tane sınırlarının süreksiz ve kesikli bir yapıya dönüştüğü ve EDS analizinde tespit edilen Zr içeriği bakımından zengin olan beyaz yapıların arttığı görülmektedir. Bu durumun sertlik özelliklerini olumlu etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 4. Sıcak presleme yöntemiyle üretilen Mg alaşımlarının SEM görüntüleri; (a) TK1, (b) TK2, (c) TK3, (d) TK4

3.4. Sertlik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Ağırlıkça %0,5, 1, 1,5 ve 2 oranlarında Zr içeren Mg alaşımlarına ait mikro-sertlik ve ölçülen yoğunluk grafikleri birlikte Şekil 5'te verilmiştir. Mg alaşımlarının içerdiği Zr oranındaki artışa bağlı olarak mikro-sertlik değerleri de artış göstermiştir. Artan Zr ilavesiyle birlikte, herbir alaşımın minimum ve maksimum sertlik değerleri arasındaki fark da artmaktadır. Bu durumun, artan Zr içeriğine bağlı olarak Mg alaşımlarının bağıl yoğunluklarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek mikro-sertlik değeri 68,4 HV_{0,2} ile TK4 alaşımından, en düşük mikro-sertlik değeri ise 62,4 HV_{0,2} ile TK1 alaşımından elde edilmiştir.



Şekil 5. Mg alaşımlarına ait mikro sertlik ve ölçülen yoğunluk değerleri

Literatürde Turan vd. ait benzer bir çalışmada (Turan et al., 2017), sıcak presleme yöntemiyle saf Mg üretilmiş ve maksimum 41,7 HV_(0,5) sertlik değeri elde edilmiştir. Şimdiki çalışmada, en iyi mekanik özelliklerin elde edildiği TK4 koduna sahip Mg alaşımı, Turan vd. elde ettiği sonuçtan %64 daha fazladır. Li vd. çalışmasına göre ise (W. Li et al., 2017), döküm yöntemiyle üretilen Mg₇Sn magnezyum alaşımı en yüksek 52,6 HV_(0,2) mikro sertlik değerine ulaşabilmiştir. Mevcut Zr ilaveli çalışmada elde edilen sertlik değerleri, Li vd. elde ettiği sonuçtan da %30 daha yüksektir.

4. Sonuçlar

Çalışmada, magnezyuma sabit oranlarda Sn ve Mn alaşım elementleri ile ağırlıkça farklı oranlarda (x= %0,5, %1, %1,5 ve %2) Zr ilavesi yapılmış ve sıcak presleme yöntemiyle Mg alaşımlarının üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Üretilen alaşımların mikroyapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Mg ve Zr tozlarına parafin kaplama tekniği uygulanarak, TM yönteminin Mg alaşımlarına uygulanabilirliğinde gelişme sağlanmıştır.
- Sinterlenen alaşımların hızlı soğutulmasında sıcak presleme yöntemi etkili olmuştur.
- Sıcak presleme yöntemi ile yüksek bağıl yoğunluklu Mg alaşımları üretilebilmektedir.
- Artan Zr ilavesi bağıl yoğunluğu olumsuz etkilemiştir.
- Alaşımların mikroyapısında α-Mg, Mg₂Sn ve α-Zr fazları tespit edilmiştir.

- Yoğun ve homojen mikroyapıya sahip alaşımlar üretilmiştir.
- Mg alaşımına Zr ilavesi mekanik özellikleri geliştirmektedir.

Zr ilave oranının mevcut çalışmada belirtilen oranlardan çok daha yüksek seçilmesi durumunda, sinterleme sıcaklığının artırılması önerilir.

5. Teşekkür

Mg alaşımlarının mikroyapısal incelemelerinde (XRD ve SEM-EDS analizleri) gayret sarf eden Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvarına ve çalışanlarına teşekkür ederim. Sertlik cihazı ve sıcak presleme cihaz temini sağlayan Bingöl Üniversitesine ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- Akkaş, M., Çetin, T., & Boz, M. (2018). Gaz atomizasyonu yöntemi ile AM60 magnezyum alaşım tozu üretimi ve karakterizasyonu. *SDU International Journal of Technological Sciences*, 10(3), 1–9.
- Akyüz, B. (2018). AS21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin incelenmesi. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 105–111.
- Akyüz, B. (2019). AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve işlenebilirliği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1019–1028.
- Akyüz, B. (2020). AZ91, AS91 ve AM90 magnezyum alaşımlarının aşınma ve ısıl davranışları üzerine karşılaştırmalı bir çalışma. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 1075–1083.
- Aydoğmuş, T., Kelen, F., & Aydemir, E. (2020). Sıcak presleme yöntemi ile AZ91 magnezyum alaşımının üretimi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 277–287.
- Candan, Ş., Çelik, M., & Candan, E. (2014). AZ91 magnezyum alaşımında soğuma hızlarının mekanik ve korozyon özelliklerine etkisi. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 17–28.
- Candan, Ş., Çim, S., Emir, S., & Candan, E. (2018). AZ serisi Mg alaşımlarının korozyon davranışlarında β -fazının rolü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 1139–1162.
- Çelik, İ. (2019). Yüzey işlemleri uygulanmış AZ31 Mg alaşımının yapısal özelliklerinin ve aşınma davranışının incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 136–142.
- Çetin, T., Akkaş, M., & Boz, M. (2020). Gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilen AM60 magnezyum alaşım tozunun toz karakterizasyonu üzerine gaz basıncının etkisinin araştırılması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 967–977.
- Elen, L., Türen, Y., & Koç, E. (2019). AZ91 Mg alaşımına farklı oranlarda Sb ilavesi ile katılma hızının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2), 451–463.
- Erçetin, A., Aslantas, K., & Özgün, Ö. (2020). Micro-end milling of biomedical Tz54 magnesium alloy produced through powder metallurgy. *Machining Science and Technology*, 24(6), 924–947. <https://doi.org/10.1080/10910344.2020.1771572>
- Erçetin, A., Özgün, Ö., & Aslantas, K. (2021). Investigation of Mechanical Properties of Mg5Sn-xZn Alloys Produced

- through New Method in Powder Metallurgy. *Journal of Testing and Evaluation*, 49(5), 20200020. <https://doi.org/10.1520/jte20200020>
- Erçetin, A., Özgün, Ö., Aslantas, K., & Aykutoğlu, G. (2020). The microstructure, degradation behavior and cytotoxicity effect of Mg–Sn–Zn alloys in vitro tests. *SN Applied Sciences*, 2(2), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1988-9>
- Erden, M. A. (2016a). Effect of C content on microstructure and mechanical properties of Nb-V added microalloyed steel produced by powder metallurgy method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(9), 44–47.
- Erden, M. A. (2016b). Karıştırma süresinin toz metalürjisi ile üretilen alaşımsız çeliklerin mekanik özelliklerine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(9), 62–65.
- Gökçe, A. (2020a). Magnezyum ve alaşımlarının toz metalürjisi işlemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 522–534.
- Gökçe, A. (2020b). Toz metalürjisi yöntemiyle Mg-Sn alaşımı üretimi ve karakterizasyonu. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(1), 112–119.
- Kim, M., An, S., Huh, C., & Kim, C. (2019). Development of zirconium-based alloys with low elastic modulus for dental implant materials. *Applied Sciences*, 9(24), 5281.
- Li, J., Chen, R., Ma, Y., & Ke, W. (2013). Effect of Zr modification on solidification behavior and mechanical properties of Mg-Y-RE (WE54) alloy. *Journal of Magnesium and Alloys*, 1(4), 346–351. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2013.12.001>
- Li, W., Huang, X., & Huang, W. (2017). Effects of Ca, Ag addition on the microstructure and age-hardening behavior of a Mg-7Sn (wt%) alloy. *Materials Science and Engineering A*, 692, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.03.066>
- Liu, H., Chen, Y., Tang, Y., Wei, S., & Niu, G. (2007). The microstructure, tensile properties, and creep behavior of as-cast Mg-(1-10)%Sn alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 440(1–2), 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2006.09.024>
- Liu, Q., Ma, Q. xian, Chen, G. qiang, Cao, X., Zhang, S., Pan, J. luan, Zhang, G., & Shi, Q. yu. (2018). Enhanced corrosion resistance of AZ91 magnesium alloy through refinement and homogenization of surface microstructure by friction stir processing. *Corrosion Science*, 138, 284–296. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.04.028>
- Majeed, A., Zhang, Y., Lv, J., Peng, T., Atta, Z., & Ahmed, A. (2020). Investigation of T4 and T6 heat treatment influences on relative density and porosity of AlSi10Mg alloy components manufactured by SLM. *Computers and Industrial Engineering*, 139, 106194. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106194>
- Mert, F. (2018). A comparison of the dry sliding wear behavior of as-cast and hot rolled AZ31B magnesium alloy. *ÖHÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 417–426.
- Özgün, Ö., Aslantas, K., & Erçetin, A. (2020). Powder Metallurgy Mg-Sn alloys: Production and characterization. *Scientia Iranica*, 27(3), 1255–1265. <https://doi.org/10.24200/SCI.2019.50212.1578>
- Özgün, Ö., & Erçetin, A. (2017). Microstructural and mechanical properties of Cr-C reinforced Cu matrix composites produced through powder metallurgy method. *Turkish Journal of Nature and Science*, 6(2), 1–6.
- Özgün, Ö., Yılmaz, R., Gülsoy, H. Ö., & Fındık, F. (2015). Toz

- enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen 718 süperalaşım parçaların kırılma tokluğu ve darbe dayanımı özellikleri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 4(1), 1–7.
- Öztürk, F., & Kaçar, İ. (2012). Magnezyum alaşımları ve kullanım alanlarının incelenmesi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 12–20.
- Pan, F., & Yang, M. (2011). Preliminary investigations about effects of Zr, Sc and Ce additions on as-cast microstructure and mechanical properties of Mg-3Sn-1Mn (wt.%) magnesium alloy. *Materials Science and Engineering A*, 528(15), 4973–4981. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.02.095>
- Sun, M., Wu, G., Wang, W., & Ding, W. (2009). Effect of Zr on the microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of Mg-10Gd-3Y magnesium alloy. *Materials Science and Engineering A*, 523(1–2), 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.06.002>
- Turan, M. E., Sun, Y., Akgul, Y., Turen, Y., & Ahlatci, H. (2017). The effect of GNPs on wear and corrosion behaviors of pure magnesium. *Journal of Alloys and Compounds*, 724, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.07.022>
- Wang, F., Feng, Y., Li, M., & Teng, X. (2020). Effect of Ca and Zr additions and aging treatments on microstructure and mechanical properties of Mg-Sn alloy. *Materials Science Forum*, 993 MSF, 152–160. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.993.152>
- Yang, M., Liang, X., Yi, Z., & Pan, F. (2011). Effects of zirconium addition on as-cast microstructure and mechanical properties of Mg-3Sn-2Ca magnesium alloy. *Materials and Design*, 32(4), 1967–1973. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.11.071>
- Yin, S., Duan, W., Liu, W., Wu, L., Yu, J., Zhao, Z., Liu, M., Wang, P., Cui, J., & Zhang, Z. (2020). Influence of specific second phases on corrosion behaviors of Mg-Zn-Gd-Zr alloys. *Corrosion Science*, 166, 108419. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.108419>



Adıyaman Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

Veli Sönmez¹, Ahmet Metin Kumlay^{2*}

¹ Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Iğdır, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0577-2128), sev_kahin@hotmail.com

^{2*} Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9765-8674), akumlay@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 23 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 5 Nisan 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.885187)

ATIF/REFERENCE: Sönmez, V. & Kumlay, A.M. (2021). Adıyaman Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 656-665.

Öz

Bu araştırma, farklı ekim zamanlarında bazı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinin morfolojik ve tane özelliklerini belirlemek amacıyla 2017 yılında Adıyaman ekolojik koşullarında yürütülmüştür. Çalışmada, yörede yaygın olarak ekimi yapılan yerel genotip ile Diyar-95, ILC-482 çeşitleri ve üç farklı ekim zamanı (15 Ocak, 25 Ocak ve 4 Şubat) denemeye tabi tutulmuştur. Elde edilen verilerden; çıkış sürelerinin 12.66–15.00 gün, bitki boylarının 19.90–36.10 cm, ana dal sayılarının 2.30–2.90 adet, yan dal sayılarının 8.56–8.92 adet, çiçeklenme gün sürelerinin 75–79 gün, olgunlaşma gün sürelerinin 110–130 gün, bitkide bakla sayılarının 38.71–44.15 adet, bitkide bakla ağırlığının 22.13–24.88 g, dekara tane veriminin 155.40–182.60 kg da⁻¹, 100-tane ağırlığının 35.28–41.25 g, danede protein oranının %25.60–27.80 arasında değiştiği ortaya konulmuştur. Sonuç olarak; 25 Ocak tarihindeki ekim zamanının ve çalışmada kullanılan çeşitlerin, nohutun verim ve verim bileşenleri üzerine katkısının önemli olduğu, bu nedenle Adıyaman ve çevresi için bu çeşitlerin ve ekim zamanının tavsiye edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler:Nohut, *Cicer arietinum* L., Ekim Zamanı, Genotip.

Determination of Yield and Quality Characteristics of Some Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes at the Different Sowing Times under Adıyaman Ecological Conditions

Abstract

The research was carried out to determine the morphological and seed characteristics of some chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes at different sowing times on Adıyaman ecological conditions, in 2017. Diyar-95, ILC-482 cultivars and local chickpea genotype with three different sowing times (January 15th, January 25th and February 4th) were used in the study. Obtained findings illustrated that days to shoot initiation 12.66–15.00, plant height 19.90–36.10 cm, the number of main (2.30–2.90) and lateral (8.56–8.92) branches, days to flowering (75.00–79.00) and maturation (110–130), the number (38.71–44.15) and the weight (22.13–24.88 g) of pods on plant, seed yield per decare 155.40–182.60 kg da⁻¹, 100-seed weight 35.28–41.25 g, the ratio of protein in seed %25.60–27.80 were changed depending on genotypes and sowing times. As a result of the study, all genotypes used in the study and 25th of January sowing time could be advised for Adıyaman province and surrounding areas.

Keywords: Chickpea, *Cicer arietinum* L., Sowing Time, Genotype.

*Sorumlu Yazar: akumlay@hotmail.com

1. Giriş

Nohut (*Cicer arietinum* L.) binlerce yıldan bu yana tarımı yapılan ender bitkilerden biri olup, gen merkezi Güneydoğu Anadolu Bölgemiz olan en önemli kültür bitkilerimizdendir. Dünya’da 50’den fazla ülkede nohut üretimi yapılmakta olup, Türkiye yaklaşık olarak 395 bin ha alanda, 470 bin ton üretimi ile nohut yetiştirici ülkeler arasında dünyada önemli bir yer tutmaktadır (TUİK 2018). Dünyada üretimi yapılan nohut çeşitleri, tane büyüklüğüne ve şekline göre desi ve kabulü tipi nohut tipleri diye 2 gruba ayrılmışlardır. Desi tip nohutlar küçük ve koyu renkli bir şekle sahipken, Kabulü tip nohutlar büyük, pürüzsüz ve açık renklidir (Purushothaman ve ark., 2014). Dünya nohut üretiminin yaklaşık %80’i desi tip nohutlardır (Karakullukçu ve Adak, 2008). Pakistan ve Güney Asya ülkelerinde Desi tip nohut yetiştirilirken Türkiye’de ağırlıklı olarak Kabulü tip nohut yetiştirilmektedir (Aydemir ve Yemencioğlu, 2013).

Ülkemizin hemen hemen tüm bölgelerinde nohut üretimi yapılmakta, üretimde önemli olan bazı hastalıkların yazlık ekimlerde görülmemesinden dolayı, verim ve verim bileşenleri ile yüksek hasat indeksi yönünden çoğunlukla yazlık ekimlerin tercih edildiği bildirilmiştir (Anlarsal ve ark., 1999). Ancak, yazlık ekimde bitkilerin kuraklık ve sıcaklık stresine maruz kalmalarından dolayı verim kaybı yaşandığından, kışlık ekime uygun uzun boylu ve sanayi tip çeşitlerin ıslah edilmesinin önemli olduğu (Özdemir ve Engin, 1996; Sozen ve Karadavut, 2018; Korbu ve ark., 2020) vurgulanmıştır. Son zamanlarda soğuğa ve antraknoza dayanıklı, yüksek verimli ve verimde stabil olan yeni nohut çeşitlerinin ıslah edilmesiyle, kışlık ekimlerde daha yüksek verimlerin alınması mümkün hale gelmiştir (Avelar ve ark., 2018; Elis ve ark., 2020; Yücel, 2020). Ayrıca, nohutun baklagiller içerisinde ekstrem sıcaklıklara daha iyi dayandığı (Üstün ve Gülümser, 2003; Uzun ve ark., 2012), Kasım ayının son haftasında yapılan ekimden en yüksek verim alınmasına rağmen ekim zamanının Aralık ayına doğru geciktirilmesi durumunda verimin daha da artırılabilirdiği (Kabir ve ark., 2009), 1 Aralık tarihinde yapılan kışlık ekime göre, 1 Kasım’da yapılan ekimden daha yüksek verim alındığı (Ray ve ark., 2017) rapor edilmiştir.

Nohut yetiştiriciliğinde verim ve verim bileşenlerine etki eden çok sayıda çevresel ve genetik değişkenler bulunmaktadır. Agronomik uygulamalar arasında verimi etkileyen en önemli faktörün ekim zamanı olduğu, farklı ekim zamanlarında iklim faktörlerine bağlı olarak bitkilerdeki çiçeklenme, tohum bağlama ve verimin değişebildiği vurgulanmıştır (Kayan ve ark., 2014). Daha önce yapılan çalışmalarda, farklı tarihlerde ekilen nohut çeşitlerinin verim ve verim bileşenleri yönünden farklılıklar gösterdiği (Karasu ve ark., 1999; Partigöç ve ark., 2007; Ray ve ark., 2017), erken ve geç kalmış ekim tarihlerinin verim ve kaliteyi etkilediği (Ali ve ark., 2018; Varoğlu ve Abak, 2018) ortaya konulmuştur. Ayrıca, nohut bitkisinde ekimin gecikmesi ile bitki boyunun ve ilk bakla yüksekliğinin azaldığı (Akdağ, 1995; Erman ve Tüfenkçi, 2004) bitki başına bakla sayısının düştüğü (Sarı ve Adak, 1998; Özgün ve ark., 2003; Topalak ve Ceyhan, 2015), olgunlaşma süresinin kısaldığı (Özgün ve ark., 2005), dekara tane verimlerinin düştüğü (Akdağ, 1995; Üstün ve Gülümser, 2003; Erman ve Tüfenkçi, 2004), 100-tane ağırlığı ve tanedeki protein oranının değiştiği (Topalak ve Ceyhan, 2015) rapor edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, ekim zamanının bakla sayısı ve verim değerlerine önemli etkisinin olduğu (Özçelik ve ark., 2001),
e-ISSN:2148-2683

uzun yetiştirme süresinin bitki boyunu, bitkide dal ve bakla sayısını, 100-tane ağırlığını ve dolayısıyla dekara verimi artırdığı (Özdemir ve Karadavut, 2003), farklı ekim zamanlarının verim ve verim bileşenlerinde önemli varyasyonlar meydana getirdiği (Türk ve Koç, 2003), oluşan bu farklılıkların çeşitlere göre değiştiği (Rehman ve ark., 2015), genetik verim kapasitesine ulaşabilmek için agronomik uygulamaların yanı sıra, uygun çeşit seçimi ve ekim zamanının ayarlanması gerektiği (Sekhar ve ark., 2015), kuraklığa dayanımı çok yüksek olan nohutta az miktarda sulama yapılması halinde ürün veriminin artırılabilirliği (Çıtak ve Topak, 2016) kayıt altına alınmıştır.

Sikdar ve ark. (2015) en uzun bitki boyunun (40.69 cm), en fazla yan dal sayısının (24 adet), en fazla bitki başına bakla sayısının (75.63 adet), maksimum 100-tane ağırlığının (14.09 g) ve en yüksek dekara tohum veriminin (193.08 kg) 20 Kasım tarihindeki ekim tarihinden elde edildiğini rapor etmişlerdir. Buna karşın, Salih ve ark. (2018)’nin çalışmalarında en uzun bitkilerin (43.0 cm), en geniş yaprak alanının (797.83 cm²), en büyük yaprak alan indeksinin (2.66), en fazla bitkide bakla sayısının (21.60 adet) ve en fazla dekara tane veriminin (216 kg) 20 Ocak tarihinde yapılan ekimden elde edildiğini kayda geçmişlerdir. Türk ve Polat (2019), farklı ekim zamanlarında ekilen nohut bitkisinin iki yıllık ortalamasına göre; bitki başına 6.81–13.65 g verim, 16.77–28.56 adet bakla sayısı, 14.83–29.00 adet bitkide tane sayısı, 0.89–1.03 adet baklada tane sayısı, dekara 229.7–444.4 kg biyolojik verim, %47.58–49.82 hasat indeksi ve 39.08–41.78 g arasında 100-tane ağırlığı elde etmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı Adıyaman ve çevresinde yaygın olarak ekimi yapılan yerel genotip ile iki farklı kültür çeşidinin farklı kışlık ekim zamanlarında verim ve verim unsurları yönünden değerlendirmesinin yapılması ve elde edilen sonuçların yöre çiftçilerinin hizmetine sunulmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Araştırmada kullanılan yerel genotip ve çeşitlerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Yerel genotip: Tane rengi krem, tane tipi koçbaşı ve ortalama verim potansiyeli 140–180 kg da⁻¹’dır. Yazlık ekimde bitki boyu 40–70 cm, bakla sayısı 18–25 adet, çiçeklenme gün sayısı 75–90, olgunlaşma gün sayısı 120–130, baklada tane sayısı 1.6 adet, 100-tane ağırlığı 38–42 g olarak tespit edilmiştir.

Diyar-95: 1992’de Diyarbakır GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi tarafından ıslah edilmiştir. Tane rengi krem, tane tipi koçbaşı ve ortalama verim potansiyeli 150–200 kg da⁻¹’dır. Kışlık ekimde bitki boyu 50–75 cm, bakla sayısı 19–28 adet, çiçeklenme gün sayısı 145–158, olgunlaşma gün sayısı 182–204, baklada tane sayısı 1.7 adet, 100-tane ağırlığı 40–45 g olarak belirlenmiştir.

ILC-482 (Güney sarısı): 1983’te GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi tarafından ıslah edilmiştir. Tane rengi krem, tane tipi koçbaşı ve ortalama verim potansiyeli 166–200 kg da⁻¹’dır. Kışlık ekimde bitki boyu 40–45 cm, bitkide bakla sayısı 17–27 adet, çiçeklenme gün sayısı 140–156 gün, olgunlaşma gün sayısı 170–190 gün, baklada tane sayısı 1–1.5 adet, 100-tane ağırlığı 28–31 g olarak kayıtlara geçmiştir.

2.2. Araştırmanın Yapıldığı Yer ve Özellikleri

Çalışma, Adıyaman il merkezine 5 km uzaklıkta bulunan İpekli köyü arazileri içindeki, Ali Dağı'nın kuzey yamacına bakan bir çiftçi tarlasında yürütülmüştür.

2.2.1. İklim Özellikleri

Nohut bitkisinin yetişme periyodunda 1963-2019 yılları arasındaki uzun yıllar ortalamasına göre Adıyaman iline ait iklim verileri Çizelge 1'de gösterilmiştir (Anonim, 2020). Doğu Anadolu ile Akdeniz Bölgeleri arasında köprü konumunda olan

ilin iklimi, bu özelliği dolayısıyla bölgedeki diğer illerden farklıdır.

2.2.2. Toprak Özellikleri

Vejetasyon periyodu süresince, nohut bitkisine verilecek gübre miktarını belirlemek için, denemenin kurulduğu tarladan toprak örnekleri usulüne uygun olarak alınarak, Adıyaman Fırat Toprak Analiz Laboratuvarı'nda analiz edilmiştir. Deneme alanındaki toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. 1963-2019 yılları arasında Adıyaman iline ait iklim verileri (Anonim, 2021)

Aylar	Ort.Sıcaklık (°C)	Ort.Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ort.(mm)
Ocak	4.4	3.7	12.5	138.7
Şubat	5.9	4.5	11.9	102.0
Mart	9.9	5.7	12.0	90.1
Nisan	15.0	7.3	11.4	66.7
Mayıs	20.4	9.3	8.5	42.6
Haziran	26.6	11.6	2.6	8.4
Temmuz	30.9	12.1	0.6	1.7
Ağustos	30.6	11.3	0.5	1.9
Eylül	25.8	9.7	1.4	7.6
Ekim	19.1	7.1	6.4	46.2
Kasım	11.7	5.3	8.8	75.0
Aralık	6.5	3.7	11.9	138.9
Yıllık	17.2	91.3	88.8	719.8

Çizelge 2. Araştırma alanına ait toprak özellikleri

Derinlik (cm)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	pH	Tuz (%)	Kireç (%)	Organik Madde (%)
0 – 30	0.04	30.50	68.23	7.55	0.05	1.58	1.05
30 – 60	1.27	26.50	71.56	7.63	0.07	1.56	1.04
60 – 90	2.13	31.80	67.13	7.69	0.07	3.36	0.83

2.3. Metot

2.3.1. Tarla Denemesi, Alınan Gözlemler ve Değerlendirmeler

Ekim; el markörü ile açılan sıralara 30 cm sıra arası ve 5 cm sıra üzeri ekim sıklığında, her parselde 4 sıra olacak şekilde yapılmıştır. Bu şekilde 3 tekerrür 27 parselde ekim yapılmıştır. Deneme alanında yabancı ot mücadelesi el ile antraknoz hastalığı ile mücadele ise kimyasal ilaçlama ile yapılmıştır. Tarla denemesi esnasında ve hasat sonrası alınan gözlem ve değerlendirmeler: Bitki çıkış gün sayısı (adet), bitki boyu (cm), bitkide ana dal sayısı (adet), bitkide yan dal sayısı (adet), çiçeklenme gün sayısı, olgunlaşma gün sayısı, bitki başına bakla sayısı (adet), bitki başına bakla ağırlığı (g), dekara tane verimi (kg), 100 tane ağırlığı (g), protein oranı (%).

2.3.2. Verilerin Değerlendirilmesi

Denemede, biri yörede yaygın olarak ekimi yapılan yerel genotip, Diyar-95 ve ILC-482 gibi 3 farklı çeşit ve 3 farklı ekim zamanı (15.01.2017, 25.01.2017 ve 04.02.2017) ve 3 tekerrür şeklinde olmak üzere 27 parsel halinde kurulmuştur. Araştırmada elde edilen veriler varyans analizi, MSTAT-C paket programında tekrarlanan tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş, ortalamalar Duncan testine göre gruplandırılmıştır. Nohut bitkisine ait ilk çıkış görüntüsü, tam çıkış görüntüsü ve gözlem alma aşaması görüntüleri Şekil 1'de, olgunlaşmış bitkiler ve hasat edilmiş tane görüntüleri ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Nohut bitkisinin tarla aşamasındaki farklı görüntüleri A) İlk çıkış görüntüsü, B) Tam çıkış görüntüsü, C) Gözlem alma aşaması görüntüleri



Şekil 2. Olgunlaşmış bitkiler ve hasat edilmiş tane görüntüleri.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Bitki Çıkış Gün Sayısı

Ekim zamanlarının bitki çıkış gün sayısı üzerine etkisi önemli ($P < 0.05$) bulunurken, çeşitler ve ekim zamanı \times çeşit etkisi önemsiz ($P > 0.05$) olarak belirlenmiştir. En erken

çıkış 25 Ocak tarihinde görülmüş (13.55 gün), bunu 4 Şubat (13.66 gün) ve 15 Ocak (15.00 gün) tarihleri takip etmiştir (Çizelge 3).

Elde edilen sonuçlar; Çıtak ve Topak (2016)'ın (15–19.3 gün), Karakan-Kaya (2014)'nın (14.7–19.3 gün) çalışmaları ile benzerlikler, buna karşın Biçer ve Anlarsal (2004)'ün (24.50–26.83 gün) araştırmalarından farklılıklar arz etmektedir.

Çizelge 3. Ortalama çıkış gün sayısı değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	15.00	12.66	14.00	13.88	Ekim Zamanı	2	4.00*
ILC-482	15.00	14.00	14.00	14.33	Çeşitler	2	0.33
Yerel Genotip	15.00	14.00	13.00	14.00	Zaman \times Çeşit	4	0.79
Zaman Ort.	15.00b	13.55a	13.66a	14.07	** : %1 seviyesinde önemli		
					* : %5 seviyesinde önemli		

3.2. Bitki Boyu (cm)

Ekim zamanlarının ve çeşitlerin bitki boyu üzerine etkisi çok önemli ($P<0.01$), buna karşın ekim zamanı \times çeşit interaksiyonunun önemsiz ($P>0.05$) olduğu görülmüştür. Farklı ekim zamanlarında; en uzun bitkiler 15 Ocak'ta elde edilmiş (34.80 cm), bunu 25 Ocak (32.06 cm) ve 4 Şubat ekimleri (24.56 cm) takip etmiştir. Çeşitlerden en uzun bitkiler ILC-482 çeşidinden elde edilmiş (33.40 cm), bunu Diyar-95 (29.66 cm) ve yerel genotip (28.36 cm) takip etmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Bitki boyu (cm) değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	35.80	33.30	19.90	29.66b	Ekim Zamanı	2	112**
ILC-482	36.10	34.60	33.40	33.40a	Çeşitler	2	62.1**
Yerel Genotip	32.50	28.30	28.36	28.36b	Zaman \times Çeşit	4	1.35
Zaman Ort.	34.80a	32.06a	24.56b		** : %1 seviyesinde önemli		
					* : %5 seviyesinde önemli		

3.3. Bitki Başına Ana Dal Sayısı (adet/bitki)

Ekim zamanlarının bitkide ana dal sayısı üzerine etkisi çok önemli ($P<0.01$) olarak belirlenmiş, buna karşın çeşit ve ekim zamanı \times çeşit interaksiyonunun önemsiz ($P>0.05$) olduğu görülmüştür. Farklı ekim zamanlarında en fazla ana dal sayısının 25 Ocak ekiminden elde edildiği (2.76 adet), bunu 15 Ocak ekiminin takip ettiği (2.63 adet) ve 4 Şubat ekiminin en az dal sayısı verdiği (2.56 adet) görülmektedir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Bitki başına ana dal sayısı (adet) değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	2.70	2.80	2.50	2.66	Ekim Zamanı	2	13.2**
ILC-482	2.60	2.90	2.30	2.60	Çeşitler	2	3.29
Yerel Genotip	2.60	2.60	2.60	2.60	Zaman \times Çeşit	4	4.71
Zaman Ort.	2.63b	2.76a	2.56b	2.65	** : %1 seviyesinde önemli		
					* : %5 seviyesinde önemli		

3.4. Bitki Başına Yan Dal Sayısı (adet)

Nohut çeşitleri, ekim zamanları ve ekim zamanı \times çeşit interaksiyonlarının bitkide yan dal sayısı üzerine etkisi çok önemli ($P<0.01$) bulunmuştur. Farklı ekim zamanlarında en fazla yan dal sayısının 4 Şubat ekiminden (8.74 adet), çeşitlerden ise ILC-482 çeşidinden (8.82 adet) elde edildiği belirlenmiştir.

Çizelge 6. Bitki başına yan dal sayısı (adet) ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	8.72d	8.63g	8.70e	8.68b	Ekim Zamanı	2	148**
ILC-482	8.81b	8.74c	8.92a	8.82a	Çeşitler	2	561**
Yerel Genotip	8.68f	8.56i	8.60h	8.61b	Zaman \times Çeşit	4	42.3**
Zaman Ort.	8.73a	8.64b	8.74a	8.70	** : %1 seviyesinde önemli		
					* : %5 seviyesinde önemli		

Sonuçlar; Bakoğlu ve Ayçiçek (2005)'in (32.8 cm), Düzdemir ve ark. (2007)'nin (28.1–48.4 cm) ve Uzun ve ark. (2012)'nin (34.2–40.2 cm) çalışmalarıyla benzerlikler göstermekte, buna karşın Babagil (2011)'in (42.6–49.7 cm), Karakan Kaya (2014)'nin (41.2–56.9 cm), Bayrak ve ark. (2015)'nin (43.2 cm), Yalçın ve ark. (2018)'nin (38.2–41.9 cm), Ercan ve ark. (2019)'nin (30.5–47.4 cm)'nin, Demirci ve Bildirici (2020)'nin (39–48 cm) ve Uçar ve ark. (2020)'nin (51.0–57.5 cm) sonuçlarıyla farklılıklar arz etmektedir.

Nohut bitkisinde ekim zamanının ana dal sayısını etkilediği (Üstün ve Gülümser, 2003; Yiğitoğlu ve Anlarsal, 2012), elde edilen sonuçların Ercan ve ark. (2019)'nin (1.71–2.73) belirlediği ana dal sayılarıyla benzerlikler gösterdiği, buna karşın (Doğan (2014)'nin (3.1–4.1 adet), Karakan Kaya (2014)'nin (3.0–4.4 adet), Rezaei (2012)'nin (3.00–3.90 adet) verilerinden farklılıklar gösterdiği görülmektedir.

İnteraksiyonlarda; en fazla yan dal sayısı 4 Şubat'ta ekilen ILC-482 çeşidinden elde edilmiş (8.92 adet), bunu 15 Ocak'ta ekilen ILC-482 çeşidi (8.81 adet) ve 25 Ocak'ta ekilen yerel genotipten (8.56 adet) elde edildiği ortaya konulmuştur (Çizelge 6). Sonuçlar; Topalak ve Ceyhan (2015)'in (7.45–7.96 adet) sonuçlarıyla benzerlikler, buna karşın Rezaei (2012)'nin çalışmasından (5.12–6.25 adet) farklılıklar arz etmektedir.

3.5.Çiçeklenme Gün Sayısı

Ekim zamanlarının çiçeklenme gün sayısına etkisi çok önemli ($P<0.01$), çeşit ve ekim zamanı \times çeşit interaksyonunun önemsiz ($P>0.05$) olduğu tespit edilmiştir. Ekim zamanları arasında çiçeklenme gün sayılarının 75–79 gün arasında değiştiği, en erken çiçeklenme gün sayısının, 15 Ocak ekiminden, elde edildiği (75 gün), bunu 25 Ocak ekiminin takip ettiği (77 gün) ve 4 Şubat ekiminde en geç çiçeklenmenin görüldüğü (79 gün) ortaya çıkmıştır (Çizelge 7).

Çizelge 7. Çiçeklenme gün sayısı değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	75	77	79	77	Ekim Zamanı	2	13.8**
ILC-482	75	77	79	77	Çeşitler	2	1.00
Yerel Genotip	75	77	79	77	Zaman \times Çeşit	4	1.00
Zaman Ort.	75a	77b	79c	77	** : %1 seviyesinde önemli		
					* : %5 seviyesinde önemli		

3.6. Olgunlaşma Gün Sayısı

Çeşitlerin ve ekim zamanlarının olgunlaşma gün sayısına etkisi çok önemli ($P<0.01$) olarak belirlenmiştir. En erken olgunlaşma 15 Ocak ekiminde görülmüş (118 gün), bunu 25 Ocak (121.33 gün) ve 4 Şubat (124 gün) ekim zamanları takip etmiştir. Çeşitler arasında, en erken olgunlaşma ILC-482 çeşidinde görülmüş (113.33 gün), bunu yerel genotip (123 gün) ve Diyar-95 çeşidi (127 gün) takip etmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Olgunlaşma gün sayısı değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	123	128	130	127.00c	Ekim Zamanı	2	59.8**
ILC-482	110	113	117	113.33a	Çeşitler	2	326**
Yerel Genotip	121	123	125	123.00b	Zaman \times Çeşit	4	2.45
Zaman Ort.	118.00a	121.33b	124.00c	121.11	** : %1 seviyesinde önemli		
					* : %5 seviyesinde önemli		

3.7.Bitkide Bakla Sayısı (adet)

Çeşitler ve ekim zamanı \times çeşit interaksyonu önemli bulunmuş ($P<0.05$), buna karşın ekim zamanının etkisinin önemsiz olduğu ($P>0.05$) görülmüştür. Çeşitlerden; en yüksek bakla sayısı ILC-482 çeşidinden elde edilmiş (43.78 adet), bunu yerel genotip (43.63 adet) ve Diyar-95 çeşidi (41.93 adet) takip etmiştir (Çizelge 9).

Çizelge 9. Bitkide bakla sayısı (adet) değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	38.71b	44.15a	42.93ab	41.91b	Ekim Zamanı	2	2.71
ILC-482	44.03a	43.78a	43.53a	43.78a	Çeşitler	2	3.98*
Yerel Genotip	43.78a	43.56a	43.56a	43.63a	Zaman \times Çeşit	4	3.79*
Zaman Ort.	42.17	43.83	43.34	43.11	** : %1 seviyesinde önemli		
					* : %5 seviyesinde önemli		

3.8.Bitkide Bakla Ağırlığı (g)

Nohut çeşitlerinin, ekim zamanının ve ekim zamanı×çeşit interaksiyonunun önemsiz olduğu ($P>0.05$) görülmüştür. Bütün

uygulamalar ve interaksiyon önemsiz olarak belirlendiğinden ve bitki başına bakla ağırlığı ile ilgili karşılaştırmalı literatür bulunmadığından değerlendirme yapılamamıştır (Çizelge 10).

Çizelge 10. Bakla ağırlığı (g) değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	23.51	24.88	23.87	24.08	Ekim Zamanı	2	1.05
ILC-482	22.92	23.52	24.63	23.69	Çeşitler	2	2.02
Yerel Genotip	22.13	23.24	22.52	22.63	Zaman × Çeşit	4	0.41
Zaman Ort.	22.85	23.88	23.67	23.46	** : %1 seviyesinde önemli * : %5 seviyesinde önemli		

3.9.Dekara Tane Verimi (kg)

Nohut çeşitleri ile ekim zamanı × çeşit interaksiyonunun tane verimi üzerine etkisinin önemli olduğu ($P<0.01$), buna karşın ekim zamanlarının önemsiz ($P>0.05$) bulunduğu görülmektedir. Dekara en yüksek verim yerel genotipten elde edilmiş (180.64 kg), bunu ILC-482 (173.03 kg) ve Diyar-95 (162.40 kg) çeşitleri takip etmiştir. İnteraksiyonlar incelendiğinde; en yüksek verim yerel genotipten 25 Ocak'taki ekimden alınmış, (182.60 kg), bunu aynı çeşidin 4 Şubat (180.8 kg) ve 15 Ocak (178.5 kg) tarihlerinin takip ettiği, en düşük verimin ise 25 Ocakta ekimi yapılan Diyar-95 çeşidinden (155.40 kg) elde edildiği ortaya konulmuştur (Çizelge 11).

Elde edilen sonuçlar, Kaya ve ark. (2008)'nin (89.1–175.6 kg da⁻¹), Yolcu (2008)'nin (127.51–192.02 kg da⁻¹), Karakan-Kaya (2014)'nin (123.1–214.9 kg da⁻¹), Topalak ve Ceyhan (2015)'in (110.7–217.1 kg da⁻¹) ve Uçar ve ark. (2020)'nin (169.7–208.2 kg da⁻¹) bulguları ile benzerlik göstermektedir. Buna karşın, Düzdemir ve ark. (2007)'nin (94.90–153.1 kg da⁻¹) ve Rezaei (2012)'nin (91.40–164.60 kg da⁻¹) değerlerinden daha yüksek, 141.7–277.4 kg da⁻¹ Doğan (2014)'in (141.7–277.4 kg da⁻¹), Ercan ve ark. (2019)'nin (168.5–302.2 kg da⁻¹) ve Demirci ve Bildirici (2020)'nin (140.6–398.7 kg da⁻¹) bulgularından ise daha düşük değerler elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 11. Dekara tane verimi (kg) değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	164.70e	155.40f	167.10e	162.40c	Ekim Zamanı	2	3.25
ILC-482	169.20de	175.6bc	174.3cd	173.03b	Çeşitler	2	85.3**
Yerel Genotip	178.5abc	182.60a	180.8ab	180.64a	Zaman × Çeşit	4	7.5**
Zaman Ort.	170.80b	171.20ab	174.07a	172.02	** : %1 seviyesinde önemli * : %5 seviyesinde önemli		

3.10. 100-tane Ağırlığı (g)

Çeşitlerin 100 tane ağırlığı üzerine etkisi çok önemli ($P<0,01$) bulunmuş, buna karşın ekim zamanlarının ve ekim zamanı × çeşit interaksiyonunun 100 tane ağırlığı üzerine etkisinin önemsiz ($P>0.05$) olduğu görülmektedir. Çeşitler değerlendirildiğinde; en fazla 100-tane ağırlığı Diyar-95'ten elde edilmiş (39.74 g), bunu ILC-482 (37.70 g) ve yerel (36.37 g) genotiplerinin takip ettiği görülmektedir (Çizelge 12).

Elde edilen sonuçlar; Doğan (2014)'nin (31.3–43.6 g), Karakan-Kaya (2014)'nin (25.6–38.5 g), Yolcu (2008)'nin (34,2–36,4 g), Ercan ve ark. (2019)'nin (29.74–38.72 g), Demirci ve Bildirici (2020)'nin (29.5–39.8 g) ve Uçar ve ark. (2020)'nin (31.2–35.4 g) elde ettikleri bulgular ile benzerlikler göstermektedir.

Çizelge 12. Yüz tane ağırlığı (g) değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	39.55	38.42	41.25	39.74a	Ekim Zamanı	2	2.23
ILC-482	37.15	38.68	37.27	37.70b	Çeşitler	2	14.4**
Yerel Genotip	36.25	35.28	37.58	36.37b	Zaman × Çeşit	4	2.29
Zaman Ort.	37.65	37.46	38.70	37.93	** : %1 seviyesinde önemli * : %5 seviyesinde önemli		

3.11. Protein Oranı (%)

İncelenen bütün karakterlerin ve interaksyonun nohut tanesindeki protein oranı üzerine etkisinin önemsiz ($P>0.05$) bulunduğu görülmektedir (Çizelge 13).

Çizelge 13. Protein oranı (%) değerleri ve varyans analiz tablosu

Çeşitler	Ekim Zamanları			Çeşit Ort.	Varyasyon Kaynakları	S.D	F
	15 Ocak	25 Ocak	4 Şubat				
Diyar-95	26.50	27.80	26.70	27.00	Ekim Zamanı	2	0.84
ILC-482	27.20	27.80	26.40	27.13	Çeşitler	2	2.8
Yerel Genotip	25.60	25.70	25.60	25.63	Zaman × Çeşit	4	0.25
Zaman Ort.	26.43	27.10	26.23	26.58	** : %1 seviyesinde önemli * : %5 seviyesinde önemli		

4. Sonuç ve Öneriler

Çeşitler incelendiğinde; ILC-482 çeşidinin, bitki boyu, yan dal sayısı, olgunlaşma gün sayısı bitkide bakla sayısı ve protein oranı yönünden ön planda olduğu, Diyar-95 çeşidinin çıkış gün sayısı ana dal sayısı, bitkide bakla ağırlığı ve 100-tane ağırlığı bakımından dikkat çektiği, yerel genotipin ise incelenen diğer parametreler yönünden avantajlı durumda olduğu belirlenmiştir.

Ekim zamanlarına bakıldığında; 25 Ocak tarihinin çıkış gün sayısı, ana dal sayısı, bitkide bakla sayısı, bitkide bakla ağırlığı ve protein oranı yönünden ön planda olduğu, 4 Şubat ekiminin yan dal sayısı, 100-tane ağırlığı ve dekara tane verimi yönünden dikkat çektiği, 15 Ocak tarihinin ise diğer bazı karakterler yönünden olumlu özellikler gösterdiği görülmektedir.

Çeşitler × ekim zamanları interaksyonları incelendiğinde; çıkış sürelerinin 12.66–15.00 gün, bitki boylarının 19.90–36.10 cm, ana dal sayılarının 2.30–2.90 adet, yan dal sayılarının 8.56–8.92 adet, çiçeklenme gün sürelerinin 75–79 gün, olgunlaşma gün sürelerinin 110–130 gün, bitkide bakla sayılarının 38.71–44.15 adet, bitkide bakla ağırlığının 22.13–24.88 g, dekara tane veriminin 155.40–182.60 kg da⁻¹, 100-tane ağırlığının 35.28–41.25 g, danede protein oranının %25.60–27.80 arasında değiştiği ortaya konulmuştur. Sonuç olarak; 25 Ocak tarihindeki ekim zamanının ve çalışmada kullanılan çeşitlerin, nohutun verim ve verim bileşenleri üzerine katkısının önemli olduğu, bu nedenle Adıyaman ve çevresi için bu çeşitlerin ve ekim zamanının tavsiye edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bütün bu değerlendirmelere bakıldığında yerel genotipten elde edilen verim ve verim bileşenlerinin, ıslah edilmiş diğer ticari çeşitlerden istatistiki anlamda çok önemli farklılıklar göstermediği ve bu nedenle Adıyaman ve çevresi için yerel genotipin de diğer kültür çeşitleri ile birlikte tavsiye edilebileceği, yerel genotipin bazı özelliklerini geliştirmek için ıslah programlarına alınmasının ve çiftçilerin hizmetine sunulmasının doğru olacağı sonucuna varılmıştır. Ekim zamanlarından 25 Ocak ve sonraki tarihlerde yapılan ekimlerin tane verimi değerleri yönünden daha üstün özellikler göstermesinden dolayı, ekstrem iklim verileri de dikkate alınmak suretiyle, Adıyaman ve çevresi çiftçileri için 25 Ocaktan başlayarak Şubat ayının ilk haftasına kadar nohut ekimlerinin yapılabilirliği tavsiye edilmiştir.

Elde edilen bulgular Yalçın ve ark. (2018)'nin (%21.66–24.91) çalışmasıyla benzerlik, Ercan ve ark. (2019)'nin (22.80) araştırmasıyla ise farklılık göstermektedir.

5. Teşekkür

Bu makale İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans Öğrencisi Veli Sönmez tarafından tamamlanan “Adıyaman Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı yüksek lisans tezinden uyarlanarak hazırlanmıştır.

6. Araştırmacıların Makaleye Katkı Oranı ve Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını ve makalelerinde sonuçları veya yorumları etkileyebilecek herhangi bir maddi veya diğer çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynakça

- Akdağ, C., Ütebay, H., Düzdemir, O. (1995). Ekim Zamanı, Azot ve Fosfor Dozlarının Nohutta Verim ve Diğer Bazı Özelliklere Etkileri Üzerine Bir Araştırma. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12, 110–121.
- Ali, Y., Biswas, P. K., Shahriar, S. A., Nasif, S. O., Raihan, R. R. (2018). Yield and Quality Response of Chickpea at Different Sowing Dates. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 1 (4), 1–8.
- Anlarsal, A., Yücel, C., Özveren, D. (1999). Çukurova Koşullarında Bazı Nohut (*Cice rarietinum*L.) Hatlarının Verim ve Verimle İlgili Özelliklerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. *Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi*. Cilt III, Adana, p: 342–347.
- Anonim. (2021). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Adıyaman İklim Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ADIYAMAN>
- Avelar, R. I. S., da Costa, C. A., da Silva Brandão Júnior, D., Paraíso, H. A., Nascimento, W. M., (2018). Production and Quality of Chickpea Seeds in Different Sowing and Harvest Periods. *Journal of Seed Science*, 40 (2), 146–155.
- Aydemir, L. Y. ve Yemenicioğlu, A. (2013). Potential of Turkish Kabuli type chickpea and green and red lentil cultivars as source of soy and animal origin functional protein alternatives. *LWT – Food Science and Technology*, 50 (2), 686–694.

- Babagil, G.E. (2011). Erzurum Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Özelliklerinin İncelenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26 (2), 122–127.
- Bakoğlu, A., Ayçiçek, M. (2005). Bingöl Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Ögeleri Üzerine Bir Araştırma. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (1), 107–113.
- Bayrak, H., Keleş, R., İmriz, G. (2015). İleri Kademe Nohut Hatlarının ve Çeşitlerin Konya Ekolojisindeki Bazı Verim Karakterlerinin Belirlenmesi. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 4 (2), 32–37.
- Biçer, B. T., Anlarsal A. E. (2004). Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Köy Çeşitlerinde Bitkisel ve Tarımsal Özelliklerin Belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 10 (4), 389–396.
- Çıtak, G., Topak, R. (2016). Farklı Sulama Programları Uygulamasının Nohutta Verim ve Kaliteye Etkisi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 3 (6), 45–56.
- Demirci, Ö. & Bildirici, N. (2020). Şanlıurfa Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 656–662.
- Doğan, Y. (2014). Mardin Kızıltepe Ekolojik Koşullarında Kışlık Olarak Yetiştirilebilecek Nohut Çeşitlerinin Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31 (1), 37–46.
- Düzdemir, O., Akdağ, C., Yanar, Y. (2007). Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Farklı İklim Koşullarında Antraknoz Dayanımları ve Tane Verimleri Üzerine Araştırma. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 87–97.
- Elis, S., Ipekesen, S., Basdemir, F., Tunc, M., Bicer, B.T. (2020). Effect of Different Fertilizer Forms on Yield and Yield Components of Chickpea Varieties. *International Journal of Agriculture, Environment, Food Science*, 4 (2), 209–215.
- Ercan, M. Y. İ., Uzun, S., Özaktan, H. (2019). Kayseri Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarının Nohut (*Cicer arietinum* L.) Bitkisinde Verim, Verim Unsurları ve Kalite Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 434–440.
- Erman, M., Tüfenkçi, Ş. (2004). Farklı Ekim Zamanlarının Nohutta (*Cicer arietinum* L.) Verim ve Verimle İlgili Karakterlere Etkisi. *Ankara Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 10 (3), 342–345.
- Güngör, H., Dumlupınar, Z. (2018). Bazı Nohut Çeşit ve Hatlarının Verim ve Verim Unsurları Bakımından Değerlendirilmesi, *Derim* 35 (2), 194–200.
- Kabir, F.A.H.M., Bari, M.N., Karim, M.A., Khaliq, Q.A., Ahmed, J.U. (2009). Effect of Sowing Time and Cultivars on the Growth and Yield of Chickpea Under Rainfed Condition. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34 (2), 335–42.
- Karakan Kaya, F. (2014). Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Elazığ Koşullarındaki Verim ve Adaptasyon Yeteneklerinin Belirlenmesi. *Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Bingöl.
- Karakullukçu, E., Adak, M.S. (2008). Bazı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinin tuza toleranslarının belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 14 (4), 313–319.
- Karasu, A., Karadoğan, K. (1999). Isparta Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Hat ve Çeşitlerinin Adaptasyonu Üzerinde Bir Araştırma. *Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi*, Adana, 3, 336–341.
- Kaya, M., Şanlı, A., Küçükyumuk, Z., Kara, B., Erdal, İ. (2008). Organik Gübre Olarak Kullanılan Şlempenin Nohut (*Cicer arietinum* L.)’ta Verim ve Bazı Verim Ögeleri Üzerine Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (3), 212–218.
- Kayan, N., Olgun, M., Kutlu, İ., Ayter, N., Gülmezoğlu, N. (2014). Sulanan ve Sulanmayan Koşullarda Yetiştirilen Nohut (*Cicer arietinum* L.)’un Gelişme Seyrinin Belirlenmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 14 (4), 31–73.
- Korbu, L., Tafes, B., Kassa, G., Mola, T., Fikre, A. (2020). Unlocking the Genetic Potential of Chickpea through Improved Crop Management Practices in Ethiopia: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40 (13), 1–20.
- Özçelik, H., Bozoğlu, H., Pekşen, E., Mut, Z. (2001). Farklı Ekim Zamanı ve Sıklığında Yetiştirilen Bazı Nohut Çeşitlerinin Tane Verimi ve Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi*, Tekirdağ, 333–338.
- Özdemir, S., Engin, M. (1996). İri Taneli Bazı Nohut Çeşitlerinin Çukurova Bölgesinde Stabilitate Analizleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 20 (2), 157–161.
- Özdemir, S., Karadavut, U. (2003). Comparison of the Performance of Autumn and Spring Sowing of Chickpeas in a Temperate Region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27 (6), 345–352.
- Özgün, Ö. S., Biçer, B. T., Şakar, D. (2003). Diyarbakır-Bismil Ekolojik Koşullarında Nohutta Farklı Ekim Zamanlarının Verim ve Verim Unsurlarına Etkilerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi*, Diyarbakır, 13-17 Ekim 2003, 2, 428–431.
- Özgün, Ö. S., Biçer, B. T., Şakar, D. (2005). Gökçe Nohut Çeşidinde Farklı Ekim Zamanlarının Bitkisel ve Tarımsal Özelliklere Etkisi. *Türkiye 6. Tarla Bitkileri Kongresi*, Antalya, p: 279–284.
- Partigöç, F., Olgun, M., Yıldırım, T., Kumlay, A. M. (2007). Muş’ta optimum verimi sağlamak amacıyla en uygun münavebe sisteminin ve ekim yönteminin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 16 (1–2), 11–20.
- Purushothaman, R., Upadhyaya, H. D., Gaur, P. M., Gowda, C. L.L., Krishnamurthy, L. (2014). Kabuli and desi chickpeas differ in their requirement for reproductive duration. *Field Crops Research*, 163, 24–31.
- Ray, K., Singh, D., Laljat, B. (2017). Effect of Sowing Time and Seed Rate On Growth and Yield of Chickpea Cultivars. *Advance Research Journal of Crop Improvement*, 8 (1), 1–16.
- Rehman, H., Qamar, R., Rehman, A., Ahmad, F., Qamar, J., Sagiqib, M., Nawaz, S. (2015). Effect of Different Sowing Dates on Growth and Grain Yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars Under Agro-Environment of Taluka Dokri Sindh, Pakistan. *American Journal of Experimental Agriculture*, 8 (1), 46–53.
- Rezaei, F. (2012). Nohut (*Cicer arietinum* L.)’ta Tohum Ön Uygulamanın İlk Gelisme, Nodülasyon ve Tane Verimi Üzerine Etkileri. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Basılmamış Doktora Tezi*, Ankara.

- Salih, R.H., Abdullah, S.A., Mohammed, B.I. (2018). Effect of Sowing Dates and Two Chickpea Cultivars on Some Growth Parameters and Yield. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, 30 (4), 49–57.
- Sarı, M., Adak, M. S. (1998). Nohut (*Cicer arietinum* L.)'ta Farklı Ekim Zamanlarının Bazı Bitki Özellikleri ve Verime Etkileri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 7 (2), 57–64.
- Sekhar, R., Kumar, P.B.P., Rao, K.T. (2015). Performance of Chickpea Varieties Under Different Dates of Sowing in High Altitude Zone of Andhra Pradesh, India. *International Journal Current Microbiology and Applied Science*, 4 (8), 329–332.
- Sikdar, S., Abuyusuf, M., Ahmed, S., Tazmin, M. F. (2015). Variety and Sowing Time on the Growth and yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Southern Region of Bangladesh. *International Journal of Research in Agricultural Sciences*, 3 (6), 6920–6945.
- Sozen, O., Karadavut, O. (2018). Correlation and Path Analysis for Yield Performance and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes Cultivated in Central Anatolia. *Pakistan Journal of Botany*, 50 (2), 625–633.
- Topalak, C., Ceyhan, E. (2015). Nohutta Farklı Ekim Zamanlarının Tane Verimi ve Bazı Tarımsal Özellikler Üzerine Etkileri. *Selçuk Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 2 (2), 128–135.
- TUİK. 2018. Tarım İstatistikleri, Ankara.
- Türk, Z., Koç, M. (2003). Diyarbakır Ekolojik Koşullarına Uygun Yüksek Verimli, Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşit/Hatlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi*, 13-17 Ekim 2003, Diyarbakır, s: 382–386.
- Türk, Z., Polat, T. (2019). Diyarbakır Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanı ve Ekim Sıklığının Nohut (*Cicer arietinum* L.)'un Bazı Tarımsal Özelliklerine Etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6 (1), 20–31.
- Uçar, Ö., Soysal, S., Erman, M. (2020). Farklı Leonardit Dozlarının Nohut (*Cicer arietinum* L.)'un Verim ve Bazı Verim Özelliklerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 917–921.
- Uzun, A., Özçelik, H., Yılmaz, S. (2012). Seçilmiş Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Hatlarının Agronomik ve Kalite Özellikleri Bakımından Değerlendirilmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 1 (1), 29–36.
- Üstün, A., Gülümser, A. (2003). Karadeniz Bölgesinde Nohuta Uygun Ekim Zamanının Belirlenmesi Çalışmaları. *Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi*, Diyarbakır, s: 110–120.
- Varoğlu, H., Abak, K. (2019). Effect of Sowing Dates on Yield and Quality Characteristics of Chickpea Varieties under Mediterranean Climate Conditions. *Legume Research*, 42 (3), 360–364.
- Yalçın, F., Mut, Z., Erbas Kose, O. D. (2018). Afyonkarahisar ve Yozgat Koşullarında Yüksek Verim Sağlayacak Uygun Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35 (1), 46–59.
- Yığıtoğlu, D., Anlarsal, A. E. (2012). Kahramanmaraş Koşullarında Farklı Bitki Sıklıklarının Kışlık ve Yazlık Ekilen Bazı Nohut Çeşitlerinde (*Cicer arietinum* L.) Verim ve Verim ile İlgili Özelliklere Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27 (2), 11–20.
- Yolcu, R. (2008). Diyarbakır Ekolojik Koşullarında Farklı Gelişme Dönemlerinde Sulanan Nohudun (*Cicer arietinum* L.) Sulama Suyu Gereksinimi ve Su Tüketimi Üzerine Bir Araştırma. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı.
- Yücel, D. (2020). Genotypic and Phenotypic Variability for Yield and its Components in Normal and Late Sown Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Legume Research*, 43, 18–24.



Endüstri Kenti Karabük'ün Modern Mahallesi Yenişehir'de Konut Tipolojileri

Beyza Onur^{1*}

^{1*} Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8246-9571), beyzaonur@karabuk.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 4 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 8 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.821267)

ATIF/REFERENCE: Onur, B. (2021). Endüstri Kenti Karabük'ün Modern Mahallesi Yenişehir'de Konut Tipolojileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 666-677.

Öz

Türkiye'de Cumhuriyet sonrası modernleşme deneyimi, yeni bir yapılanmanın ötesinde toplumsal ve mekânsal kimliği değiştiren bir karakterle karşımıza çıkar. Bu deneyim süreci özellikle sanayileşmenin temellerinin atıldığı kentler için önemlidir. Cumhuriyet'in ilk yıllarında fabrika alanlarının kurulmasıyla yalnızca üretim alanında bir ihtiyaca cevap verilmemiş; modernleşme hareketleri gündelik yaşam pratiklerine yansıtılarak önemli bir adım atılmıştır. Bir başka deyişle, Türkiye'de Erken Cumhuriyet dönemi ekonomik-toplumsal yapıyı ve mimarlık ortamını yeniden şekillendirmiş ve sanayi kentlerinin modern bir kimlik kazanma sürecini başlatmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'nin sanayileşme ve modernleşme sürecinde bir endüstri kenti haline gelen Karabük'ün Yenişehir mahallesinde işçi, memur ve mühendisler için üretilen modern konut tipolojilerini belgelemek amaçlanmıştır. Yenişehir mahallesindeki konutların tipolojilerini ortaya çıkarmada yöntem olarak konutların plan şemaları ve cephe karakterleri incelenmiştir. Konutların yerleşkedeki konumları, plan şemaları ve cephelerinin incelenmesi sonucunda bu konutların temelde pratik olarak barınma sorununu çözmek için üretilen modern prototipler olduğu belirlenmiştir. Sosyal konut anlayışıyla tasarlanan bu konutlar, her ne kadar modern mimarlığın genel kabulleri çerçevesinde üretilmiş tip projeler olsa da kent kimliğinin dönüşümüne yön vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mimarlık, Tasarım, Modern Mimarlık, Konut, Tipoloji, Karabük

Dwelling Typologies in Yenişehir, the Modern Neighborhood of Industrial City, Karabük

Abstract

The post-republican modernization experience of Turkey appears with a character that changes social and spatial identity beyond a new structure. This process of experience is especially important for the cities where the first industrialization activities took place. The establishment of factory sites in the early republican period not only met the need in the production field but also became an important step by reflecting the modernization movements into the daily life practices. In other words, the early republican period in Turkey reshaped the economic-social structure and architectural environment, initiating the process for the industrial cities to gain a modern identity. In this study, it was aimed to document the typologies of modern dwellings produced for workers, civil servants and engineers in the Yenişehir neighborhood of Karabük, which became an industrial city during the industrialization and modernization process of Turkey. As the method in determining the typologies of the dwellings in Yenişehir neighborhood, plan schemes and façade characters were examined. As a result of the examination of the residential locations, plan schemes and facades, it was determined that these dwellings were basically modern prototypes that were practically produced to solve the housing problem. Although these projects, which were designed with the social housing concept, were produced according to the generally accepted rules of modern architecture, they led to the transformation of the urban identity through their formal and fictional differences.

Keywords: Architecture, Design, Modern Architecture, Dwelling, Typology, Karabük

* Sorumlu Yazar: beyzaonur@karabuk.edu.tr

1. Giriş

Mimarlığın, yerin yapısını değiştirebilen bir işlevi vardır. Bu işleviyle mimarlık, yapılı çevre üretme pratiklerini ve toplumsal ilişkileri yeniden düzenleyen bir karakter gösterir. Küresel ölçekte özellikle modern mimarlık hareketlerinin böyle bir dönüşüme neden olduğu bilinmektedir (Kaya, 2011). Modernleşme sürecinin etkilerine bağlı olarak mekânın üretimi, endüstrileşmenin hızından etkilenmiştir. Giddens'a (1998) göre modernlik, "iletişimi kontrol etmek, kapitalizm, küresel rekabet ve endüstrileşme" olarak dört ana hedefle ilgilidir. Modernleşme sürecinde endüstrileşme ile birlikte kentler, sağlıklı ve özgür bireylerin yaşadığı yerler haline gelmiştir. Bu nedenle insani ölçek önemlidir. Bu yeni planlama anlayışında, bölgeleme kararlarıyla işlevler ayrılmıştır ve konut alanları en çok önem verilen alanlardan biri olmuştur. Konutlar, kentin fiziki koşulları bakımından uygun bölgelerinde, komşuluk birimleri halinde tasarlanmıştır. Kent içinde işyerleri, kent morfolojisine uygun olarak, iş ve konut arasındaki uzaklıkları kısaltacak biçimde yerleştirilmiştir. Kent içinde yaya sirkülasyonu olabildiğince araç trafiğinden ayrılmıştır (Tekeli, 2001: 18-19). Asiliskender'e göre de (2008: 37-47), modernleşme sürecini hızlandıran bir etken olarak sanayileşme, toplumsal yapıyı ve mekânı dönüştürmüştür. Endüstrileşme ile üretim mekânları belli noktalarda toplanmaya başlamıştır. Fabrikalar, kentlerde yeni mekân ihtiyaçlarını ortaya çıkarmış, barınma ve ulaşım sorunlarını gündeme getirmiştir. Fabrikaların iş gücü ihtiyacına bağlı olarak kentlere gerçekleşen göçler ile artan nüfus ve buna bağlı sağlıklı yaşama olanakları temel tartışma konuları olmuştur. Ayrıca, fabrikaların ham madde ihtiyaçlarına, pazar bağlantılarına ve kent merkezleri ile olan ilişkilerine bağlı olarak, ulaşım sorunu da ortaya çıkmıştır. Sanayileşmenin, kentleşme süreci ve konut üretimi başta olmak üzere mekânın üretim biçimlerini etkilediği görülmüştür. Endüstrileşme sürecinin, mekânsal ve toplumsal yapıyı, temel olarak iki biçimde etkilediği söylenebilir: ilk olarak, iş gücü ihtiyacına bağlı olarak yaşanan göç, kent merkezlerinde nüfus yoğunluğunun artmasına ve sosyal olarak kozmopolit bir ortamın ortaya çıkmasına sebep olmuştur. İkinci temel değişim, uzmanlaşmış üretim biçimlerinin ortaya çıkması ve toprak ilişkilerine bağlı kırsal yaşamın kurumsallaşarak kentsel ortamın yaratılmasıdır. Kısacası, modernleşme ve endüstrileşme sürecinde kentlerde yeni yerleşim merkezleri ortaya çıkmıştır. Sanayi tesislerinin kurulması ile kırdan merkezlere göç eden nüfusa yeni yerleşimler önerilmiştir. Böylece kent merkezlerinde yoğunluk da azaltılmıştır. Bu yerleşimlerin oluşumunda ulaşım ağları başta olmak üzere, alt-yapı hizmetleri ile konutların ve sosyal donatıların yerleşiminde planlı bir süreç izlenmiştir. Bunlarla birlikte konutun mekânsal kurgusu, konumu ve konfor şartları gündeme gelmiştir. Çalışma ve barınma ortamı arasındaki yakın ilişkiye bağlı yaşanan tartışmalara ve gelişmelere bağlı olarak farklı konut modelleri gelişmiştir.

Türkiye'de de sanayi yapıları ve yerleşimleri, kuruldukları yerleri, modernizmin ve cumhuriyetin idealleri doğrultusunda, modern bireylerin modern mekânlarda yaşayabileceği düşüncesiyle etkilemiştir. Benzer bir görüşle Bozdoğan (2002), modern mimarlık ve şehircilik uygulamalarının içerdiği tanım gereği, "yeni" ve bütünüyle "Batılı" bir millet yaratmaya yönelik isteğin en güçlü görsel simgeleri" olarak görüldüğünü ifade eder. Özellikle 1930'lu yıllarda sayıca artış gösteren fabrikalar, toplumsal dönüşümün ve kalkınmanın en belirgin göstergeleri olmuştur. Erken Cumhuriyet Döneminin en önemli yapı türlerinden biri olan fabrika yerleşimleri, aynı zamanda yeni

Türkiye rejiminin modernleşme hedefinin bir yansıması olarak değerlendirilmelidir. Sanayi yerleşimleri, kuruldukları kentlerdeki sosyal ve kültürel yaşamı etkileyerek kentsel gelişime yön vermişlerdir. Kurulan her fabrikayla birlikte Anadolu kalkınarak toplumsal açıdan yeniden inşa edilmiştir (Kaya, 2011). Sanayi yerleşimleri yalnızca yeri değiştirip biçimlendirmekle kalmamış; işçi konutları da işgücünü ve işçileri yere bağımlı kılarak üretimde sürekliliği ve modern toplumun oluşmasını sağlamışlardır. Şengül'e göre (2001), yeni kurulan devlet fabrikalarının yer seçimindeki ölçütler, aynı zamanda ulus devlet oluşumunun mekânsal stratejisinin bir parçası olarak incelenebilirler. O dönemde yapılan fabrikaların kuruldukları yerlerde; demiryolu güzergâhına yakınlık, maden kaynaklarına yakınlık, jeolojik açıdan ve güvenlik açısından uygunluk gibi özellikler aranmıştır. Devletçilik anlayışının bir ürünü olan sanayileşme ve sanayi yatırımlarının ulaşım, endüstri, maden vb. alanları için Etibank ve Sümerbank gibi kuruluşlar oluşturulmuştur. Bu kurumlardan Sümerbank, devletin sanayileşmesine yardımcı olmak amacıyla kurulmuş bir kurumdur. Sümerbank, devlet işletmeciliğine olumlu katkılarda bulunmuş bir kurum olması yönüyle de önemlidir. Sümerbank ve Etibank gibi kurumların desteği ve teşvikiyle Anadolu'da sanayileşme faaliyetleri hız kazanmıştır. Bozdoğan'a göre (2001), Sümerbank ve Etibank gibi kurumların, Anadolu'da inşa ettiği fabrikalar ve fabrika yerleşimlerinin modern kimliğin tanımlanmasında etkin bir rol oynadığından söz edilebilir.

Sanayi tesislerinin Anadolu kentlerinde kurulmasıyla birlikte, işçilerin barınma sorunu da gündeme gelmiştir. Bu sorun, 1930'lu yıllarda işçi konutlarının fabrika yerleşimlerinin yakınına yapılmasını sağlamıştır. Devlet tarafından kurulan işçi mahallelerindeki işçi konutlarının birincil amacı konut ihtiyacını karşılamaktan öte; toplumsal bir model oluşturma çabasıdır. İşçi konutları düşüncesinin alt yapısını oluşturan ortama bakıldığında iki özellik ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi; işçinin sağlığını koruyarak işçinin geleceğini ve verimliliğini arttırmak olarak özetlenebilir. Bu açıdan bakıldığında ise; işletmenin rantabilitesi de artacağından işçi konutları sorunu her dönemde çözülmeye çalışılan bir sorun olarak görülmüştür. İkinci özellik ise; endüstrileşmenin her döneminde, farklı yaşam tarzı kökenli, sınıf katman ifadeyi ve statüye dayalı konut tiplerinin tasarımıda yer almasıdır. Kent konutları, kır konutları gibi coğrafya ve yere bağımlı ayrımlara dayanan konut tiplerinin yanı sıra, memur evi, işçi evi, yönetici evi, yoksul evi gibi ayrımlarla da konut tipleri ortaya çıkmıştır (Cengizkan, 2004).

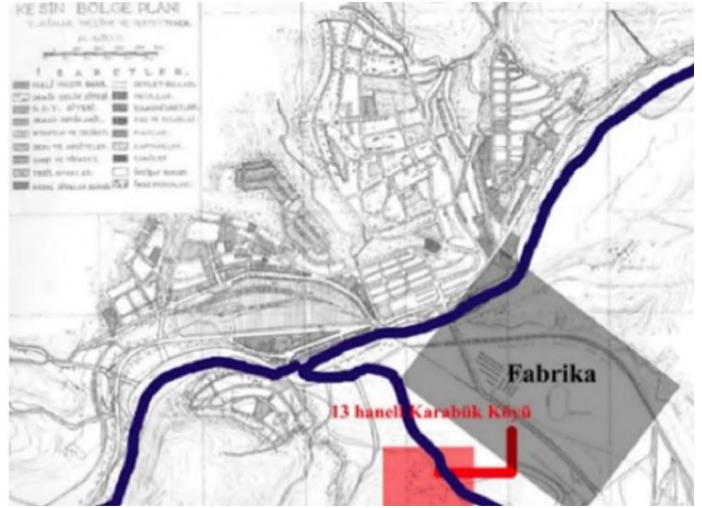
Devletin o dönemdeki ideolojisini ve modernleşme hedefini yansıtan bu konutlarda modern bir yaşam biçiminin gerektirdikleri Ebenezer Howard'ın bahçe-kent fikriyle de benzer nitelikler taşıyarak sağlanmaya çalışılmıştır. Sağlıklı ve modern çevrelerde yaşam süren işçilerin fabrikaya aidiyeti artırılmış ve üretimde süreklilik sağlanmaya çalışılmıştır. İşçi konutlarının statüye bağlı olarak farklılaştığı yerleşimlerde, ideal yaşam bahçeli konutlarda, sosyal ve kültürel tesislerle gündelik yaşam pratiklerine de yansıtılarak sunulmuştur. Bu yerleşimlerde konutların yanı sıra, hastaneden, eğitime, eğitimden spora, spordan sosyo-kültürel faaliyetlerin gerçekleştirildiği sosyal kulüplere kadar pek çok olanak sağlanmıştır. Fabrikalar ve fabrika yerleşimleri tüm bu açılardan düşünüldüğünde sahip oldukları misyon ve Cumhuriyet dönemi ideolojisini yansıtmaktaki başarıları nedeniyle bir dönemi aydınlatan mekânsal oluşumlardır ve gerek bölgesel gerekse kentsel farklı ölçeklerde değişimlere yol açmışlardır (Kaya, 2011).

Bu bağlamda, coğrafi konumu nedeniyle Karabük kenti de bir sanayi alanı olarak seçilmiş ve modernite projesinin bir gereği olarak modern yapılı çevre üretim tutumu kent için etkili olmaya başlamıştır. Bir Cumhuriyet kenti olarak Karabük, Erken Cumhuriyet Dönemindeki devletçilik anlayışının ve dönemin ideolojisinin etkisiyle dönüştürerek günümüzdeki modern kent kimliğine erişmiştir. Bu yeni kimliğe erişme sürecinde özellikle Yenişehir Mahallesi fabrika alanına yakınlığı nedeniyle modernleşme hareketlerinin izlerinin net olarak okunabildiği bir karaktere sahip olmuştur. İşçiler, müdürler, memurlar ve aileleri için oluşturulan bu özel alanda modern mimarlık üretimi bilinçli olarak tercih edilmiş ve modern insanın modern mekânda yaşaması gerektiği fikri pekiştirilmiştir. Bu noktadan hareketle çalışma, Yenişehir mahallesinin modernleşme serüveninde ortaya çıkan modern mimarlık ürünlerini konutlar özelinde tipolojik olarak incelemeyi hedeflemiştir. Bu amaçla, farklı sosyal statülerdeki çalışanlar için üretilen konutların tipolojilerinin irdelenmesi için konutların plan şemaları ve cephe çizimleri ortaya çıkarılmıştır. Böylece, bir dönemin mimarlık ortamını ve mimari mirasını belgelemenin yanı sıra, modern mimarlığın evrensel niteliği hakkında tartışmak da mümkün olacaktır.

2. Karabük'te Modern Mimarlık Geleneğinin Oluşumu ve Kentin Mekansal Dönüşümü

Karabük kentinin modernleşme süreci sanayileşme faaliyetleri ile birlikte başlamıştır. Kent, erken Cumhuriyet dönemi mimarlığını temsil eden endüstri kentlerindedir ve Türkiye'nin endüstrileşme tarihinin başlangıcını oluşturması açısından da önemlidir. Karabük'ün modern bir kent olarak gelişmesi, aynı zamanda yeni Cumhuriyet rejimi anlayışının kalkınma idealizmini yansıtmaktadır (Kalyoncu, 2007; Kaya, 2011). Karabük'ün bir endüstri kenti olma sürecinin başlangıcı 1930'lu yıllara uzanmaktadır. 1933 yılında Birinci Sanayi Planı kapsamında Türkiye'de yeri belli olmasa da Demir Çelik sanayisinin kurulmasına karar verilmiş, 1934 yılında da bu yerin Karabük olması kararına varılmıştır. 1937 yılında yapımına başlanan Demir Çelik Fabrikası kentin modern bir karakter edinebilmesinde en etkili faktör olmuştur. Karabük Demir Çelik Fabrikası'nda ilk olarak 6 Haziran 1939 tarihinde kuvvet santrali faaliyete geçmiştir (Ayten vd., 2010). Karabük'ün mekânsal gelişimini etkileyen bir diğer faktör, fabrikanın kurulmasıyla birlikte kente göç eden işçilerdir. Karabük'e ilk gelen işçiler, 1930'lu yılların başında demiryolu inşaatında çalışmak için 1930'lu yılların başında demiryolu inşaatında çalışmak için gelmiştir. 1937 yılında fabrika inşaatının başlamasıyla birlikte ikinci işçi grubu kente yerleşmiştir (Özkan, 2010). Cengizkan'a göre, erken Cumhuriyet Döneminde devletçilik anlayışının da etkisiyle, sanayileşmeye önem verilen yıllarda işçilerin barınma sorunu ortaya çıkmıştır.

Bu dönemde yapılan işçi yerleşimi, kenti modern bir yere dönüştürmekte önemli rol oynamıştır. Fabrika yerleşimleri kapalı, yalıtılmış ve bütünsel tasarımlar sunmuştur (Cengizkan, 2009). Fabrikalarla birlikte işçilerin barınma sorununa çözüm getiren işçi konutları yapılmış, bu konutlarda modern bir çevre olarak gelişmiştir. Buldukları kentin imarına yön veren fabrika yerleşimleri, Karabük'te de aynı şekilde gelişmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Karabük ve Demir Çelik fabrika alanı (Kaya, 2011).

Karabük Demir-Çelik Fabrikası, fabrika yerleşiminin mekânsal özellikleri diğer Sümerbank mahallelerinin mekânsal özellikleriyle benzer nitelikler taşımaktadır. Yerleşimdeki konutların planlanmasında yerin fiziksel özelliklerine ve çalışanlar arasındaki kıdem farklarına dikkat edilmiştir ve fabrika çalışanlarının mekânsal ve sosyo-kültürel tüm ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, tüm ihtiyaçlara yönelik mimari bir program geliştirilmiştir.

Yerleşimin çalışanların kıdem farklarına göre gelişen planlama anlayışında, mahallenin en iyi kısmına daha üst konumdakiler yerleştirilmişlerdir. Yerleşimde alt yapı olanakları da sağlanmıştır. Kanalizasyon, temiz su donatılarının yanında, mahallenin büyük bir kısmı için 1950'li yıllarda inşa edilmiş merkezi ısıtma sistemi bulunmaktadır. İngiliz ve Hollanda bahçe kentlerine benzer nitelikte tasarlanan işçi konutlarının bulunduğu yerleşimde, yaya yolları ve kaldırımlar geniş bir biçimde tasarlanmıştır. Fabrika yerleşiminde barınma ve sosyal ihtiyaçların karşılanması yanında ulaşım olanakları da düşünülmüştür. Yenişehir'le kasabalar ve fabrikalar arasındaki ulaşım, demir-çelik kurumunun otobüsleriyle sağlanmaya çalışılmıştır.

Demir çelik fabrikalarının kurulmasıyla kent, dönemin modernleşme çabalarının bir ürünü haline gelerek, aynı zamanda yerin ideolojik ve sosyo-kültürel açıdan önemini ortaya koyan bir örnek olmuştur. Mimarlık ve yer arasındaki karşılıklı ilişki Karabük örneğinde ideoloji ve modernizm kavramları bağlamında kendisini göstermektedir. Endüstrileşme ve modernleşme çabaları bağlamında, işçilerin modern bir yaşam tarzı sürmeleri idealiyle işçi konutları tasarlanmıştır. Devlet eliyle işçi konutlarının yapılması, cumhuriyetin ideolojisine uygun planlı bir girişimdir (Kaya, 2011).

Süreç içerisinde Karabük'teki kentleşme, kentin 'Modern Karabük' ve 'Öteki Karabük' biçiminde adlandırılarak değerlendirilmesine yol açmıştır. Modern Karabük, Erken Cumhuriyet Dönemindeki çağdaş ve modern toplumu yaratmaktaki bilinçli ve planlı imar uygulamalarını konu almıştır. Modern Karabük, 1938- 1960 yılları arasındaki süreci temsil etmektedir (Kalyoncu, 2007).

Başlangıçta 13 haneli bir köy olan Karabük, demir çelik endüstrisinin kurulmasıyla hızla kentleşerek, günümüzde orta ölçekli bir kent halini almıştır. Sanayileşmeyle birlikte gündeme gelen barınma sorununa, bu dönemin devletçilik anlayışıyla çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Fabrikaya yakınlığından dolayı yerleşim yeri olarak Yenişehir mahallesinde işçiler için modern yaşamın gerektirdiği tüm sosyal ve kültürel mekânlar işçi konutlarıyla birlikte inşa edilmiştir (Kaya, 2011).

Yenişehir yerleşiminin planını hazırlayan Fransız mimar ve şehir plancı Henri Prost'tur. Yenişehir'de Almanların Siedlung ve Fransızların Cite-Jarden adını verdikleri Bahçe-şehir modeline uygun bir planlama anlayışı görülmektedir (Ayten vd. 2010). Almanya'da modern siedlung fikri, konut sıkıntısına ve sanayi işçilerinin büyük şehirlerde kiralık barakalardaki kötü yaşam koşullarına karşı bir tepki olarak gelişmiştir (Akcan, 2005).

Kendine özgü bir model olan bu mahallelerde (siedlunglarda) konutun yanısıra sayısız sosyal ve kültürel hizmetlerin de verildiği binalar bulunmaktadır. Bu yerleşim alanlarında eğitimden sağlığa; sağlıktan sosyo-kültürel faaliyetlere kadar birçok ihtiyacı karşılayacak mekânlar düşünülmüştür. Parklar, yeşil alanlar, okullar, çamaşırhaneler, yemekhaneler, sosyal merkezler, alışveriş merkezleri, hastaneler v.b. pek çok mimari program bu yerleşimlerde yer almaktadır. Bu yerleşimler modern mimarlığın konut tipolojisinin gelişmesi için de önemli merkezler olmuştur. Yerleşimlerdeki konut tipolojileri birbiriyle benzer özellikler göstermiştir. Bu yerleşimlerde hedeflenen yalnızca konut problemini çözmek değil; ideal konut çevresini, sosyal ve kültürel etkinliklerle birlikte inşa etmektir. Almanya ve Türkiye'de uygulanan bu modern mahallelerin tasarım ilkeleri ve mekânsal özellikleri dâhil olmak üzere pek çok özelliği birbirine benzemektedir. Tasarım ilkeleri açısından ortak noktalar taşıyan bu birimlerdeki konutlar, genelde birbirini tekrarlayan bir düzen ve biçimde bulunmaktadır. Konutların yapılarında "ekonomiklik", "işlevsellik", "verimlilik" gibi ilkeler göz önünde bulundurulmuştur (Kaya, 2011).

Yenişehir'de parselasyona gidilmemiş, ada bazında tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Böylece, konutlar için geniş bahçe düzenekleri oluşturulabilmiştir ve konutlar tekil yapılanmanın ötesine geçerek bütüncül bir estetiğe sahip olmuşlardır. "Siedlung" veya cite-jarden konseptine göre tasarlanmış olan Yenişehir mahallesinde, "ekonomiklik", "işlevsellik" ve "verimlilik ilkelerine göre tasarlanmış olan konutların yanı sıra; park, bahçe, spor alanları, kültürel donatılara yer verilmiştir ve özellikle konut birimleri belirli bir düzen ve biçim dâhilinde inşa edilmiştir (Şekil 2).

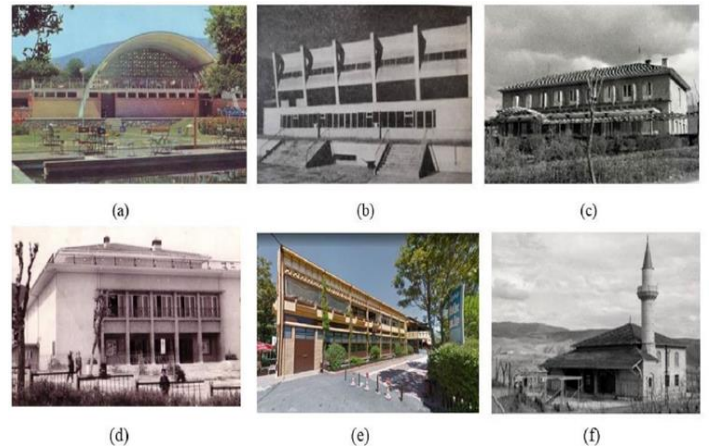
Henri Prost'un planı bir mevzi plan olmakla birlikte, yeni bir sanayi kentinin çekirdeğini oluşturma işlevi görmüştür. Tanımlanan işçi mahallesine Yenişehir adının verilmesi, yeni şehirler inşa etmeyi arzu eden ama bunu gerçekleştirecek imkânı bulunmayan bir ülkenin endüstriyel bir kent çekirdeği oluşturmakla yetinmek zorunda kalması ve gelecekle ilgili dileklerini canlı tutma çabası olarak okunabilir. 1948 yılına gelindiğinde ise, Nezihe ve Pertev Taner tarafından 50 yıllık bir gelişmeyi ön gören yeni bir Karabük kent planı hazırlanmıştır ve bu planda Prost'un "bahçeşehir" konseptini sürdürmüşlerdir (Çabuk, vd., 2016: 9).



Şekil 2. Karabük-Yenişehir planlaması (Bükülmez, 1996).

1938-1839 yıllarında hazırlanan plan, aşama aşama hayata geçirilmiştir (Çabuk ve Özkan Altınöz, 2012). Tasarımında ve konumlandırılmasında sosyal statü farklılıklarının etkili olduğu bu konutlar (Özkan, 2010), geniş bahçeler içinde birbirinden farklı tiplerde üretilmişlerdir. Evlerin kirası ucuz olduğu gibi elektrik, su ve yakacak ihtiyaçları da ücretsiz olarak karşılanmıştır. Böylece Karabük'ün gelişimine model olabilecek modern ve kalıcı bir işçi yerleşkesi meydana getirilmiştir (Çabuk ve Özkan Altınöz, 2012).

Yenişehir mahallesinde konut alanlarının dışında modern bir yerleşimde olması gereken pek çok sosyal hizmet tesisi (hastane, kreş, ilkököl, ortaokul, halkevi, sinema, kulüpler, misafirhane, otel, cami, spor alanı, parklar ve havuzlu bahçe) daha ilk yıllarda inşa edilmiştir (Öktem, 2004) (Şekil 3).

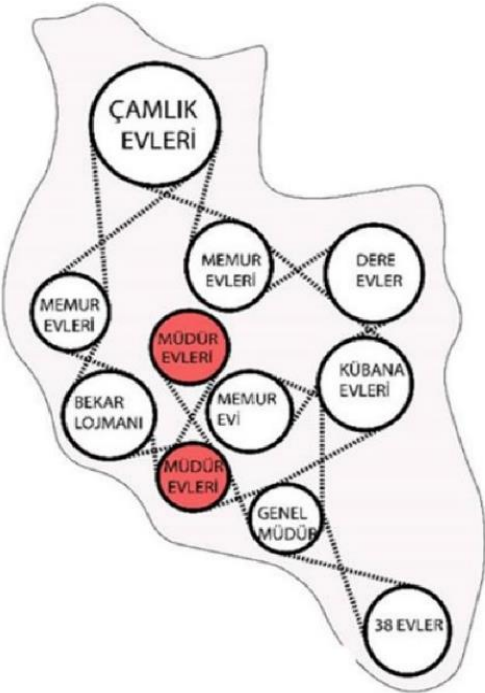


Şekil 3. (a) Havuzlu bahçe, (b) Kapalı spor salonu, (c) Sosyal bina, (d) Sinema (e) İşçi lokali, (f) Cami (KDÇF arşivi).

2.1. Modern Mahalle Yenişehir'de Modern Konutların Yerleşimi

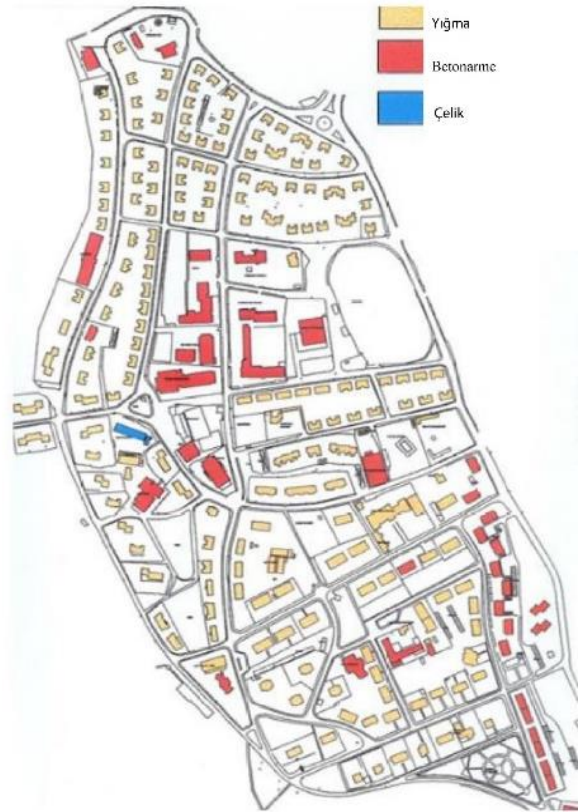
Karabük Demir-Çelik Fabrikası yerleşiminin mekânsal özellikleri diğer Sümerbank mahallelerinin mekânsal özellikleriyle benzer özellikler taşımaktadır. Bu yerleşimdeki konutların planlanmasında yerin fiziksel özelliklerine ve çalışanlar arasındaki sosyal statü farklarına dikkat edilmiştir. Fabrika çalışanlarının mekânsal ve sosyo-kültürel tüm ihtiyaçları göz önünde bulundurularak bir mimari program oluşturulmuştur (Kaya, 2011). 1950 -1960 arasında daha çok mühendis ve yöneticilerin ihtiyacı olan konutlar (Kübanalar, Beyaz Evler, Otuz sekiz evler) yapılmıştır (Özkan, 2010).

Diğer taraftan fabrika mülkiyetindeki konutların yaklaşık yarısı alt ve orta kıdemli işçiler için asgari ihtiyaçları karşılayacak şekilde basit ve küçük, blok düzende ya da bahçeli tek katlı olarak (Yüz Evler, Dere Evler, Çamlık Evleri) inşa edilmiştir. Ancak bunlar üst kıdemdeki memurların, mühendislerin ve yöneticilerin barınma alanlarından ayrı yerlerde konumlandırılmışlardır. Genel fabrika yerleşimindeki temel planlama anlayışına benzer olarak; genel müdür ve misafir evleri mahallenin girişinde manzaraya hâkim bir noktada yer almışlardır. Bu evlerin yakınında müdür evleri bulunmaktadır. Daha sonra sırasıyla mühendisler, ustabaşılar ve işçiler için evler konumlanmıştır. Yerleşimde, bekârlar için planlanan bekâr lojmanları, sosyal tesisin hemen yanında yer almışlardır (Şekil 4).



Şekil 4. Yenişehir'de konutların yerleşimi

Şekil 5'te görüldüğü gibi Yenişehir alanında, konut dokusu ağırlıklı olarak yığma sistemde inşa edilmiştir. Bu durum; yapım sisteminin uygulandığı tarihsel dönem, ekonomik koşullar ve konutların kim için üretildiği ile yakından ilişkilidir. Özellikle işçi ve memur kesimi için tasarlanan konutlar yığma ve tek katlı olarak üretilirken, müdür, genel müdür evleri, memur evleri, misafirhane ve bekâr lojmanları iki katlı olarak inşa edilmiştir.



Şekil 5. Yenişehir'de konutların yapım sistemleri ve kat yükseklikleri (Öktem, 2004).

2.2. Yenişehir’de Konut Tipolojileri

Birçok alanda kullanılan tipoloji kavramı, sınıflandırma ve karakter kavramlarını içermektedir. Tipoloji, belirli bir alanda, tipolojik çalışmanın amacı doğrultusunda, belirlenen bir dizi ölçüte göre, varlıkların özel tiplerden oluşan kapsamlı diziler halinde bölümlere ayrılması olarak tanımlanabilir (Adams, 1991: 91). Genellikle tipoloji kavramının içerdiği başlıca iki eylem, “bireyselleştirme” ve “sınıflandırma” olarak kaynaklarda belirtilmektedir (Altaş, 1997; Bingöl, 2007). Bireyselleştirme, tipe özgü niteliklerin aranmasıdır. Sınıflandırma ise ortak nitelikler çevresinde gruplama girişimidir. Moles (1993), bu girişimi şu şekilde tanımlamaktadır:

- Öğelerin toplanması,
- Toplanan öğelerin çözümlenmesi,
- Tip ve kategoriler yaratılması,
- Tasnif edilemeyenlerin bulunması,
- Sınıfların uygunluğunun doğrulanması.

Mimarlık alanında tipoloji; tipleri sınıflandırabilmek için, mimari öğelerin birleşme olanaklarının araştırılması veya mimari biçimlere ilişkin belirli tiplerin arşivinin oluşturulması olarak tanımlanmaktadır (Altaş, 1997). Mimarlık alanında yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, tipolojik yaklaşımlara yönelik en kapsamlı sınıflandırma, Waisman’ın önerisidir. Waisman’a göre (1976) tipolojiler taşıdıkları ortak niteliklere göre beş grupta sınıflandırılabilir:

- Biçimsel Tipolojiler: Mimarlığın, tarihsel gelişimi içinde bir görsel sanat olayı ve bir estetik olgu olarak yorumlanması sonucu oluşan tipoloji.
- Strüktürel Tipolojiler: Biçimsel tipolojilerin de gereklerine bağlı olarak, yapım malzeme ve tekniklerinin yarattığı tipoloji.
- İşlevsel Tipolojiler: Mimari ürünün toplumsal gereksinimlerin karşılanmasına olan katkısı sonucu oluşan tipoloji.
- Yapıt/Çevre Tipolojileri: Mimari ürünün çevresiyle kurduğu gerek fiziksel, gerekse kültürel ilişkiler sonucu oluşan tipoloji.

Mimarlık alanında tip ve tipoloji konusunu gündeme getiren Aldo Rossi (1966), tipolojiyi kenti anlamada önemli bir araç olarak önermektedir. Rossi’ye göre (1966), *“Tipoloji, -şehirde olduğu gibi yapılar da- daha fazla indirgenemeyecek olan elemanlar tiplerin öğretisidir(...). Bütün mimari biçimler tipe geri götürülebilirler de, tip biçimle özdeş değildir. Bu geri götürme gerekli bir mantıki operasyondur. O olmadan biçimden konuşmak mümkün değildir”*.

Tipoloji, Rossi için “mimarlığın analitik anıdır” (Vidler, 1977; İnce Güney, 2007). Aldo Rossi (2006), tipin yalnızca tarihsel değil analitik, mantıksal, bilimsel, hatta deneysel olduğunu savunmuştur. Bu nedenle tip ve tipoloji, tarihsel açıdan indirgeyici ve biçimsel açıdan mimari tasarımlar yapmayı gerektirmemektedir. Peter Eisenman’a göre (2006: 172), tip ve tipolojinin bu yenilikçi potansiyelini ilk kez Rossi ortaya koymuştur. Çünkü Rossi, tipin taklit ve kopya ile bağdaşmadığına inanır; tip, belirli biçimsel kurallar dizisi sunmasına rağmen işlevin olduğu kadar bireysel üslubun etkisiyle de değişime uğrayabilmektedir (Güleç, 2013). Tipoloji, kullanıldığı her alanda araştırmacının ele aldığı olgunun anlaşılır kılınması ve tanımlanabilmesi amacıyla soyutlama, indirgeme ve şemalaştırma gibi eylemleri içeren sistematik bir çalışmadır (Bingöl, 2007).


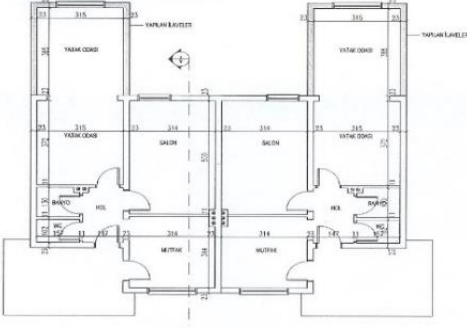
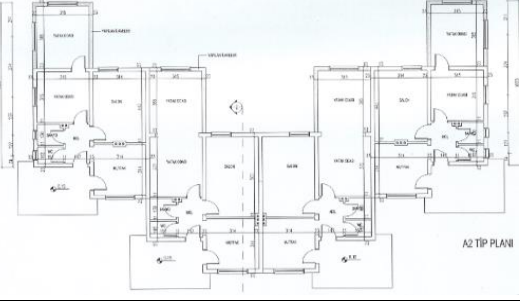

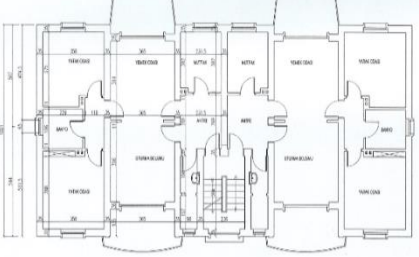

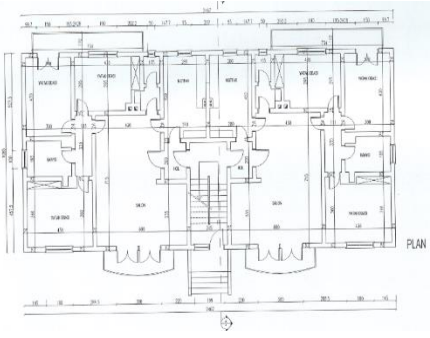

Mimarlık ortamında özellikle konut üretimindeki seri üretim süreci ve sistemi, konutların farklı tipolojilerde gelişmesinin yolunu açmıştır. Konut tasarımında belirleyici faktörlerden olan kullanıcı unsuru da konut tipolojilerini ortaya çıkaran, değiştiren ve kimliklendiren temel etkenlerden biri olarak karşımıza çıkar. Kullanıcının değişken karakteri, içerisinde yaşamının büyük bir bölümünü geçirdiği ve temel gereksinimlerini karşıladığı konut mekânlarına yönelik çözümlenmeleri yeniden sorgulamamızı gündeme getirmektedir. Bu sorgulamanın sadece fiziksel olarak değil; sosyal, kültürel, vb. birçok yönden yapılması gerekmektedir. Günümüzde mekân üretimine dair en temel sorgulamanın tip üzerinden yapılabilmesi mümkündür (Altaş ve Özsoy, 1998; Hasgül ve Özsoy, 2016). Bingöl de (2007), mimarlıkta tip kavramının binaların işlevsel, biçimsel ve strüktürel özelliklerine göre sınıflandırılması ve incelenmesiyle sınırlı olandan daha derin bir niteliğe sahip olduğunu ifade eder. Hasgül ve Özsoy’a göre (2016), tipoloji kavramında; ortak özellikleri ortaya çıkarma, karşılaştırma, genelleme ve sınıflandırma durumu vardır. Tip ve tipin çeşitlenerek farklı tipolojiler oluşturmasını ele almak, özel bir yapıyı çevre yaratma anlayışını da getirmektedir. Klişeye karşı bir tavır olan mekânı özgürleştirme olgusunu ifade edebilmek için konut mekânında modern’in etkisi de incelenmelidir. Modern tasarımların temel düşüncesinin, mekânı esnek bırakmak olduğu ve esnek plan anlayışı ile kullanıcıya farklı mekân kullanım seçenekleri bıraktığı görülmektedir. Modern mimarlığın özgür ve alternatif mekân üretme çabaları aslında, tip ve kullanım niteliği arasında bir bağ kurmaya çalışmaktadır.

Bununla birlikte, konut mekânı üretimindeki standartlaşma durumunun endüstrileşme ile ilişkili olduğu da ifade edilmelidir. 19. yüzyılın ilk yarısından itibaren hızlı nüfus artışı ve endüstrileşme süreci ile, üretilen konutların farklı bir yaklaşımla ele alınmaya başlandığı görülmektedir. Üstün (2000), bu dönemdeki uygulamaları işçiler için yapılan konutlar ve diğer blok tipi konutlar üzere iki bölümde incelemektedir. Riley (1999), diğer mimari oluşumlara göre oransal olarak daha küçük bir içeriğe sahip olmasına rağmen, konutun büyük bir kültürel imgeleme sahip olduğunu belirtmektedir (Hasgül ve Özsoy, 2016).

Türkiye’de 20. yüzyıl başlarında sanayileşmenin önemli etkilerinin görüldüğü ve küçük ölçekli bir yerleşimden endüstri kentine dönüşen Karabük kenti ve kentin modern yerleşkesi Yenişehir’de başlatılan planlama çalışmalarına bakıldığında ve konut tipolojileri plan-cephe bağlamında incelendiğinde, yirmi ayrı plan tipolojisi ortaya çıkmaktadır. Bu konutların mimari projeleri ağırlıklı olarak, Sümerbank Karabük Demir Çelik Fabrikaları bünyesinde istihdam edilen mimar ve mühendisler tarafından oluşturulmuştur (Kaya, 2011). Arşivlerde belirli bir mimar ismine rastlanmamıştır. Yalnızca Kübana evleri ve bekâr lojmanları, dönemin mimarlarından Münci Tangör tarafından tasarlanmıştır. Konutlar ağırlıklı olarak fabrikanın kuruluşunun hemen sonrasında 1940’lı yıllarda üretilmiştir.

Tüm bu değerlendirmeler bağlamında, Yenişehir mahallesinde genel konut dokusunu tanıtmak, modern yaşam pratikleri ve modern mimarlık ilişkisini okuyabilme konusunda yöntem oluşturmak için aşağıdaki tabloda, konutların bilgileri, plan tipolojileri ve cephe çizimlerine yer verilmiştir. Bu tür bir irdelemeyle, modern bir yerleşim alanının modernleşme sürecini destekleyen az çoktur ilkesinden yola çıkan modern mimarlık dilinin egemen olduğu dönemin sosyal konut anlayışının mekânsal yansımalarının ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla oluşturulan çizelgedeki konut plan ve cephe çizimleri Tablo 1’deki gibidir.


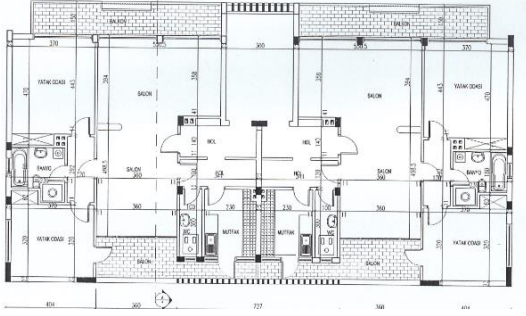
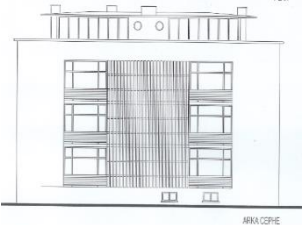

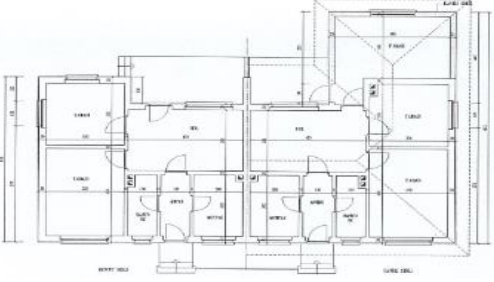

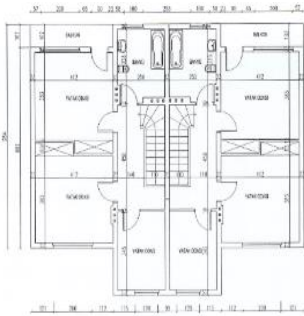
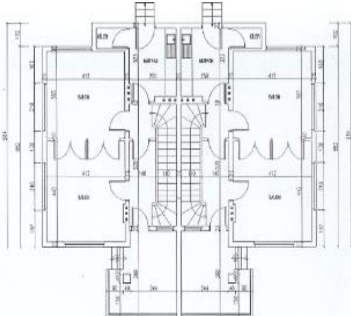

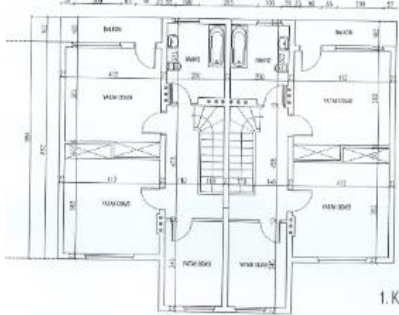
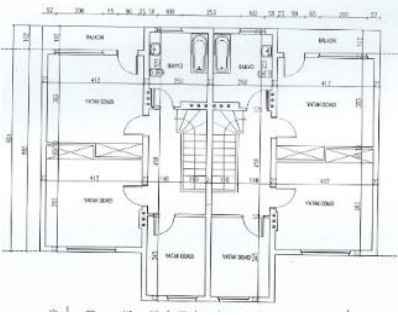

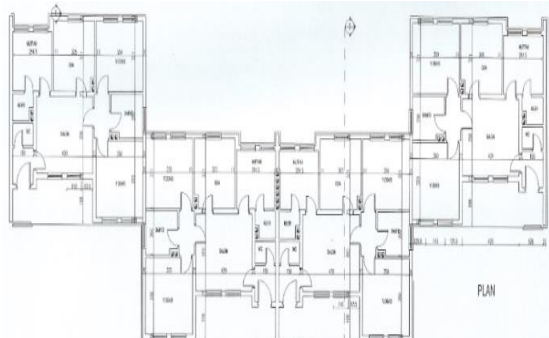

Tablo 1. Yenişehir'de Konutların Plan-Görünüş Çizimleri
(Yenişehir Koruma Amaçlı İmar Planı Analitik Etütleri, Karabük Belediyesi, 2020)

Proje Tipi	Plan	Cephe
TİP A1 		 ÖN GÖRÜNÜŞ
TİP A2 	 A2 TİP PLANI	 ÖN GÖRÜNÜŞ
TİP B 		 ÖN CEPHE
TİP C 	 PLAN	 ÖN CEPHE
TİP D 		 ÖN CEPHE


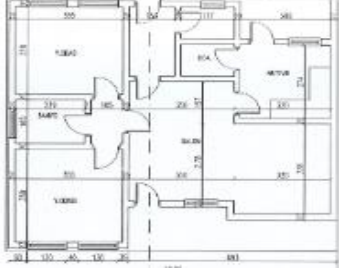


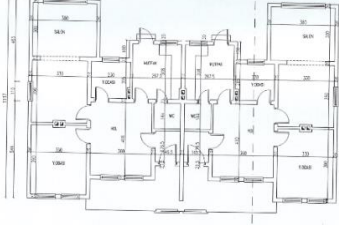


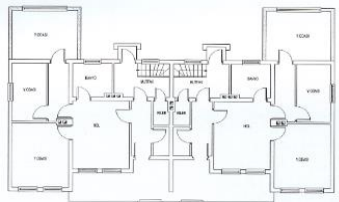


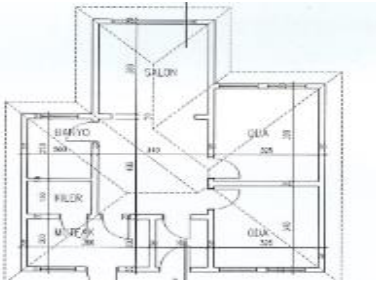

Tablo 1. Yenişehir'de Konutların Plan-Görünüş Çizimleri (Devam)

Proje Tipi	Plan	Cephe
TİP E 		 ÖN CEPHE
TİP F 		 ÖN CEPHE
TİP H1 		 H1 ÖN CEPHE
TİP H2 		 H2 MODUL ÖN CEPHE
TİP J 		 ÖN CEPHE

Tablo 1. Yenişehir'de Konutların Plan-Görünüş Çizimleri (Devam)

Proje Tipi	Plan	Cephe
TİP K 		 ARKA CEPHE
TİP L 		
TİP M1 		
TİP M2-M3 		 1. KAT PLANI
TİP N1 	 PLAN	 ÖN CEPHE

Tablo 1. Yenişehir'de Konutların Plan-Görünüş Çizimleri (Devam)

Proje Tipi	Plan	Cephe
TİP N2 		 <p>ÖN CEPHE</p>
TİP N3 		 <p>ÖN CEPHE</p>
TİP P1 		 <p>PI ÖN CEPHE</p>
TİP P2 		 <p>ÖN CEPHE</p>

3. Bulgular

Karabük-Yenişehir'de, çekirdek aileler ve bekar çalışanlar için tasarlanmış konutlar, kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilmişlerdir. Tümü bahçeli düzende yer alan konutların, doğu-batı doğrultusunda yerleştirilmesiyle, sabah ve akşam güneşinden maksimum derecede yararlanmaları amaçlanmıştır. Tablo 1'de sunulan plan ve cephe çizimleri ışığında Yenişehir Mahallesi 3. Derece doğal sit ve kentsel sit alanında, konutlar üzerinde yapılan tipoloji gözlemleri ve çalışmaları sonucunda 19 farklı plan tipi tespit edilmiştir. Bu planlar da, kendi içinde sahip oldukları farklı modüllere göre alt kategorilere ayrılmaktadır ve 23 farklı konut tipolojisi oluşturmaktadır. Buna göre, Yenişehir yerleşkesinde, yaklaşık 500 konut olduğunu söylemek mümkündür. Bu tipler her ne kadar birbirinden farklı olsalar da, özellikle bir katlı konutlarda genellikle aynı tip planlara hacim eklenmesi konusunda farklılık göstermektedir (Tablo2).

Tip F, Tip H ve Tip J konutları bahçeli düzende tek katlı olup, yine ana giriş mutfak ve salon mekânlarına bağlanırken, yatak

Müdür evleri ve genel müdür evleri iki katlı olarak kullanılmıştır. Bir katlı binaların toplam m²leri 56 -96 m² olarak değişirken, fabrika yöneticileri ve mühendisler için tasarlanan konutlar minimum 70 m² ve maksimum 160 m² olarak planlanmıştır.

Yenişehir'de, A tiplerini oluşturan işçi konutları tek katlı ve toplam 64 konuttan oluşmaktadır. A1 konutları tek bloktan oluşurken, Tip A2 konutları dört blokun yan yana getirilmesiyle oluşturulmuştur. A tiplerinde girişe doğrudan bağlanmış mutfak, salon, yatak odası ve ıslak mekânlar bulunmaktadır. Genel müdür evleri olan Tip B konutları bahçeli düzende müstakil iki katlıdır. B tipi konutlarında olduğu gibi C ve D tipi konutlarda da ana giriş holüne bağlı mutfak ve salon birimleri yer alırken, yatak odaları için gece holü oluşturulmuştur. Tümü iki katlı olan bu tiplerin cephe düzeni içerisinde, modüler pencere açıklıkları ve simetrik bir kurgu dikkat çekmektedir.

odalarını ayırıcı nitelikte ayrı bir hol ile mahremiyet sağlanması amaçlanmıştır. Yerleşkede gerek plan çözümü gerekse cephe

karakteriyle ön plana çıkan Kübana evleri (Tip K), hem kat sayısının görece fazlalığıyla bir apartmanlaşma örneği oluşturmakta hem de betonarme yapım tekniğinin sunduğu esneklik ve modern cephe karakterini barındırmaktadır. Kübana evleri, üst düzey memur ve mühendisler için tasarlandığından bir anlamda, sosyal statü-konut ilişkisini doğrulayan önemli bir örnektir. Bu tipte ön plana çıkan nokta, modern mimarlığın genelleşmiş dilinin cephelerde yatay ve dikey etkilerle sağlanmasıdır. Ön cephe boyunca balkon ve pencereler yer almaktadır. Balkon parapetleri ve döşemeleri yatay çizgisel etki yaratırken cephede bulunan merdiven boşluğundaki pencereler ve beton elemanlar ise dikey etki yaratmaktadır. Yapının merdivenleri yapıyı ortalayarak her katta simetrik plana sahip iki dairenin oluşmasına olanak vermiştir. Arka cephede de tüm cepheyi kaplamayan ama aynı yatay etkiyi hissettirecek uzunlukta balkon kullanımı mevcuttur. Ön cephede bulunan yatak odalarının mahremiyetini sağlamak için oda penceresi hizasında balkon parapeti dekoratif metal ızgaralar ile yapının iki köşesinde bitirilmiştir. Bu ızgaralar merdiven boşluğunda bulunan dikey elemanlar ile tamamlanan bir etki yaratmaktadır. Konutlarda teras çatının kullanıldığı tek örnek Kübana evleridir. Kübanalar dışındaki konutlarda kırma ya da beşik çatı tasarımı tercih edilmiştir.

M tipi konutların alanı küçük olmakla birlikte bitişik nizamda ve mutfaksız olarak çözülmüştür. Bu konutların kullanıcıları yemek ihtiyaçlarını sosyal binada karşılamaktadır. Tip N konutları ise aynı plan kurgusundaki 2 veya 4 modülün yan yana getirilmesiyle oluşturulmuş bitişik nizam düzenidir. Tip P2 plan tipleri ise konutlarda minimum alanın kullanıldığı örnekleri oluşturur. Yenişehir alanının modernleşme sürecinin önemli bir parçası olan konut stokunun tipolojisi hakkında edinilen ilk izlenim, konutların genellikle aynı tip plan şemasına sahip oluşudur.

Konutlarda genellikle giriş holüne bakan mutfak, yaşama mekânı ve yatak odaları vardır. Daha büyük ölçekli konutlarda yatak odalarının gece holü olduğu görülmektedir. Plan tipolojisi bakımından genellikle aynı tip çözüme başvurulması, bu konutların sosyal konut anlayışıyla planlanan konutlar olmasındandır. Plan çözümlerindeki farklılıklar daha çok var olan tipolojiye farklı modüller eklenmesiyle oluşturulmuştur. Geleneksel bir kimlik kazanan işçi konutları aynı zamanda minimum alanda konut işlevini çözebilir bir niteliktedir. Yenişehir mahallesinde konut tipolojilerinin karşılaştırmalı şematik anlatımları Tablo 2’de gösterilmektedir.

A1	A2	B
C	D	E
F	H1	H2
J	K	L
M	N1	N2
N3	P1	P2

Tablo 2. Yenişehir’de Konut Tipolojileri

4. Sonuç

Modernleşme sürecinde endüstriyel gelişim, toplumu ve mekânı dönüştürmüştür. Endüstrileşmeyi deneyimleyen Karabük kentinin dönüşüm sürecini incelemek, aynı zamanda Cumhuriyet rejiminin ilk yıllarında ortaya çıkan kentleşme sürecini anlamak bakımından önemlidir.

Bu bağlamda, çalışmanın ulaştığı sonuçlardan biri, Türkiye’de Cumhuriyet dönemi mimarlık faaliyetlerinin yerin kimliğini etkilediği ve değiştirdiğidir. Erken Cumhuriyet Döneminin en önemli yapılarından olan fabrikalar ve fabrika yerleşimleri, kuruldukları yerleri cumhuriyetin modernleşme idealleri doğrultusunda modern mekânlar aracılığıyla dönüştürmüştür. Fabrika yerleşimleri yeri sadece modern görüşe bağlı olarak biçimlendirmekle kalmamış; fabrika alanının yakınında üretilen işçi ve diğer çalışanların konutları da işgücünü yere bağımlı kılarak üretimde devamlılığını sağlamıştır.

Karabük örneğinde yerin öneminin yanı sıra “yerin kimliği” kavramı da tartışma konusudur. Karabük’te üretilen yeni yapı çevre ile birlikte geleneksele karşı bir tavır olarak “modern” alışkanlıkların kazanılması hedeflenmiş ve bu hedef doğrultusunda modern yaşam biçimine hizmet eden modern konutlar üretilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere, üretilen modern konutların “modern” olma hali yalnızca biçimsel (mimari üslup) bakımından değil, aynı zamanda modern görüşün sunduğu yaşam formatı üzerinden de incelenmelidir. Karabük’ün modern mahallesi Yenişehir’de konut tipolojileri incelendiğinde, bu konutların modern yaşamın gerektirdiği işlevlere ve modernist söyleme sahip oldukları görülmüştür. Modern olma ve yenilenme hedefini en temel yapı tiplerinden biri olan konut üzerinden sürdürmek, toplumun yaşadığı yeni mekânsal deneyimi ve keskin dönüşümü anlamak bakımından önemlidir.

Bu bağlamda, çalışmada Yenişehir alanındaki konutların tipolojileri incelendiğinde, konutların temel olarak çekirdek aileye hizmet eden bir yapılanmada olduğu görülmüştür. Üretilen konutlar artık, geleneksel geniş aile yaşantısı yerine modern çekirdek ailenin yaşama alanları haline gelmiştir. Geleneksel düzenden farklılaşan bu konut grupları sahip oldukları modern donatılarıyla, ev sahipleri için modern ve çağdaş olmanın simgesi olmuşlardır. Üretilen modern konutların mimari üslup ve kimlikleri bakımından birbirinden kopuk ve ayrıksı olmadığı söylenebilmektedir. Yalın ve sade bir tasarım anlayışıyla üretilen konutlardaki farklılıklar; -çalışanlar arasındaki statü farklarına bağlı olarak- kat yükseklikleri, malzeme, mekân büyüklükleri bazında olmuştur. Modern çekirdek aile yaşantısına hizmet edecek şekilde kurgulanan plan şemaları büyük ölçüde tek katlı ve temel yaşam birimlerini kapsayacak bir anlayışla oluşturulmuştur. Konut tipolojileri arasında belirgin bir farklılık olmamasının temel nedeni, bu konutların dünyadaki diğer sosyal konut uygulamalarına benzer olarak üretilmesidir. Bu noktada modernizmin beraberinde getirdiği anlayışla şekillenen modern yerleşkelerin, endüstrileşme kapsamında ve seri üretim anlayışıyla oluşturulmuş tipik mekânlar olduğu söylenebilir. Modern bir mekân üretme amacıyla oluşturulmuş bu sosyal konutlar temelinde evrensel bir üretim biçiminin parçalarıdır ve bu bağlamda mekânlar küresel kabullere dayalı olarak üretilen şablonlar haline gelmiştir.

Bu çalışmanın vurgulamak istediği bir diğer konu, Yenişehir konut alanının sahip olduğu modern kültür değerinin geleceğe taşınması ve kentin sosyal-kültürel yaşamına daha fazla entegre olması gerektiği üzerinedir. Yenişehir bölgesinde kullanımı

devam eden A1, A2, G, H, J, K ve P tipi konutların kullanılabilirliğinin sürdürülmesi, fiziki şartlarının sağlaştırılması, canlılık kazandırılarak, ulusal boyutta tanınırlığın sağlanması önerilmektedir. Böyle bir girişimle, endüstri kenti Karabük'te modern mimarlık hareketinin başlangıcını simgeleyen bir mekânın kültürel değeri korunabilecektir.

Kaynakça

Adams, E.W., Adams, W. (1991). Archeological Typology and Practical Reality: A Dialectical Approach to Artifact Classification and Sorting. Cambridge: Cambridge University Press.

Akcan, E. (2005). Modern komşuluğun iç içe geçmiş tarihleri, *Varlık Dergisi*, Cilt 12.

Altaş, N. (1997). Tipoloji. İstanbul: YEM Yayınları.

Altaş, E., Özsoy, A. (1998). Spatial adaptability and flexibility as parameters of user satisfaction for quality housing. *Building and Environment*, 33, p.315-323.

Asiliskender, B. (2008). Modernleşme ve Konut; Cumhuriyet'in Sanayi Yatırımları ile Kayseri'de Mekânsal ve Toplumsal Değişim Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ayten A., M., Çabuk, S., Özkan, M., Turcan, Y. (2010). Cumhuriyet kenti Karabük'ün planlama tarihi üzerine (1937-1967) bir değerlendirme. *Kuruluşundan Bugüne Karabük ve Demir-Çelik Sempozyumu bildiriler kitabı* içinde (s. 65-77), Nisan 2010, Karabük.

Bingöl, Ö. (2007). *Mimarlıkta Tip Kavramı ve Tipoloji*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Bozdoğan, S. (1996). Modern Yaşamak: Erken Cumhuriyet Kültüründe Küçük Ev, *Tarihten Günümüze Anadolu'da Konut ve Yerleşme*, Ed. Sey, Y., İstanbul: Tarih Vakfı Yay., s.313-328.

Bozdoğan, S. (2002). Modernizm ve Ulusun İnşası Erken Cumhuriyet Türkiye'sinde Mimari Kültür. İstanbul: Metis Yayınları.

Bükülmez, G. (1996). *Yenişehir Koruma Amaçlı İmar Planı Analitik Etütleri*. Karabük: Karabük Belediyesi.

Cengizkan, A. (2004). Türkiye'de fabrika ve işçi konutları: İstanbul Silahtarğa elektrik santrali. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20, s.29-55.

Cengizkan, A. (2009). *Fabrika'da Barınmak Erken Cumhuriyet Döneminde Türkiye'de İşçi Konutları: Yaşam, Mekân ve Kent*. Ankara: Arkadaş Yayınları.

Çabuk, S., Altınöz Özkan, M. (2012). Shifting ideologies in spaces and times, a case study from Karabük, *International Conference Architecture and Ideology*, (p. 28-29), September, 2012, Belgrade, Serbia.

Çabuk, S., Demir, K., Gökyer, E. (2016). Cumhuriyet'in yeni kenti Karabük'ün 1937-1988 dönemi mekânsal gelişimi ve şehir planları. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Özel sayı 2, 20-39.

Eisenman, P. (2006). Amerikan Basımı için Giriş, Şehrin Mimarisi, (çev.) Nurdan Gürbilek, İstanbul: Kanat Kitap.

Giddens, A. (1998). Modernliğin Sonuçları, Çev. Kuşdil, E., İstanbul: Ayrıntı Yay.

Güleç, G. (2013). Mimarlıkta Tip ve Tipoloji Tartışmaları: 13. Venedik Mimarlık Bienali Örneği(1), Mimarlık, 371.

Hasgül, E. ve Özsoy, A. (2016). Konut tasarımında esnekliğin farklı konut tipolojileri üzerinden tartışılması. *Tasarım+Kuram*, 22, 69-79.

İnce Güney, Y. (2007). Mimarlıkta Orijin Olarak Tip Kurgusu, *Ege Mimarlık* 3(62).

Kalyoncu, H. (2007). *Cumhuriyet kenti Karabük*. İstanbul: Karabük Belediyesi Kültür Yayınları.

Kalyoncu, H. (2010). Karabük'e ilişkin bazı gözlemler. *Kuruluşundan Bugüne Karabük ve Demir-Çelik Sempozyumu bildiriler kitabı* içinde (s. 441-446), Nisan 2010, Karabük.

Kaya, S. (2011). *İdeoloji, gündelik yaşam pratikleri ve mekân etkileşiminde Karabük Demir Çelik Fabrikaları yerleşiminden öğrendiklerimiz* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Moles, A. (1993). Belirsiz Bilimler: İnsan Bilimleri İçin Yeni Bir Epistemoloji, Çev. N. Bilgin, İstanbul: Yapı Kredi Yayınları.

Öktem, S. (2004). *Türkiye Cumhuriyeti'nde Modernleşme Hareketi: Karabük Demir-Çelik Fabrikaları Yerleşim Örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özkan, M., Çabuk, S. (2010). Karabük Demir-Çelik Fabrikaları işçi konutları sorununun ve çözüm sürecinin incelenmesi, *Kuruluşundan Bugüne Karabük ve Demir Çelik Sempozyumu bildiriler kitabı* içinde (s. 357-366), Nisan 2010, Karabük.

Özkan, M. (2010). Karabük'te Modern Mimarinin Oluşumunda Yüksek Mimar Münici Tangör'ün Rolü ve Yapıları, *Kuruluşundan Bugüne Karabük ve Demir-Çelik Sempozyumu bildiriler kitabı* içinde (s. 367-377), Nisan 2010, Karabük.

Özsoy, A. (1994). Konutu anlamak. Kuram Kitap Dizisi 6, 5-9.

Riley, T. (1999). *The un-private house*. New York: The Museum of Modern Art.

Rossi, A. (1966). *The Architecture of the City*. Padova: Marsilio Editore.

Şengül, H.T. (2001). *Ulus devletin topraklaşması ve kentleşmesi (1923-1950)*, Kentel Çelişki ve Siyaset: Kapitalist Kentleşme Süreçleri Üzerine Yazılar, Demokrasi Kitaplığı, s.70-73.

Tekeli, İ. (2001). *Modernite Aşılırken Kent Planlaması*. Ankara: İmge Kitabevi.

Üstün, B. (2000). *Konut Tasarımında Esnek Amaçlı Yaklaşımlar ve Tasarımda Kullanıcı Katılımının Eskişehir Örneğinde İncelenmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Waisman, M. (1972). *La Estructura Historica del Entorno* (Buenos Aires: Nueva Vision, 69-138' den aktaran Atilla Yücel, "Mimarlıkta Tipoloji Kavramları", İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Araştırma Kurumu Bülteni, 1976, Sayı 2: 18.

Vidler, A. (1977). The Idea of Type: The Transformation of the Academic Ideal, 1750-1830, in *Oppositions*, volume 8, p. 93-113.



İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeği; Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması

Zeynep Feride Olcay^{1*}

^{1*} İstanbul Aydın University, Anadolu Bil Vocational School, Department of Occupational Health and Safety, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5720-7350), zeynepolcay@aydin.edu.tr.

(İlk Geliş Tarihi 8 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 10 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.892845)

ATIF/REFERENCE: Olcay, Z. F. (2021). X. İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeği; Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 678-685.

Öz

Bu çalışma, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kültürünü değerlendirmek amaçlı kullanılabilecek bir ölçek geliştirmek adına metodolojik olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın örneklemini İstanbul il sınırları içinde konut inşaat projelerinde çalışan 359 çalışan oluşturmaktadır. 405 adet anket formu elden dağıtılmış ve toplanmıştır. Formların 359 tanesi eksiksiz doldurulduğundan çalışmada 359 anket formu analiz edilmiştir. Ölçeğin kapsam geçerliliği için İSG konusunda uzmanların görüşleri alınmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda, ölçme aracının yapı geçerliğini ortaya koymak için açımlayıcı ve doğrulayıcı faktör analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçeğin ve ölçek faktörlerinin iç tutarlılığına bağlı güvenirliliğini belirlemek için Cronbach alfa katsayıları hesaplanmıştır. Ölçek faktörleri arasındaki ilişkileri incelemek için Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Ölçeğin ayırt edicilik düzeyini belirlemek için ise %27'lik alt ve üst grupta bulunan katılımcıların ölçek maddelerinden almış olduğu puanlar bağımsız örneklem t testi ile karşılaştırılmıştır. SPSS 25.0 ve AMOS 24.0 istatistik paket programları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. İSG Kültürü Ölçeğinin üç faktörlü, aynı zamanda geçerli ve güvenilir bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İşçi sağlığı ve iş güvenliği, iş sağlığı ve güvenliği kültürü, güvenlik kültürü.

Occupational Health and Safety Culture Scale; Validity and Reliability Study

Abstract

This study is carried out methodologically in order to develop a scale that can be used to evaluate occupational health and safety culture. The sample of the study consists of 359 employees working in different business groups working in housing construction projects within the provincial borders of İstanbul. 405 questionnaires are handed out and related answers are collected. To ensure content validity of the scale, the opinions of experts on occupational health and safety are used. In accordance with purpose of the study, exploratory and confirmatory factor analysis is performed to find out validity of the measuring tool. Cronbach alpha coefficients are calculated to determine the reliability of the scale and scale factors based on internal consistency. Pearson correlation coefficients are calculated to examine the relationships between scale factors. In order to determine the discrimination level of the scale, the scores of the participants in the lower and upper groups of 27% obtained from scale items are compared through independent sample t test. SPSS 25.0 and AMOS 24.0 statistical package programs are used in the calculations regarding the analysis of the data. According to results of the analysis, it has been determined that the Occupational Health and Safety Culture Scale has a three-factors, at the same time, valid and reliable structure.

Keywords: Worker's health and work safety, Occupational health and safety culture, Safety culture

* Sorumlu Yazar: zeynepolcay@aydin.edu.tr

1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde çalışma hayatının en önemli sorunlarından birisi yaşanan iş kazalarıdır. Çalışma ortamında iş kazalarının sayısını azaltmak için gerek emniyetsiz durum, gerekse emniyetsiz davranışları ortadan kaldırmak gerekmektedir. Güvenlik kültürü kavramı, özellikle son yıllarda İSG konusunda yapılan çalışmalarda iş kazalarının oluşumunu engellemek konusunda üzerinde önemle durulan bir kavram olmuştur. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) 2019 yılı verilerine göre; ülkemizde iş kazaları sonucu hayatını kaybeden sigortalı çalışanların sayısı 1.149'dur. Bunun yanında SGK 2019 kayıt bilgilerinde 4a sigorta kapsamında çalışanlar kişilerin yaşadığı iş kazası sayısı 422.463'dir (SGK, 2019). 2012 yılında 6331 Sayılı İSG Kanunu'nun yürürlüğe girmesine rağmen iş kazası sayılarında her yıl bir artış kaydedilmiş olsa da, bu sayı 2019 yılında azalmıştır. Yine de ülkemizde yaşanan iş kazaları sayıları ve özellikle ölümlü iş kazaları sayıları azımsanamayacak kadar fazladır.

İş güvenliği kavramı, çalışanların iş sahalarında kendilerine verilen görevleri yerine getirirken meydana gelen tehlikelerden, yapılan iş dolayısıyla oluşan endüstri kirliliğinden, fiziksel ve psikolojik olarak zarar görmemeleri için alınması gereken tüm önlemleri kapsayan çalışmalar olarak tanımlanabilir (Balkır, 2012). İş sağlığı ise tüm çalışanları fiziksel, sosyal ve psikolojik anlamda en iyi seviyeye taşımak, bu seviyenin devamlılığını, sürekliliğini bozacak etkenleri önlemeyi, çalışanların yeteneklerine uygun işlere yerleştirmeyi amaçlayarak yapılacak olan işin çalışanlara, çalışanların ise yaptıkları işle eşgüdümünü sağlamayı amaçlamış bir bilim dalı olarak açıklanmıştır (Uslu, 2014).

İSG, çalışanların işe bağlı tehlike ve risklerden arınmış olarak çalışmalarını temin eder. Bu anlamıyla, güvenli ve sağlıklı bir çalışma çevresi sağlanması, çalışanlar açısından önemli bir ihtiyaç şeklinde nitelendirilebilir (Demircioğlu ve Centel, 2003).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) İş Sağlığı Ortak Komitesi iş sağlığı alanındaki hedeflerini şu şekilde tanımlamıştır: "İş sağlığı, hangi sektörde olursa olsunlar, görev tanımı farketmeksizin tüm çalışanların sosyal, zihinsel ve fiziksel iyilik halinin en üst düzeyde tutulmasını; çalışma ortamının neden olduğu sağlık sorunlarının engellenmesini; sağlığa zarar veren işlerle ilgili tehlike ve risklerden çalışanların korunmasını; çalışanların fizyolojik ve fiziksel yeteneklerine uygun işlerde ve çalışma ortamlarında çalıştırılmasını; kısaca işin çalışanlara, çalışanların da yaptıkları işe uyumlu hale getirilmesini amaçlamaktadır (Alli, 2001).

Özetle İSG, iş kazalarının önün geçebilmek ve oluşan kazalarda kaza seviyesini en alt seviyeye düşürmek için yapılması gereken ve henüz iş kazaları gerçekleşmeden önce önleyici tedbirleri almaktır. Bu bağlamda, yaşanan iş kazalarının yaklaşık olarak %95 gibi önemli bir bölümünün "insan" kaynaklı olması, yaşanan iş kazalarında insan etkeninin daha geniş açıdan değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. İş kazalarının yaşanmasında büyük bir oransal değere sahip olan, güvensiz ya da emniyetsiz davranış olarak nitelendirilen ve güvensiz durumların ortaya çıkmasında da etkili olan insan faktörü dikkate alındığında (Sakallı, 2019) özellikle son yıllarda iş kazalarının azaltılmasında büyük önem arz eden kavramlardan biri de "güvenlik kültürü" kavramıdır. (Dursun, 2012).

2. Materyal ve Metot

2.1. Güvenlik Kültürü

Güvenlik kültürü, ilk defa 1986 yılında Çernobil'de meydana gelen nükleer kaza felaketinden sonra OECD nükleer ajansı tarafından kullanılmış olan bir kavramdır. Güvenlik kültürü kavramına, Çernobil'de meydana gelen nükleer felaketin olası sebeplerinin araştırıldığı ve sorgulandığı bir raporda yer verilmiştir. Bu raporda ve diğer önemli kazaların yaşandığı olayların raporlarında, kazaların yaşanmasında, en önemli faktörün zayıf ve düşük bir güvenlik kültür düzeyi olduğu görülmektedir (Cox ve Flin, 1998).

Güvenlik kültürü kavramı her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Fakat güvenlik kültürünün uygulanabilir bir hale gelmesi çok kolay değil hatta mümkün değildir. Bilim alanı olarak çelişkili tanımlar ve anlayışlar içermektedir (Guldenmund, 2000).

Literatürde birbirinden farklı güvenlik kültürü tanımları yer almaktadır. Güvenlik kültürü kavramıyla ilgili bazı tanımlar aşağıda yer almaktadır;

İngiliz Sanayi Konfederasyonu 1991 yılında güvenlik kültürünü " tüm organizasyon üyelerinin risk, kazalar ve hastalıklar hakkında paylaştığı fikirler ve inançlar " olarak tanımlamıştır (Cooper, 2000).

"Güvenlik kültürü, genellikle inançların ve değerlerin özellikle sağlık ve güvenlik konularına atıfta bulunduğu organizasyon kültürünün bir alt kümesi olarak görülür" (Clarke, 1999).

"Güvenlik kültürü, özellikle organizasyonel kültürün tutum ve davranışlarını etkileyen ve organizasyondaki güvenlik düzeyinde etkisi olan taraflar ve bileşenler" olarak anlaşılmaktadır (Hale, 2000).

Güvenlik kültürü kavramı farklı olarak ifade edilmiş olsa da, konunun önemi ve geçerliliği herkes tarafından önemsenmektedir. Güvenlik kültürünün her geçen gün daha da önem kazanmasına rağmen, inşaat sektörü çok uzun yıllar zayıf bir güvenlik kültürü ile etiketlenmiştir (Misnan ve Mohammed, 2007). Güvenlik kültürü, birçok sektörde ölüm ve yaralanmaların azaltılmasında önemli bir etkiye sahiptir (Olçay, Temur & Sakallı, 2021).

SGK verilerine göre; 2019 yılında inşaat sektöründe istihdamın %35 oranında azalmasıyla, yaşanan iş kazaları %38 oranında azalmıştır. İnşaat sektöründe 2019 yılında ölümlü iş kazaları da %35 oranında azalmış olmasına rağmen, 2019 yılı ülkemizde ölümlü iş kazaları en fazla yine inşaat sektöründe yaşanmıştır. Günde yaklaşık 176 iş kazası, iş kazası sonucu üç işçi hayatını kaybetmekte, beş işçi ise yaralanmaktadır Bu sonuçlara bakıldığında, sadece teknik çalışmalar ya da hukuki düzenlemelerin, iş kazalarını önleme konusunda yeterli olmadığını göstermektedir (İSİG Meclisi, 2020). Türkiye'de 2012-2019 yılları arasında inşaat sektöründe 3517 ölümlü kaza meydana gelmiş (Olçay ve diğ., 2021) ve yapılan birçok çalışmada Türkiye'de güvenlik kültür düzeyinin zayıf olduğu dile getirilmiştir (Temur & Mertoğlu, 2019; Olçay ve diğ., 2021).

Ülkemizde inşaat sektöründe İSG konusuna özellikle son yıllarda daha fazla önem verildiği gerçeği olsa bile, SGK verilerinden de anlaşılacağı gibi inşaat sektörü çalışanları her yıl yaşanan yüksek sayılardaki iş kazaları sonucu yaşamlarını kaybetmekte, yaralanmalar veya hastalıklardan dolayı geçici ya

da sürekli iş göremezlik gibi sorunlarla karşı karşıya kalmaktadırlar. Ayrıca, İSG konusunda yeterli seviyeye ulaşamayan ülkelerin ekonomileri de olumsuz yönde etkilenmektedir (Öztürk ve Caner Akin, 2021). Bu durumdan dolayı iş kazası ve meslek hastalıkları sayılarının azalması için toplum olarak İSG konusunda bilinçlenme ve güvenlik kültürü büyük arz etmektedir. Bu durumlardan dolayı çalışmada, özellikle eğitim seviyesinin diğer sektörlere göre daha düşük olduğu çalışanların bulunduğu inşaat sektöründe çalışanların İSG kültürünü ölçmek adına bir ölçek geliştirilmeye çalışılmıştır.

2.2.Verilerin İstatistiksel Analizi

Araştırmanın evrenini İstanbul'da konut projeleri inşaatında çalışanlar oluşturmaktadır. Konut projelerinde toplamda 405 adet anket formu elden dağıtılmış ve toplanmıştır. Formların 359 tanesi eksiksiz doldurulduğundan çalışmada 359 anket formu analiz edilmiştir. Anket soruları 7'li Likert ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir. Anketi cevaplandırarak kişilerden her bir anket maddesine ne derece katılıp/katılmadıklarını belirtmeleri

için ölçekte yer alan "1: Kesinlikle katılmıyorum, 2:Katılmıyorum, 3:Kısmen Katılmıyorum, 4:Kararsızım, 5: Kısmen Katılıyorum, 6: Katılıyorum, 7: Kesinlikle Katılıyorum" u" temsil etmektedir.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, geliştirilmiş olan (İSG kültürü ölçeğinin), ölçme aracının yapı geçerliğini incelemek adına açımlayıcı ve doğrulayıcı faktör analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçeğin ve ölçek faktörlerinin iç tutarlılığa bağlı güvenilirliğini belirlemek için Cronbach alfa katsayıları hesaplanmıştır. Ölçek faktörleri arasındaki ilişkileri incelemek için Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Ölçeğin ayırt edicilik düzeyini belirlemek için ise %27'lik alt ve üst grupta bulunan katılımcıların ölçek maddelerinden almış olduğu puanlar bağımsız örneklem t testi ile karşılaştırılmıştır. SPSS 25.0 ve AMOS 24.0 istatistik paket programları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Demografik özelliklere göre Analiz Sonuçları

Tablo 1. Katılımcıların Tanımlayıcı Özelliklerine Göre Dağılımı

		F	%
Yaş	18-24	85	23,7
	25-34	131	36,5
	35-44	89	24,8
	45-54	50	13,9
	55 ve üzeri	4	1,1
Cinsiyet	Erkek	347	96,7
	Kadın	12	3,3
Medeni durumu	Bekar	161	44,8
	Evli	198	55,2
Eğitim durumu	İlköğretim	228	63,5
	Ön lisans-Lisans	23	6,4
	Lise	106	29,5
	Mezuniyet yok	2	0,6
Gelir düzeyi (TL)	2001-3000	97	54,1
	3001-4000	135	37,6
	4001-5000	22	6,1
	5001-6000	2	0,6
	6001 üzeri	3	0,8
Çocuk var mı?	Evet	184	51,3
	Hayır	175	48,7
İş tecrübesi	1-2 yıl	71	19,8
	11-15 yıl	52	14,5
	16 yıl üzeri	65	18,1
	3-5 yıl	87	24,2
	6-10 yıl	84	23,4
İSG eğitimi	Evet	349	97,2
	Hayır	10	2,8
İş kazası	Evet	49	13,6
	Hayır	310	86,4
Ramak kala	Evet	87	24,2
	Hayır	272	75,8
	Toplam	359	100,0

Tablo 1 incelendiğinde;

Cinsiyet dağılımına göre; ankete katılan 359 çalışanın yüzde 96,7'sini erkek çalışanlar, yüzde 3,3'ünü kadınlar oluşturmaktadır.

Yaş dağılımına göre; ankete katılan 359 çalışanın, yüzde 23,7'si 18-24 yaş aralığında, yüzde 36,5'si 25-34 yaş aralığında, yüzde 24,8'i 35-44 yaş aralığında, yüzde 13,9'u 45-54 yaş aralığında, yüzde 1,1'i ise 55 yaş ve üzerindeki çalışanlardan oluşmaktadır.

Eğitim durumuna göre; ankete katılan 359 çalışanın yüzde 63,5'i ilköğretim mezunu, yüzde 5,4'ü lisans ve önlisans mezunu, yüzde 29,5'i lise mezunu, yüzde 0,6'sının mezuniyeti yoktur.

İş kazası geçirme durumuna göre; ankete katılan 359 çalışandan yüzde 13,6'sı iş kaza geçirdiğini belirtmiş, yüzde 86,4'ü kaza geçirmediğini belirtmiştir.

3.2.Açımlayıcı Faktör Analizi Sonuçları

Açımlayıcı faktör analizi, birbiri ile ilişkili çok sayıda değişkeni bir araya getirerek, az sayıda kavramsal olarak anlamlı yeni değişkenler (faktörler) keşfetmeyi amaçlayan çok değişkenli bir analiz tekniğidir (Çokluk, vd., 2010). Faktör analizi yapılmadan önce örneklemin yeterli sayıda olup olmadığı ve aynı zamanda verilerin faktör analizi yapmak için uygun olup olmadığı

araştırılmalıdır. Bunun için Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) katsayısı hesaplanmış ve Barlett Sphericity testi uygulanmıştır (Field, 2013). Elde edilen sonuçlar örneklem sayısının yeterli olduğunu ve ölçek verilerinin faktör analizine uygun olduğunu göstermiştir (KMO= 0,94>0,70; Barlett Sphericity ($\chi^2(276)$) = 4704,39; $p<0,001$).

Faktör çıkarma yöntemlerinden Temel Bileşenler Analizi yöntemi kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde faktör yükleri için kesim noktası 0,32 olarak belirlenmiştir (Tabachnick ve Fidell, 2007). Faktör analizi sonucunda öz-değeri birin üzerinde üç faktör tespit edilmiştir. Aynı zamanda, öz-değer faktör grafiğinde dördüncü noktadan sonraki bileşenlerin varyansa yaptıkları katkının hem küçük hem de yaklaşık olarak aynı olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar dikkate alınarak faktör sayısının üç olmasına karar verilmiştir. Bir sonraki adımda ölçek maddeleri üç faktöre zorlanarak analiz gerçekleştirilmiştir. Maddelerin bulunduğu faktörleri daha belirgin hale getirmek için döndürme yöntemlerinden Varimax dik döndürme metodundan faydalanılmıştır. Faktör yükü kesim noktasının altında kalan bir madde (m4) ve birden çok faktörde yüklenen binmiş üç madde (m12, m13 ve m17) ölçekten tek tek çıkarılarak analiz tekrarlanmıştır. Nihai analiz sonucunda ölçekte 19 maddenin kaldığı gözlenmiştir. İSG Kültürü Ölçeğinin faktör yapısı Tablo 2a'da gösterilmiştir.

Tablo 2a. İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeğinin Faktör Yapısı

Madde No	Faktör Yükü			Madde Ortak Varyansı	Öz-değer	Açıklanan varyans (%)
	1	2	3			
m11	0,77	0,31	-0,10	0,71		
m9	0,77	0,19	-0,07	0,63		
m10	0,77	0,11	-0,10	0,61		
m1	0,75	0,11	-0,01	0,57		
m23	0,73	0,35	-0,21	0,70		
m16	0,70	0,23	-0,03	0,54	7,74	33,04
m22	0,69	0,35	-0,23	0,66		
m5	0,68	0,31	-0,19	0,60		
m2	0,65	0,04	0,07	0,43		
m3	0,65	0,23	-0,04	0,47		
m14	0,63	0,26	0,03	0,46		
m15	0,60	0,13	0,12	0,39		
m20	0,26	0,76	-0,07	0,66		
m21	0,28	0,71	-0,04	0,59	1,88	9,89
m19	0,11	0,68	0,19	0,50		
m18	0,34	0,65	-0,11	0,62		
m8 [†]	-0,01	-0,04	0,82	0,67		
m7 [†]	-0,07	-0,03	0,77	0,61	1,29	6,81
m6 [†]	-0,05	0,06	0,68	0,48		

[†] Ters maddeler

Faktör analizi sonucunda, birinci faktörde bulunan maddelerin faktör yüklerinin 0,60 ile 0,77 arasında, ikinci faktörde bulunan

maddelerin 0,65 ile 0,76 arasında ve üçüncü faktörde bulunan maddelerin faktör yüklerinin ise 0,68 ile 0,82 arasında değer

aldığı gözlenmiştir. Üç faktörlü ölçek toplam varyansın %57'sini açıklamıştır. Açıklanan varyansın %50'yi geçmesi, toplam değişken varyansının yarısından fazlasının açıklandığını ve maddelerin temsil gücünün yüksek olduğunu göstermektedir

(Yaşlıoğlu, 2017). Birinci, ikinci ve üçüncü faktör sırasıyla genel iş güvenliği farkındalığı, İSG eğitimi-iletişim ve risk algısı olarak isimlendirilmiştir. İSG Kültürü Ölçeği üç faktörlü 19 önerme ile Tablo 2b'de yer almaktadır.

Tablo 2b. İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeğinin Faktör Yapısı

Alt Faktör Dağılımı	Faktör Yüğü	Madde Ortak Varyansı	Öz-Değer	Açıklanan Varyans (%)
Faktör 1:Genel İş Güvenliği Farkındalığı				
İş güvenliği ile ilgili yönlendirici ve uyarıcı levhalar/işaretler bulundurulmalıdır.	0,77	0,71		
Kişisel koruyucu donanım (baret, eldiven, emniyet kemeri, vs.) kullanılması sahadaki ciddi kazaları önleyebilir.	0,77	0,63		
İnşaatlarda koruyucusu bulunmayan makine ve cihazlar iş kazalarına yol açmaktadır.	0,77	0,61		
İnşaatlarda meydana gelen kazaların büyük çoğunluğu önlenemez.	0,75	0,57		
İnşaatlarda, çalışanların çalışma ortamının sebep olabileceği sağlık riskleri ile ilgili bilgilendirilmesi gerekmektedir.	0,73	0,70		
Mesleki yeterlilik belgesi olan çalışanlar, mesleki yeterlilik belgesi olmayan çalışanlara göre daha az kazaya uğrarlar.	0,70	0,54	7,74	33,04
İnşaat çalışanlarının iş yeri hekimi tarafından düzenli aralıklarla muayeneleri yapılması iş sağlığı açısından önemlidir.	0,69	0,66		
Diğer iş sektörleri ile karşılaştırıldığında, inşaat sektöründeki İSG uygulamaları daha önemlidir.	0,68	0,60		
İnşaatlarda çalışma saatlerinin uzun olması iş kazalarına yol açmaktadır.	0,65	0,43		
İnşaatlarda iş güvenliği tedbirlerinin alınmaması iş kazalarına yol açmaktadır.	0,65	0,47		
İnşaatlarda kişisel koruyucu donanım (Baret, eldiven, emniyet kemeri, vb.) giymeyi reddeden çalışanlar bir şekilde cezalandırılmalıdır.	0,63	0,46		
İnşaat çalışanlarının iş güvenliği konusunda eğitim seviyesinin düşük olması ciddi iş kazalarına yol açmaktadır.	0,60	0,39		
Faktör 2:İSG Eğitimi-İletişim				
İş Güvenliği eğitimi, çalışanların daha güvenli bir şekilde çalışmasını etkiler.	0,76	0,66		
Çalışanların yaşadıkları ramak kala olayları yöneticilerine bildirmelerinin, yaşanacak iş kazalarının önlenmesinde etkili olabileceğine inanıyorum.	0,71	0,59	1,88	9,89
Çalışanlar ile yöneticiler arasındaki iletişim eksikliği daha çok kazaya sebep olmaktadır.	0,68	0,50		
İnşaatlarda karşılaşılabilecek tehlike ve risklerin anlatıldığı eğitimlerin sayısı artırılıp, daha sık aralıklarla verilmelidir.	0,65	0,62		
Faktör 3:Risk Algısı				
İş tanımının dışında riskli bir iş varsa bunu sorgulamadan yaparım. ^r	0,82	0,67		
Yaptığım işte risk almam gerekirse eğer, bu riski alırım. ^r	0,77	0,61	1,29	6,81
Çalışma arkadaşlarımla sahada güvenliği benim için çok önemli değil. ^r	0,68	0,48		

^r Ters maddeler

3.3. Doğrulayıcı Faktör Analizi Sonuçları

Açımlayıcı faktör analizi sonuçları İş Güvenliği Kültürü Ölçeğinin üç faktörlü bir yapıya sahip olduğunu işaret etmiştir. Bir sonraki adımda, doğrulayıcı faktör analizi (DFA) uygulanmış ve ölçme aracının üç faktörlü yapısı test edilmiştir. DFA, önceden belirlenen faktörlerin yeterli düzeyde ilişkilere sahip olup olmadığı, faktörlerin birbirlerinden bağımsız olup olmadığı, hangi değişkenlerin hangi faktörlerle ilişkili olduğu ve faktörlerin modeli açıklamakta yeterli olup olmadığı hakkında bilgi

vermektedir (Özdamar, 2004). Bu çalışmada, İSG Kültürü Ölçeğinin üç faktörlü yapısının toplanan veriler ile doğrulanıp doğrulanmadığını test etmek için DFA gerçekleştirilmiştir. Uyum değerlerini iyileştirmek için modifikasyon önerileri incelenerek değerlendirilmiştir. Önerilen modifikasyonların yapılmasının ki-kare değerine önemli ölçüde katkı sağlayacağı gözlenmiştir. Bu doğrultuda bazı maddelerin hata değerleri arasına korelasyon okları eklenmiştir (Şekil 1). Model için hesaplanan uyum değerleri Tablo 3’de yer almaktadır.

Tablo 3. İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeğinin Üç Faktörlü Yapısına Ait Uyum Değerleri

Ölçüt	İyi Uyum	Kabul Edilebilir Uyum	Elde Edilen Değerler	Kaynak
(χ^2 /sd)	≤ 3	$\leq 4-5$	2,05	Byrne, 1989
RMSEA	$\leq 0,05$	0,06-0,08	0,05	Browne ve Cudeck, 1993
SRMR	$\leq 0,05$	0,06-0,08	0,04	
CFI	$\geq 0,95$	0,90-0,94	0,95	McDonald ve Marsh, 1990
TLI	$\geq 0,95$	0,90-0,94	0,94	
GFI	$\geq 0,90$	0,89-0,85	0,92	Tanaka and Huba, 1985; Jöreskog ve Sörbom, 1984
AGFI	$\geq 0,90$	0,89-0,80	0,90	

Tablo 3 incelendiğinde, İSG Kültürü Ölçeğinin üç faktörlü yapısının toplanan veriler ile genel olarak iyi düzeyde uyum gösterdiği ve ölçeğin üç faktörlü yapısının doğrulandığı anlaşılmaktadır.

DFA sonucunda ölçekte bulunan maddelerin faktör yükleri 0,47 ve 0,85 arasında değerler almıştır. Test edilen üç faktörlü model Şekil 1’de gösterilmiştir. Modelde gösterilen tüm yol katsayıları (faktör yükleri) düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$).

3.4. Güvenirlilik Analizi Sonuçları

İSG Kültürü Ölçeğinin güvenilirliğini belirlemek amacıyla ölçek faktörlerinin her biri için Cronbach Alfa katsayıları hesaplanmıştır. 0,60-0,80 arasında olan alfa katsayıları ölçeğin oldukça güvenilir olduğunu ve 0,81-1,00 arasındaki alfa katsayıları ise ölçeğin yüksek derecede güvenilir olduğunu göstermektedir (Özdamar, 2004). Ölçek faktörleri için hesaplanan Alfa katsayıları Tablo 4’te gösterilmiştir.

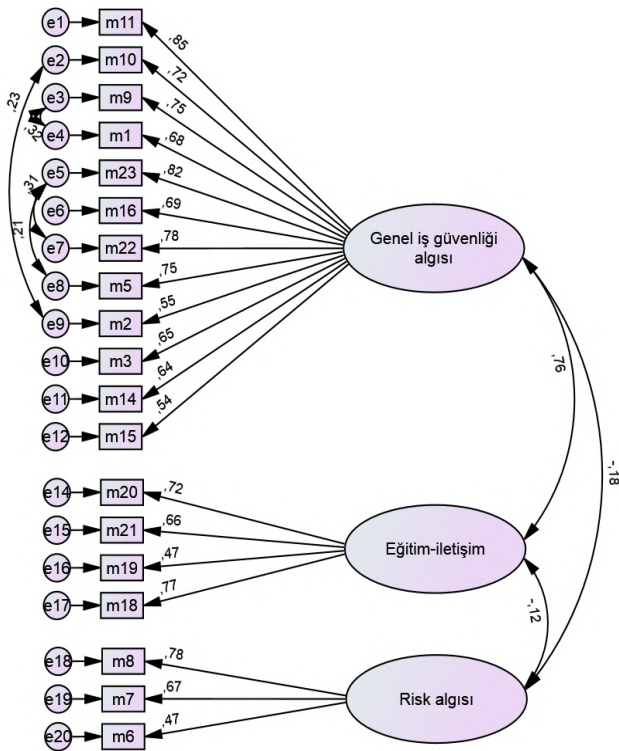
Tablo 4. İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeği Faktörlerine Ait Alfa Katsayısı

Faktörler	Madde sayısı	Cronbach Alfa
Genel iş güvenliği farkındalığı	12	0,92
İSG Eğitimi-iletişim	4	0,75
Risk algısı	3	0,66
Ölçeğin geneli	19	0,89

Tablo 4 incelendiğinde, genel iş güvenliği farkındalığı faktörü için hesaplanmış olan alfa katsayısının 0,92 İSG eğitimi-iletişim faktörü için hesaplanan alfa katsayısının 0,75 risk algısı faktörü için hesaplanan alfa katsayısının ise 0,66 ve ölçeğin geneli için hesaplanan alfa katsayısının 0,89 olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen katsayılar, İSG Kültürü Ölçeğinin ve ölçek faktörlerinin iç tutarlılığa bağlı güvenilirliklerinin yeterli düzeyde olduğunu işaret etmiştir.

3.5. Ölçek Faktörleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi

Ölçek boyutları arasındaki ilişkileri hesaplamak için Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo



Şekil 1. İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeğinin DFA Diyagramı, $\chi^2=296,92$; $sd=145$; $p < 0,001$

4'te gösterilmiştir. 0 ile $\pm 0,30$ arasındaki katsayılar düşük ilişkileri, $\pm 0,31$ ile $\pm 0,70$ arasındaki katsayılar orta düzey ilişkileri, $\pm 0,71$ ile ± 1 arasındaki katsayılar ise yüksek düzey ilişkileri göstermektedir (Büyüköztürk, 2007).

Tablo 5. Ölçek Faktörleri Arasındaki İlişkilere Ait Pearson Korelasyon Katsayıları

Değişkenler	Ort	Ss	1.	2.	3.
1. Genel iş güvenliği farkındalığı	5,79	1,32	1		
2. İSG Eğitimi-iletişim	5,55	1,44	0,61**	1	
3. Risk algısı	2,59	1,70	-0,14**	-0,04	1

**p<0,01; N=359

Tablo 5 incelendiğinde, ölçek faktörleri arasında düşük ve orta düzeyde pozitif ve negatif yönlü ilişkilerin bulunduğu

Tablo 6. İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü Ölçeğinin Madde Analizi Sonuçları

Faktör	Madde No	Alt Grup (n=97)		Üst Grup (n=97)		t	
		Ort	Ss	Ort	Ss		
Genel iş güvenliği farkındalığı	m1	4,26	2,29	6,71	0,79	9,98**	
	m2	4,31	2,15	6,34	1,27	8,00**	
	m3	3,78	2,39	6,82	0,68	12,04**	
	m5	4,22	2,32	6,81	0,63	10,64**	
	m9	4,39	2,32	6,91	0,29	10,59**	
	m10	4,43	2,30	6,82	0,43	10,08**	
	m11	4,57	2,28	6,95	0,22	10,23**	
	m14	3,60	2,29	6,51	1,28	10,94**	
	m15	3,95	2,21	6,62	1,04	10,76**	
	m22	4,27	2,35	6,93	0,26	11,09**	
	m23	4,35	2,29	6,90	0,31	10,85**	
	m16	4,30	2,24	6,84	0,40	10,97**	
	İSG Eğitimi-iletişim	m18	3,56	2,12	6,55	0,94	12,70**
		m19	4,34	2,17	6,28	1,46	7,31**
		m20	4,31	2,27	6,87	0,34	10,95**
		m21	4,16	2,24	6,66	0,89	10,20**
Risk algısı	m6	3,72	2,38	1,77	1,96	6,22**	
	m7	3,46	2,24	1,44	1,30	7,70**	
	m8	3,07	2,16	1,23	0,88	7,78**	

**p<0,01

Tablo 6 incelendiğinde, alt ve üst grupların her bir maddeden aldığı puan ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olduğu anlaşılmaktadır (p<0,01). Üst grubun genel iş güvenliği farkındalığı ve İSG eğitimi-iletişim faktörlerinde bulunan maddelerin her birinden aldığı puan ortalamaları, alt grubun puan ortalamalarından anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur. Alt grubun ise risk algısı faktöründe bulunan maddelerin her birinden aldığı puan ortalamaları, üst grubun puan ortalamalarından anlamlı olarak daha yüksektir. Elde edilen sonuçlar, İSG Kültürü Ölçeğinde yer alan 19 maddenin her birinin anlamlı derecede ayırt edici olduğunu göstermiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada İSG kültürünün değerlendirilebilmesi için bir ölçek geliştirilmiştir. İSG kültürü ölçeği İstanbul ilinde konut

inşaatlarında bulunan basit tesadüfi örneklem yoluyla seçilmiş 359 çalışana uygulanmıştır.

3.6. Ayırt Edici Geçerlik Analizi Sonuçları

Ayırt edici geçerlik analizi için İSG Kültürü Ölçeğinin faktörlerinden elde edilen toplam puanlar en yüksek puandan en düşüğe doğru sıralanmıştır. Sıralamanın her iki ucunda bulunan %27'lik en yüksek puanlı katılımcılar üst grup, %27'lik en düşük puanlı katılımcılar ise alt grup olarak tanımlanmıştır. Alt ve üst grubun ölçek maddelerinin her birinden aldığı puan ortalamaları karşılaştırılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ayırt edici geçerlik hakkında bilgi vermektedir (Tavşancıl, 2005). Alt ve üst grupların puan ortalamaları bağımsız örneklem t testi ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6'da yer almaktadır.

İnşaatlarında bulunan basit tesadüfi örneklem yoluyla seçilmiş 359 çalışana uygulanmıştır.

İSG Kültürü Ölçeğinin yapı geçerliği için açılımlı ve doğrulayıcı faktör analizleri yapılmıştır. AFA sonucunda öz-değeri birin üzerinde üç faktör tespit edilmiştir. Üç faktörden oluşan ölçek toplam varyansın %57'sini açıklamıştır. Birinci, ikinci ve üçüncü faktör sırasıyla genel iş güvenliği farkındalığı, İSG eğitimi-iletişim ve risk algısı olarak isimlendirilmiştir. Ölçeğinin üç faktörlü yapısının toplanan veriler ile doğrulanıp doğrulanmadığını test etmek için DFA gerçekleştirilmiştir. Ölçeğinin üç faktörlü yapısının toplanan veriler ile genel olarak iyi düzeyde uyum gösterdiği ve ölçeğin üç faktörlü yapısının doğrulandığı anlaşılmaktadır.

Ölçeğin ve ölçek faktörlerinin iç tutarlılığa bağlı güvenilirliğinin belirlenmesi adına Cronbach alfa katsayıları

hesaplanmıştır. Ölçeğinin genel güvenilirlik katsayısı (Cronbach's Alpha) $\alpha=0,89$ olarak çok yüksek bir değer olarak belirlenmiştir. Bu değer ölçeğin genel olarak güvenilir olduğu göstermektedir. Ölçeğin üç faktörü için hesaplanan Cronbach alfa katsayıları da ölçeğin faktörlerinin güvenilir olduğunu göstermektedir

Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan analiz yöntemlerinden ortaya çıkan bulgular değerlendirildiğinde 19 madde ve üç faktörden (Genel iş güvenliği farkındalığı, İSG eğitimi-iletişim ve risk algısı) oluşan İSG Kültürü Ölçeğinin kabul edilebilir geçerli bir model olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmada, uygulanan anket ve yapılan analiz sadece inşaat sektöründe bulunan çalışanlar üzerinde yapılmış olup ortaya çıkan sonuçlar araştırmanın sürdürüldüğü katılımcı çalışanlar ile sınırlıdır. Ülkemizdeki tüm sektörler ve çalışma gruplarında güvenilirlik ve geçerliliğini gösterebilmek için farklı bölgelerde ve farklı sektörlerde aynı ölçeğin denenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Alli, B. O., (2001). İş Sağlığı ve Güvenliği Temel Prensipleri. Cenevre, ILO Yayınları.
- Balkır, Z., (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Hakkının Korunması: İşverenin İş sağlığı ve güvenliği organizasyonu, *Sosyal Güvenlik Dergisi*, 56-91s
- Browne, M. W., and Cudeck, R., (1993). Alternative ways of assessing model fit. *Sage focus editions*, 154, 136-136.
- Büyükoztürk, Ş., (2007). Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı, Pagem Yayınları, Ankara.
- Byrne, B., (1989). *A Primer of LISREL*, Basic Assumptions and Programming for Confirmatory Factor Analysis Models. New York: SSpringer.
- Clarke, S., (1999). Perceptions of Organizational Safety: Implications for the Development of Safety Culture. *Journal of Organizational Behavior*. 20(2): 185-198
- Cox S., R. Flin., (1998). "Safety Culture: Philosopher's Stone or Man of Straw?", *Work and Stress*, 12(3), 189-201.
- Çokluk, O., Şekercioğlu, G., ve Büyükoztürk, Ş., (2012). Sosyal bilimler için çok değişkenli istatistik SPSS ve LISREL uygulamaları. Pegem Akademi Yayıncılık. Ankara.
- Demircioğlu, M. ve Centel, T., (2003). İş Hukuku. İstanbul, Beta Yayınları.
- Dursun, S., (2012). İş Güvenliği Kültürü: Kavram, Modeller ve Uygulama. İstanbul: Beta Yayınevi.
- Field, A., (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS* (4th ed.). London: Sage Publications.
- Guldenmund F.W., (2000). The nature of safety culture: *A review of theory and research Safety Science*, 34, pp. 215-257 R.M.
- Hale A.R. (2000), Culture's confusions *Safety Science*, 34 (2000), pp. 1-14
- Jöreskog, K. G., and Sörbom, D., (1993). LISREL 8: Structural equation modeling with the simplis command language. Lincolnwood: *Scientific Software International*, Inc.
- Misnani, M.S., and Mohammed, A.H., (2007). Development of Safety Culture in The Construction Industry: A Conceptual Framework. In: Boyd, D. ed. *Proceedings of the 23rd Annual Conference 2007*. September 3-5. Belfast, United Kingdom. pp. 13-22.
- McDonald, R. P., and Marsh, H. W., (1990). Choosing a multivariate model: Noncentrality and goodness of fit. *Psychological bulletin*, 107(2), 247
- Olçay, Z. F., Sakallı, A. E., Temur, S., & Yazıcı, A. (2021). A study on the shift in fatal construction work-related accidents during the years 2012–2019 in Turkey. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 1-42.
- Olçay, Z. F., Temur, S., & Sakallı, A. E. (2021). A Research on the knowledge level and safety culture of students taking occupational health and safety course. *Cypriot Journal of Educational Science*. 16(1), 187-200.
- Özdamar, K., (2004). Paket programlar ile istatistiksel veri analizi (çok değişkenli analizler). Kaan Kitabevi, Eskişehir.
- Öztürk, T., Caner Akın, G. (2021). Türkiye' de Tüm Sektörlere Ait 2018 Yılı İş Kazalarının ve Kaza Sonucu Yaşam Kaybının Kazazede Yaşı Bakımından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat*, 410-415. DOI: 10.31590/ejosat.867314
- Sakallı, A. E. (2019). A tipi ve b tipi kişilik özelliğine sahip bireylerde iş doyum ve kazalanma arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Ohs Academy*, 2(1), 11-31.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S., (2007). *Using multivariate statistics* (5th ed.). Allyn and Bacon. Boston.
- Tanaka, J. S., and Huba, G. J., (1985). A fit index for covariance structure models under arbitrary GLS estimation. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 38, 197-201.
- Tavşancıl, E., (2005). Tutumların ölçülmesi ve SPSS ile veri analizi. Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Temur, S., & Mertoğlu, B. (2019). Türkiye ve çekya arasındaki güvenlik kültürüne bakış açısı üzerine irdeleme. *Ohs Academy*, 2(2), 67-76.
- Uslu, V., (2014). İşletmelerde İş Güvenliği Performansı ve İş Güvenliği Kültürü Algılamaları Arasındaki İlişki: Eskişehir İli Metal Sektöründe Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 1-94s.
- Yaşlıoğlu, M. M., (2017). Sosyal bilimlerde faktör analizi ve geçerlilik: Keşfedici ve doğrulayıcı faktör analizlerinin kullanılması. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46, 74-85.
- http://www.isigmeclisi.org/site_icerik/2020/10ekim/bedri_tekin.pdf erişim tarihi: 01.03.2021
- http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_i_statistik_yilliklari erişim tarihi: 01.03.2021



The Role of Vulnerable Software Metrics on Software Maintainability Prediction

Canan Batur Şahin^{1*}

^{1*} Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Software Engineering, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2131-6368), canan.batur@ozal.edu.tr

(First received 11 January 2021 and in final form 6 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.858720)

ATIF/REFERENCE: Batur Şahin, C. (2021). The Role of Vulnerable Software Metrics on Software Maintainability Prediction. *European Journal of Science and Technology*, (23), 686-696.

Abstract

Software maintainability is among the basic quality features of software engineering. Vulnerability prediction is crucial to protect software maintainability from attacks for cybersecurity. Hence, managing vulnerability in an accurate way is an important phase for the efficient prediction of software maintenance. The existing technologies have achieved many good results in vulnerability detection, but no significant results have been obtained on how effective vulnerability metrics for software maintainability prediction is. As far as we know, this paper is the first study that applies the Deep Learning-based Symbiotic Immune Network Model to develop a software maintainability prediction model using vulnerability software metrics. This study proposes a novel methodology capable of discovering software maintainability metrics in open-source software programs efficiently and accurately. The current study also tries to identify vulnerability metrics frequently utilized in software maintainability. In this paper, five commonly employed open-source projects subjected to attacks, such as Mozilla, Linux Kernel, Xen Hypervisor, glibc, and httpd, are used. In the scope of this research, mentioned five open-source software projects were used as datasets, and they were analyzed with their effect on software maintainability prediction. The analysis of the software metrics was performed, and the descriptive statistics of the software metrics were presented. The current research obtained results of software metrics that accurately predicting software maintenance. Furthermore, the experimental findings confirm the effectiveness of the obtained vulnerability metrics for predicting software maintainability. Our experimental results claim that the proposed Deep Learning-based Symbiotic Immune Network Model enables the prediction of software maintainability to be substantially more effective.

Keywords: Deep-Learning, Immune Network Model, Symbiotic Learning, Software Maintainability, Vulnerability metrics.

Yazılım Sürdürülebilirlik Tahmininde Güvenlik Açığı Yazılım Metriklerinin Rolü

Öz

Yazılım sürdürülebilirliği, yazılım mühendisliğinin temel kalite özellikleri arasındadır. Güvenlik açığı tahmini, yazılım sürdürülebilirliğini siber güvenlik saldırılarına karşı korumak için oldukça önemlidir. Bu nedenle, güvenlik açığının doğru bir şekilde yönetimi, yazılım sürdürülebilirliğinin tahmini için önemli bir aşamadır. Mevcut teknolojiler, güvenlik açığı tespitinde pek çok iyi sonuç elde etmişlerdir, ancak yazılım sürdürülebilirlik tahmini için güvenlik açığı metriklerinin ne kadar etkili olduğu konusunda önemli sonuçlar elde edilmemiştir. Bildiğimiz kadarıyla, bu çalışma, güvenlik açığı yazılım metriklerini kullanarak bir yazılım sürdürülebilirlik tahmin modeli geliştirmek için Derin Öğrenme tabanlı Simbiyotik Bağışıklık Ağı Modelini uygulayan ilk çalışmadır. Bu çalışma, açık kaynaklı yazılım projelerindeki yazılım sürdürülebilirlik metriklerini verimli ve doğru bir şekilde keşfedebilen yeni bir metodoloji önermektedir. Mevcut çalışma aynı zamanda yazılım sürdürülebilirliğinde sıklıkla kullanılan güvenlik açığı metriklerini belirlemeye çalışmaktadır. Bu çalışmada, Mozilla, Linux Kernel, Xen Hypervisor, glibc ve httpd gibi saldırılara maruz kalan, yaygın olarak kullanılan beş açık kaynaklı proje kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında, söz konusu beş açık kaynaklı yazılım projesi veri kümesi olarak kullanılmış ve yazılım sürdürülebilirlik tahminine etkileri ile analiz edilmiştir. Yazılım metriklerinin analizi gerçekleştirilmiş ve yazılım metriklerinin tanımlayıcı istatistikleri sunulmuştur. Mevcut araştırma, yazılım bakımını doğru bir şekilde tahmin eden yazılım metriklerinin sonuçlarını elde etmiştir. Aynı zamanda, deneysel sonuçlar, elde edilen güvenlik açığı metriklerinin yazılım sürdürülebilirliğini tahmin etmede etkinliğini doğrulamaktadır. Deneysel sonuçlar, önerilen Derin Öğrenme tabanlı Simbiyotik Bağışıklık Ağı Modelinin, yazılım sürdürülebilirliği tahmininin önemli ölçüde daha etkili olmasını sağladığını kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, İmmün Ağ Modeli, Simbiyotik Öğrenme, Yazılım Sürdürülebilirliği, Güvenlik açığı metrikleri.

* Corresponding Author: canan.batur@ozal.edu.tr

1. Introduction

It is possible to define software maintainability as the degree of easiness at which the modification of a software system or component can be performed for its correction, improvement, or adaption to its environment. Software maintainability has four major subcategories, such as changeability, analysability, testability, and stability.

There is a high level of correlation between the software metrics and maintainability of software, in other words, it is possible to develop models for predicting maintainability by utilizing software metrics. Furthermore, in object-oriented software, maintainability constitutes an essential quality feature that helps in enhancing the design and coding of software. Object-oriented software metrics predict software maintainability in the best way. Software metrics calculate different software features describing the physical and functional properties of a process, component, or project. Moreover, software metrics help developers discover and fix mistakes. Vulnerability discovery metrics have considerable potential to shed light on the software maintainability failures that may have caused introducing vulnerabilities. In the present study, software vulnerability metrics are utilized as an indicator of the maintainability prediction model.

Vulnerability detection play a significant part in software security and quality [1]. This paper discussed the subject of detecting the correlation of the most relevant vulnerability metrics in software maintainability by utilizing deep learning. Object-oriented metrics were analyzed, and their effect on open-source software maintainability was also investigated. This study's goal is to obtain a relationship between vulnerability metrics and software maintainability. The relationship is determined by a deep learning-based symbiotic immune network model. Generally, Deep learning applied based on the neural network architecture [2]. In this paper, the learning mechanism from vulnerability metrics is demonstrated and modeled for predicting software maintainability. Hence, a symbiotic mechanism is employed.

There is a number of software maintainability prediction techniques that are combined with popular learning-based approaches. In [3], deep learning was applied for predicting software maintainability metrics on many datasets. The said study obtained findings in the form of metrics that might be utilized for predicting software maintenance, and the suggested deep learning model was superior to all other methods analyzed. In [4], a suitable model was developed using a hybrid neural network to predict the maintainability of object-oriented software by utilizing class-level metrics. The findings demonstrated that the model developed by the suggested hybrid approach yielded better results in comparison with the related works. In [5], which used deep learning to detect vulnerabilities at the slice level for the first time, it was indicated that other studies on the usage of deep learning to detect vulnerabilities were at a coarser granularity (e.g., function level). VulDeePecker shows how feasible the use of deep learning for vulnerability detection is. In [6], the feasibility and advantages of implementing deep learning techniques to analyze and detect software vulnerabilities were investigated. Furthermore, this paper addressed different vulnerability databases/resources and a number of the recent successful deep learning applications in the prediction of vulnerabilities in the software. In [7], a model was

created for developing stable associative memory, which can solve robustness and optimization tasks. The LSTM was utilized to better understand the mechanisms containing the "remember" attribute of the immunological behavior of the immune response.

The principal contributions of the current study are given below.

- This paper is the first model that predicts software maintainability using vulnerable software metrics with the deep learning-based symbiotic immune network model. This makes the proposed methodology an original approach to effectively detect and analyze software maintainability prediction.

- This paper introduces a novel framework trained by Long Short-Term-Memory (LSTM) and Gated Recurrent Unit (GRU) Recurrent Neural Networks (RNNs) for learning deep correlated vulnerable software metrics to detect software maintainability. The selected object-oriented metrics are utilized in predicting software maintainability.

- In the current research, we accept determining the correlated software metrics from the symbiotic immune network model as a combinatorial optimization problem. Therefore, we propose a novel methodology called the Symbiotic Immune Network.

The remaining part of this paper is organized in the following way. The preliminaries are explained in Part 2. Part 3 contains a description of the methods. The proposed method is presented in Part 4. The experimental results and discussion are shown in Part 5. The conclusion and future studies are presented in Part 6.

2. Preliminaries

2.1. Vulnerability Metrics for Software Maintainability

It is crucial and difficult to maintain software security during the whole software life cycle. Vulnerabilities of software systems can lead to various problems, such as deadlock, information loss, or system failure. Nowadays, it is becoming more challenging to manage software security due to its increasing complexity and diversity. During the establishment of a novel software system, software maintainability should be taken into account together with secure software design principles and secure software development life cycles. Researchers have recently utilized vulnerability prediction approaches based on software metrics for the detection of vulnerable codes early for software maintainability.

2.2. Deep Learning for Software Maintainability Prediction Models

Software maintainability prediction models have been studied to help organizations with utilizing costs, allocating resources, and acquiring an accurate management plan and efficient maintenance process. Nevertheless, it is difficult to predict software maintainability, and accurate prediction models are needed for this. Deep learning approaches can discover latent features that a human expert may never think of including, which leads to the significant expansion of the feature search space. This means understanding the vulnerability metrics for maintainability prediction models so that deep learning-based detection systems can learn from these metrics.

2.3. Immune Network Theory

Being a metaphor for different aspects of the natural immune system, the artificial immune network represents a network of connected recognition cells that learn using feedback mechanisms. The fundamental idea of immune networks is that, in the case of the recognition of invasive antigens by antibodies, various antibodies make up a dynamic network by interacting between themselves. The immune system represents an interacting network of lymphocytes and molecules with variable (V) regions. Thus, the immune system is regarded as a network having the components that are connected by V-V interactions. The structure of the immune network represented in figure 1.

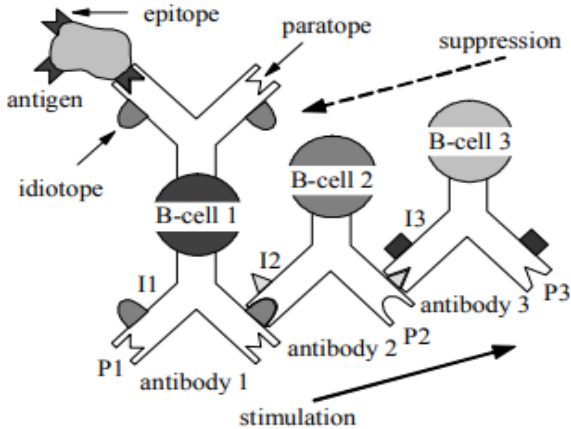


Figure 1: Structure of immune networks [8].

3. Methods

3.1. Deep-Learning Based Classifiers

Deep learning (DL) represents a branch of machine learning models. Its ability to extract hierarchical representations from input data as a result of the establishment of deep neural networks having multiple layers of nonlinear transformations characterizes deep learning.

3.2. Recurrent Neural Network

Recurrent neural networks (RNNs) can memorize arbitrary length sequences of input patterns by establishing relations between units. The transition function at every time step (t) takes the current time information, which is denoted as X_t , and $h(t-1)$ is the previously hidden output. The updating of the current hidden output is performed using Equation (1):

$$h_t = H(X_t + h_{t-1}) \tag{1}$$

In Equation (1), H refers to a nonlinear and differentiable transformation function. When the complete sequence is processed, the hidden output at the final time step, in other

words, h_t , may be considered as a vector of sequential data. The addition of the supervised learning layer on top is performed with the aim of mapping the acquired representation h_t to targets, and it is possible to train the model via backpropagation through time.

3.3. Long-Short-Term-Memory (LSTM)

LSTM networks represent one of the most effective solutions to a sequence of prediction problems because of the recognizing patterns in data sequences. Since LSTM networks have a particular type of memory, they can selectively remember patterns for a long time. They represent quite a reasonable approach to predict the period with the unknown long delays that occur between important events. The LSTM memory block's structure is composed of three gates and a self-recurrent connection.

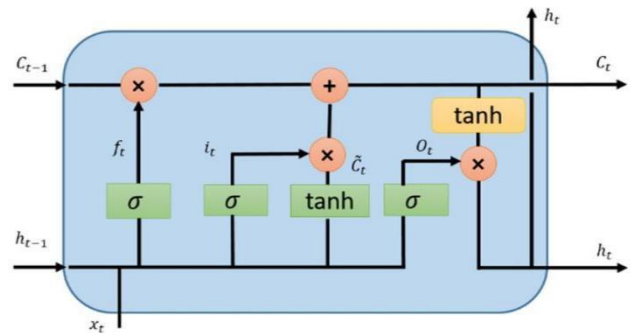


Figure 2: Architecture of the LSTM Recurrent Neural Network [9].

C_t refers to the memory amount of LSTM unit at time t . The output of the LSTM at time t is represented by the h_t . LSTM unit, σ_t denotes the output gate managing the memory content exposure. σ denotes the sigmoid function, \hat{C}_t refers to a novel memory content of the memory unit, which is updated by partly forgetting the current memory and adding the novel memory content to C_t .

The current memory forgetting gate is modulated by f_t . The addition degree of the new memory content to the memory cell is modulated by an input gate i_t .

3.4. Gated Recurrent Unit (GRU)

GRU represents an improved version of standard recurrent neural networks (RNNs) [12]. GRU networks have two gates: a reset gate (r), which performs the adjustment of incorporating novel input with the previous memory, and an update gate (z), which performs the control of preserving the previous memory.

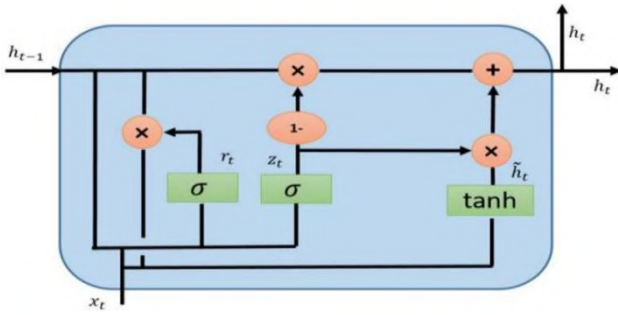


Figure 3: Architecture of the GRU Recurrent Neural Network [9].

The update gate helps the model determine the amount of the previous information (from past time steps). Identically, it is applicable to h_{t-1} , which holds the information for the past $t-1$ units. A sigmoid activation function is employed to squash the outcome between 0 and 1. The reset gate is utilized so that the model can make a decision on the past information amount necessary to forget. The update gate determines what it is required to collect from the current memory content \hat{h}_t and what from the past steps h_{t-1} , final memory at the present time step.

4. Proposed Method

The proposed model is a computational modeling paradigm that depends on the immense detection and prediction capability of immune neural networks. We construct a deep learning-based symbiotic immune memory network model that discovers software maintainability from vulnerability metrics with characteristics that are more prone to software security. This makes this methodology a novel approach toward the effective detection and analysis of software maintainability. Thus, the deep learning-based symbiotic immune network model can adaptively learn useful maintainability metrics.

4.1. The Proposed Deep-Learning Based Symbiotic Immune Network Model

In the proposed framework, the structure of the immune network is utilized to identify the metrics of a software maintainability candidate solution. In the current study, we suggest a new cell interaction model in a symbiotic manner in which antibodies interact with cells. We investigate how to utilize a deep neural network (DNN) and immune network to predict software maintainability based on vulnerability software metrics. The symbiotic immune network displays an Eigen-behavior resulting from cell-cell interactions of antibodies in (V) regions within the immune system as a co-evolution system. The immune network-based symbiotic mechanism plays a major role in an interacting network of lymphocytes and molecules having variable (V) regions. The co-evolution of the populations of heterogeneous antibodies affect the formation of idiotypic networks. Thus, networks are updated in dynamic progress by integrating the novel memorized auto-reactive cells in the network. Therefore, the captured long context correlations, in which the dependent software metrics are in V regions, are obtained and used to predict the software maintainability.

$$f(Abi, Agj) = 1 / (1 + \|Abi, Abj\|) \quad (2)$$

Each data was assumed to be denoted as follows:

$x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, where N refers to the length of the training data (vulnerable software metrics).

The fitness function in Equation (2) is used to reveal the quality of every interacting antibody in novel deep-symbiotic memory. We use the Euclidean distance of two software metric (SM) vectors to measure their similarity. Each SM serves as an antibody.

In the proposed framework, an enhanced symbiotic immune network based on deep learning methods is proposed. Each LSTM and GRU recurrent neural network (RNN) model uses its functions in the graph as a transformation/aggregation function. For each deep learning model, neurons aggregate information from their neighbors using a symbiotic immune neural network.

The meaning of the symbols in the pseudocode of proposed model is as follows: Ab refers to the antibodies in repertoire, S refers to the similarity matrix between every pair of antibody, C^* denotes the vector that contains the affinity between each element Ab_j , d_j denotes the vector that contains the affinity between each element from the set C^* with other Ab , ζ refers to the percentage of the mature antibodies that should be chosen, M_j is the memory clone for antibody Ab_j (that remains from the clonal suppression process), M_j^* is the resultant clonal memory, σ_d is the natural death threshold, σ_s refers to the suppression threshold, and σ_{cut} refers to the cutting threshold. The Euclidean distance between the antibodies, capable of forming the affinity matrix, expresses $D_{k,j}$. In Immune-network-model, matrix Ab antibody pool is presented as software metrics to the immune network, and matrix S identifies the connections among more prone vulnerable antibodies.

For the detection of code-clones, software metrics are utilized with the aim of pooling the nodes into a network-level vector representation for every immune network in a separate manner. Then, the quantification of the affinity between the interactions of an antibody and other antibodies is performed by the measurement of the similarity degree (affinity). The affinity is employed for the detection of behavioral equivalence between SM vectors, which is then generalized to the vulnerability.

In the proposed framework, an enhanced immune network methodology based on DNN methods is proposed. Each LSTM and GRU recurrent neural network (RNN) model uses its functions in the graph as a transformation/aggregation function. For each RNN model, nodes aggregate information from their neighbors using an immune neural network.

$$SYMB_M = f_{initial}(h_i^t, h_j^t) \quad \forall i, j \in E \quad (3)$$

$$SYMB_M^* = f_{aggregate}(SYMB_M_j \rightarrow i \mid \forall i, j) \quad (4)$$

$$h_j^{(t+1)} = f_{update}(h_j^t, SYMB_M^*) \quad (5)$$

Procedure: Deep-Symbiotic Immune Network Model

Input: Set of vectors of vulnerable code-metrics
Output: The list of software metrics more prone to have security vulnerabilities

- Step 1:** {Initialize Antibody Pool (Software metrics)}
- Step 2:** [Train] {1...N} (Input Size)
- Step 3:** For each iteration, do:
- Step 4:** For each antibody $Ab_j, j = 1, \dots, N, (Ab_j \in Ab),$ do:
- Step 5:** Determine fitness (affinity) of each antibodies in population P
- Step 6:** From C^* , re-select $\zeta\%$ of the antibodies with highest $dk_{j,k}$ and put them into a matrix M_j of symbiotic memory S;
- Step 7:** $SYMB_M = CreateDNNsymbioticMemory(M_j, t, State_id)$
- Step 8:** Co-evaluation of interacting antibodies of SYMB_M in dynamic V region
- Step 8:** Apoptosis: eliminate all the memory clones from SYMB_M whose affinity $Dk_{j,k} > \sigma_d$:
- Step 9:** Determine the affinity $S_{i,k}$ among the DNNclonalmemory. $S_{i,k} = \| SYMB_M_{j,i} - SYMB_M_{j,k} \|, \forall i, k$
- Step 10:** Clonal suppression: eliminate those DNN memory clones whose $s_{i,k} < \sigma_s$:
- Step 11:** Concatenate the total antibody memory matrix with the resultant DNN clonal memory SYMB_Mj * for $Ab_j: Ab\{m\} \leftarrow [Ab\{m\}; SYMB_M_j *]$
- Step 12:** $DNNM^* \leftarrow UpdateDNNClonalMemory(SYMB_M_j, t, State_id)$
- Step 13:** $State_id \leftarrow State_id + 1$
- Step 14:** Determine the affinity among all the DNN clonal memory SYMB_M * antibodies from $Ab\{m\}: S_{i,k} = \| Ab^i\{m\} - Ab^k\{m\} \|, \forall i, k$
- Step 15:** Network suppression: eliminate all the antibodies such that $S_{i,k} < \sigma_s$:
- Step 16:** END For
- Step 17:** Build the total antibody matrix $Ab \leftarrow [Ab\{m\}]$
- Step 18:** Add list of more prone security metrics
- Step 19:** END For

Figure 4: Pseudocode of proposed model.

Where $f_{initial}$ represents the initial function, whereas f_{update} represents the antibody neurons update function. $f_{aggregate}$ denotes an aggregation function, use as a direct sum. Equations (3) and (4) can be regarded as aggregators in which every antibody node collects information from its neighbors. Equation e-ISSN: 2148-2683

(5) represents an updater, updating the hidden state of all nodes. The structure of Sub-Deep-Symbiotic Immune Network and sub-network representation for correlated metrics presented in Figure 5-6, respectively. Figure 7 shows the schema of the proposed Deep-learning based symbiotic immune network model.

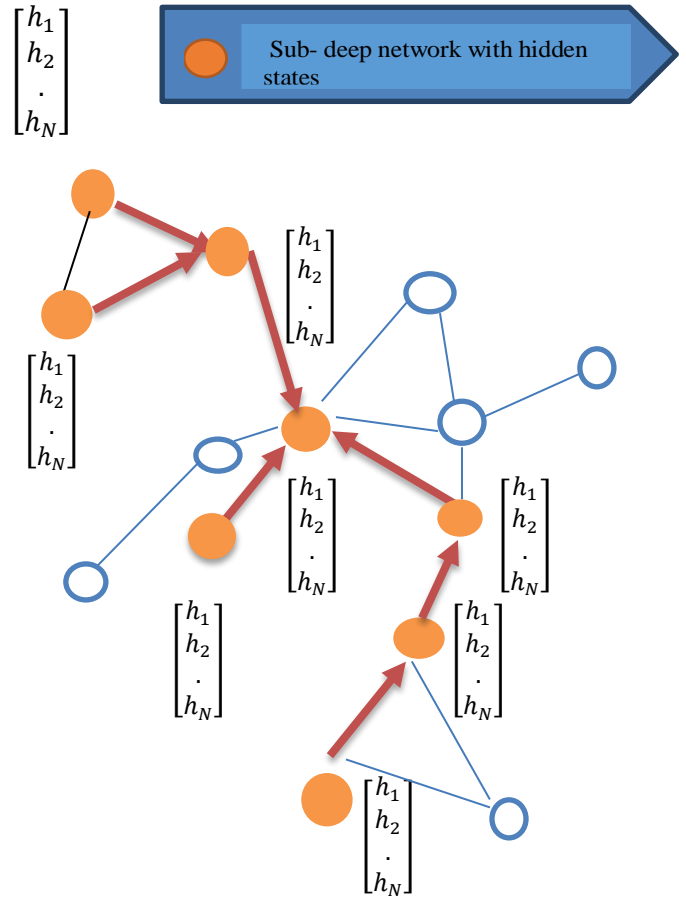


Figure 5: Structure of sub deep-symbiotic immune network.

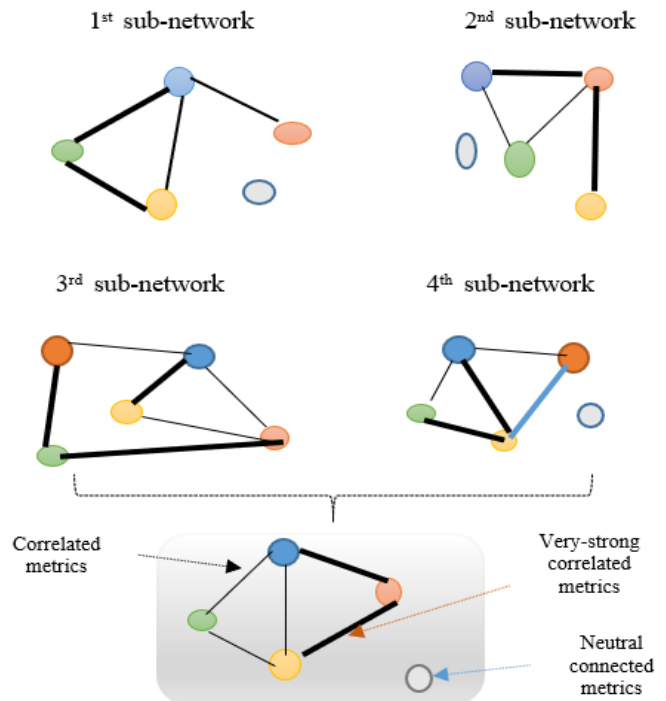


Figure 6: Sub-network representation for correlated metrics.

5. Experimental Results and Discussion

In the current part, experiments are conducted to assess the suggested methods. For the evaluation, we consider five commonly employed open-source projects subjected to attacks, such as Mozilla, Linux Kernel, Xen Hypervisor, glibc, and httpd (<https://eden.dei.uc.pt/~nmsa/metrics-dataset/>).

In the present research, we introduce an approach toward utilizing vulnerability discovery metrics to ensure insightful feedback for software maintainability. We identified a lot of potential metric-set combinations to take a decision on the correlation of vulnerable metric sets for software maintainability. The findings demonstrate that it is possible to use the dataset for the purpose of distinguishing which metrics are more prone to detect security vulnerabilities. The best vulnerable software metric sets for the suggested LSTM-symbiotic network and GRU-symbiotic network are shown in Table 1 and Table 2, respectively. The random forest was employed as a classifier. The findings showed that using particular software metrics, including Max cyclomatic for the LSTM-symbiotic network and percent lack of cohesion for the GRU-symbiotic network, it was possible to achieve a high accuracy rate above 98% in software maintainability metrics prediction.

Figure 8-17 plots the Root Mean Square Error (RMSE)-measure of Deep Learning based Symbiotic Immune Network and with respect to the six-software metrics with different number of hidden layers. We observe that the generally RMSE-measure of the six-software metrics achieve good results at 0-5 layers, and the RMSE-measure of most of these 6-software metrics increases when the number of layers is great. To empirically test the effect of the number of hidden layers, we assessed and compared the model results for each project based on six software metrics. The RMSE was computed to analyze the impact of which software metrics useful for robust software maintainability prediction. As shown in Figures 8-12, the proposed LSTM-Symbiotic Immune Network achieved more successful results respectively for encapsulation, inheritance, coupling, polymorphism, complexity and size metrics in detecting httpd, glibc, mozilla, linux kernel and xen hypervisor projects, respectively. As the results are depicted in figures 13-17, the proposed GRU- LSTM-Symbiotic Immune Network outperforms encapsulation, size, inheritance, complexity, coupling and polymorphism metrics for httpd, glibc, Linux kernel, Mozilla and Xen Hypervisor projects respectively, since it produces the lowest change in RMSE.

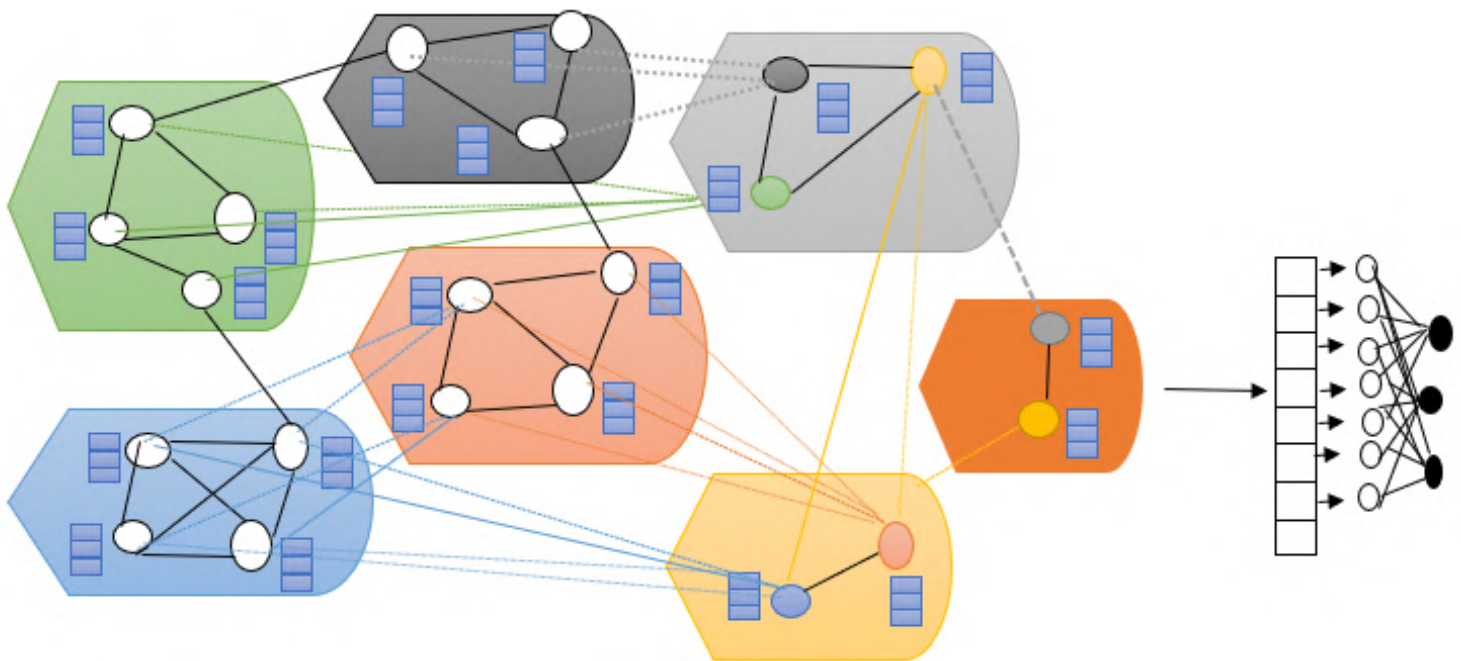


Figure 7: The schema of the proposed Deep-learning-based symbiotic Immune network model.

Table 1. Accuracy of Best Vulnerable metrics for software maintainability based on LSTM-Symbiotic Immune Network

Metric-Set	Linux Kernel (%)	Mozilla (%)	Xen Hypervisor (%)	Httpd (%)	Glibc (%)
Inheritance tree	90.4	96.7	92.1	97.8	91.6
Max Nesting	91.7	89.5	97.4	96.2	93.5
CountLine	95.3	93.6	95.5	95.8	92.5
Max Cyclomatic	96.8	94.7	94.6	98.6	92.7
Count Path	92.4	94.1	95.7	94.5	94.3
Percent Lack of Cohesion	95.8	93.8	94	97.2	92.1

Table 2. Accuracy of Best Vulnerable metrics for software maintainability based on GRU-Symbiotic Immune Network

Metric-Set	Linux Kernel (%)	Mozilla (%)	Xen Hypervisor (%)	Httpd (%)	Glibc (%)
Inheritance tree	91.2	95.8	93.6	98.4	92
Max Nesting	93.8	95.9	94.9	97.3	95.3
CountLine	94.1	97.5	96.3	95.9	93.7
Max Cyclomatic	94.6	96.3	96.2	98.1	94.1
Count Path	95.9	95.2	93.6	97.3	96.8
Percent Lack of Cohesion	93.8	97.2	96.3	98.7	93.2

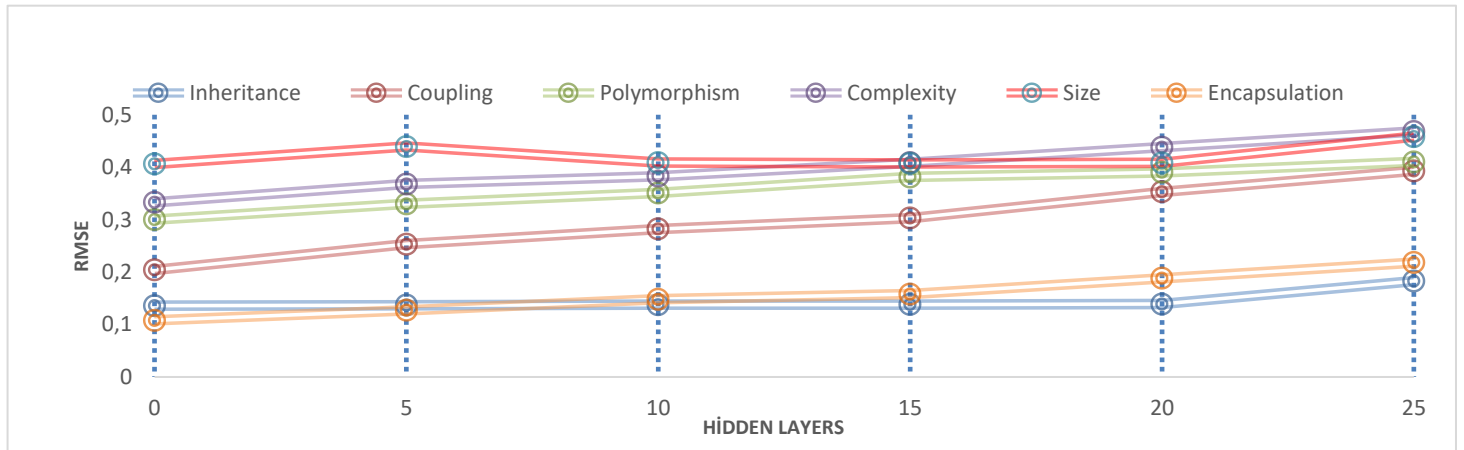


Figure 8. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for LSTM-Symbiotic Immune Network – Linux Kernel Project

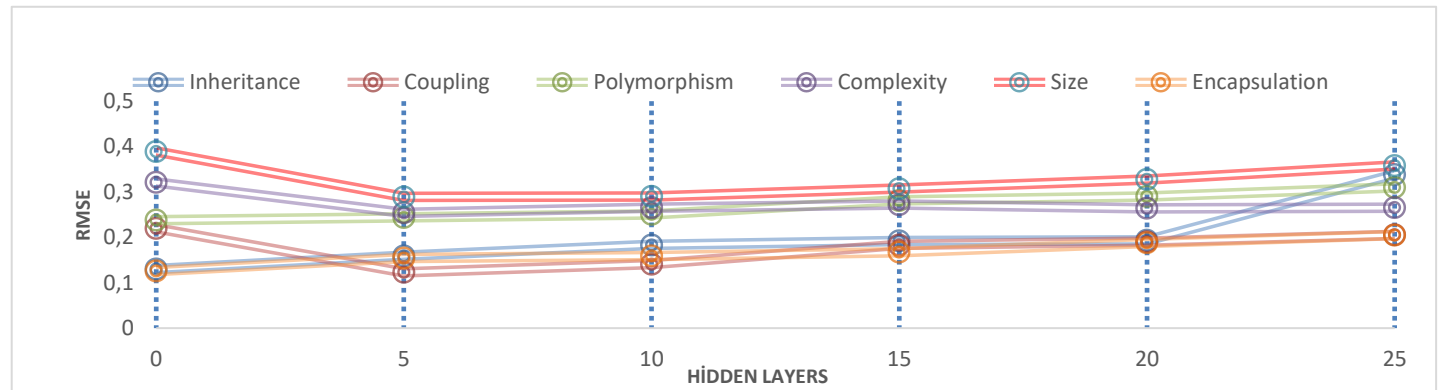


Figure 9. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for LSTM- Symbiotic Immune Network – Mozilla Project

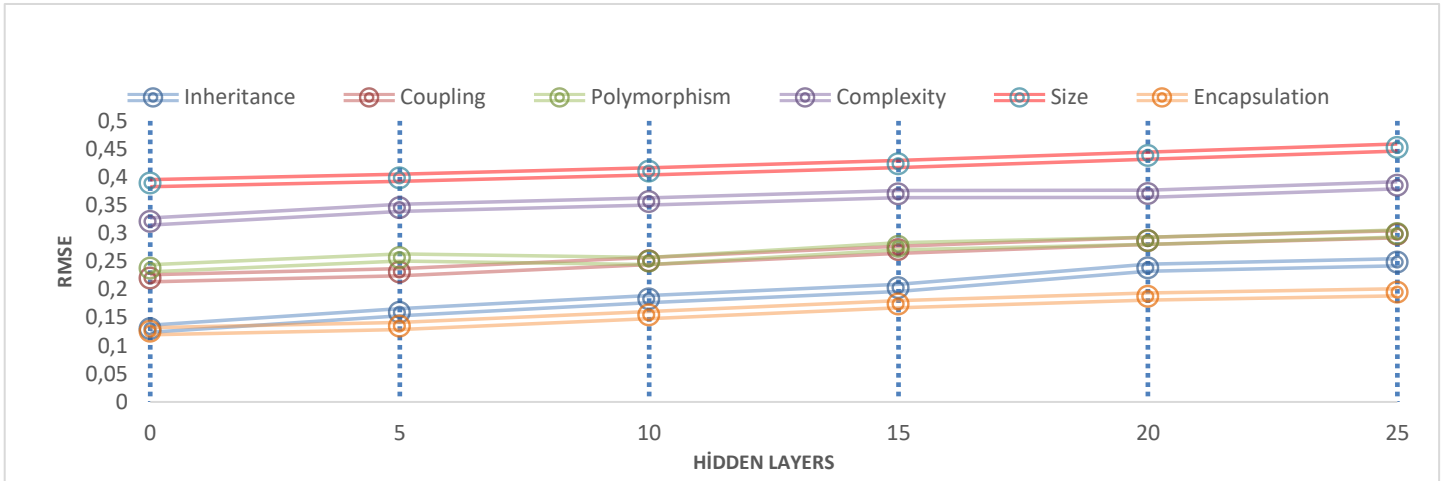


Figure 10. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for LSTM- Symbiotic Immune Network – Xen Hypervisor project

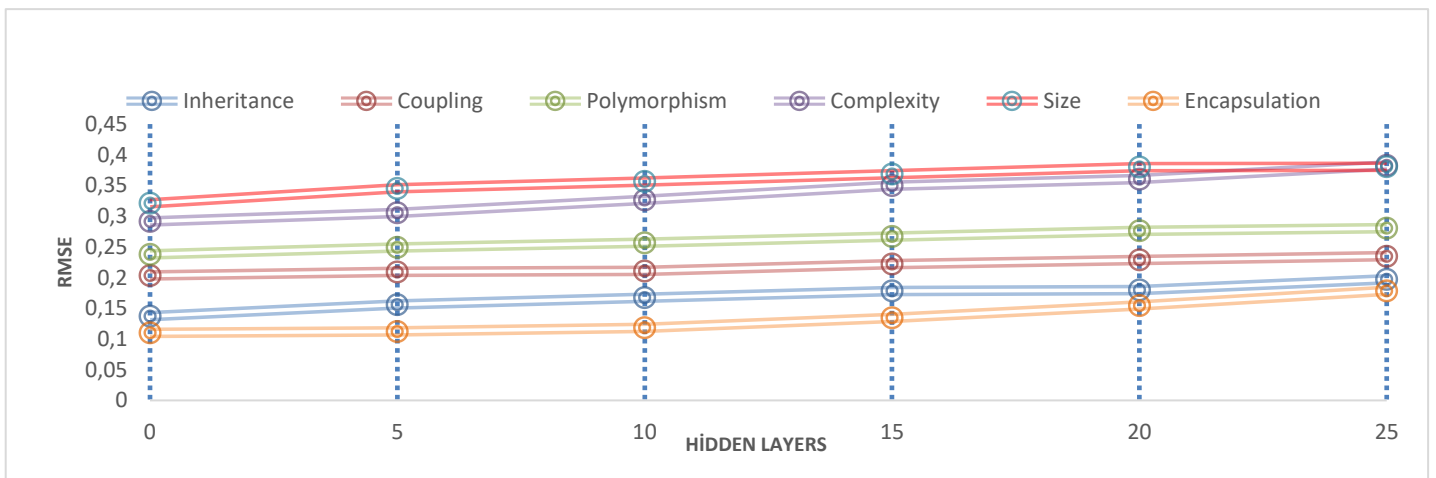


Figure 11. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for LSTM- Symbiotic Immune Network – Httpd Project

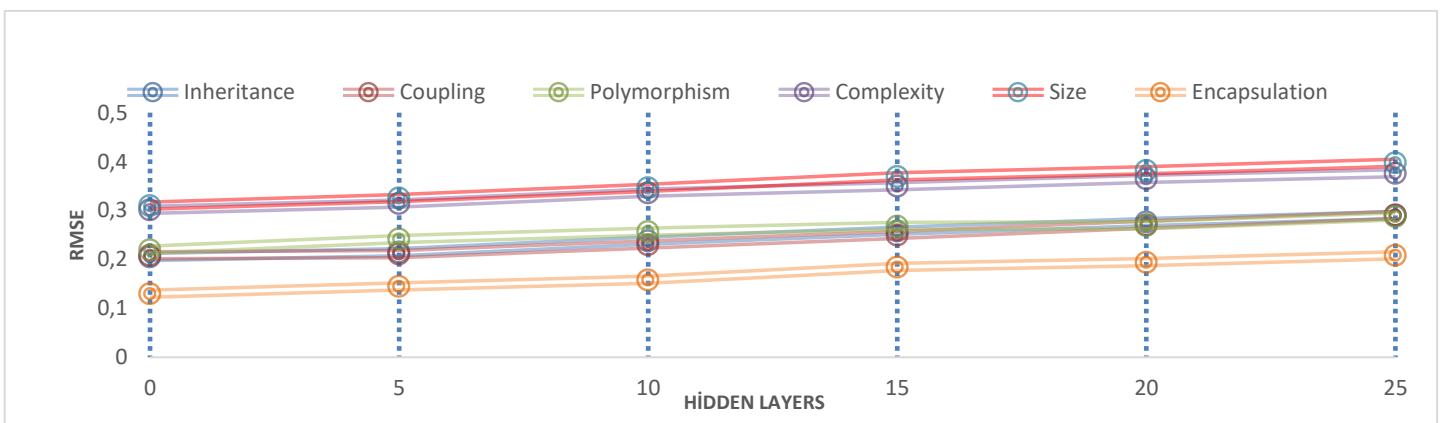


Figure 12. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for LSTM- Symbiotic Immune Network – Glibc Project

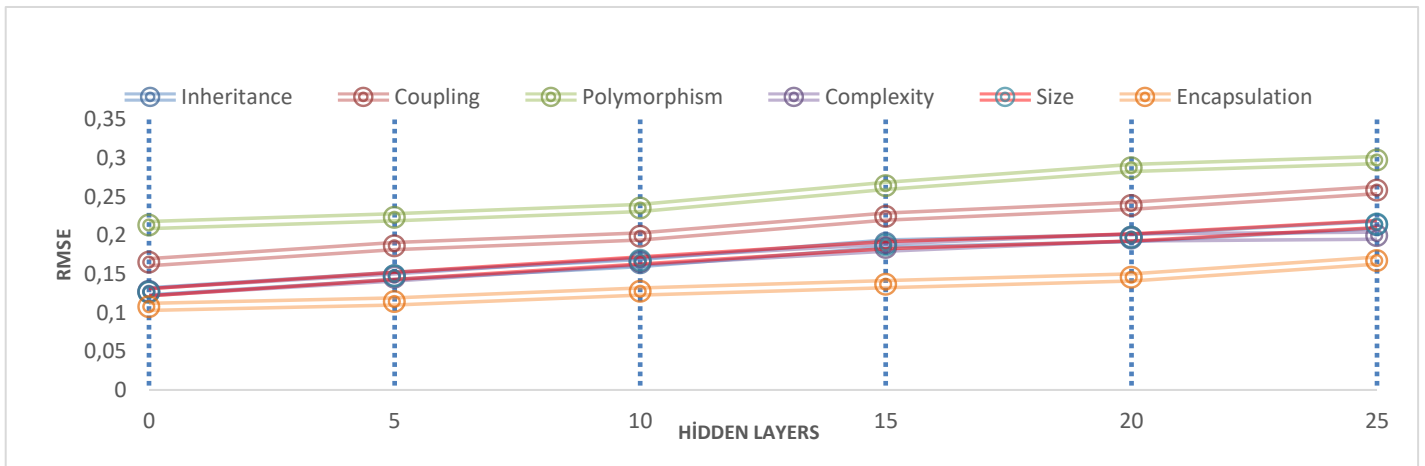


Figure 13. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for GRU- Symbiotic Immune Network – Linux-Kernel project

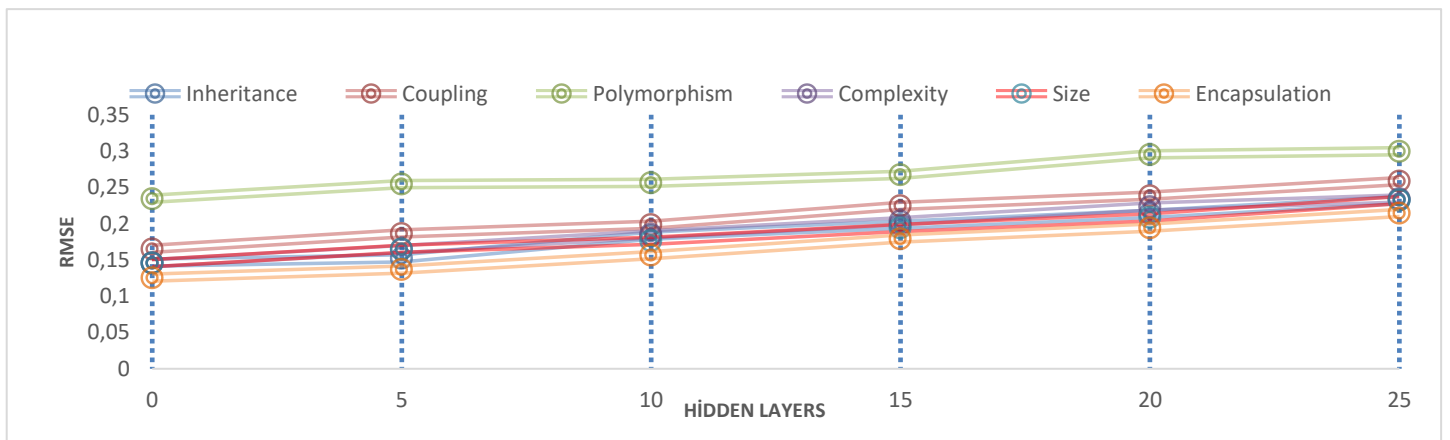


Figure 14. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for GRU- Symbiotic Immune Network – Mozilla Project

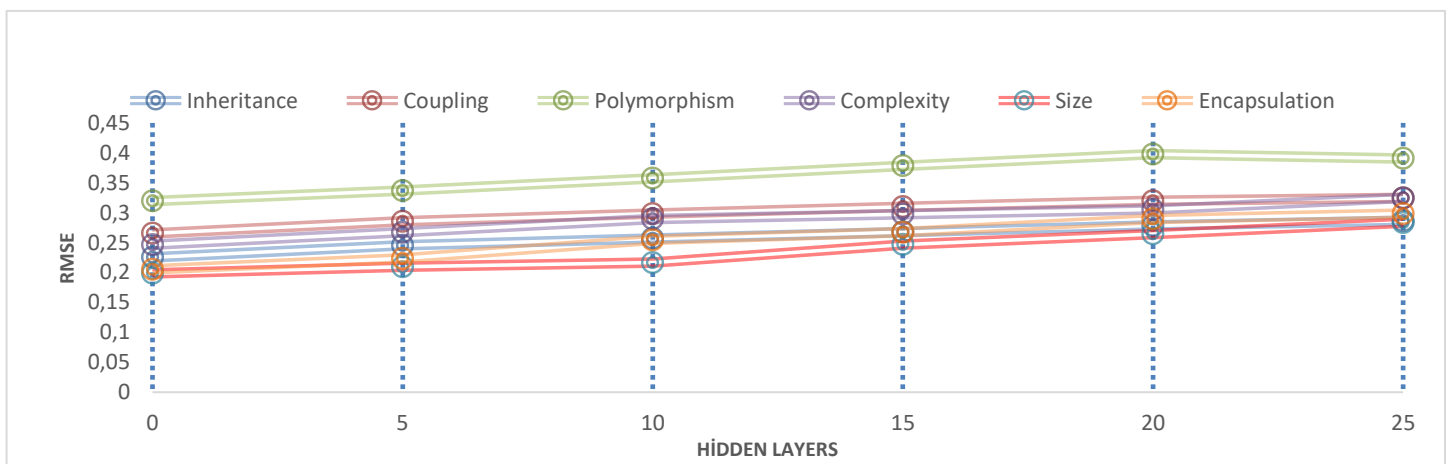


Figure 15. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for GRU- Symbiotic Immune Network – Xen Hypervisor Project

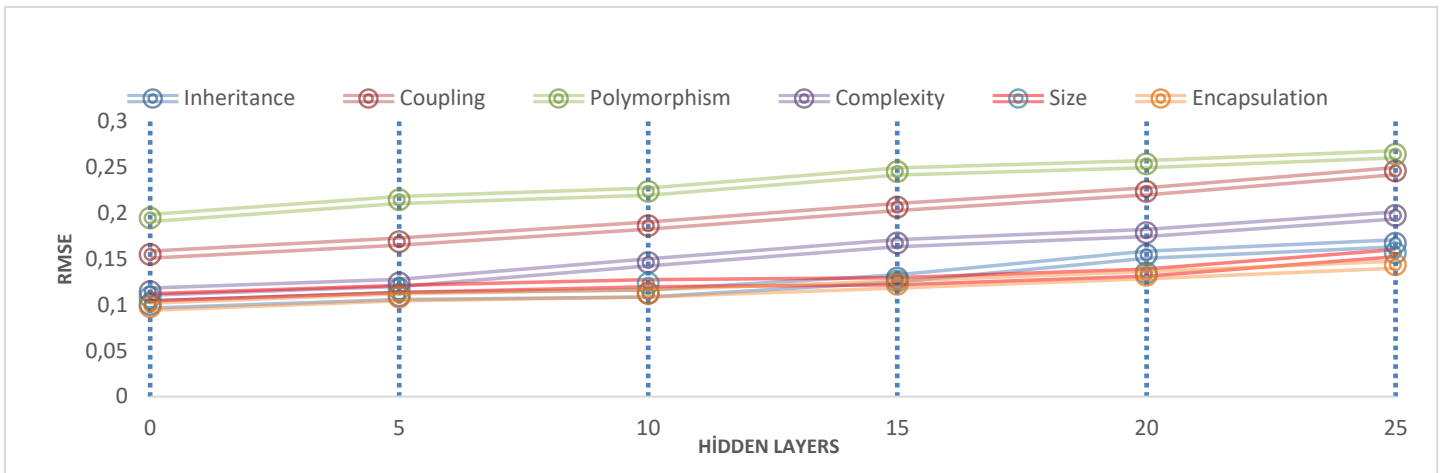


Figure 16. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for GRU- Symbiotic Immune Network – Httpd project

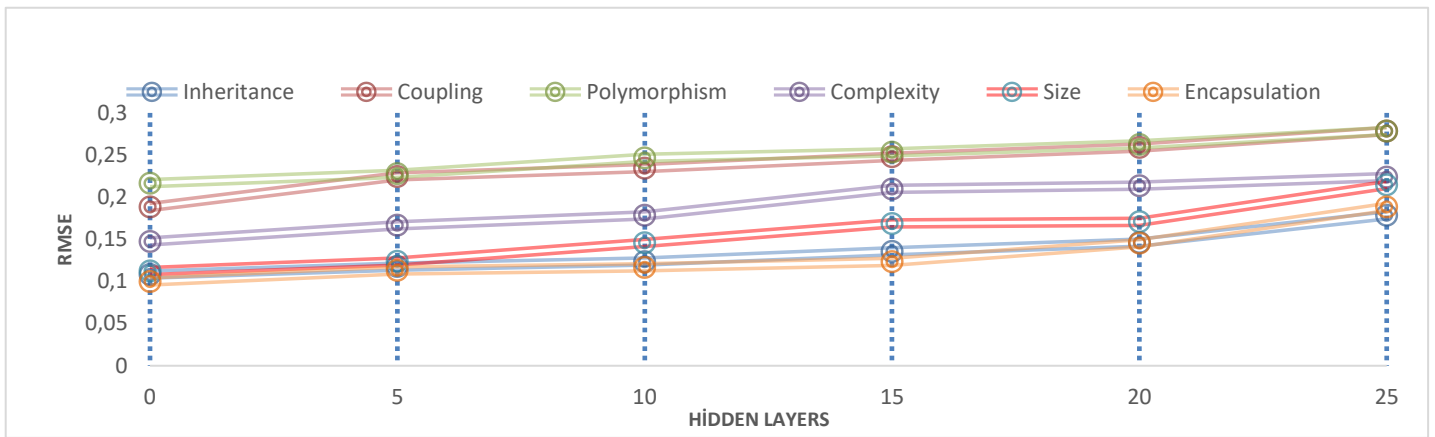


Figure 17. The relationship between number of hidden layers and root mean square error of different software metric categories for GRU- Symbiotic Immune Network – Glibc Project.

6. Conclusion

Software maintenance represents a costly activity consuming a significant part of the total project's cost [14]. Because it is very challenging to track the maintenance behavior of software, it becomes difficult to predict cost and the risk associated. Using maintainability, it is possible to predict what changes or failures can emerge in software following its deployment. In the present study, we suggest a novel methodology for software maintainability prediction and implement the said method on vulnerability metrics. The proposed method was used for identifying the important vulnerable software metrics that help enhance the accuracy of software maintainability. The current research suggests and builds a new framework symbiotic immune network on the basis of deep learning in order to improve robustness to predict software maintainability.

The paper demonstrated that utilizing software metrics with the symbiotic immune neural network was a good method of software maintainability analysis and prediction. In conclusion, the findings demonstrate that vulnerable metrics have major effects on software maintainability, and it is possible that they will have other vulnerabilities hereafter. The software maintainability in the symbiotic neural network will be

discovered by supplementary improvement approaches in the future.

5. Acknowledge

This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.

References

- [1] Batur Şahin C., Batur Dinler Ö., Abuagilah L. (2021). Prediction of software vulnerability-based deep symbiotic genetic algorithms: Phenotyping of dominant-features, Applied Intelligence, doi: 10.1007/s10489-021-02324-3.
- [2] Batur Dinler, Ö , Batur Şahin, C . (2021). Prediction of Phishing Web Sites with Deep Learning Using WEKA Environment . European Journal of Technique ,35-41 . DOI: 10.31590/ejosat.901465
- [3] Jha S. et. al., (2020). Deep Learning Approach for Software Maintainability Metrics Prediction, IEEE Access, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913349.

- [4] Kumar L., Lal S., and Murthy L.B., (2019). Estimation of maintainability parameters for object-oriented software using hybrid neural network and class level metrics, *Int J Syst Assur Eng Manag* 10, <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00853-2>, 1234–1264.
- [5] Li Z., et al., (2019). VulDeePecker: A Deep Learning-Based System for Vulnerability Detection, *Cryptography and Security*, Doi: 10.14722/ndss.2018.23158.
- [6] Singh S.K., Chaturvedi A., (2020). Applying Deep Learning for Discovery and Analysis of Software Vulnerabilities: A Brief Survey, *Soft Computing: Theories and Applications. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1154. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4032-5_59.
- [7] Şahin C. B., and Dirı B., (2019). Robust Feature Selection with LSTM Recurrent Neural Networks for Artificial Immune Recognition System, in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 24165-24178, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2900118.
- [8] Tsankova D., et al., (2007). Modeling Cancer Outcome Prediction by aiNet: Discrete Artificial Immune Network, *Proceedings of the 15th Mediterranean Conference on Control&Automation*, July 27-29, Athens, Greece.
- [9] Alom M. Z., Taha T. M., et al., (2019). A state-of-the-art survey on deep learning theory and architectures. *Electronics*, 8, 292; doi:10.3390/electronics8030292.
- [10] Dai H., and Li C., (2009). Immune Network Theory Based Artificial Immune System and Its Application, *Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*.
- [11] Alsolai H., Roper M., (2020). A systematic literature review of machine learning techniques for software maintainability prediction. *Information and Software Technology*, doi: 10.1016/j.infsof.2019.106214.
- [12] Ardito L., Coppola R., Barbato L., and Verga D., (2020). A Tool-Based Perspective on Software Code Maintainability Metrics: A Systematic Literature Review, <https://doi.org/10.1155/2020/8840389>.
- [13] Munaiah N., and Meneely A., (2019). Data-Driven Insights from Vulnerability Discovery Metrics, *IEEE/ACM Joint 4th International Workshop on Rapid Continuous Software Engineering and 1st International Workshop on Data-Driven Decisions, Experimentation and Evolution (RCoSE/DDrEE)*, doi: 10.1109/RCoSE/DDrEE.2019.00008.
- [14] Kalıpsız, O , Cihan, P . (2016). Öğrenci Proje Anketlerini Sınıflandırmada En İyi Algoritmanın Belirlenmesi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 8 (1), 41-49.
- [15] Mishra S., and Sharma A., (2015). Maintainability prediction of object-oriented software by using adaptive network based fuzzy system technique. *International Journal of Computer Applications*, 119(9): 1154-1168.
- [16] Li Z., Zou D., Xu S., Jin H., Zhu Y., and Chen Z., (2018). SySeVR: A framework for using deep learning to detect software vulnerabilities. *ArXiv:1807.06756*. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1807.06756>.
- [17] Liu S., et. al., (2020). CD-VulD: Cross-Domain Vulnerability Discovery based on Deep Domain Adaptation, *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, Doi:10.1109/TDSC.2020.2984505. pp: (99): 1-1.
- [18] Li Y., Tarlow D., Brockschmidt M., and Zemel R. S., (2015). Gated graph sequence neural networks. *CoRR*, abs/1511.05493.
- [19] Zagane M., and Abdi M. K., (2019). Evaluating and comparing size, complexity and coupling metrics as Web applications vulnerabilities predictors, *Int. J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 11, no. 7, pp. 35–42, Jul.



Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Oval Çentikli Çelik Plakanın Çekme Dayanımının Deneysel Olarak Araştırılması

Berkant Dindar^{1*}, İnan Ağır²

^{1*} Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of Engineering and Architectural, Department of Mechanical Engineering, Tokat, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1215-3621), berkant.dindar@gop.edu.tr

² Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Denizli, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8845-1452), iagir@pau.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 15 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.802907)

ATIF/REFERENCE: Dindar, B., Ağır, İ. (2021). Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Oval Çentikli Çelik Plakanın Çekme Dayanımının Deneysel Olarak Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 697-701.

Öz

Bu çalışmada oval çentikli 304 östenitik paslanmaz çelik levhanın karbon/epoksi kompozit yama ile tamir edilebilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu bağlamda 2 mm kalınlığındaki çelik levhadan 250x40 mm boyutunda deney numuneleri kestirilerek merkezlerine CNC tezgahta 20x4 mm ebatında üç farklı oryantasyonda oval çentikler açılmıştır. Daha sonra bu çentikleri yamamak için karbon elyaf takviyeli kompozit yamalar hazırlanmıştır. Yamalarda kullanılan kompozitler el yatırması yöntemi ile üç eksenli kumaşlara epoksi uygulanması ve sonrasında sıcak presleme yapılması ile üretilmiştir. Üretilen bu kompozit plakalardan 40x40 mm ebatında su jeti ile kompozit yamalar kesilmiştir. Daha sonra bu yamalar Weicon RK-7100 yapıştırıcı ile tek taraflı ve çift taraflı olacak şekilde çentikli çelik levhalara yapıştırılmıştır. Yapıştırma işlemi yapılmadan önce plakaların yüzeylerindeki kir ve tortu tabakası döner keçe ile temizlenmiştir. Daha sonra numunelere solvent bazlı yüzey temizleyici sprey sıkılarak mükemmel bir yapışma yüzeyi elde edilmiştir. Yapıştırma işlemi tamamlandıktan sonra yapıştırıcının kürleşmesi için numuneler üç gün süre ile beklemeye alınmıştır. Numuneler nihai hallerini aldığı anda statik çekme deneyleri yapılarak çekme gerilmeleri tespit edilmiş ve her bir açı değeri için yamasız, tek yön yamalı ve çift yön yamalı olacak şekilde grafikler üzerinde karşılaştırmaları yapılmıştır. Yamalı numunelerin kritik akma dayanımının yamasız numunelere kıyasla dikkate değer ölçüde iyileştiği tespit edilmiştir. Nihai çekme dayanımlarında ise yamalı ve yamasız numuneler arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit yama, 304 paslanmaz çelik, çekme dayanımı, karbon fiber, epoksi.

Experimental Investigation of Tensile Strength of Oval Notched Steel Plate Repaired with Composite Patch

Abstract

In this study, the repairability of oval notched 304 austenitic stainless steel plate with carbon/epoxy composite patch was experimentally investigated. In this context, 250x40 mm test specimens were cut from 2 mm thick steel plate and in the CNC machine, oval notches 20x4 mm sized were opened in three different directions on their centers. Carbon fiber reinforced composite patches were then prepared to patch these notches. The composites used in patches were produced by applying epoxy to triaxial fabrics by hand lay-up method and then hot pressing. Composite patches were cut from composite plates with water jet. These patches were then affixed with Weicon RK-7100 adhesive to one-sided and double-sided notched steel plates. Before the adhesion process, the dirt and residue layer on the surfaces of the plates were cleaned with a rotary felt. Then, by spraying solvent-based surface cleaner on the samples, a perfect adhesion surface was obtained. After the bonding process was completed, the samples were kept for three days in order for the adhesive to cure. When the samples were in their final form, static tensile tests were performed, tensile stresses were determined and comparisons were made on the graphics for each angle value without patches, one way patches and two way patches. It was found that the critical yield strength of the patched specimens was significantly improved compared to the unpatched samples. There was no significant difference between the patched and non-patched samples in the ultimate tensile strength.

Keywords: Composite patch, 304 stainless steel, tensile strength, carbon fiber, epoxy.

* Corresponding Author: berkant.dindar@gop.edu.tr

1. Giriş

Paslanmaz çelikler, mükemmel oksidasyon ve korozyon direnci manyetik olmayan yapı, biyo uyumluluk gibi özellikleri ile (Liao, vd., 2019) deniz taşımacılığı ve diğer alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretim sırasında 304 paslanmaz çelikler de mikro kusurlar meydana gelebilmektedir. Bu kusurlar daha sonra makro kusurlara dönüşerek malzeme hasarına neden olabilmektedir (Hu, vd, 2020). Çeşitli mühendislik alanlarında delemantasyon, çentik, çatlak gibi hasarlar değişik şekillerde oluşabilmektedir. Bu tür hasarlı yapıların onarımı için kompozit yamalar yaygın olarak kullanılmakta olup etkinliği kanıtlanmıştır (Aabid, vd., 2020). Bu hasarlar günümüzde ileri teknolojiye kompleks yapılar dolayısıyla geçmişe nazaran çok daha fazla karşımıza çıkmaktadır (Saylık, 2016). Hasara uğramış yapıları değiştirmek kimi zaman yüksek maliyetli olurken kimi zamanda imkansızdır (Ergün, 2008). Hasarlı yapı elemanlarında farklı sebeplerden dolayı oluşabilecek süreksizlikler tamir işlemi ile ortadan kaldırılarak düzeltilebilmektedir (Cowardrey., vd., 1998).

Günümüzde çentikli metal yapıların onarımında kompozit yamaların kullanımı dünya çapında daha popüler hale gelmiştir (Pradhan, vd., 2020; Daryabor, 2017 vd.). Tek taraflı fiber takviyeli yama ile metalik panellerde yorulma çatlakları tamirinin yapılabilirliği araştırılmış ve yamanın boyutunun yorulma hasarını etkileyebileceği belirtilmiştir (Ki-Huyun, vd., 2003). Bir yama onarımı için optimum bir yapışkan kalınlık değeri vardır. Az kalınlıkta ki bir yapıştırıcı onu kırılma ve sert hale getirerek delik kenarlarında kayma kopmasını başlatmaktadır. Fazla bir yapıştırıcı kalınlığı ise yapıştırılan yapı ve yama arasındaki yük transferini azaltmakta ve numunenin nihai mukavemetinde genel bir azalmaya sebep olmaktadır (Liu ve Wang, 2007). Yamanın şekli de onarımın performansını etkilemektedir (Kashfuddoja ve Ramji, 2014). Ayrıca yapıştırma işlemi perçin bağlantıları ile desteklenirse bağlantının mukavemeti önemli ölçüde artmaktadır (Özenç ve Şekercioğlu,

2014). Metal plakaya karbon/epoksi yama şeritlerinin eklenmesi ezilme yüklerine karşı enerji absorpsiyonunu iyileştirmektedir

(Lebaupin, vd., 2019). Yapılardaki hasar, yapının yapısal bütünlüğünü ve kullanım ömrünü azaltmaktadır. Servis ömrünü geliştirmek için, hasarın onarılacak yapısal bütünlüğünün tekrar sağlanması gereklidir. Yapıştırılarak tutturulmuş kompozit yama onarımı, hasarlı parçanın yapısal bütünlüğünü düzeltmek için kullanılan popüler tekniklerden biridir (Uslu M. 2018).

Karbon fiber takviyeli polimerler, son yıllarda endüstride, bilimde, günlük kullanım ekipmanlarında ve mühendislikte giderek daha fazla kullanılmaktadır (Nguyen, vd. 2018). Bu çalışmada 304 östenitik paslanmaz çelik plakalara CNC tezgahta üç farklı açı değerinde oval çentikler açılmış ve pratik bir hasar onarımı olarak karbon/epoksi yamaların bu çentikleri onarabilme yeterlilikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu bağlamda her üç çentik açısında levhaların yamasız, tek yön yamalı ve çift yön yamalı konfigürasyonlarının çekme deneyleri yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Deney numuneleri, çentiğin bulunduğu paslanmaz çelik (yapıştırılan malzeme) ve çentiğin onarılmasını sağlayan karbon fiber takviyeli kompozit yama olmak üzere başlıca iki kısımdan oluşmaktadır. Deneysel çalışmalar ortam sıcaklığı ve ortam nem koşullarında Instron 8801 test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

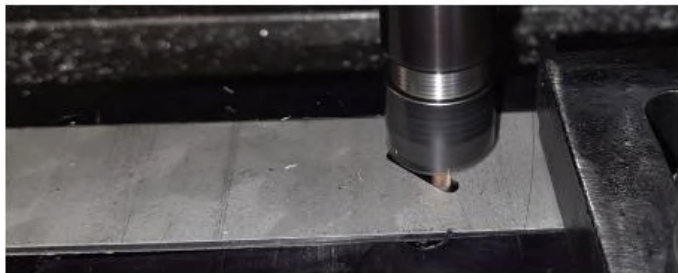
2.1. Yapıştırılan Malzeme

Yapıştırılan malzeme 2 mm kalınlığında, 304 tip östenitik paslanmaz çelik plakadır. Malzemenin ortalama kimyasal bileşimi ve oda sıcaklığındaki bazı mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Malzeme Tokat'ta faaliyet gösteren Borusan Şirketinden tedarik edilmiştir.

Tablo 1. Standart 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal yapısı (%) ve mekanik özellikleri.

Kimyasal Özellikler (%)					Mekanik Özellikler			
Mn	Ni	Cr	Si	C	Elastisite Modülü (GPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Paisson Oranı (ν)
0,84	8,09	18,16	0,42	0,06	193	317	686	0,26

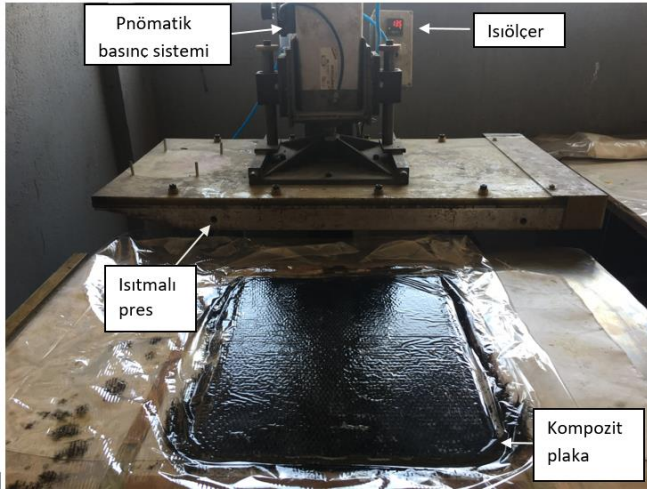
Çentikler 0°, 45°, 90° olmak üzere 3 farklı açı değerinde oval geometride (Şekil 1) İzmir'de faaliyet gösteren Egesky Makina tarafından CNC tezgahta açılmıştır. Çentiklere dair bir standart mevcut değildir çentik boyları ve şekilleri literatürdeki çalışmalar incelenerek literatürün eksikliğini giderecek şekilde uygun görülen geometrilerde oluşturulmuştur.



Şekil 1. Çelik numunelere çentik açılması (45° açılı).

2.2. Yama Malzemesi

Bu çalışmada karbon fiber takviyeli polimer kompozitin yama olarak kullanılabilme kabiliyeti araştırılmıştır. Çalışmada el yatarması ve sıcak kalıplama tekniği (Şekil. 2) ile karbon/epoksi plakalar üretilerek bu plakalardan yamalar elde edilmiştir. Bu bağlamdasıcak kalıplama işlemi İzmir'de faaliyet gösteren Meduza Karbon Şirketinde yapılmıştır (8 bar basınç ve 100 °C sıcaklık ile). Kalıplama sonrası kürleşen plakanın kenarlarındaki epoksi çapakları yine Meduza Karbon şirketinde elektrikli kompozit testeresi ile temizlenmiştir.



Şekil 2. Kompozit plakaların kürleştirilmesi.



Şekil 4. Kompozit yamaların yapıştırılması.

2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri üç farklı açı yönünde yamasız tek yön yamalı ve çift yön yamalı olarak her bir konfigürasyon için 3 tekrar olacak şekilde toplam 27 numune hazırlanmıştır. Kompozitler anizotropiktir: lif yönünde (eksenel yönde), kompozitler çok mukavim olabilirken, enine transverse yönde dayanımları çok daha düşüktür. Transverse yönde, kompozitler sıyrılmaya yüküne maruz kalarak, yamalar yapıştırıcıdan önce hasara uğrayabilmektedir (Neto, vd., 2012). Bu nedenle kompozit yamalar aksel yönünde elyafların bulunduğu oryantasyonda [0,45,-45,45,-45,0] kesilmiştir.

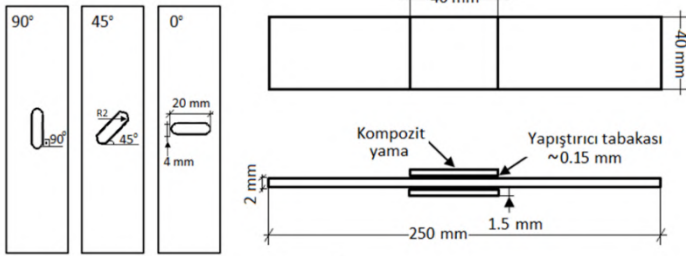
RK-7100 yüksek çekiş, kesme ve soyulma mukavemetiyle plastikler, metaller, ahşap ve seramikler gibi pek çok maddeyi kendileriyle ve birbirlerine yapıştırmak için kullanılabilir. Özellikle yüksek dayanıklılık gerektiren yapısal yapıştırmalar için uygundur. Yüksek viskozitesi sayesinde dikey yüzeylerdeki uygulamalar için de uygundur (Weicon, 2018). Yapıştırmada kullanılan Weicon RK-7100 yapıştırıcının teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yapıştırıcının teknik özellikleri (Weicon, 2018).

Teknik Özellikler	Değer
İçerik	Metil metakrilat
Çekmede kesme ayanımı	22 N/mm ²
Uygulama sıcaklığı	+10 ile +40 °C arası
Nihai sertleşme	12 saat
Sıcaklık dayanımı	-55 ile +125 °C arası

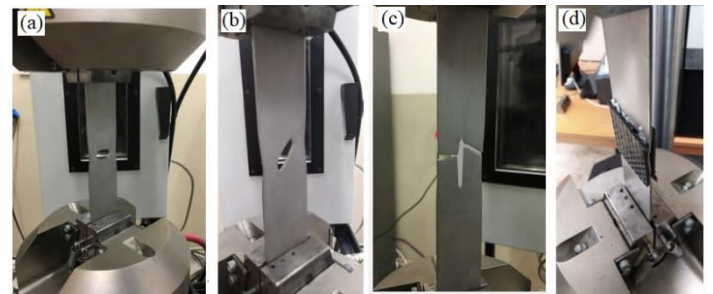
2.3. Deneysel Çalışmalar

Deneylerin tamamı Pamukkale Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında, Instron 8801 test cihazı ile ortam koşullarında 5 mm/dk çekme hızında deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler test cihazının çenelerine aksel yönlü bağlanmışlardır çenelerin kavrama mesafesi 50 mm' ve çekilen bölgenin dikey uzunluğu 200 mm'dir. Çekme deneyleri 0° çentikli numune Şekil 5(a), 45° çentikli numune Şekil 5(b), 90° çentikli numune Şekil 5(c) ve çift tarafı yamalı numune Şekil 5 (d)'de görülmektedir. Deneyler her bir parametrede üçer kez tekrar edilerek ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3. Çentik açıları ve numunenin teknik resim çizimi.

Yamaların yapıştırılması Weicon RK-7100 çift komponent yapıştırıcı ile yapılmıştır. Mükemmel bir yapışma elde edebilmek için paslanmaz çelik numunelerin yapıştırma yapılacak bölgeleri elektrik motoruna bağlı döner keçe ile temizlenmiştir. Sonrasında Weicon yüzey temizleyici sıkılarak parça yüzeyi yapıştırmaya hazır hale getirilmiştir. Yapıştırıcı yüzeye sürüldükten sonra yaklaşık 5 dk. içerisinde kürleşmeye başlamaktadır. Bu nedenle seri bir şekilde yamalar yapıştırılmıştır (Şekil 4). Yapışmanın en iyi şekilde olması için yama yapıştırılmış numuneler üç gün süre ile beklemeye alınmıştır. Bekleme sürecinde sıkıştırma mandalları ile yamalara bası kuvveti uygulanmıştır. Bu mandalların uyguladığı bası kuvveti eşdeğer olduğundan dolayı yaklaşık 0,15 mm kalınlığında yapıştırıcı tabaka oluşmuştur.



Şekil 5. Çekme deneyleri: 0° çentikli numune (a), 45° çentikli numune (b), 90° çentikli numune (c), 90° çentikli çift tarafı yamalı numune (d).

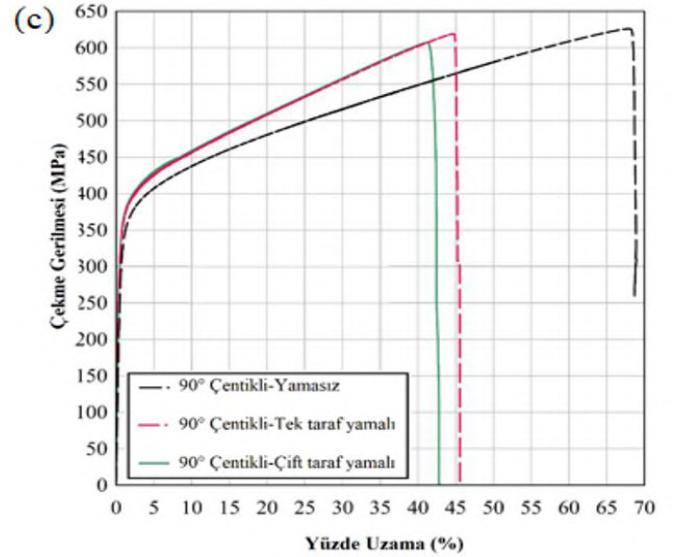
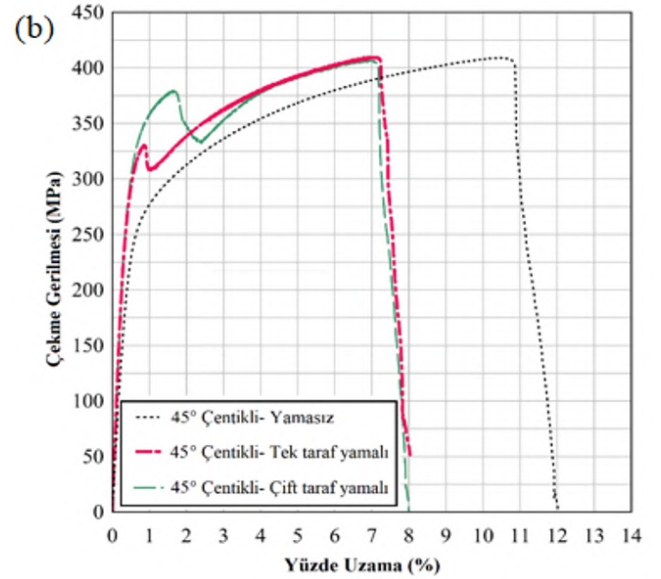
3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çekme deneyleri sonucunda gerilme-uzama grafikleri elde edilmiştir. 0° çentikli numunenin çekme uzama eğrileri Şekil 6(a)'da gösterilmiştir. 0° yamasız numunenin nihai çekme dayanımı 400 MPa tek tarafı yamalı numunenin 337 MPa çift tarafı yamalı numunenin 375 MPa olarak tespit edilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere yamalar akma dayanımlarına direkt etki etmişlerdir. Çift yamalı numunenin akma dayanımı 385 MPa tek tarafı yamalı numunenin akma dayanımı 275 yamasız numunenin akma dayanımı 225 MPa olarak tespit edilmiştir.

Şekil 6(b)'de 45° açılı numunelerin çekme davranışları incelendiğinde yamasız, tek tarafı yamalı ve çift tarafı yamalı numunelerin çekme dayanımı 410 MPa olarak tespit edilmiştir. Akma dayanımları yamasız 250 MPa tek tarafı yamalı numunenin akma dayanımları 330 MPa çift tarafı yamalı numunenin akma dayanımları 360 MPa olarak tespit edilmiştir.

0° ve 45° 'li çentik açılı numenlerde yama koştugu anda gerilme ani bir şekilde düşmektedir fakat 90° çentik açılı numunelerde bu durum gözlenmemiştir. 90° çentik açılı numunelerin akma dayanımları ve nihai çekme dayanımları bir birlerine yakın değerler şeklinde yaklaşık olarak akmada 300 MPa ve nihai çekmede 620 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 6 (c)).

Khalili S.M.R. ve arkadaşları kenar çentikli çelik plakaları fiber takviyeli epoksi yamalar ile tamir etmişlerdir. Çalışmalarında çift yamalı tamirat ile numunelerin çekme dayanımlarında % 17,9 artış elde etmişlerdir. Bu çalışmada ise çift taraflı yamalar akma dayanımlarını yamasız numunelere kıyasla 0° açılı numunelerde yaklaşık % 71,1 ve 45° açılı numunelerde % 44 son olarak 90° açılı numunelerde çok küçük nispi bir artış sağlamıştır. Nihai çekme dayanımları ise genel olarak bir birlerine benzerdir.



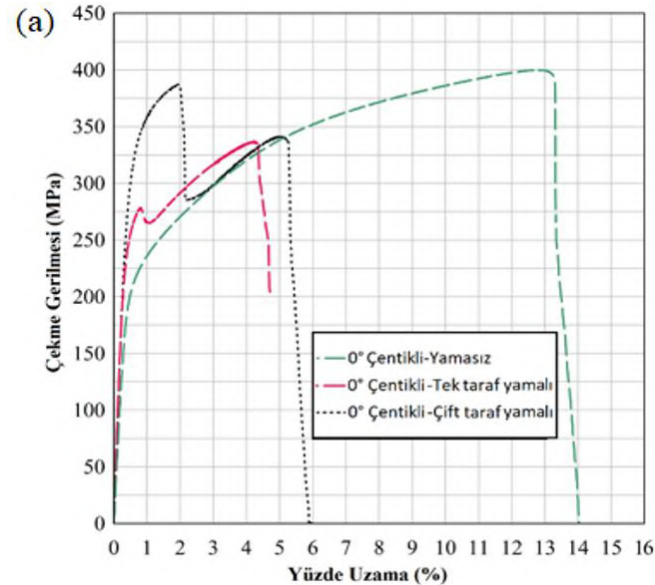
Şekil 6. Çekme gerilmesi-yüzde uzama grafikleri: 0° çentikli numune (a), 45° çentikli numune (b), 90° çentikli numune (c).

4. Sonuç

Weicon RK-7100 yapıştırıcı çelik ve karbon/epoksi kompozit arasında yüksek yapıştırma performansı göstermiştir. Yamalar çelik numunelerin akma dayanımlarını belirgin bir şekilde iyileştirmişlerdir. Bu olumlu etki çeliğin akma dayanımını arttırarak çeliğin plastik deformasyon eşiğini arttırmaktadır. Çift taraflı yamalar akma dayanımlarını yamasız numunelere kıyasla 0° açılı numunelerde yaklaşık % 71,1 ve 45° açılı numunelerde %44 son olarak 90° açılı numunelerde çok küçük nispi bir artış sağlamıştır. Nihai çekme dayanımları ise genel olarak bir birlerine benzerdir. Buradan kompozit yamalı numunelerin daha az aktığı anlaşılmaktadır. Son olarak çalışma kompozit yamaların bu tür çentik hasarların tamiratında pratik bir tamir elemanı olarak kullanılabileceğine dair olumlu düşünceler oluşturmuştur.

Kaynakça

Aabid, A., Hrairi, M., Ali J. S. M., (2020). Optimization of composite patch repair for center-cracked rectangular plate



- using design of experiments method. *Materials Today: Proceedings*, 27, (1713-1719).
- Cowdrey, S., Ferguson, C., Lennox, A.F., Mauro, P., Neummayer, R., Orme, B., Müller, M., (1998). *Loctite Worldwide Design Handbook*, Germany.
- Daryabor P. ve Safizadeh M. S., (2017) Image fusion of ultrasonic and thermographic inspection of carbon/epoxy patches bonded to an aluminium plate, *NDT and E International*, 90, (1-10).
- Ergün, R.K., (2008). Eliptik delikli alüminyum levhaların kompozit yama ile tamir edilmesinin gerilme davranışına etkisinin deneysel ve sayısal araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Hu, B., Liu, Y., Yu, R., (2020). Numerical simulation on magnetic-mechanical behaviors of 304 austenite stainless steel, *Measurement*, 151, (1-10).
- Kashfuddoja, M. ve Ramji M., (2014). Design of optimum patch shape and size for bonded repair on damaged carbon fibre reinforced polymer panels, *Materials and Design*, 54, (174-183).
- Ki-Hyun, C. ve Yang W., (2003). A study on the fatigue crack growth behavior of thick aluminum panels repaired with a composite patch, *Composite Structures*, (60), (1-7).
- Khalili S.M.R., Shiravi M. and Nooramin A.S. (2010). Repaired with polymer composite and smart patches-experimental study, *Journal Of Reinforced Plastics And Composites*, 29, 3021-3037.
- Lebaupin Y., Friedli J., Caglar B., Piccand M., Pasquier, R., Michaund V., (2019). Crushing and intrusion resistance improvement of aluminum beams by carbon/epoxy composite patches. *Composites Structures*, 226, (1-10).
- Liao, J., Tan, J., Wu x., Ning D., Xue G., Yao W., (2019). Corrosion fatigue behavior of 304 stainless steel notched specimen in high temperature pressurized water, *Materials Science & Engineering A*, 748, (137-145).
- Liu X. ve Wang G., (2007). Progressive failure analysis of bonded composite repairs, *Composite Structures*, 81, (331-340).
- Saylık, A., (2016). Kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli alüminyum levhalarda gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ.
- Natarajan, Y., Murugesan P.K., Mohan, M., Khan, S.A.L.A., (2020). Abrasive water jet machining process: A state of art of review, *Journal of Manufacturing Processes*, 49, (271-322).
- Neto J.A.B.P., Campilho R. D. S. G., Silva L.F.M., (2012). Parametric study of adhesive joints with composites, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 37, (96-101).
- Nguyen P.L., Vu X. H., Ferrier E., (2018). Elevated temperature behaviour of carbon fibre-reinforced polymer applied by hand lay-up (M-CFRP) under simultaneous thermal and mechanical loadings: Experimental and analytical investigation, *Fire Safety Journal*, 100, (103-117).
- Özenc M. ve Şekercioğlu T., (2014). Effect of surface pre-treatment and temperature on the adhesive strength of hybrid aluminum Joints, *Kovove Mater*. 52, (1-10).
- Pradhan S.S., Mishra U., Biswal S.K., (2020). Experimental study on mechanical performance of cracked aluminium alloy repaired with composite patch. *Materials today: Proceedings*, (26) 2, (2676-2680).
- Uslu M., (2020). Yama ile tamir edilmiş çentikli kompozit levhalarda hasar analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, sf. 39.
- WEICON GmbH & Co. KG, WEICON çift komponent yapııştırıcı, (2018).
https://www.weicon.com.tr/media/pdf/33/7a/92/TDS_10566050-39_TR_Easy-Mix_RK-7100.pdf



Thermionic Electron Gun Design and Prototyping

Hakan Çetinkaya^{1*}, Aydın Özbey², Alperen Yüncü³

^{1*} Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1466-5930), [hchetinkaya@gmail.com](mailto:hcetinkaya@gmail.com)

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7097-4044), ozbeya@istanbul.edu.tr

³ Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Physikalische Institute, Heidelberg, Almanya (ORCID: 0000-0001-9696-9331), ayuncu@cern.ch

(First received 14 October 2020 and in final form 9 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.809155)

ATIF/REFERENCE: Çetinkaya, H., Özbey, A. & Yüncü, A. (2021). Thermionic electron gun design and prototyping. European Journal of Science and Technology, (23), 702-709.

Abstract

A prototype thermionic electron gun is designed and produced at Bogazici University's KAHVE Laboratory to gain experience on electron sources towards industrial electron beam applications. The electron gun includes a thoriated tungsten filament, a Wehnelt cup, an anode, a Faraday cup and a solenoid. Electron gun simulations were performed by using the IBSimu program. The produced electron gun is operating at 20 kV and produces beam currents up to 3 mA. This paper reports the experimental results and encountered problems during the construction of the thermionic electron gun.

Keywords: Particle sources, simulation, solenoid magnet

Termiyonik Elektron Tabancası Tasarımı ve Prototip üretimi

Öz

Boğaziçi Üniversitesi KAHVE Laboratuvarı'nda prototip termiyonik elektron tabancası, endüstriyel elektron demeti uygulamalarında deneyim kazanmak amacıyla tasarlanmış ve üretilmiştir. Elektron tabancası toryum kaplı tungsten filament, Wehnelt bardağı, Faraday bardağı ve solenoid bileşenlerinden oluşmaktadır. Elektron tabancası benzetimleri IBSimu isimli program kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen elektron tabancası, 20 kV potansiyel ve 3 mA'e kadar demet akımında çalışmaktadır. Bu çalışma, termiyonik elektron tabancasının üretimi sırasında karşılaşılan sorunları ve deneysel sonuçları raporlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Parçacık kaynakları, benzetim, solenoid mıknatıs.

* Corresponding Author: hchetinkaya@gmail.com

1. Introduction

Natural radioactive materials and man-made radiation sources are used in various areas of our life ranging from industry to medicine. Natural radioactive materials have applications like production of wood - plastic composites by gamma irradiation induced polymerization, degradation of PTFE, polymer flocculant, synthesis of chemicals, sterilization, food irradiation Machi, Yuan, & Sevastyanov, 1983; Bakrajia, Salmana & Al-kassirib, 2001). As the usability of natural radioactive sources are limited, artificial radiation sources, like electron and ion accelerators, are invented and used since the early 20th century.

Electrons and protons have different properties, therefore both are accelerated and used in different areas. Electrons approach the speed of light after just a few MeV energy gain, corresponding to a few meters of acceleration, the rest of the accelerating structure becomes periodic. Protons acceleration is much slower thus the proton machines are much longer than their electron counterparts and the accelerating structure needs to differ in each acceleration step (Vretenar, 2005). Some industrial applications of the electron accelerators up to 10 MeV are surface curing, shrink film, wire and cable insulation, sterilization, food irradiation, tires, electron microscopes, melting, welding, drilling, disinfection, coating, etc.. (International Irradiation Association (IIA), 2011; Studer, 1990; Eucard-2, 2017). Ion accelerators with energies up to few MeVs have applications in air pollution reduction, in archaeo-geology, in the semiconductor industry, in proton-beam writing, in nanomaterials and polymers (Eucard-2, 2017; Barbalat, 1990; Bhandari & Malay Kanti Dey, 2011). It is necessary to produce electron and ion beams before any acceleration could occur. Electron and ion beams can be generated with different techniques and therefore a particle source is the general name for both electron and ion sources.

Particle sources are the most basic nevertheless the most important structure of the both electron (electron gun) and ion (ion source) accelerators. The properties of the beam needed by relevant application are determined by the particle sources, and it is important for the rest of accelerator structure. Particle source design requires special attention and work experience (Scrivens, 2003).

A cathode is a metal that emits electrons from its surface. There are different types of cathodes like hot (directly and indirectly heated) and cold cathode (Radio Corporation of America, Electron Tube Division (RCA), 1943; Iqbal & Aleem, 2005). Beam parameters are directly related to the cathode and gun design. The physical phenomena of beam generation can be classified as Thermionic emission, high field emission and photo emission (Iqbal et al., 2005). Thermionic electron guns are mostly used in industrial accelerators (Nazari, Abbasi, Ghasemi, Haghalab & Ahmadiannanim, 2017) and the rest of the paper will focus on it.

Tungsten and LaB6 cathodes are examples of cathodes that are used as an electron source in the thermionic electron guns. These met requirements for emission capability, ease of maintenance, low cost and also ease of finding the supplies. A filament is heated until the energy of electrons inside the cathode is enough to overcome the work function, then the electrons are emitted into the vacuum environment. Liberated electrons are

pushed towards the anode by applying an electric field between cathode and anode (typically thousands of volts) (RCA, 1943; Iqbal et al., 2005; Koquire, 2013). The lifetime of the cathode is important for the stable operation of the electron gun. The total operation time depends on the evaporation of the filament which itself depends on the filament heater current (beam current), wire diameter, wire length, cathode heating time, etc (RCA, 1943; Virag & Murin, 2008). It is assumed that filament lifetime ends when 10% of the material is evaporated (Harbough, 1962). It was found out by Langmuir that mixing thorium oxide (thoria) with pure tungsten increases the emission capacity of the filament. Thoria percentage is typically around 1 to 2%. Pure tungsten has a work function of 4.5 eV whereas thoriated tungsten has a work function of 2.63 eV. Pure tungsten cathode works around 2700 K and thoriated tungsten cathodes works around 2000 K (RCA, 1943; Harbough, 1962).

Kandilli Detector, Accelerator and Instrumentation (KAHVE) Laboratory, aiming to develop particle detectors and particle accelerators, is located at the Bogazici University Kandilli Campus, in Istanbul, Turkey. A prototype of 20 keV, thermionic electron gun with thoriated tungsten filament is designed, developed and tested in KAHVE Laboratory with an aim of gaining experience on electron gun for later development of industrial applications like electron beam welding, electron microscope and high energy electron accelerators.

2. Prototype Design

The prototype consists of a filament, a Wehnelt cup, an anode, a solenoid to focus the electron beam and a Faraday cup. Acrylic glass and Pyrex glass is used as a vacuum chamber. A thorium coated tungsten, denoted as W(Th), wire is used as a filament. The filament is heated by using a variac and held at negative voltage with respect to ground. A special made isolation transformer is used between variac and high voltage power supply. Series of resistors are connected between the Wehnelt cup and filament for self-bias. Self-bias is used to stabilize the beam current by producing a negative feedback loop (Munakata & Watanabe, 1962). Anode is held at ground voltage. A solenoid is designed and produced to focus the beam. A simple, long faraday cup is used to measure the beam current.

There are various simulation programs to help with the electron source design by tracking particles; some examples are CST, Egun, IBSimu, etc (Lee, Kim, Ghergherehchi, Shin, Lee, Y.S., Yeon, Lee, B.N. & Chai, 2014; Herrmannsfeldt, 1997; Kalvas, Tarvainen, Ropponen, Steczkiewicz, Ärje & Clark, 2010). For this prototype, simulations were performed to understand the behaviour of the beam before the production stage was started (Hoseinzade, Nijatje, & Sadighzadeh, 2016).

2.1. Electron Gun Simulation

Electron gun design is performed by using the C++ IBSIMU program, which is actually used for ion beam extraction from plasma. It can also be used to track charged particles like electrons. The program can track particles in 2 dimensional, 3 dimensional and in cylindrical coordinates. It solves Poisson Equation by using the finite difference method by including the space charge effect (Kalvas et al., 2010).

Cylindrical coordinates are used in the simulations for simplicity. Number of particle trajectories, beam current density, beam dimensions, beam divergence, beam geometry, particle

starting energy, electrical potentials and magnetic field if available are some of the required input parameters for IBSimu.

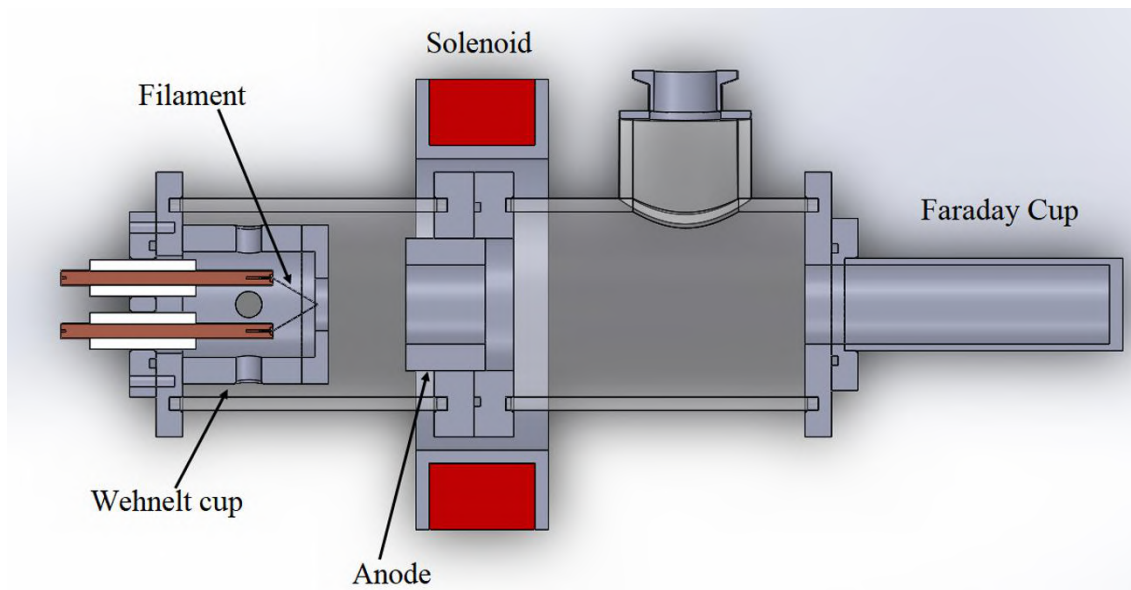


Fig. 1. Schematic of prototype Thermionic electron gun

It is not possible to define the surface for electron emission in IBSimu so the electrons emitting from the filament is defined as a point source by assuming that it is equal to filament radius. The emitted maximum current density is given by Richardson-Dushman equation (Iqbal et al., 2005; Harbough, 1962):

$$J=AT^2 e^{(-W/kT)} \quad (1)$$

where J is the emission current density, A is the Richardson constant and typically 3 (A.cm⁻².K⁻²) for thoriated tungsten, T is the temperature of filament (K), W is the work function of material (eV) and k is the Boltzmann constant.

Current densities are calculated by using Richardson-Dushman equation (Iqbal et al., 2005; Harbough, 1962) for thoriated tungsten for different temperatures which are given in Table 1 and then used as an input for IBSimu.

Electron beam trajectory was initially calculated as in Figure 2 for 20 kV potential difference and the diverging beam was seen at the Faraday cup location. It was therefore determined that a solenoid was required to focus the beam.

Table 1. Current densities calculated by Richardson-Dushman equation for thoriated tungsten filament

Filament Temperature (K)	Current Density (A/m ²)
1500	94.4
1600	384.1
1700	1335
1800	4065.8
1900	11077.8
2000	27448.3

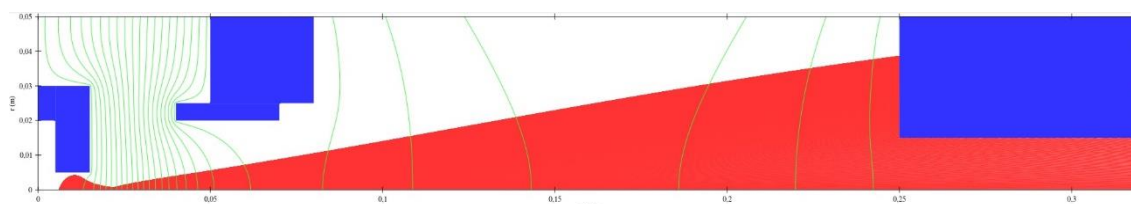


Fig. 2. Electron beam trajectory

2.2. Magnetic Field Design

A magnetic field map is generated by using the Poisson Superfish program and imported to IBSimu. A solenoid was tested in different locations. Electron trajectories can be seen

from Figure 3 when the solenoid magnetic field map was imported.

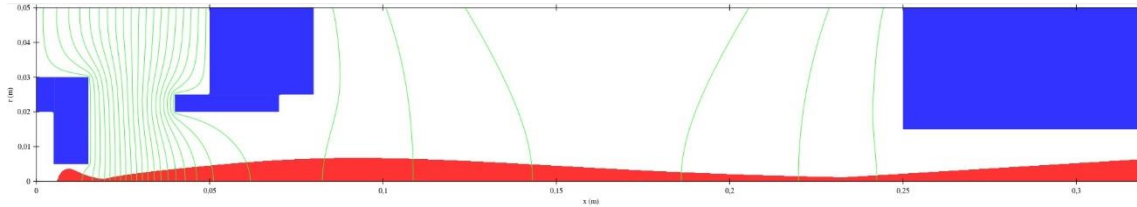


Fig. 3. Electron beam trajectory with magnetic field.

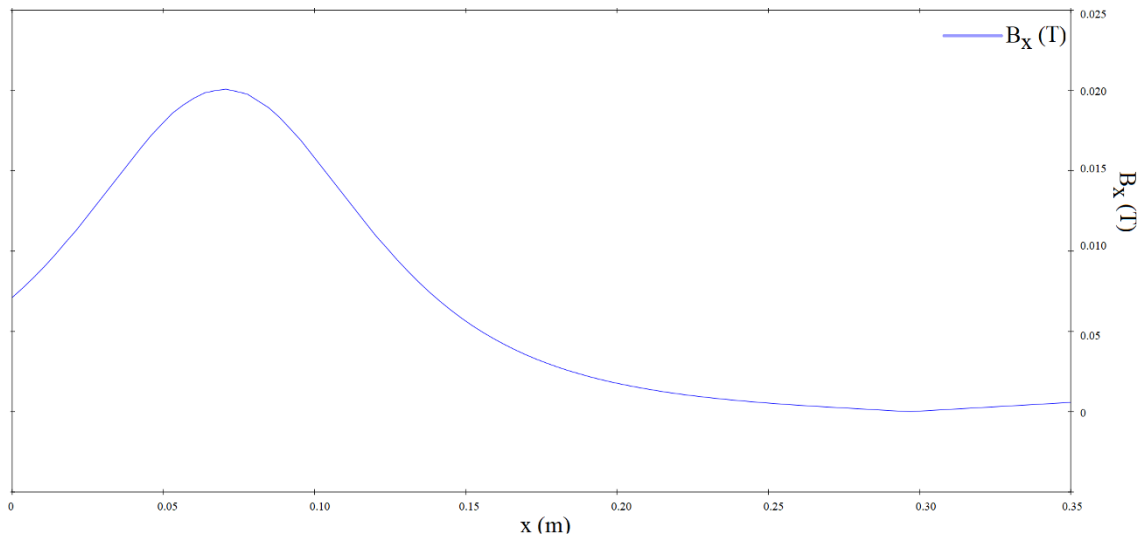


Fig. 4. Magnetic field imported to electron gun design

Two different solenoids were designed for the tests by using Poisson Superfish program (Billenand & Young, 1987). First solenoid has an inner radius of 70 mm, length 45 mm with a 384 turns which was wound around the teflon pulley with a copper diameter of 2.8 mm. Hereafter, this solenoid will be mentioned as solenoid-A. Trials were conducted with solenoid currents of 6

to 11 A's and after sometime, it was determined that teflon pulley of the design-A was started to melt down because of high temperature and it was getting hard to center the beam. Later it was decided to measure the coil magnetic field to understand the problem. It is seen from Figure 5 that the solenoid magnetic field was shifted because of the heat melting the pulley.

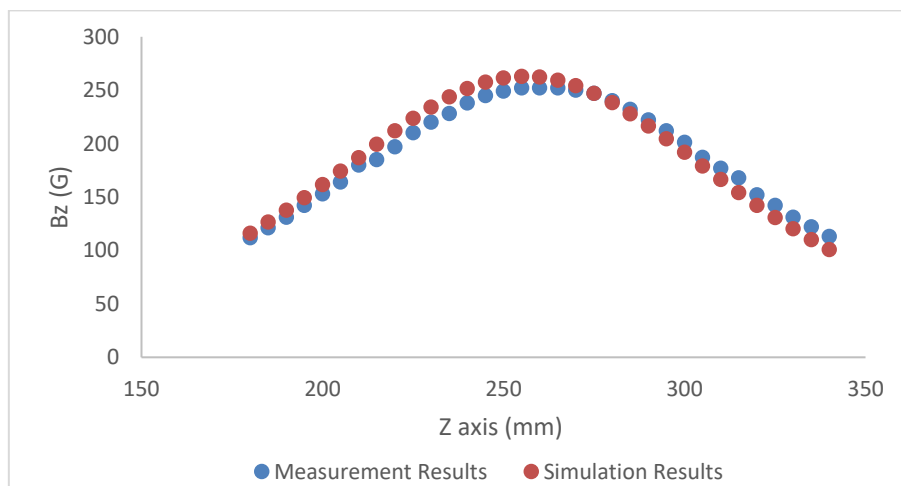


Fig. 5. Solenoid design-A magnetic field comparison between simulation and measurement

Later a new solenoid was designed labeled as solenoid design-B. Second solenoid has an inner radius of 60 mm, length 40 mm with an 800 turns which was wound around the aluminum pulley with a coil diameter of 1 mm, inside of the aluminum pulley is covered with teflon, this solenoid will be mentioned as solenoid-B. Teflon was initially used as a pulley to prevent sparks between the metallic components and the

solenoid because initially it was thought that solenoid can be placed to different locations where high voltage can be found. The magnetic field of the solenoid was measured after fabrication. These measurements were performed to verify the simulation results. Simulation and measurement comparison results are given in Figure 6. It is seen that the simulated and measured magnetic fields are in good agreement with each other.

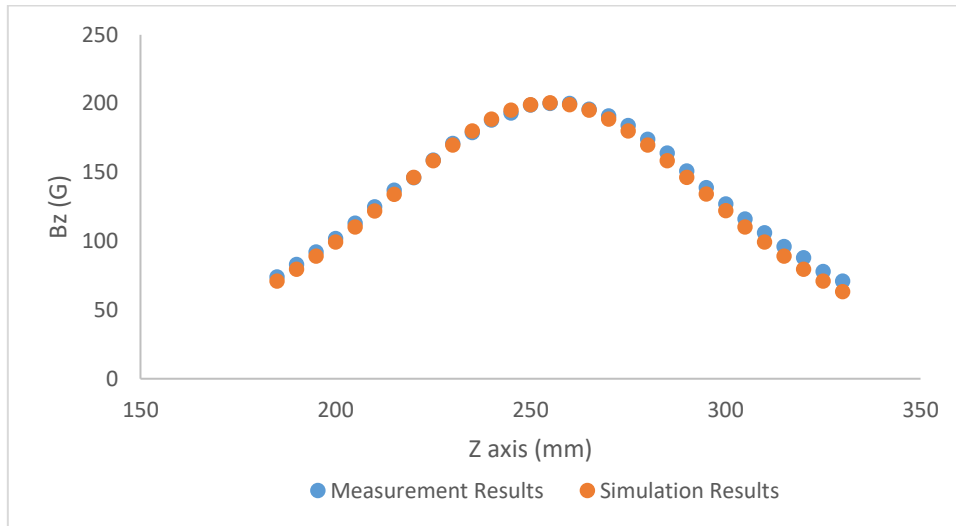


Fig. 6. Solenoid design-B magnetic field comparison between simulation and measurement

3. Experimental Results

System was tested for the vacuum at the initial stage. Vacuum was measured from the output of the vacuum port by using KF25 tee by using Edwards WRG-S-NW25 vacuum gauge. Vacuum is around 9×10^{-6} mbar level before starting the tests. After that, the system was tested for high voltage and no sparks were detected.

A long Faraday cup was used to measure beam current to prevent the escape of electrons because it can be resulted as positive or negative beam current readings (Bahrami, Yasrebi & Rashidian, 2009). Faraday cup does not have any biasing ring. A dc ammeter was connected to Faraday cup for beam current readings. A second ammeter was also connected to the anode to

detect the hitting particles. A pens ammeter was placed between variac and filament to detect filament current.

First tests were performed by using pure tungsten filament with a diameter of 0.51 mm and 0.25 mm but it required too much filament current (about 9A and above) for high beam currents, generates too much heat and we had problems in acrylic and pyrex glass. Our design was not suitable for this. Pure tungsten filament also becomes too fragile when we try to change its location after heating.

Later the filament was changed with thoriated tungsten that has a 1% thorium and 99% tungsten. Filament was heated slowly and then high voltage was applied to the Wehnelt cup. The photo of the fabricated electron gun during operation can be seen in Figure 7.

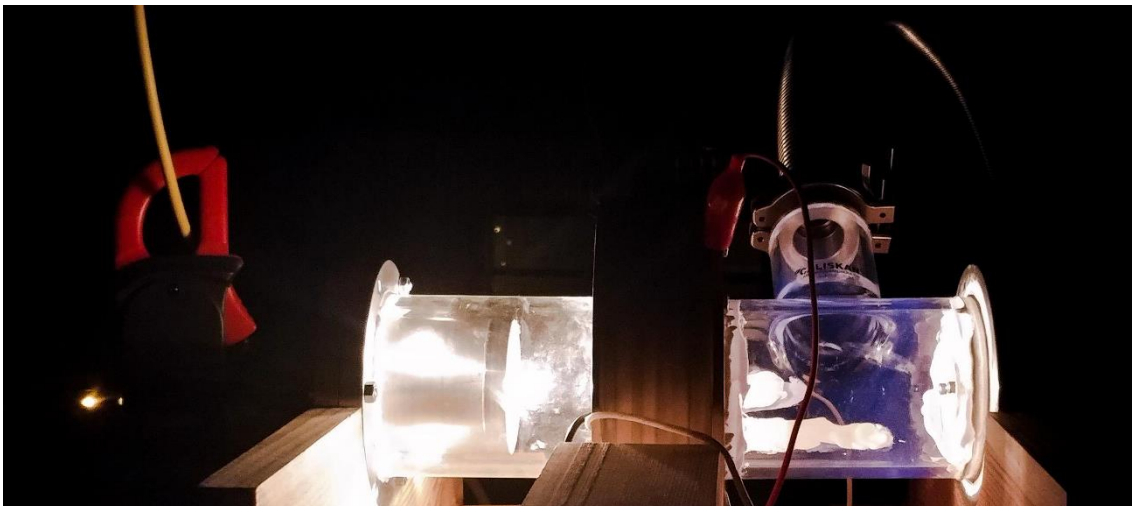


Fig. 7. Fabricated electron gun

Filament shape, filament current and self-biasing resistance values were determined after trials for best configuration. Determination of filament temperature was not the part of this study so it was not measured. Some results are given in Table 2 and Table 3 which were made in the same configuration. Differences between configurations are the replacement of the filament due to its overheating and the solenoid used in experiments.

Beam currents up to 3 mA were measured. It is seen from the Table 2 that higher beam currents were achieved with lower resistance values used for self-bias. Electron gun can run up to half hours with high beam currents but cooling is necessary for higher operation times. It is also determined that acrylic and Pyrex glass is not useful for high beam currents also for industrial applications.

Current measurements were performed in the anode electrode and up to 0.6 mA is measured. It is later determined that it is caused because of the misalignment of the solenoid, anode electrode and filament. Filament shape can be seen in Figure 8.

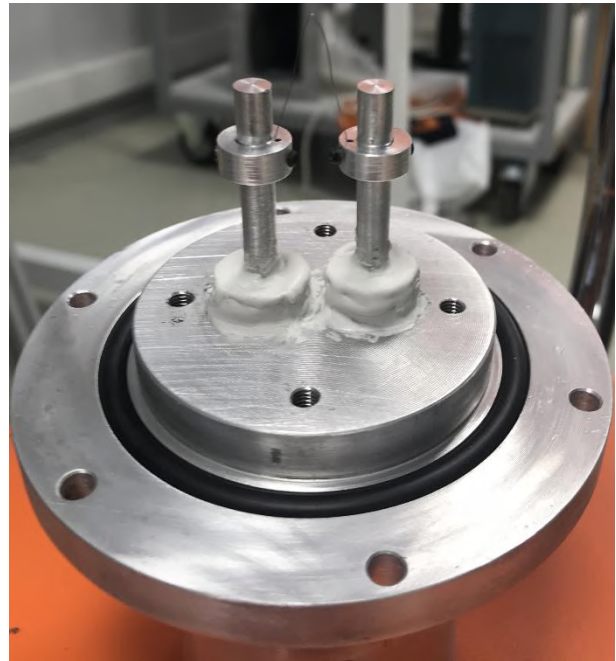


Fig. 8. Filament connections

Table 2. Electron beam current measurements by using solenoid A

Filament current (A)	R (kOhm)	Wehnelt Voltage (kV)	Solenoid current (A)	Beam current (mA)	Anode current (mA)
2.71	10	20	7.37	2.4	0.6
2.74	50	20	7.82	1.19	0.3
2.71	100	20	9.86	0.7	0.19
2.71	200	20	10.78	0.47	0.098
2.71	300	20	7.82	0.35	0.078

Table 3. Electron beam current measurements by using solenoid B

Filament current (A)	R (kohm)	Wehnelt voltage (kV)	Solenoid Current (A)	Beam current (mA)	Anode current (mA)
2.53	20	20	2.50	1.23	0.35
2.63	20	20	2.94	1.77	0.386
2.74	20	20	2.94	2.78	0.6

A phosphorous screen was prepared and placed at the Faraday cup location to measure the beam spot size but the measurement was not successful as the screen was damaged due to high current when beam focused. Instead of this method, the beam was focused on a metal surface and heated, after

sometime, the beam spot size becomes visible as seen in Figure 9. A copper surface was used at first tests as seen in Figure 7, a plasma was formed at the Faraday Cup side and afterwards it was decided not to use it.



Fig. 9. Beam spot size shown by the black arrow

4. Discussion

The prototype was built to increase the know-how of our laboratory for future studies with a low budget and we faced several problems to fix for the future results. There are limitations for this prototype essentially because of excessive heating:

- The solenoid's magnetic field drops because of heat as a result of longer operation times and a water cooling system is required.
- The pyrex glass can easily be damaged during the heat exchanges. More sturdy materials like alumina and ceramic should be considered for further studies.

There is also an outgassing problem in the acrylic glass used as a vacuum chamber and it is not good for vacuum.

The method of shaping the filaments by hand was finally found as a non-reliable method: it causes misalignment between the beam and beamline components, therefore becoming one of the error sources. It is also not repeatable. A more reliable method for shaping the filaments will be developed.

We measured the beam current with Faraday Cup, but it does not have a biasing electrode, this brings some doubts on the measurement results. A new Faraday Cup has to be designed with a biasing electrode, making it much more reliable.

There are also major differences between the simulation results and experimental measurements. Although the simulations give some information, they do not reflect the real world situations. The differences are mostly caused by misalignment (human error) issues. It is planned to place the deflection coils (steerer magnets) to fix the misalignments for future studies; the current prototype version does not have enough space for the steerer magnets. Additionally, the filament temperature to be measured for a realistic comparison.

Beam spot size measurements with phosphorus screens failed because of excessive electron beam power (between 20 to 60 Watt's) and a metal plate was used to determine the beam

focusing. Scintillator screen for high powers has to be used for a better understanding.

In summary, beam currents up to 3 mA are measured by using W(Th) filament. Higher beam currents required for industrial applications and longer operation times. This study has reached its purpose for this stage. The problems mentioned above should be solved for the next phase.

5. Acknowledge

This study is supported by Bogazici University Scientific Research Commission Project No: 11481. The authors are grateful to KAHVE Laboratory members and specially to E. Ergenlik, for their support. They would also like to thank G. Turemen and U. Kaya for their technical support and G. Unel for a careful reading of this manuscript.

References

- Bakrajia, E.A., Salmana, N. & Al-kassirib, H. (2001). Gamma radiation induced wood-plastic composites from Syrian tree species. *Radiation Physics and Chemistry*, 61: 137-141. [https://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X\(00\)00430-8](https://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X(00)00430-8).
- Barbalat, O. (1990). Applications of Particle Accelerators. In *CERN Accelerator School: Fourth General Accelerator Physics Course* (pp. 17-29). KFA, Julich, Fed. Rep. Germany.
- Bhandari, R.K & Malay Kanti Dey. (2011). Applications of accelerator technology and its relevance to nuclear technology. *Energy Procedia*, 7: 577-588.
- Billenand, J. & Young, L.M. (1987). *Poisson Superfish Reference Manual*. Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA. Report Number: LA-UR-96-1834.
- Harbough, W.E. (1962). Tungsten, thoriated-tungsten, and thoria emitters. *Electron Tube Design*, Radio Corp. of America, Harrison, NJ, 90-98.
- Herrmannsfeldt, W.B. (1997). Developments in the electron gun simulation. *Physica Scripta*, T71: 28-33.
- Hoseinzade, M., Nijatie, A. & Sadighzadeh, A. (2016). Numerical simulation and design of a thermionic electron gun. *Chinese Physics C*, 40 (5): 057003. <https://dx.doi.org/10.1088/1674-1137/40/5/057003>.

International Irradiation Association (IIA) (2011). Industrial Radiation with Electron Beams and X-rays. Revision 6.

Iqbal, M. & Aleem, F. (2005). Theory and design of thermionic electron beam guns. In American Institute of Physics Conference Proceedings, 748: 376-386. <https://dx.doi.org/10.1063/1.1896511>.

Kalvas, T., Tarvainen, O., Ropponen, T., Steczkiewicz, O., Ärje J. & Clark, H. (2010) IBSIMU: A three-dimensional simulation software for charged particle optics. Review of Scientific Instruments, 81:02B703 (1-3). <https://dx.doi.org/10.1063/1.3258608>.

Kogure, T. (2013). Electron microscopy. Developments in Clay Science, 5: 275-317. <https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-098259-5.00011-1>.

Lee, J.C., Kim, H., Ghergherehchi, M., Shin, S.W., Lee, Y.S., Yeon, Y.H., Lee, B.N. & Chai, J. (2014). Design and analysis of an electron beam in an electron gun for x-ray radiotherapy. In 5th International Particle Accelerator Conference, International Particle Accelerator Conference 2014; Dresden, Germany, pp. 688-691. <https://dx.doi.org/10.18429/JACoW-IPAC2014-MOPRI040>.

Machi, S., Yuan, H.C. & Sevastyanov, Y.G. (1983). Isotopes and radiation for modern industry. International Atomic Energy Agency Bulletin; 25 (1): 11-14.

Munakata, C. & Watanabe, H. (1962). A new bias method of an electron gun. Journal of Electron Microscopy, 11(1): 47-51. <https://dx.doi.org/10.1093/oxfordjournals.jmicro.a049328>.

Naieni, A.K., Bahrami, F., Yasrebi, N. & Rashidian, B. (2009). Design and study of enhanced Faraday cup detector. Vacuum, 83: 1095-1099. <https://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.2009.01.005>.

Nazari, M., Abbasi, F., Ghasemi, F., Haghlab, S. & Ahmadiannanim, S. (2017) Design, simulation and compare of flat cathode electron guns with spherical cathode electron guns for industrial accelerators. In Proceedings of International Particle Accelerator Conference 2017; Copenhagen, Denmark, pp. 702-704.

Radio Corporation of America, Electron Tube Division. (1943) RCA HB-3 Electron Tube Handbook. Harrison, NJ, USA.

Scrivens, R. (2003). Electron and ion sources for particle accelerators. In CERN Accelerator School: Intermediate Accelerator Physics; Zeuthen, Germany. pp. 495-504. <https://dx.doi.org/10.5170/CERN-2006-002.495>.

Studer, N. (1990). Electron beam crosslinking of insulated wire and cable: Process economics and comparison with other technologies. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation, Part C, 35 (4-6): 680-686.

The EuCARD-2 Collaboration. Applications of Particle Accelerators in Europe. (2017). Report number: CERN-ACC-2020-0008.

Virag, M. & Murin, J. (2008). Thermal field simulation of a tungsten filament lamp referring to its lifetime. Journal of Electrical Engineering, 56(9-10): 252-257.

Vretenar, M. (2005). Differences between electron and ion linacs. In CERN Accelerator School: Small Accelerators. (pp. 179-200). The Netherlands. <https://dx.doi.org/10.5170/CERN-2006-012>.



Toprak Üstü Yığın Siloda Sıkıştırma Tekniğinin Sıkıştırma Basıncı, Sıcaklık ve Sıkıştırma Süresi Üzerine Etkileri

Yavuz Odabaş¹, Fulya Tan^{2*}

¹ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3952-9246), yavuz_odabas@hotmail.com

^{2*} Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0037-4251), ftan@nku.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 26 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 15 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.816628)

ATIF/REFERENCE: Odabaş, Y., Tan, F. (2021). Toprak Üstü Yığın Siloda Sıkıştırma Tekniğinin Sıkıştırma Basıncı, Sıcaklık ve Sıkıştırma Süresi Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 710-716.

Öz

Silaj yapımında en önemli faktör sıkıştırma işlemidir. Bu aşamada kullanılan ekipmanlar, materyal özellikleri ve uygulanan yöntemler gibi bir çok faktör sıkıştırma etkinliği üzerine etkilidir. Kaliteli silaj elde etmede; yeterli seviyede ve silonun genelinde homojen bir sıkıştırmanın sağlanması önemlidir. Materyalin sıkıştırma seviyesi genel olarak materyal yoğunluğu ile ilişkilendirilmiştir. Ancak, silaj yapım sırasında bu durumu kontrol etmek zordur. Bu da bir çok parametrelerin etkili olmasından kaynaklanmaktadır. Bu araştırmada, sıkıştırma tekniğinin sıkıştırma basıncı, sıcaklık ve sıkıştırma süresi üzerine etkileri incelenmiştir. Silolama aşamasında sıkıştırma basıncının saptanması için basınç ölçümü esas alınmıştır. Araştırma saha koşullarında ve toprak üstü yığın siloda yürütülmüştür. Sıkıştırma ekipmanı olarak 92 BG sahip tek traktör kullanılmıştır. Sıkıştırma süresince sıkıştırma ekipmanı tarafından tek bir rota kullanılmıştır. Materyale uygulanan sıkıştırma basıncının saptanabilmesi amacıyla basınç algılayıcılar silo içerisinde önceden belirlenen ölçüm noktalarına yerleştirilmiştir. Bu noktalarda sıkıştırma basıncı tüm sıkıştırma süresi boyunca ölçülerek kaydedilmiştir. Aynı zamanda bu noktalara yerleştirilen sıcaklık sensörleri ile sıcaklık ölçümleri de yapılmıştır. Basınç ölçüm sistemi tarafından sıkıştırma süreleri de kayıt altına alınmıştır. Araştırma sonucu olarak, traktörün izlediği rota, materyalin sıkıştırma basıncı ve sıkıştırma süresi üzerinde etkisi önemli bulunmuştur. Ölçülen en yüksek sıkıştırma basıncı (0.35 bar) ve en yüksek sıkıştırma süresi (228 dk) silonun alt katmanında kaydedilmiştir. Sıkıştırma basıncın yüksek ölçüldüğü noktalarda sıcaklık da en yüksek değerde bulunmuştur. Silonun konumu sıkıştırma ekipmanının rotasını belirlemede önemli bir etken olmuştur. Bu nedenle silo yerinin seçiminde dikkatli olunması ayrıca önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Silaj, Sıkıştırma basıncı, Sıkıştırma süresi, Basınç, Rota.

Effects on Compaction Pressure, Temperature and Compaction Time of Compaction Technique in Pile Type Silo

Abstract

The most important factor in silage making is compaction. Many factors such as equipment used at this stage, material properties and applied methods are effective on the compression efficiency. For quality silage; it is important to ensure a sufficiently homogeneous compaction in the silo. The compaction level of the material has generally been correlated with the material density. However, it is difficult to control this during silage making. This is due to the effectiveness of many parameters. In this research, the effects of the compaction technique on compaction pressure, temperature and compaction time were investigated. A pressure measurement system is used to determine the compaction pressure. The research was carried out under field conditions and in a pile type silo. A 92 HP tractor was used as the compaction equipment. A single route was used during compaction. The pressure sensors are located at the pre-determined measuring points in the silo to determine the compaction pressure applied to the material. The compression pressure was measured and recorded at these points during the entire compaction period. Temperature was also measured by placing temperature sensors at the measuring points. At the same time, the compaction times were recorded by the pressure measurement system. As a result; the compaction equipment route has a significant effect on the compaction efficiency of the material. The highest compaction pressure (0.35 bar) and the highest compression time (228 minutes) were determined and in the bottom layer of the silo. Due to the tractor route, the compression pressure was measured high on the right side of the silo. Temperature values were found to be highest at the measurement points where compression pressure was highest. For this reason, it is also recommended to be careful in the selection of the silo location.

Keywords: Silage, Compaction pressure, Compaction time, Pressure, Route.

* Sorumlu Yazar: ftan@nku.edu.tr

1. Giriş

Ülkemizdeki hayvancılık işletmelerinin ana girdilerinin önemli bir bölümünü (% 50-70) yem giderleri oluşturmaktadır (Görgülü 2012). Bu nedenle düşük maliyetle, kaliteli yemlerin temini önemli hale gelmektedir. Özellikle süt hayvancılığının ekonomik hale getirilmesinde ve geliştirilmesinde kaba yemlerin önemi büyüktür (Ak ve Doğan 1997).

Mısır üretimi dünyada buğdaydan sonra ikinci sırada yer alırken, ülkemizde buğday ve arpadan sonra üçüncü sırada yer olmaktadır (Dellal ve ark. 2001). İnsan beslenmesinde ve tarıma dayalı endüstride önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda silajlık olarak hayvan beslemesinde de önemli bir kaba yem haline gelmiştir (Allen ve Kilkeny 1986). Mısır silajı, dünyada üretilen en ekonomik ve en yaygın kaba yem olup, beslemede yoğun olarak kullanılmaktadır (Kılıç 1986, Alçiçek ve Karaayvaz 2003).

Ülkemizde silaj yapımında, toprak üstü yığın silo kullanımı oldukça yaygındır. Silo tipinin belirlenmesinde genel olarak çiftçi olanakları, hayvan varlığı ve ekonomik düzey etkili olmaktadır. Toprak üstü yığın silolar; çok basit ve ucuz maliyetli silolardır. Bu nedenle de genellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler tarafından tercih edilmektedir. Ancak bu tip siloların kullanımı gerektiğinde siloların ahıra yakın, su tutmayan, düz veya çok az meyilli sert bir zemin seçilerek, zemin temizlenip düzeltildikten sonra silolama işleminin yapılması gereklidir.

Yığın silolarda sıkıştırma işlemlerinin yönetimi için kullanılan sıkıştırma ekipmanı genel olarak işletmenin sahip olduğu traktördür. Silo büyüklüğüne bağlı olarak yardımcı amacıyla yakın işletmelerden destek alınarak işlemler yürütülmektedir. Silaj yapımında aynı anda tarlada hasat devam ederken bir yandan siloda sıkıştırma işlemleri devam etmektedir. Bu nedenle ekipman kullanımının oldukça iyi planlanması silo yönetiminin başarısında önemlidir.

Etkin bir sıkıştırma işlemi, kaliteli silaj elde etmenin temelidir. Dolayısı ile sıkıştırma işleminin etkin olabilmesinde kullanılan sıkıştırma ekipmanının kütlesi (Muck ve Holmes 2000, Ruppel ve ark. 1995, Ruppel 1997), ekipmanın teknik özellikleri, yığın üzerinde uyguladığı sıkıştırma süresi (Roy ve ark. 2001, Ruppel 1993), sıkıştırma basıncı (Tan ve ark. 2017a, Tan ve ark. 2018, Savoie ve ark. 2004) lastik tip ve özellikleri gibi bir çok faktör etkilidir. Bunun yanında materyale ilişkin parametreler (hasat dönemi, kuru madde içeriği, parçalama boyu gibi) veya yönetim sistemi ile ilgili (ekipman sayısı, işletmenin özellikleri, çalışanların eğitim durumu gibi) bir çok faktör de etkilidir. Tüm bu faktörlerin etkin ve doğru yönetimi her zaman kolay ve yeterli yapılamamaktadır. Yetersiz yapılan sıkıştırmalarda ise materyaller daha uzun süre solunum yapmaya devam etmektedir. Bu durumda besin madde kayıpları oluşarak ortamda istenmeyen bakterilerin gelişmesine ve protein kayıplarına neden olabilmektedir (Holmes ve Muck 2007). Sıkıştırma etkinliğinin artmasına bağlı olarak oluşan materyal yoğunluğu arttıkça kuru madde kaybının aynı oranda azaldığı da ifade edilmiştir (Ruppel 1992). Siloda homojen olmayan bir sıkıştırmanın yapılması, silaj kalitesi açısından bir problem oluşturmaktadır (Latsch 2014).

Genel olarak bakıldığında küçük hayvancılık işletmeleri tarafından sıkıştırma ekipmanı olarak silo yönetiminde kullanılan traktörlerin de küçük kapasitede ve kütlede ekipmanlar olduğu bilinmektedir. Lastik olarak ise; çift lastik

uygulamaları veya lastik basınçlarına özellikle dikkat edilmediği de bilinmektedir. Mevcut aralıklarda kullanılan traktörlerin sahip olduğu ortalama kütlesi 3500 kg civarında olup, kabinli tip traktörler oluşturmaktadır. Silo yönetiminde genel olarak ortalama 90-99 HP gücünde ve ortalama 3.5 ton ağırlığına sahip traktörlerin kullanıldığını ifade edilmektedir (Odabaş, 2019). Silolamada sıkıştırmanın etkin yürütülmesinde traktör kütlesi önemlidir. Ancak, üreticiler sıkıştırma amaçlı iyi nitelikte ekipmanlara sahip olsalar bile her zaman iyi nitelikte silaj elde edememelerinin temelinde doğru olmayan silo yönetimi uygulamaları söylenebilmektedir.

Siloda kalite içeriği yüksek, bozulma oranı düşük silaj elde etmek için silo yönetiminde sıkıştırmaya yönelik uygulamaların bilinmesi ve uygulanması önemlidir. Yığın siloların sayıca fazla olması nedeni ile saha koşullarında yığın siloda uygulanan silolama tekniğinin izlenmesi çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu amaçla saha koşullarında çiftçi koşullarına müdahalede bulunulmadan yığın siloda uygulanan sıkıştırma basıncı ve silo içi sıcaklık değerleri ölçülerek, silo yapım başarıları hakkında fikir edinilmek istenmiştir. Silo yeri seçimi, silolama süresi gibi hiçbir konuda değişiklik yaratılmamıştır. Çiftçinin tüm silolama aşamasında tek sıkıştırma ekipmanı ve sıkıştırma ekipmanının tek rota kullanması nedeni ile sadece enine uygulanan rotanın etkisini görmek mümkün olmuştur.

Bu nedenle araştırmada kullanılan sıkıştırma tekniğinin sıkıştırma basıncı ve sıkıştırma süresine olan etkisi ifade etmek çalışmanın amacını oluşturmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneme Materyali ve Sıkıştırma Ekipmanı

Deneme Tekirdağ ili Banarlı köyünde özel şahsa ait bir hayvancılık işletmesinde saha koşullarında ve çiftçi koşullarına müdahale etmeden yürütülmüştür. Sıkıştırma ekipmanı, silo yeri seçimi, uygulanan rota ve silolama süresi çiftçinin silolama yönetimi olarak alınmış ve bu koşullar altında ölçümler yapılmıştır. Denemelerde silaj verimi yüksek, bölgede kullanım oranı yaygın bir çeşit olan Pioneer silajlık mısır çeşidi (P2948W) kullanılmıştır. İkinci ürün olarak silajlık mısır hasadı % 38 kuru madde içeriğinde yapılmış ve aynı gün silolama işlemi tamamlanmıştır.

Denemeler, silolama amacıyla kullanımı en yaygın olan olan toprak üstü yığın siloda yürütülmüştür. Yığın silo 4500 x16000x1500 mm boyutlarına sahiptir. Sert bir zemin temizlenerek, zemine saman serilmiştir.

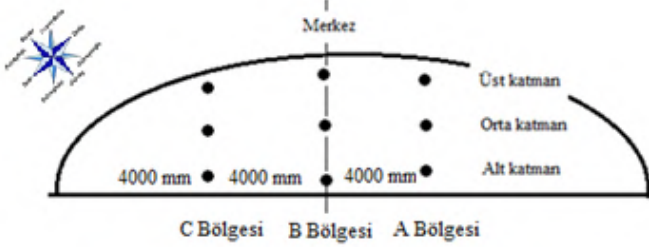
Sıkıştırma ekipmanı olarak denemenin yürütüldüğü işletmede bulunan traktör kullanılmıştır. Silo yönetiminde etkili faktörler olan traktörün kütlesi, lastik tipi ve lastik basınç değerleri Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Sıkıştırma Ekipmanına İlişkin Teknik Özellikler

Model	6230
Normal güç	100 HP (74 kW)
Yüksüz ağırlık	4390 Kg
Azami yüklü ağırlık	8000 Kg
Ön lastik ölçüleri	380/85R24
Arka lastik ölçüleri	420/85R34
Ön lastik basıncı	2.0 bar
Arka lastik basıncı	2.3 bar

2.2. Denemenin yürütülmesi

Silo içerisinde basınç ve süre ölçümlerinin yapılabilmesi için, silolama aşaması sırasında basınç algılayıcı küreler katmanlar arasında daha önceden belirlenen ölçüm noktalarına yerleştirilmiştir. Ölçüm noktaları her katmanda 9 adet olmak üzere siloda toplamda 27 adet olarak belirlenmiştir (Şekil 2.1). Silo uzunluğu üç eşit parçaya bölünmüş ve 4000 mm aralıkla üç sıra, silo genişliği üç eşit parçaya bölünerek (basınç+sıcaklık sensörleri) her sırada üç adet olmak üzere yerleştirilmiştir.



Şekil 2.1. Yığın Silo Konum ve Ölçüm Noktaları

Basınç ölçüm sisteminin veri kayıt ve depolama ünitesi ölçümlerin doğru alınabilmesi için mümkün olduğu kadar siloya yakın konumlandırılmıştır. Kullanılan dolum tekniğine bağlı olarak aşama aşama materyalin içerisine basınç algılayıcı küreler yerleştirilerek veri ölçümü ve veri kaydı başlatılmıştır (Şekil 2.2a). Dolumda önden arkaya dolum tekniği kullanılmıştır.

Ölçümler tüm silolama aşaması süresince kaydedilmiştir. Tüm silolama süresince üreticinin çalışmasına müdahalede bulunulmamıştır. Silo Batı-Doğu doğrultusunda yapılmıştır. Şekil 2.2b' de silo yeri seçiminden kaynaklanan sıkıştırma ekipmanının rotası ve pozisyonu görülmektedir.



a

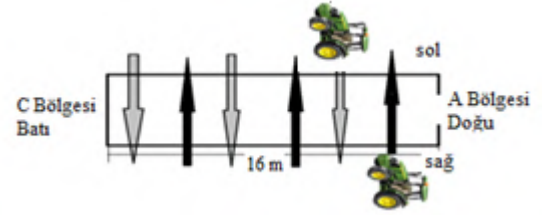


b

Şekil 2.2a. Siloda Basınç ve Süre Ölçümü, 2.2b. Silolama Çalışmalarından Bir Örnek

2.3. Sıkıştırma Ekipmanı Rotası

Çalışma süresince işletme tarafından yapılan silaj yönetim sürecine hiçbir şekilde müdahalede bulunulmamıştır. İşletme seçmiş olduğu ve önceden hazırladığı silo zeminini temizleyerek hazırlamıştır. Kıyılan materyaller parti parti silo alanına boşaltılarak bir traktör yardımı ile sıkıştırma işlemleri yürütülmüştür. Bu işlemler süresince planlanan noktalara ölçüm kitleleri (basınç ve sıcaklık sensörleri) yerleştirilmiş ve bilgisayar bağlantıları oluşturulmuştur. Bu sayede tüm işlemler kayıt altına alınmıştır. Silonun sıkıştırılmasında traktör enine(transversal way) rota kullanmıştır. Şekil 2.2b' den de anlaşılacağı gibi traktör hareketi sağ yan hattından ileri-geri yapılmak durumunda kalmıştır. Son yan hattında silo yeri seçimindeki hata nedeniyle traktör girişi yapılamamıştır (Şekil 2.3).

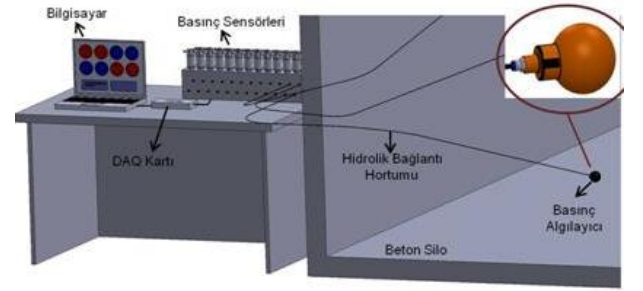


Şekil 2.3. Siloda Takip Edilen Rota

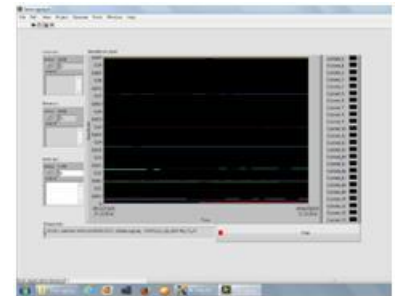
Silo uzunluğu silonun yerleştirildiği Batı-Doğu yönü boyunca üç ana bölgeye (ön, orta ve arka) ayrılmıştır. A bölgesi doğu yönünde, C bölgesi batı yönünde kalan bölümü oluştururken, orta bölüm B bölgesi olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde traktörün her bir bölgede harcadığı zaman dilimi de net olarak ifade edilebilir olmuştur.

2.4. Basınç ve Süre Ölçümü

Siloda sıkıştırma ekipmanı tarafından materyale uygulanan sıkıştırma basıncının saptanabilmesi amacıyla basınç ölçüm sistemi kullanılmıştır. Denemede kullanılan basınç ölçüm sistemine ilişkin resim Şekil 2.4a' da verilmiştir. Şekil 2.4b' de sistemin arayüzü görülmektedir.



a



b

Şekil 2.4a. Basınç Ölçüm Sistemi, 2.4b. Sistem Arayüzü (Tan ve ark.2017b; Tan ve ark.2018)

Basınç ölçüm sistemi, yığın materyallerde basınç ölçümü yapabilmek amacıyla geliştirilmiştir (Tan ve ark. 2017b). Basınç ölçüm noktaları Şekil 2.1'de yan kesit görüntüsünde belirtildiği gibi; her katmanda ortalanarak 4000 mm aralıkla üç sıra halinde her üç katmana (alt, orta ve üst) ve her katmanda silo genişliği üç eşit noktaya ayrılarak 1125 mm aralık ile üçer adet olmak üzere her katmanda 9, toplamda 27 adet sensör yerleştirilerek ölçülmüştür. Basınç ve süre ölçüm sistemi;

- Basınç algılayıcı kauçuk küreler,
- Hidrolik hortum bağlantısı,
- Basınç sensörleri,
- Veri kayıt ünitesi (Basınç sensörleri+DAQ kart)
- Bilgisayar dan oluşmaktadır.

Basınç algılayıcı kauçuk küreler, esnek yapıya sahip olup, silo içerisine yerleştirilen küreler, silaj ile çevrelediği için üzerinde oluşan toplam basıncı yön gözetmeksizin iletebilmektedir (Turner ve Raper 2001). Basınç sensörleri traktör lastik basınçlarını okuyacak şekilde 4 bar kapasitelidir. Veri kayıt ünitesinde Labview görsel programlama dili ile yazılan veri toplama programı kullanılmıştır. Veriler bilgisayarda Excel formatında depolanmıştır.

Materyale uygulanan sıkıştırma kuvveti, tekerleklerin algılayıcı küre üzerinde olduğu veya olmadığı tüm zamanları ekrana iletebilmektedir. Bu şekilde traktörün hareketi, geçiş sayıları, geçiş süresinde uyguladığı sıkıştırma basıncı ve materyal üzerinde kalan toplam sıkıştırma basınçları net olarak görülebilmektedir.

2.5. Sıcaklık Ölçümü

Silo içi sıcaklık ölçümleri Hobo E-348-UA-002-08 model sıcaklık sensörleri (-20° ile 70°C ölçüm aralığına sahip) kullanılarak yapılmıştır. Basınç sensörleri ile birlikte önceden belirlenen noktalara yerleştirilen bu sensörler ile silaj açılana kadar silo içerisinde sıcaklık verileri kayıt edilmiştir (Tan ve ark. 2018). Sıcaklık ölçümleri silolama ve fermantasyon döneminde de yürütülmüştür.

Sıcaklık sensörleri de belirlenen ölçüm noktalarına basınç sensörleri ile birlikte yerleştirilmiştir. Uygulanan sıkıştırma basıncı ile sıcaklık arasındaki değişiminin gözlemlenmesi amacıyla her katmanda ve benzer noktalara yerleşim sağlanmıştır.

2.6. Kuru Madde ve pH Ölçümleri

Silajların nem içeriği (ASAE Standartds, 2002)' a göre, pH değerleri, Chen ve ark. (1994)'e göre yapılmıştır.

2.7. İstatistik Analiz

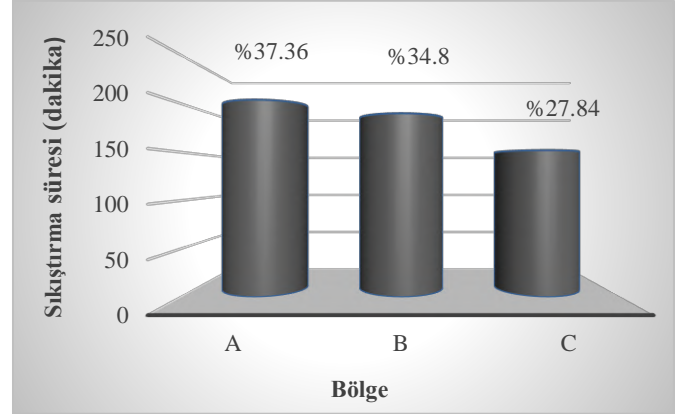
Bu çalışmada, yığın siloda sıkıştırma süresi ve sıkıştırma basıncı silonun bölge, katman ve konumlara göre istatistiksel olarak değerlendirmek için, veriler SPSS (18.0) one-way ANOVA kullanılarak analiz edilmiştir. Minimum önem seviyesi 5%. Ortalamalar Duncan test ile karşılaştırılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

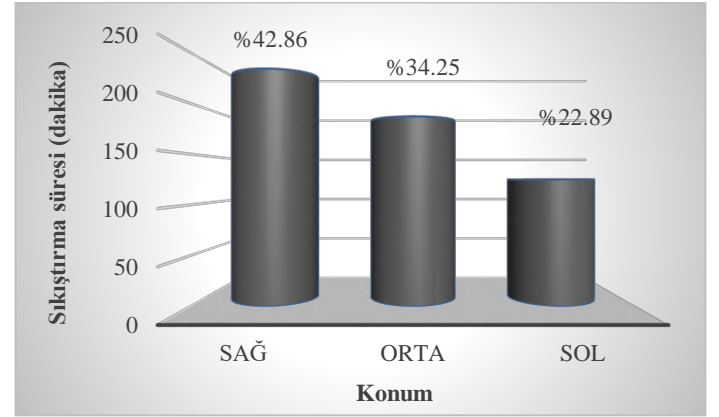
3.1. Sıkıştırma süresine ilişkin araştırma sonuçları

Sıkıştırma ekipmanının toprak üstü yığın silo üzerinde sıkıştırma işlemi yapmak için oldukça farklı süreler harcadığı ölçülmüştür.

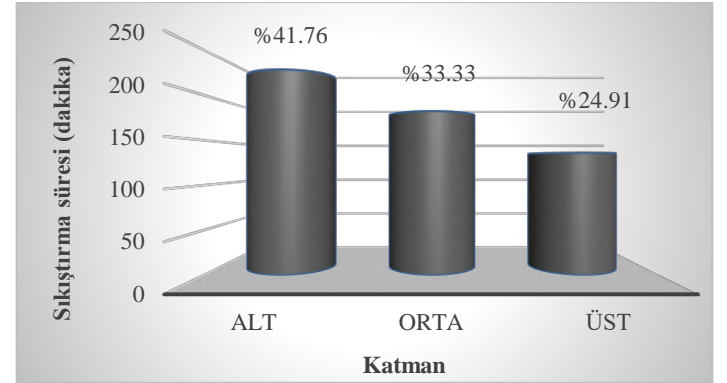
Şekil 3.1' de silonun farklı bölgelere göre sıkıştırma süreleri, Şekil 3.2' de silonun farklı konumlarına göre sıkıştırma süreleri, Şekil 3.3' de silonun farklı katmanlara göre sıkıştırma süreleri görülmektedir.



Şekil 3.1. Bölgelere Göre Sıkıştırma Süreleri



Şekil 3.2. Konumlara Göre Sıkıştırma Süreleri



Şekil 3.3. Katmanlara Göre Sıkıştırma Süreleri

Silonun giriş yönüne gelen ön bölgede (A) sıkıştırma ekipmanı en fazla süreyi harcamıştır. Sürenin A bölgesinde bu kadar çok olmasının temel nedeni; silonun ön bölgesi olması, ilk doldurulan bölge olması, silolama başlangıcında silaj materyallerin çalışmaya yeni başlamasından dolayı kıyılmış materyallerin daha geniş aralıkla siloya getirilerek dökülmesi sayılabilir. Silonun C bölgesi olan arka bölgesinde günün geç saatlere gelmesi, çalışan kişi sayısının az olması, çalışanların yorulması, operatörün biran önce işlemi tamamlamak istemesi gibi nedenler de etkili olmuştur. Tüm bu nedenlerden dolayı C bölgesinde en az zaman harcanmıştır. A ve C bölgesi arasında meydana gelen yaklaşık %10' luk süre farkı, silaj kalite sınıfları incelendiğinde ne denli önemli farklara neden olduğu

görülmektedir. Ayrıca, sıkıştırma süresinin yüksek olduğu noktalarda ölçülen sıkıştırma basıncı değerlerinin yüksek olması da silo yönetiminin başarısı üzerindeki etkilerini açık olarak göstermektedir. Süre olarak neredeyse bir-iki saatlik sıkıştırma süresi ile silaj kalite sınıfları arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Silonun bölgelerine bakıldığında A bölgesinde toplam zamanın % 37.36' s, B bölgesinde % 34.80' i, C bölgesinde ise toplam zamanın % 27.84' ü harcanmıştır. Silonun arka bölgesi olan C bölgesinde, A bölgesine göre yaklaşık 52 dakika daha az sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Bu durum silonun ölçülen sıkıştırma basıncının en düşük bulunmasının da (0.284 bar) temel nedenidir.

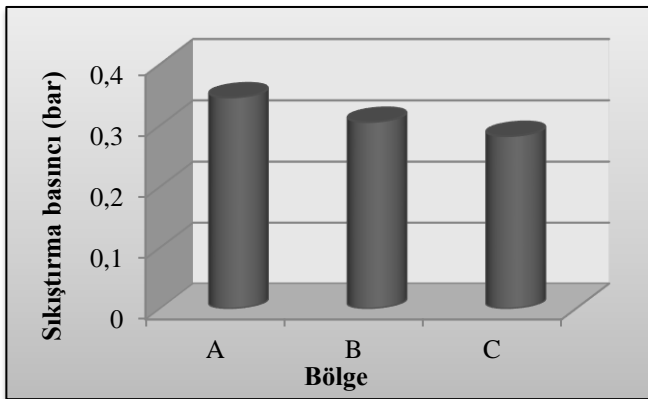
Şekil 3.2' de Silonun farklı konumlara göre sıkıştırma süreleri görülmektedir. Silonun konumlarına göre bakıldığında harcanan toplam zamanın en yüksek bölümü % 42.86 ile silonun sağ konumunda, sırasıyla % 34.25 ile merkez konumda ve en düşük % 22.89 ile sol konumda hesaplanmıştır. Genel olarak en az sıkıştırma zamanı silonun sol konumunda olmuştur.

Şekil 3.3' de katmanlara göre sıkıştırma sürelerinin değişimi verilmiştir. Silonun katmanlarında ise; toplam harcanan zamanın en fazla bölümü % 41.76 ile alt katmanda harcanmıştır. Orta katmanda % 33.33, üst katmanda ise en % 24.91 ile az zaman

Tablo 3.1. Bölge, Konum ve Katmanlarda Ölçülen Ortalama Sıkıştırma Basıncı Değerleri (bar)

Bölge	Konum	Katman			
A	0.354 a	Sağ	0.35 a	Alt	0.354 a
B	0.296 b	Orta	0.304 ab	Orta	0.307 b
C	0.274 b	Sol	0.271 b	Üst	0.263 c

Tablo 3.1' den de görüldüğü gibi sıkıştırma basıncı silonun bölge, konum ve katmanlarında $P < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. A bölgesi silonun başlangıç bölgesi olup, traktörün en fazla zaman harcadığı bölge olduğu anlaşılmaktadır. Silonun B ve C bölgesi istatistik açıdan benzer grupta olmuştur. En büyük farklılıklar katmanlar arasında olmuştur. Herbir katman ayrı grupta saptanmıştır. Silonun farklı bölgelerine uygulanan sıkıştırma kuvvetinin oldukça değişiklik gösterdiği görülmektedir. Benzer sonuçlar Muck ve Holmes (2000) ve Latsch (2014) tarafından da bildirilmiştir.

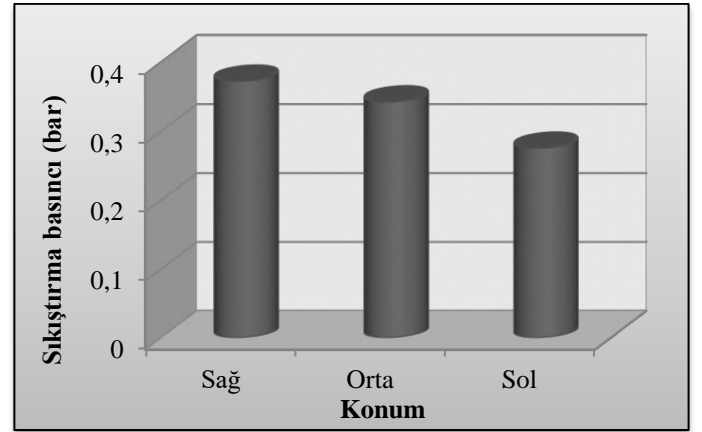


Şekil 3.4. Bölgelere Göre Sıkıştırma Basıncı

dilimi harcanmıştır. Üst katmanlarda sıkıştırma işleminin daha fazla olması istenirken, toplamda en az süre en üst katmanda olmuştur. Bu durum genellikle silonun bir an önce tamamlanması akşam saatlerine denk gelen silolama sürecinin bir sonraki güne bırakmadan bitirilmek istenmesinin büyük bir etkisi bulunmaktadır. Latsch (2014) siloda sıkıştırma süreleri arasında değişiklik olduğunu ifade etmiştir. Tan ve Dalmış (2019) siloda hesaplanan sıkıştırma sürelerinin farklı olmasında silonun konumunun ve traktör kullanımının da etkisi olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada da traktörün izlediği rota sıkıştırma süresi üzerinde etkili olmuştur.

3.2. Sıkıştırma basıncına ilişkin araştırma sonuçları

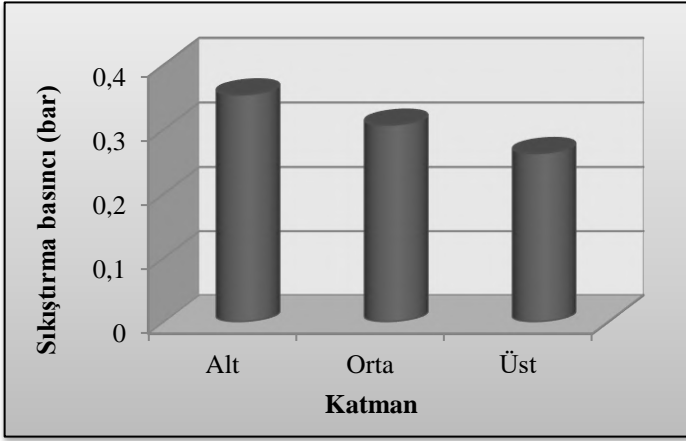
Toprak üstü yığın siloda sıkıştırma işlemi periyodu boyunca bölge, konum ve katmanlarda ölçülen ortalama sıkıştırma basıncı değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Siloda bölgelere göre sıkıştırma basıncı değişimleri Şekil 3.4' de, konumlarına göre sıkıştırma basıncı değişimleri Şekil 3.5' de, katmanlara göre sıkıştırma basıncı değişimleri Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Konumlara Göre Sıkıştırma Basıncı

Sol konumda yapılan sıkıştırma işleminin sağ konuma göre alt katmanda yaklaşık olarak % 22, orta katmanda %26.32 ve üst katmanda %30 farklılık olduğu düşünülürse, üst katmanlara doğru gidildikçe sıkıştırma işleminin zorlaştığı ve materyale daha az sıkıştırma basıncının iletiği görülmektedir. Siloda ölçülen en yüksek basınç 0.35 bar olmuştur. Tan ve ark. (2018) toprak üstü beton siloda I. ürün mısır silajında yaptıkları çalışmalarında sıkıştırma basıncını 0.28-0.37 bar arasında belirlemiştir. Bu çalışmada sıkıştırma basıncı 0.27 ve 0.35 bar arasında literatür değerlerine uygun bulunmuştur. Toprak üstü yığın siloda ölçülen sıkıştırma basıncı değerleri toprak üstü beton siloda ölçülen değerlerden ortama %5.4 daha düşük

olmuştur. Bu durum tıgın silolarda daha az sıkıştırma yapıldığının da bir göstergesi durumundadır.



Şekil 3.6. Katmanlara Göre Sıkıştırma Basıncı

Küçük boyutlu bir siloda bile materyallerde oldukça değişken sıkıştırma basınçları okunmuştur. Bu, sıkıştırma sürecinde uygulanan sıkıştırma işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Sıkıştırma ekipmanı kütlesi, sıkıştırma süresi, siloda uygulanan rota gibi bir çok faktör tarafından etkilenmektedir. Doğal olarak sıkıştırma basıncının düşük olarak

ölçüldüğü noktalarda silaj en düşük yoğunluğa sahiptir. Şahin ve Tan (2019) silo içerisinde heterojen yoğunluk olduğunu ve ölçüm yöntemlerinde göre de farklılıklar olduğunu ifade etmiştir. Bu nedenle ölçüm yöntemleri de ifade etmede önem kazanmaktadır. Yeteri kadar sıkıştırılmayan alanlarda düşük nitelikli düşük yoğunluğa sahip yemler olduğu bilinmektedir.

3.3. Sıcaklık ölçümlerine ilişkin araştırma sonuçları

Bölge, konum ve katmanlarda silolama aşaması (SA) ve fermantasyon aşamasında (FA) ölçülen sıcaklık değerleri ortalamaları Tablo 3.2' de verilmiştir. Silolama aşamasında ve fermantasyon aşamasında sıkıştırma basıncının yüksek ölçüldüğü noktalarda A bölgesi 12.7 °C, 24.1 °C ve alt katmanda 13.12 °C, 24.3 °C ile sıcaklık yüksek olurken, sıkıştırma basıncının en düşük olduğu üst katmanda sıcaklık değeri 10.71 °C, 21.1 °C ile en düşük ölçülen sıcaklık değeri ortalaması olmuştur. Sıkıştırma süreleri en düşük olan C bölgesi, sol konum ve katmanlar arası üst karmana bakıldığında en düşük sıcaklık değerleri ölçümlerinin de bu noktalarda kaydedildiği saptanmıştır. Bu nedenle ele alınan parametreler arasında korelasyonlara bakılmıştır. Tablo 3.3' de siloda uygulanan sıkıştırma basıncı ve ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki korelasyonlar bölge, konum ve katmanlara göre verilmiştir.

Tablo 3.2. Bölge, Konum ve Katmanlarda Silolama Aşaması (SA) ve Fermantasyon Aşamasında (FA) Ölçülen Sıcaklık Değerleri (°C)

Bölge	SA	FA	Konum	SA	FA	Katman	SA	FA
A	12.7 ^a	24.1 ^a	Sağ	12.67	23.72 ^a	Alt	13.12 ^a	24.3 ^a
B	11.4 ^{ab}	22.7 ^b	Orta	11.7	22.64 ^{ab}	Orta	11.28 ^b	22.5 ^b
C	10.9 ^b	21.6 ^c	Sol	10.74	21.57 ^b	Üst	10.71 ^b	21.1 ^c

Tablo 3.3. Parametreler Arasındaki Korelasyonlar

	Sıcaklık SA	Sıcaklık FA	Basınc	Bölge	Konum	Katman
SA	1	0.915**	0.956**	0.550**	0.400**	0.663**
FA	0.915**	1	0.901**	0.445**	0.422**	0.759**
Basınc	0.956**	0.901**	1	0.436*	0.504**	0.684**

** Korelasyonlar 0.01 seviyesinde önemlidir.

*Korelasyonlar 0.05 seviyesinde önemlidir.

SA: Silolama aşaması, FA: Fermantasyon aşaması.

Tablo 3.4. Ölçüm Noktalarının Flieg Puan Durumları

Bölge	Puan	Değer	Konum	Puan	Değer	Katman	Puan	Değer
A	95.4	Pekiyi	Sağ	97.8	Pekiyi	Alt	99.2	Pekiyi
B	79.2	İyi	Orta	86.2	Pekiyi	Orta	73.4	İyi
C	72.2	İyi	Sol	54.6	Orta	Üst	60.2	Orta

Flieg Puanlama: (Pekiyi: 81-100, iyi: 61-80, orta:41-60, değeri az:21-40, kötü: 0-20)

Siloda uygulanan sıkıştırma basıncı ile silo içerisinde ölçülen sıcaklık değerleri arasında silolama aşamasında $R^2=0.956$, $P<0.01$, fermantasyon aşamasında $R^2=0.901$, $P<0.01$ korelasyon saptanmıştır.

Silolama işlemi sırasında materyale uygulanan sıkıştırma basıncının siloda fermantasyon gelişimi açısından önemli bir parametre olan sıcaklık üzerine önemli etkisi olduğu görülmektedir. Fermantasyon döneminde de sıkıştırmaya bağlı olarak etkisini devam ettirdiği görülmektedir.

3.4. Silaj niteliğine ilişkin araştırma sonuçları

Açım sonrası silonun tanımlanan bölgelerinden ve katmanlarından alınan örneklerin Flieg puanlamaları Tablo 3.4' de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi sıkıştırmanın yüksek olduğu noktalarda silajın Flieg puanlama değerleri yüksek saptanarak "Pekiyi" kalitesinde olduğu görülürken, en kötü nitelikte hesaplanan "Orta" nitelik sınıfı sadece üst katmanda ve silonun sol konumunda belirlenmiştir. Silonun genel ortalaması 79.88 puan ile "İyi" niteliğe sahiptir.

4. Sonuç ve öneriler

Toprak üstü yığın silolarda silonun konumunun ve uygulanan sıkıştırma tekniğinin önemli olduğu belirlenmiştir. Sıkıştırma ekipmanı rotasının belirlenmesinde silo yerinin seçiminin ne kadar önemli olduğu da görülmüştür. Yanlış tercih ile barınağa oldukça yakın yapılan silo nedeniyle sol konum hattında sıkıştırma ekipmanı randımanlı ezme işlemi yapamamış ve boylamasına yönde rota kullanılamamıştır. Bu nedenle silonun sol konumunda sağ konuma göre daha düşük sıkıştırma basıncı okunmuştur. Bu durum silo o noktalarda silaj kalite sınıflarının da diğerlerine oranla düşük olmasının temel sebebi olarak da ifade edilebilir. Sıkıştırma basıncının yüksek olduğu noktalarda sıcaklık daha yüksek olurken, elde edilen silajlarda hesaplanan flieg puanları da yüksek olmuştur.

Yığın silolarda ekipman rotası ve silo yeri seçiminin önemli olduğu ve bu noktada özen gösterilmesi gerektiği önerilmektedir. Barınak ile silo arasında traktör hareketi rahat olacak seviyede mesafe bırakılması silonun tüm konumlarının eşit ezilebilmesinde önemlidir.

Silonun her bölgesi, her katmanı ve her konumunda benzer sıkıştırma süresinin uygulanmasına dikkat edilmesi önerilmektedir. Yaklaşık bir saatlik sıkıştırma süreleri arasında saptanan farklılıklarda silaj kalite sınıflarının değişmesi büyük oranda etkilediği görülmüştür. Bu nedenle siloda homojen sıkıştırma işlemi yapılmalıdır. Özellikle materyale uygulanan sıkıştırma basıncı 0.6-0.27 bar kadar orta nitelik sınıfında silaj materyal ile değerlendirilir iken sıkıştırma basıncı 0.30 bar ve üzeri çıktığı durumlarda silaj kalite sınıfı "pekiyi" sınıfına ulaşmaktadır. Bu nedenle silonun tüm noktalarında ortalama 0.30 bar ve üzeri sıkıştırma basıncını oluşturacak sıkıştırma kuvveti uygulanmalıdır.

Kaynakça

ASAE Standarts. (2002). Moisture measurement -forages. ASAE S358.2. Standards 2002: 565. St. Joseph, MI.
Allen D, Kilkeny B. (1986). Planned Beef Production. Collins Professional and Technical Boks. William Collins Sons & Co. Ltd. London.

Ak İ, Doğan R, (1997). Bursa bölgesinde yetiştirilen bazı mısır çeşitlerinin verim özellikleri ve silaj kalitelerinin belirlenmesi, Türkiye I. Silaj Kongresi, Bursa 83-93 s.
Alçiçek A, Karaayvaz K. (2003). Sığır besisinde mısır silajı kullanımı. *Animalia* 203: 68-76.
Chen J, Stokes MR, Wallace CR (1994). Effects Of Enzyme-Inoculant Systems On Preservation And Nutritive Value Of Hay Crop And Corn Silages. *J.Dairy Sci.*77:501-512.
Dellal İ, Ege H, Tan S (2001). Türkiye'de Mısır Arz Talep ve Dış Ticareti. *Türk-KOOP EKİN*, 5, 16: 64-69.
Görgülü M (2012). Süt Sığırlarının Beslenmesi ve Yemler. (Ed: S Kumlu), AB ve Türkiye'de Danışmanlık Sistemleri ve Süt Sığırları İşletmelerinin Yönetimi, TR0703.01-02/FA, Aydın, s.123-198.
Holmes B J and Muck R E. (2007). Packing Bunkers and Piles to Maximize Forage Preservation. UW-Extension Team Forage web site. www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/storage.htm.
Kılıç A. (1986). Silo Yemi. Bilgehan Basımevi. Bornova, İzmir
Latsch R. (2014). Grass silage compaction in horizontal silos. International Conference of Agricultural Engineering. AnEng 2014. 6-10 July. Zurich.
Muck R E and Holmes B J. (2000). Factors Affecting Bunker Silo Densities. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol.16(6):613-619.
Odabaş Y. (2019). *Toprak Üstü Yığın Silolarda Sıkıştırma Etkinliğinin Belirlenmesi*. (Yüksel Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
Roy MB, Treblay Y, Pomerleau P, Savoie P. (2001). Compaction and Density of Forage in Bunker Silos. ASAE Annual International Meeting. Paper No:01-1089.
Ruppel KA. (1992). Effect of Bunker Silo Management on Hay Crop Nutrient Preservation. M.S. Thesis. Cornell University, Ithaca, NY
Ruppel KA. (1993). Bunker silo management and its effects on hay crop quality. In proceedings from the national silage production conference: 67-82. NRAES publication 67, cooperative extension, Ithaca, NY.
Ruppel K.A, Pitt R.E, Chase L.E, Galton D.M. (1995). Bunker Silo Management and Its Relationship to Forage Preservation on Dairy Farms. *Journal of Dairy Science*. 78:141-153.
Ruppel K.A. (1997). Economics of silage management practices: What can I do to improve the bottom line in my ensiling business? *Silage: Field to Feedbunk (NRAES-99)*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, NY.
Sahin ve Tan F. (2019). Examination of The Measurement Methods Used to Determine The Silage Density in Small Farm. *European Journal of Science and Technology (EJOSAT)*. No.17, pp. 744-747, December 2019.
Savoie P, Muck R E and Holmes B J. (2004). Laboratory Assessment of Bunker Silo Density. Part II: Whole-Plant Corn. *Applied Engineering In Agriculture*. 20(2):165-171.
Tan F, Dalmis IS and Koc F (2017a). Effects of compaction pressure on silage fermentation in bunker silo. *Agronomy Research*. 15 (1): 298-306.
Tan F, Dalmis IS and Dalmis F. (2017b). Determination of compaction force in bunker silos using a pressure measurement method. *International Journal of Current Research*, 9(01):45597-45599.
Tan F, Kayisoglu B, Okur E. (2018). Effects of Compaction Pressure on The Temperature Distribution in Bunker Type Silage Silo. *Indian Journal of Animal Sciences* 88 (1): 116-120.
Tan F, and Dalmis I.S. (2019). Compaction Pressure and density Profile in Pile-Type Silos. *Applied Ecology and Environmental Research*. 17(2):2745-2754.
Turner R, Raper, R.L. (2001): Soil stress residuals as indicators of soil compaction. ASAE Paper No. 011063. DOI:10.13031/2013.7307.



Determining the Energy Use Efficiency and Greenhouse Gas Emissions (GHG) in Olive Farming

Osman Gökdoğan^{1*}, Oktay Erdoğan²

^{1*} Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agriculture Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4933-7144), osmangokdogan@gmail.com

² Pamukkale University, School of Applied Sciences, Department of Organic Farming Business Management, Çivril, Denizli, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1466-3035), oktaye@gmail.com

(First received 7 February 2021 and in final form 16 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903907)

ATIF/REFERENCE: Gökdoğan, O., Erdoğan, O. (2021). Determining the Energy Use Efficiency and Greenhouse Gas Emissions (GHG) in Olive Farming. *European Journal of Science and Technology*, (23), 717-724.

Abstract

In this research, energy use efficiency and GHG ratio computations were determined in olive farming. It was practiced in Çakallık area of Karpuzlu district of Aydın province of Turkey. Experiments and research datas computations were based on the January 2020 - January 2021 growing season. Energy input (EI) and energy output (EO) in olive farming were computed as 2580.70 MJ ha⁻¹ and 9904.04 MJ ha⁻¹. In olive farming, 46.96% of all energy inputs consists of nitrogen energy (1212 MJ ha⁻¹), 25.49% consists of human labour energy (657.88 MJ ha⁻¹), 8.60% consists of phosphorus energy (222 MJ ha⁻¹), 8.04% consists of electricity energy (207.36 MJ ha⁻¹), 5.19% consists of potassium energy (134 MJ ha⁻¹), 5.14% consists of transportation energy (132.53 MJ ha⁻¹) and 0.58% consists of sulphur energy (14.93 MJ ha⁻¹). Energy use efficiency (EUE), specific energy (SE), energy productivity (EP) and net energy (NE) in olive farming were computed as 3.84, 0.88 MJ kg⁻¹, 1.14 kg MJ⁻¹ and 7323.34 MJ ha⁻¹, respectively. Energy inputs in olive farming could be classified as 33.53% direct, 66.47% indirect, 25.49% renewable and 74.51% non-renewable. Total GHG emissions were computed as 406.73 kgCO_{2-eq}ha⁻¹ for olive farming with the greatest input being use of human labour (57.77%). Human labour input is followed by nitrogen (22.47%), electricity (8.51%), phosphorus (5.80%), potassium (3.15%), sulphur (1.21%) and transportation inputs (1.09%), respectively. GHG ratio value was computed as 0.14 kgCO_{2-eq}kg⁻¹ in olive farming.

Key words: Olive, Energy productivity, GHG emissions, Aydın.

Zeytin Yetiştiriciliğinde Enerji Kullanım Etkinliğinin ve Sera Gazı (GHG) Emisyonunun Belirlenmesi

Öz

Bu araştırmada zeytin yetiştiriciliğinde enerji kullanım etkinliği ve sera gazı oranı belirlenmiştir. Araştırma, Türkiye'nin Aydın ili Karpuzlu ilçesine bağlı Çakallık mevkiinde yapılmıştır. Denemeler ve araştırma verileri hesaplamaları Ocak 2020 - Ocak 2021 yetiştirme sezonuna dayanmaktadır. Zeytin yetiştiriciliğinde enerji girdisi ve çıktısı sırasıyla 2580.70 MJ ha⁻¹, 9904.04 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Zeytin yetiştiriciliğinde tüm enerji girdilerinin %46.96'sı azot enerjisinden (1212 MJ ha⁻¹), %25.49'u insan işgücü enerjisinden (657.88 MJ ha⁻¹), %8.60'ı fosfor enerjisinden (222 MJ ha⁻¹), %8.04'ü elektrik enerjisinden (207.36 MJ ha⁻¹), %5.19'u potasyum enerjisinden (134 MJ ha⁻¹), %5.14'ü taşıma enerjisinden (132.53 MJ ha⁻¹) ve %0.58'i kükürt enerjisinden (14.93 MJ ha⁻¹) oluşmaktadır. Zeytin yetiştiriciliğinde enerji kullanım etkinliği, spesifik enerji, enerji verimliliği ve net enerji sırasıyla 3.84, 0.88 MJ kg⁻¹, 1.14 kg MJ⁻¹ ve 7323.34 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Zeytin yetiştiriciliğinde enerji girdisinin %33.53'ü doğrudan, %66.47'si dolaylı, %25.49'u yenilenebilir ve %74.51'i yenilenemez olarak sınıflandırılabilir. Zeytin yetiştiriciliği için toplam sera gazı emisyonları 406.73 kgCO_{2-eq}ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır ve en büyük girdi insan işgücü kullanımıdır (%57.77). İnsan işgücü girdisini sırasıyla azot (%22.47), elektrik (%8.51), fosfor (%5.80), potasyum (%3.15), kükürt (%1.21) ve taşıma girdileri (%1.09) takip etmektedir. Ayrıca zeytin yetiştiriciliğinde sera gazı oranı değeri 0.14 kgCO_{2-eq}kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zeytin, Enerji verimliliği, Sera gazı emisyonu, Aydın.

* Corresponding Author: osmangokdogan@gmail.com

1. Introduction

Table olive has been around almost as long as the history of mankind, dating back to the early Bronze Age (3150 to 1200 BCE). Olive has been traced to the eastern Mediterranean Coastline, encompassing what is southern Turkey, Syria, Lebanon, Palestine, and Israel now. The origin has been traced through written tablets, olive pits, and wood fragments found in ancient tombs (Vossen, 2007). Despite being rich in phenolic compounds, only 2% of the total phenolic content of olive fruit actually goes through in the oil-extraction phase. Majority is lost during the water phase (approx. 53%) and along with the solid pomace residue (approx. 45%; round 2-8 g polyphenols/kg depending on processing) (Rodis et al., 2012; Criminna et al., 2016). The total olive growing areas worldwide amount to approximately 10 million hectares. In Turkey, olive growing areas are mostly concentrated in the Aegean and Mediterranean Regions and it has had the tendency to increase over the years. The most prominent provinces in terms of olive growing areas in Turkey are Aydın, Muğla and İzmir. According to TÜİK (Turkish Statistical Institute) Crop Production Statistics, the total olive production in 2019 was 1.5 million tons and around 75% of this production consisted of oil olive (Anonymous, 2020).

The rate of fossil fuel use in energy generation is growing higher by each day and this not only leads to the depletion of a significant resource but also poses intimidating threats for the future. The use of renewable sources must be encouraged for energy production and it is also highly important to reduce energy consumption. A good starting point to achieve these could be by ensuring energy efficiency during production processes. In this sense, the amount of energy used for each stage of production must be clearly identified so that consumption levels could be reduced and/or alternative means could be established. Acting so can help to have less issue in supply, price instability and environmental harm. The quality of an energy source can be analysed in various ways, and one of these is called net energy analysis. This method of analysis compares the energy obtained from a given resource and the one required, whether direct and indirect, and makes it available to the end-user (Herendeen, 2004; Cleveland, 2014a; Cleveland, 2014b; Cappelletti et al., 2014).

Energy balance is an significant determiner that shows the efficiency of production methods and compares them (Hacıseferoğulları et al., 2003). Energy analysis related to agricultural production is a significant approach in defining and gathering farming systems in terms of energy utilization. It is necessary to carefully analyse the inputs and outputs used in production to increase efficiency and decrease inputs in production (Sabah, 2010; Karaağaç et al., 2019). However, more intensive energy use causes significant environmental problems that both affect human health and lead to GHG emissions. Therefore, efficient use of inputs is very significant in terms of sustainable agricultural production. GHG in agricultural production arise due to the use of machinery, diesel fuel consumption, chemical fertilizer use and electricity consumption, and without a doubt, GHG also increase with the increase in energy input (Karaağaç et al., 2019).

A number of previous studies were accomplished on EUE in agriculture and animal production. Such studies include those on EUE and GHG emissions of olive (Guzmán and Alonso, 2008; Hemmati et al., 2013; Gökdoğan and Erdoğan, 2018), cherry (Demircan et al., 2006; Kızılaslan, 2009; Aydın and Aktürk, 2018); peach (Göktoğa et al., 2006; Gündoğmuş, 2014; Aydın and Aktürk, 2018), pomegranate (Akcaoz et al., 2009; Canakci 2010; Ozalp et al., 2018), citrus (Ozkan et al., 2004a; Qasemi-Kordkheili and Rabhar, 2015; Yılmaz and Aydın, 2020), drybean (Sonmete and Demir, 2007; Ertekin et al., 2010; Kazemi et al., 2015), groundnut (Baran et al., 2018; Saltuk, 2019), wheat (Tipi et al., 2009; Çiçek et al., 2011, Unakıtan and Aydın, 2018), sunflower (Bayhan, 2016; Akdemir et al., 2017; Unakıtan and Aydın, 2018), corn (Konak et al., 2004; Öztürk et al., 2008; Barut et al., 2011), onion (Arın and Akdemir, 1987; Ozbek et al., 2021), poultry (Atılğan and Köknaroğlu, 2006; Demircan and Köknaroğlu, 2007; Saltuk et al., 2020) etc. The aim of this research is to review the EUE and GHG emissions of olive farming in Aydın province.

2. Material and Method

Aydın is a province where activities in agriculture, tourism, domestic and foreign trade and industry are conducted and it is located in the western part of Aegean Region and is in the middle of the triangle that consists of Eastern Europe, Middle Asia and Middle East. Its coordinates are 37. and 38. north latitude and 27. and 29. east longitudes in southwestern Turkey. The total area of the province is 811600 ha, and as of 2017, approximately 45% (366608 ha) of the total area is cultivated. It is surrounded by the Aegean Sea in the west, Denizli province in the east, İzmir and Manisa provinces in the north and Muğla province in the south. Maquis vegetation is dominant in Aydın. Olive, fig and chestnut grows naturally in the environment. The main climate of the province is Mediterranean climate. Annual average precipitation is 645.1 mm and no notable differences are observed between sub-regions. Most of the annual precipitation falls during the winter months. 51.45% of the average precipitation falls in winter, 24.79% falls in spring, 21.61% falls in autumn and 3.04% falls in summer. With regards to average temperatures extending to years, the lowest temperature was observed as 8.2 °C in January, while the highest temperature 28.4 °C was observed in July. Average relative humidity is around 61.2% (Anonymous, 2018).

This current study was conducted during the January 2020 - January 2021 growing season in Çakallık locality of Karpuzlu district of Aydın province of Turkey. Experiments and research datas computations are related to the January 2020 - January 2021 growing season. The research was done in a 3 da (0.3 ha) area, by using randomized complete block design with three replications. Area work productivity was determined as effective area work productivity. Effective work duration (t_{ef}) was used to compute the work productivity ($ha\ h^{-1}$) (Özcan, 1986; Güzel, 1986; Sonmete, 2006). A chronometer was used to measure the durations in the research (Sonmete, 2006).

Total energy use was determined by computing the agricultural input energy and output energy used in olive farming. Human labour energy, nitrogen energy, phosphorus energy, potassium energy, sulphur energy, electricity energy and transportation energy were considered as inputs. Energy coefficients of the inputs and output used in olive farming were shown in Table 1. EUE, SE, EP and NE were computed by using the below shown formulas (Mandal et al., 2002; Mohammadi et al., 2008; Mohammadi et al., 2010). Energy inputs could be classified as direct, indirect, renewable and non-renewable (Mandal et al., 2002; Singh et al., 2003; Koçtürk and Engindeniz, 2009). GHG emission coefficients of inputs in olive farming were shown in Table 2. In olive farming, direct, indirect, renewable and non-renewable classifications of energy balance, EUE computations and energy inputs types were shown in Table 3, Table 4 and Table 5.

$$\text{Energy use efficiency} = \frac{\text{Energy output} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ha}}\right)}{\text{Energy input} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ha}}\right)} \quad (1)$$

$$\text{Specific energy} = \frac{\text{Energy input} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ha}}\right)}{\text{Product output} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)} \quad (2)$$

$$\text{Energy productivity} = \frac{\text{Product output} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}{\text{Energy input} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ha}}\right)} \quad (3)$$

$$\text{Net energy} = \text{Energy output} (\text{MJ ha}^{-1}) - \text{Energy input} (\text{MJ ha}^{-1}) \quad (4)$$

Eren et al. (2019) reported that; “The (GHG) emissions (kgCO_{2-eq}ha⁻¹) associated with the inputs to grow 1 ha of plant were calculated by using the following formula adapted by Hughes et al. (2011). Where R(i) is the application rate of input i (unit_{input}ha⁻¹) and EF(i) is the GHG emission coefficient of input i (kgCO_{2-eq}unit_{input}⁻¹). Moreover, an index is defined to evaluate the amount of emitted kgCO_{2-eq} per kg yield as follows as adapted by Khoshnevisan et al. (2014) and Houshyar et al. (2015). Where I_{GHG} is GHG ratio and Y is the yield as kg per ha”.

$$GHG_{ha} = \sum_{i=1}^n R(i) \times EF(i) \quad (5)$$

$$I_{GHG} = \frac{GHG_{ha}}{Y} \quad (6)$$

Table 1. Energy coefficients of inputs and outputs in olive farming

Inputs	Unit (br)	Energy coefficient (MJ unit ⁻¹)	References
Human labour	h	1.96	Mani et al., 2007; Karaağaç et al., 2011
Nitrogen	kg	60.60	Singh, 2002
Phosphorous	kg	11.10	Singh, 2002
Potassium	kg	6.70	Singh, 2002
Sulphur	kg	1.12	Nagy, 1999; Mohammadi et al., 2010
Electricity	kWh	3.60	Ozkan et al., 2004b
Transportation	MJ (ton km) ⁻¹	4.50	Fluck and Baird, 1982; Kitani, 1999
Output (Yield)	kg	11.80	Ozkan et al., 2004c

Table 2. GHG emissions coefficients in olive farming*

Inputs	Unit (br)	GHG coefficients (kg CO ₂ -eq unit ⁻¹)	References
Human labour	h	0.700	Nguyen and Hermansen, 2012
Nitrogen	kg	4.570	BioGrace-II, 2015
Phosphorous	kg	1.180	BioGrace-II, 2015
Potassium	kg	0.640	BioGrace-II, 2015
Sulphur	kg	0.370	Maraseni et al. (2010)
Electricity	MJ	0.167	BioGrace-II, 2015
Transportation	ton . km	0.150	Meisterling et al., 2009

*: Adapted from Eren et al. (2019)

3. Results and Discussion

During the current research, conducted in January 2020 - January 2021 growing season, an average of 2945 kg ha⁻¹ olive was yielded. According to Table 3, energy input in olive farming was computed as 2580.70 MJ ha⁻¹ and energy output was computed as 9904.04 MJ ha⁻¹. In olive farming, 1212 MJ ha⁻¹ of the energy inputs consisted of nitrogen energy (46.96%), 657.88 MJ ha⁻¹ human labour energy (25.49%), 222 MJ ha⁻¹ phosphorus energy (8.60%), 207.36 MJ ha⁻¹ electricity energy (8.04%), 134 MJ ha⁻¹ potassium energy (5.19%), 132.53 MJ ha⁻¹ transportation energy (5.14%) and 14.93 MJ ha⁻¹ sulphur energy (0.58%).

In this research conducted in olive farming, human labour activities consisted of soil tillage, fertilizing, pruning and olive-picking. Tillage was done with human labour using a hoe and shovel. Pruning operation was done by using handsaw. Olive shaking process was done with an electrically charged olive shaking machine. Nitrogen, phosphorous, potassium and sulphur were used as fertilizers.

EUE, SE, EP and NE were computed as 3.84, 0.88 MJ kg⁻¹, 1.14 kg MJ⁻¹ and 7323.34 MJ ha⁻¹, respectively (Table 4). In previous researches; Kizilaslan (2009) determined an EUE of 0.96 in cherry production, Hemmati et al. (2013) determined an EUE of 1.24 in olive farming, while Gökdoğan and Erdoğan (2018) determined an EUE of 2.72 in olive farming.

The used total energy inputs in olive farming could be classified as 33.53% direct, 66.47% indirect, 25.49% renewable and 74.51% non-renewable (Table 5). In olive farming, 25.49% of the total energy inputs consisted of renewable energy while 74.51% consisted of non-renewable energy consumption (Table 5). Similar to the findings of previous researches on pomegranate (Akcaoz et al., 2009), black carrot (Çelik et al., 2010), avocado (Astier et al., 2014), the results determined a higher ratio of non-renewable energy than the ratio of renewable energy. According to Tan (2018), it is advisable to raise the amount of renewable energy in energy use.

The results of GHG emissions of olive farming were shown in Table 6. Total GHG emissions were computed as 406.73 kgCO₂-eqha⁻¹ for olive farming with a human labour use of 234.96 kgCO₂-eqha⁻¹ (57.77%), which was the greatest input. The human labour use was followed up by nitrogen use by 91.40 kgCO₂-eqha⁻¹ (22.47%), electricity by 34.63 kgCO₂-eqha⁻¹ (8.51%), phosphorous use by 23.60 kgCO₂-eqha⁻¹ (5.80%), potassium use by 12.80 kgCO₂-eqha⁻¹ (3.15%), sulphur by 4.93 kgCO₂-eqha⁻¹ (1.21%) and transportation by 4.42 kgCO₂-eqha⁻¹ (1.09%). In previous researches, Nabavi-Pelesaraei et al. (2016) computed the total GHG emission of kiwi fruit production as 1310 kgCO₂-eqha⁻¹; Mohammadi-Barsari et al. (2016) computed the total GHG emission of watermelon production as 460.41 kgCO₂-eqha⁻¹; Ozalp et al. (2018) computed the total GHG emission of pomegranate production as 1730 kgCO₂-eqha⁻¹.

Table 3. Energy balance in olive farming

Inputs	Unit (br)	Energy coefficient (MJ unit ⁻¹)	Input used per hectare (unit ha ⁻¹)	Energy value (MJ ha ⁻¹)	Ratio (%)
Human labour	h	1.96	335.65	657.88	25.49
-Soil tillage	h	1.96	101.33	198.60	7.70
-Fertilizing	h	1.96	31.66	62.06	2.40
-Pruning	h	1.96	50.66	99.30	3.85
-Harvesting	h	1.96	152	297.92	11.54
Nitrogen	kg	60.60	20	1212.00	46.96
Phosphorous	kg	11.10	20	222.00	8.60
Potassium	kg	6.70	20	134.00	5.19
Sulphur	kg	1.12	13.33	14.93	0.58
Electricity	kWh	3.6	57.60	207.36	8.04
Transportation	MJ (ton km) ⁻¹	4.50	2.945*10*	132.53	5.14
Total				2580.70	100.00

Output	Unit (br)	Energy equivalent (MJ unit ⁻¹)	Yield per hectare (unit ha ⁻¹)	Energy value (MJ ha ⁻¹)	Ratio (%)
Yield	kg	11.80	2945	9904.04	100.00

*: Transportation distance is 10 km (Average).

Table 4. Computations of EUE in olive farming

Computations	Unit	Values
Yield	kg ha ⁻¹	2945
EI	MJ ha ⁻¹	2580.70
EO	MJ ha ⁻¹	9904.04
EUE		3.84
SE	MJ kg ⁻¹	0.88
EP	kg MJ ⁻¹	1.14
NE	MJ ha ⁻¹	7323.34

Table 5. Energy inputs types in olive farming

Energy types	EI (MJ ha ⁻¹)	Ratio (%)
Direct energy	865.24	33.53
Indirect energy	1715.45	66.47
Total	2580.70	100.00
Renewable energy	657.88	25.49
Non-renewable energy	1922.81	74.51
Total	2580.70	100.00

Table 6. GHG emissions coefficients in olive farming

Inputs	Unit (br)	GHG Coefficient (kg CO _{2eq} unit ⁻¹)	Input used per area (unit ha ⁻¹)	GHG emissions (kg CO _{2-eq} ha ⁻¹)	Ratio (%)
Human labour	h	0.700	335.65	234.96	57.77
Nitrogen	kg	4.570	20.00	91.40	22.47
Phosphorous	kg	1.180	20.00	23.60	5.80
Potassium	kg	0.640	20.00	12.80	3.15
Sulphur	kg	0.370	13.33	4.93	1.21
Electricity	MJ	0.167	207.36	34.63	8.51
Transportation	ton . km	0.150	29.45	4.42	1.09
Total				406.73	100.00
GHG ratio (per kg)				0.14	

4. Conclusions and Recommendations

Based on this research the following conclusions were determined.

-During the research, an average of 2945 kg ha⁻¹ olive has been yielded during the January 2020 - January 2021 growing season. Olive farming used a total energy of 2580.70 MJ ha⁻¹, which was the highest due to a nitrogen use of 1212 MJ ha⁻¹ (46.96%). The energy inputs of human labour by 657.88 MJ ha⁻¹ (25.49%) and

phosphorous by 222 MJ ha⁻¹ (8.60%) were the second and third greatest values in total energy inputs.

-EUE, SE, EP and NE were determined as 3.84, 0.88 MJ kg⁻¹, 1.14 kg MJ⁻¹ and 7323.34 MJ ha⁻¹.

-Direct energy, indirect energy, renewable and non-renewable energy inputs were determined as 33.53%, 66.47%, 25.49% and 74.51% of the total energy inputs, respectively.

-Total GHG emissions were determined as 406.73 kgCO_{2-eq}ha⁻¹ for olive farming with the greatest part including of human labour use by 234.96 kgCO_{2-eq}ha⁻¹ (57.77%). The human labour was followed by nitrogen use by 91.40 kgCO_{2-eq}ha⁻¹ (22.47%), electricity use by 34.63 kgCO_{2-eq}ha⁻¹ (8.51%) in second and third places among the total GHG emissions.

-In this research, the energy utilization of olive farming was determined. As the results, olive farming is an economic type of production in terms of EUE (3.84) for January 2020 - January 2021 growing season.

References

- Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., Kizilay, H. (2009). Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(2): 475-480.
- Akdemir, S., Calavaris, C., Gemtos, T. (2017). Energy balance of sunflower production. *Agronomy Research*, 15(4): 1463-1473.
- Anonymous. (2018). Türkiye Cumhuriyeti, Tarım ve Orman Bakanlığı, Aydın İl Müdürlüğü. Aydın Tarım Master Planı (Revizyon). (Erbaş, F. (Ed.)).
- Anonymous. (2020). Türkiye Cumhuriyeti, Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. *Tarım Ürünleri Piyasaları, Zeytinyağı, Ocak, 2020, Ürün No: BÜ-22*.
- Arın, S., Akdemir, B. (1987). Tekirdağ'da soğan üretimi mekanizasyonunun enerji bilançosu yaklaşımı ile incelenmesi. 3. *Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Sempozyumu*. İzmir, Türkiye, 195-201.
- Astier, M., Yair Merlin-Urbe, Y., Villamil-Echeverri, L., Garciarreal, A., Gavito, M.E., Maser, O.R. (2014). Energy balance and greenhouse gas emissions in organic and conventional avocado orchards in Mexico. *Ecological Indicators*, 43: 281-287.
- Atılgan, A., Köknaroglu, H. (2006). Cultural energy analysis on broilers reared in different capacity poultry houses. *Italian Journal of Animal Science*, 5: 393-400.
- Aydın, B., Aktürk, D. (2018). Energy use efficiency and economic analysis of peach and cherry production regarding good agricultural practices in Turkey: A case study in Çanakkale province. *Energy*, 158: 967-974.
- Baran M.F, Karaağaç, H.A, Bolat, A, Çil, A., Çil, A.N. (2018). Yerfıstığı üretiminde enerji kullanım etkinliğinin belirlenmesi (Adana ili örneği). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15: 103-111.
- Barut, Z.B., Ertekin, C., Karaağaç, H.A. (2011). Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey. *Energy*, 36: 5466-5475.
- Bayhan, Y. (2016). İkinci ürün ayçiçeği üretiminde farklı toprak işleme ve doğrudan ekim yöntemlerinin enerji kullanım etkinliğinin karşılaştırılması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2): 102-109.
- BioGrace-II. (2015). Harmonised calculations of biofuel greenhouse gas emissions in Europe. *BioGrace*, Utrecht, The Netherlands. (<http://www.biograce.net>).
- Canakci, M. (2010). Energy use pattern and economic analyses of pomegranate cultivation in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 5(7): 491-499.
- Cappelletti, G.M., Ioppolo, G., Nicoletti, G.M., Russo, C. (2014). Energy requirement of extra virgin olive oil production. *Sustainability*, 6: 4966-4974.
- Cleveland, C. (2014a). Ten fundamental principles of net energy. Available online: <http://www.eoearth.org/view/article/156473> (Accessed on 15 May 2014).
- Cleveland, C. (2014b). Net energy analysis. Available online: <http://www.eoearth.org/view/article/154821> (Accessed on 15 May 2014).
- Criminna, R., Meneguzzo, F., Fidalgo, A., Ilharco, L.M. (2016). Extraction, benefits and valorization of olive polyphenols. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118: 503-511.
- Çelik, Y., Peker, K., Oğuz, C. (2010). Comparative analysis of energy efficiency in organic and conventional farming systems: A case study of black carrot (*Daucus carota* L.) production in Turkey. *Philippine Agricultural Scientist*, 93(2): 224-231.
- Çiçek, A., Altıntaş, G., Erdal, G. (2011). Energy consumption patterns and economic analysis of irrigated wheat and rainfed wheat production: Case study for Tokat region, Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(3): 378-388.
- 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.
- Demircan, V., Koknaroglu, H. (2007). Effect of farm size on sustainability of beef cattle production. *Journal of Sustainable Agriculture*, 31(1):75-87.
- Eren, Ö., Gökdoğan, O., Baran, M.F. (2019). Determination of greenhouse gas emissions (GHG) in the production of different plants in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(2A): 1158-1166.
- Ertekin, C., Çanakcı, M., Külcü, R., Yaldız, O. (2010). Energy use in legume cultivation in Turkey. *XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR)*. Québec, Canada, June, 13-17, 1-9.
- Fluck, R.C., Baird, C.D. (1982). *Agricultural Energetics. Connecticut: AVI*.
- Gökdoğan, O., Erdoğan, O. (2018). Evaluation of energy balance in organic olive (*Olea europaea* L.) production in Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 60(1): 47-52.
- Göktolga, Z.G., Gözener, B., Karkacier, O. (2006). Energy use in peach production: case of Tokat province. *Gaziosman Paşa University, Journal of Agriculture Faculty*, 23(2): 39-44.
- Guzman, G.I., Alonso, A.M. (2008). A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agricultural Systems*, 98: 167-176.
- Gündoğmuş, E. (2014). Does energy efficiency increase with orchard size? A case study from peach production. *Energy Efficiency*, 7: 833-839.

- Güzel, E. (1986). Çukurova Bölgesinde yerfıstığının sökülme ve harmanlanmasının mekanizasyonu ve bitkinin mekanizasyona yönelik özelliklerinin saptanması üzerinde bir araştırma. *Türkiye Ziraat Kurumu Mesleki Yayınları*. Yayın No: 47, Ankara.
- Hacıseferoğulları, H., Acaroğlu, M., Gezer, I. (2003). Determination of the energy balance of the sugar beet plant. *Energy Sources*, 25: 15-22.
- Hemmati, A., Tabatabaefar, A., Mousavi-avval, S.H., Poozesh, M. (2013). Energy flow modeling and economic analysis of olive production based on different orchard size in Guilan province of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(15): 1612-1621.
- Herendeen, R.A. (2004). Net Energy Analysis: Concepts and Methods. In *Encyclopedia of Energy*, 4: 283-289.
- Houshyar, E., Dalgaard, T., Tarazgar, M.H., Jorgensen, U. (2015). Energy input for tomato production what economy says, and what is good for the environment. *Journal of Cleaner Production*, 89: 99-109.
- Hughes, D.J., West, J.S., Atkins, S.D., Gladders, P., Jeger, M.J., Fitt, B.D. (2011). Effects of disease control by fungicides on greenhouse gas emissions by U.K. arable crop production. *Pest Management Sciences*, 67: 1082-1092.
- Karaağaç, M. A., Aykanat, S., Cakır, 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., 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.
- Kazemi, H., Shahbyki, M., Baghbani, S. (2015). Energy analysis for faba bean production: A case study in Golestan province, Iran. *Sustainable Production and Consumption*, 3: 15-20.
- Khoshnevisan, B., Shariati, H.M., Rafiee, S., Mousazadeh, H. (2014). Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29: 316-324.
- Kizilaslan, H. (2009). Input-output energy analysis of cherries production in Tokat province of Turkey. *Applied Energy*, 86: 1354-1358.
- Kitani, O. (1999). Energy for biological systems. In: The International Commission of Agricultural Engineering (ed) *CIGR Handbook of Agricultural Engineering: Energy and Biomass Engineering, vol V (Ortiz-Cañavate, J. and Hernanz, J.L.) American Society of Agricultural Engineers*, 13-39.
- Koçtürk, O.M., Engindeniz, S. (2009). Energy and cost analysis of sultana grape growing: A case study of Manisa, west Turkey. *African J Agricultural Research*, 4(10): 938-943.
- Konak, M., Marakoğlu, T., Özbek, O. (2004). Mısır üretiminde enerji bilançosu. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(34): 28-30.
- Mandal, K.G., Saha, K.P., Ghosh, P.K., Hati, K.M., Bandyopadhyay, K.K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean based crop production systems in Central India. *Biomass and Bioenergy*, 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 Pradesh, India. *Energy*, 32: 2336-2339.
- Maraseni, T.N., Cockfield, G., Maroulis, J., Chen, G. (2010). An assesment of greenhouse gas emissions from the Australian vegetables industry. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 45(6): 578-588.
- Meisterling, K., Samaras, C., Schweizer, V. (2009). Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Cleaner Production*, 17: 222-230.
- Mohammadi, A., Tabatabaefar, 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 and Management*, 49: 3566-3570.
- 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.
- Mohammadi-Barsari, A., Firouzi, S., Aminpanah, H. (2016). Energy-use pattern and carbon footprint of rain-fed watermelon production in Iran. *Information Processing in Agriculture*, 3: 69-75.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Shamshirband, S. (2016). Modeling energy consumption and greenhouse gas emissions for kiwifruit production using artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 133(1): 924-931.
- Nagy, C.N. (1999). Energy coefficients for agriculture inputs in western Canada. http://www.csale.usask.ca/PDFDocuments/energyCoefficient_sAg.pdf; May 31, 1999.
- Nguyen, T.L.T., Hermansen, J.E. (2012). System expansion for handling co-products in LCA of sugar cane bio-energy systems: GHG consequences of using molasses for ethanol production. *Applied Energy*, 89: 254-261.
- Ozalp, A., Yılmaz, S., Ertekin, C., Yılmaz, İ. (2018). Energy analysis and emissions of greenhouse gases of pomegranate production in Antalya province of Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 60: 321-329.
- Ozbek, O., Gokdogan, O., Baran, M.F. (2021). Investigation on energy use efficiency and greenhouse gas emissions (GHG) of onion cultivation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(2): 1125-1133.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., Karadeniz, F. (2004a). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 45: 1821-1830.
- Ozkan, B., Kürklü, A., Akçaöz, H. (2004b) An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: A case study for Antalya region of Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 26: 89-95.
- Ozkan, B., Akçaöz, H., Fert, C. (2004c). Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29: 39-51.
- Özcan, M.T. (1986). Mercimek hasat ve harman yöntemlerinin iş verimi, kalitesi, enerji tüketimi ve maliyet yönünden karşılaştırılması ve uygun bir hasat makinası geliştirilmesi üzerinde araştırmalar. *Türkiye Ziraat Kurumu Yayınları*. Yayın No: 46, Ankara.
- Öztürk, H.H., Ekinci, K., Barut, Z.B. (2008). Energy analysis of the tillage systems in second crop corn production. *Journal of Sustainable Agriculture*, 28(3): 25-37.
- Qasemi-Kordkheili, P., Rahbar, A. (2015). Modeling and optimization of energy consumption for grapefruit

- production in Iran. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(1): 118-129.
- Rodis, P.S., Karathanos, V.T., Mantzavinou, A. (2012). Partitioning of olive oil antioxidants between oil and waterphases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 596-601.
- Sabah, M. (2010). Söke ovasında ikinci ürün yağlık ayçiçeği üretiminde enerji kullanımı. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*, Adana.
- Saltuk, B. (2019). Determination of energy efficiency in after groundnut production Osmaniye case. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(4A): 3476-3482.
- Saltuk, B., Yücel, A., Atılğan, A. (2020). Determination of some environmental energy requirements in broiler poultry housing. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29(3): 1695-1702.
- 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 Systems 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 Management*, 44: 1053-1067.
- Sonmete, M.H. (2006). Fasulyenin hasat-harman mekanizasyonu ve geliştirme olanakları. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Tarım Makineleri Anabilim Dalı, *Doktora Tezi*, Konya.
- Sonmete, M.H., Demir, F. (2007). Fasulyenin hasat-harman mekanizasyonunda enerji tüketimleri. *Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(41): 109-117.
- Tan, F. (2018). Determination of the biogas potential from animal waste; Tekirdag City Example. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(1): 92-96.
- Tipi, T., Çetin, B., Vardar, A. (2009). An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(2): 352-356.
- Unakıtan, G., Aydın, B. (2018). A comparison of energy use efficiency and economic analysis of wheat and sunflower production in Turkey: A case study in Thrace region. *Energy*, 149: 279-285.
- Vossen, P. (2007). Olive oil: History, production, and characteristics of the World's classic oils. *HortScience*, 42(5): 1093-1100.
- Yılmaz, H., Aydın, B. (2020). Comparative input-output energy analysis of citrus production in Turkey: Case of Adana Province. *Erwerbs-Obstbau*, 62: 29-36.



Determination of Some Heavy Metals in Oil Sunflower Seeds Grown in the North of Turkey

Volkan Gül^{1*}, Sinan Kul²

^{1*} Bayburt University, Faculty of Applied Sciences, Department of Organic Agriculture Management, Bayburt, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4899-2822), volkangul@bayburt.edu.tr

² Bayburt University, Faculty of Applied Sciences, Department of Emergency Aid and Disaster Management, Bayburt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7824-756X), sinankul@bayburt.edu.tr

(First received 2 February 2021 and in final form 10 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.873311)

ATIF/REFERENCE: Gül, V. & Kul, S. (2021). Determination of Some Heavy Metals in Oil Sunflower Seeds Grown in the North of Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (23), 725-729.

Abstract

This study aims to determine some heavy metal contents (boron, aluminum, manganese, iron, cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium, and lead) of eighteen sunflower seeds obtained from six regions in the Middle Black Sea Region where sunflower is grown. The ICP-MS device was used to determine the heavy metal concentrations in the study, and cadmium, and lead amounts in the samples examined at the end of the study were found in the range of 0-0.06 $\mu\text{g kg}^{-1}$ and 0-1.07 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively. The highest heavy metal concentrations in all the examples were obtained as iron (13.14-61.04 $\mu\text{g kg}^{-1}$), zinc (34.11-54.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$), copper (15.68-20.7 $\mu\text{g kg}^{-1}$), and manganese (12.72-20.20 $\mu\text{g kg}^{-1}$). These heavy metals were followed by boron (4.82-10.33 $\mu\text{g kg}^{-1}$), aluminum (0-13.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$), and nickel (0.88-7.74 $\mu\text{g kg}^{-1}$). The lowest heavy metal concentration was cobalt (0.037-0.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$). As a result, the heavy metal concentrations found in the sunflower seeds grown in the Middle Black Sea region were lower than the limit values threatening to human health.

Keywords: Black Sea, Heavy Metals, *Helianthus Annuus* L., Oil Seed, Toxicity.

Türkiye'nin Kuzeyinde Yetiştirilen Yağlık Ayçiçeği Tohumlarında Bazı Ağır Metallerin Belirlenmesi

Öz

Bu çalışma, ayçiçeği yetiştiriciliği yapılan Orta Karadeniz Bölgesinde yer alan altı bölgeden temin edilen on sekiz ayçiçeği tohumunun bazı ağır metal içeriklerinin (bor, alüminyum, mangan, demir, kobalt, nikel, bakır, çinko, kadmiyum and kurşun) belirlenmesini amaçlamaktadır. Çalışmada ağır metal konsantrasyonlarını belirlemek için ICP-MS cihazı kullanıldı ve araştırma sonucunda incelenen numunelerdeki kadmiyum ve kurşun miktarları sırasıyla 0-0.06 $\mu\text{g kg}^{-1}$ ve 0-1.07 $\mu\text{g kg}^{-1}$ aralığında bulundu. Tüm örneklerde en yüksek element içeriği demir (13.14-61.04 $\mu\text{g kg}^{-1}$), çinko (34.11-54.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$), bakır (15.68-20.7 $\mu\text{g kg}^{-1}$) ve mangandan (12.72-20.20 $\mu\text{g kg}^{-1}$) elde edilirken bu elementleri bor (4.82-10.33 $\mu\text{g kg}^{-1}$), alüminyum (0-13.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$) ve nikel (0.88-7.74 $\mu\text{g kg}^{-1}$) elementleri takip etmiştir. Sonuç olarak Orta Karadeniz bölgesinde yetiştirilen ayçiçeği tohumlarında bulunan ağır metal konsantrasyonları, insan sağlığını tehdit eden sınır değerlerin altında kalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metaller, *Helianthus annuus* L., Karadeniz, Toksikite, Yağlı Tohum.

* Corresponding Author: volkangul@bayburt.edu.tr

1. Introduction

Heavy metals accumulate in agricultural lands, groundwater resources, air, and foods, causing pollution of the ecosystem and threatening the life of all living organisms in the world (Benavides et al, 2005). The most important reasons for the heavy metals to spread ecosystem is activities such as mining, gases from the exhausts of motor vehicles, an increase in the industrial sector, excessive use of chemical fertilizers and pesticides (Samarghandi et al, 2007). Heavy metals are metals with relatively high density and have a toxic effect even at low rates. There are more than 60 heavy metals such as lead (Pb), cadmium (Cd), iron (Fe), cobalt (Co), copper (Cu), nickel (Ni), mercury (Hg), and zinc (Zn), and the most toxic heavy metals can be listed as Cd, Pb, and Hg. These heavy metals can affect the psychological structure of humans and lead to health problems (Kahvecioğlu et al, 2003; Jarup et al, 2003). The elemental content of heavy metals in the soil ranges from 1 to 100,000 $\mu\text{g kg}^{-1}$, and overdoses of heavy metals cause deterioration of soil structure, decrease in product yield and quality, and environmental pollution (Long et al, 2002). While cadmium and lead cause serious health problems for organisms, nickel has a carcinogenic effect, and these heavy metals are easily found in plants. Although nutrient uptake by plants is selective, heavy metals are taken up by plants in the environment and incorporated into the food chain. This status negatively affects human health because of toxic effects on organisms that feed with plants (Yıldız, 2001).

Sunflower is an important oil plant in terms of crude oil production with 40-50% fat content (Öztürk et al, 2008). Since it is among the most nutritionally valuable oils among vegetable oils (69% unsaturated fatty acids and 11% saturated fatty acids), it is widely used in meals, frying and margarine production. The pulp formed after oil production is used as animal feed thanks to its high protein content. It is also used as raw material in the paint, plastic, soap and cosmetic industries. Sunflower seed is a valuable source of nutrients because it is rich in vitamin E and linoleic acid, which lowers cholesterol levels (Franco et al, 2018).

In recent years, the increase in technological activities due to the increase in population causes the environment and food to be contaminated. It is seen that heavy metals are among the most important causes of food pollution that threaten human health (Türküzü & Ganlıer, 2014). Since heavy metals in the atmosphere are very dangerous, these elements and their effects should be monitored. Plant species such as sunflower (*Helianthus annuus* L) can store these elements in their roots and bodies (Kötschau et al, 2014). Sunflower (*Helianthus annuus* L.), which has a high tolerance to heavy metals, is used to clean of the soil in areas where heavy metals are concentrated due to the excessive adsorption of plant nutrients from the soil (Jadia & Fulekar, 2008; Pilon-Smits, 2005). Studies have shown that low concentrations of Cd, Pb and Ni stimulate root and shoot elongation of sunflower plants, while high concentrations inhibit germination, root and shoot elongation (Jadia & Fulekar, 2008). Excessive heavy metal accumulation in the environment negatively affects the development factors such as germination, root, body development, enzyme activity in seeds, protein synthesis, oil yield, and product yield (Zengin & Munzuroğlu, 2006). Studies show that oil sunflower, which grows in areas with high environmental pollution, has high levels of copper and zinc in its roots, stems, leaves, and seeds (Şabudak et al, 2007).

Scientific studies on determination of heavy metal concentrations in sunflower growing regions of our country are not sufficient. In this study, it was tried to determine the heavy metal content of seed samples obtained from the Middle Black Sea Region, which is one of the important regions in oil sunflower cultivation.

2. Material and Method

2.1. Material

Three different seed samples were taken from Samsun (Havza, Vezirköprü, Bafra), Amasya (Merzifon), Tokat (Turhal) and Çorum centers where oil sunflower cultivation was carried out, and the points where the seeds were taken are shown in Figure 1.

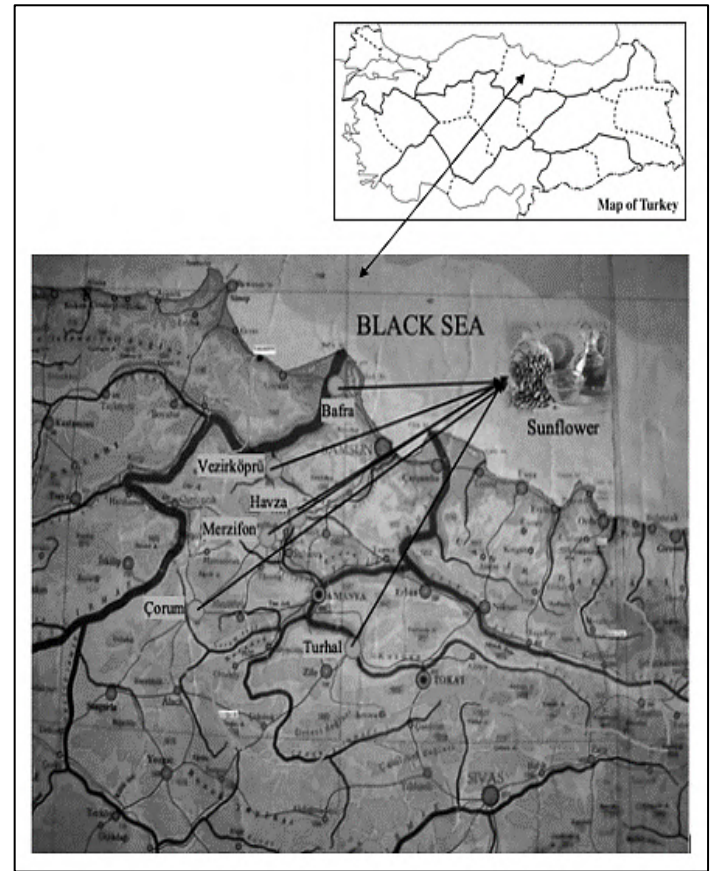


Figure 1. Oil sunflower seed samples taken in the Middle Black Sea Region

2.2. Method

Analyzes were performed in Bayburt University Central Research Laboratory. To determine the heavy metal, 0.2 g of each sample was taken into the bottle. 9 ml HNO_3 (65%, Merck) and 1 ml H_2O_2 (30%, Merck) were added to the incinerator. The burning process was performed at 200°C in Ethos Easy (Advanced Microwave Digestion System-Milestone) device and allowed to cool for 30 minutes at room temperature. Extracts were filtered with 0.45 μm PTFE filters and stored at +4°C in a laboratory environment until ICP-MS analyses (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer). Analyses were performed in 50 ml polyethylene tubes. Each sunflower sample was analyzed in triplicate. Standard solutions of B, Al, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb were prepared by diluting 1000 mg L⁻¹ stock solution

stored in polyethylene prior to analyses. Finally, the concentrations of B, Al, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in the seed samples were measured with the ICP-MS device.

3. Results and Discussion

The contents of mean heavy metals of each sunflower seed are given in Figure 2 and Figure 3. The amounts of Cd, Co and Pb were determined to be in the range of 0-0.06 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 0.04-0.13 $\mu\text{g kg}^{-1}$ and 0-1.07 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively.

3.1. Heavy Metal Content

The highest concentrations obtained from the seed samples were found to be 13.14-61.04 $\mu\text{g kg}^{-1}$ and 34.11-54.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for Fe and Zn elements, respectively. Cu, Mn, Al, B, Ni, and Co were found to be 15.68-20.71 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 12.72-20.20 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 0-13.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 4.82-10.33 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 0.88-7.74 $\mu\text{g kg}^{-1}$ and 0.04-0.13 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively.

The highest concentration of B was obtained from the Turhal region as 10.33 $\mu\text{g kg}^{-1}$. The highest concentrations of Al, Mn, Co, Fe, and Pb elements were obtained from the Havza region as 13.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 20.20 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 7.74 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 61.04 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 1.07 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively. The highest concentrations of Ni, Cu, Zn, and Cd elements were obtained from the Bafra region as 7.74 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 20.71 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 54.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$, and 0.06 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively. The lowest concentrations of Fe, B, and Ni elements were obtained from the Merzifon region as 13.14 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 4.82 $\mu\text{g kg}^{-1}$, and 0.88 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively. The lowest concentrations of Co element were obtained from the Bafra region as 0.04 $\mu\text{g kg}^{-1}$. The lowest concentrations of Mn and Zn elements were obtained from the Turhal region as 12.72 $\mu\text{g kg}^{-1}$, and 34.11 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively. The lowest concentration of Cu element was obtained from the Vezirköprü region as 15.68 $\mu\text{g kg}^{-1}$. In addition, the concentrations of Cd in Merzifon, Turhal, and Çorum regions, the concentrations of Pb in Bafra and Vezirköprü regions, and the concentration of Al in the Bafra region were not found as seen in Figure 2 and Figure 3.

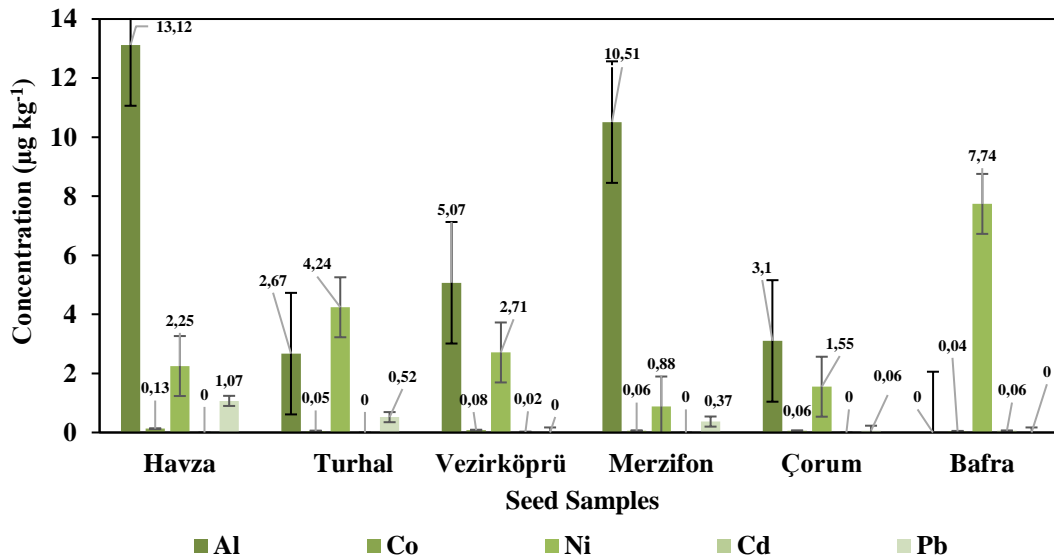


Figure 2. The concentrations of Co, Cd and Pb in oil sunflower seeds grown in the Middle Black Sea Region

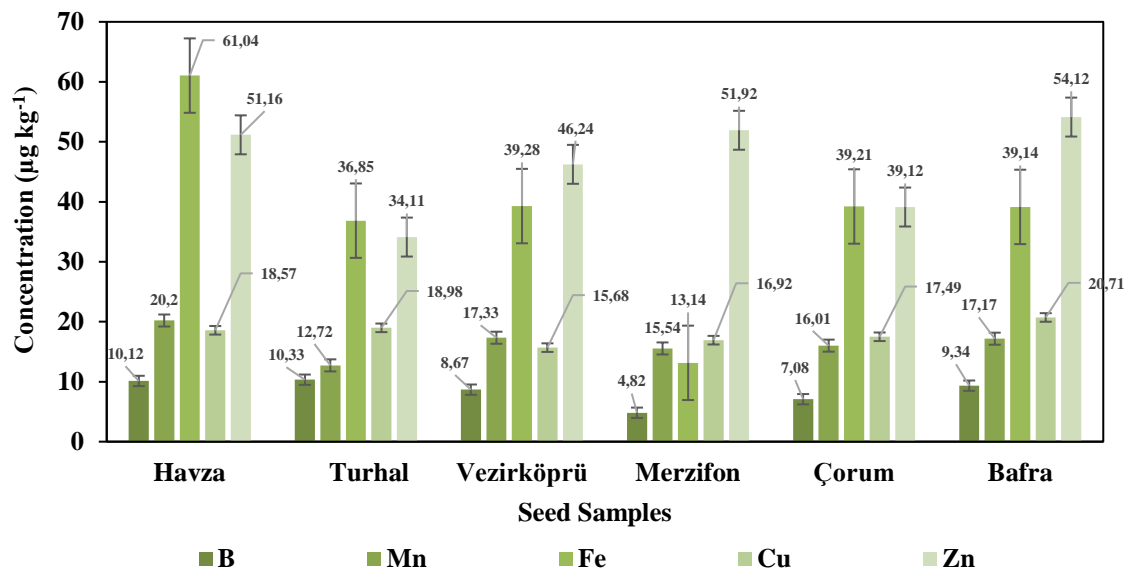


Figure 3. The concentration of B, Mn, Fe, Cu and Zn in oil sunflower seeds grown in the Middle Black Sea Region

While some metals are necessary for life, others are extremely dangerous. For example, copper is necessary for some organs such as hair and bone, and even low levels of lead element is very dangerous for human health (Dökmeci & Dökmeci, 2005; Selinus et al, 2005). According to La Pera et al. (2002) stated that heavy metal content in vegetable oils may result from soil, fertilizers, or highway and industrial sites around the land. For this reason, the importance of following heavy metal analyzes in the regions where oil sunflower is grown is once again understood. In a study on the effects of heavy metals on oil crops, the concentrations of Pb, Cu, Zn, and Cd found in sunflower were determined as 0.2-0.7 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 5.9-6.6 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 21.7-41.9 $\mu\text{g kg}^{-1}$, and 0.09-0.23 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively (Angelova et al, 2004a). While Cu and Zn element contents were lower than our results, Pb and Cd element contents were similar to our results. It is reported in the literature that the concentrations of Cu, Zn, Cd, and Pb elements in sunflower seeds reach high values (Kastori et al, 1998; Chizzola, 1998). According to another study examining sunflower seeds with high heavy metal concentrations, the concentrations of Cu, Fe, Mn, Zn, Cd and Pb in sunflower seeds were 21.9-23.4 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 59.8-66.4 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 20.2-23.9 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 73.1-112 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 130-239 $\mu\text{g kg}^{-1}$, and 167-219 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively (Madejón et al, 2003). While these results are higher than the concentrations of Cd and Zn elements given in our results, Cu and Ni element values are similar (Lombi et al, 1998). In the literature, the concentrations of Fe, Mn, Zn, and Cu elements in sunflower were found in the range of 100-200 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 50-100 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 50-70 $\mu\text{g kg}^{-1}$ and 10-20 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively (Plank et al, 1995). In our study, while Fe, Mn and Zn elements are high, Cu element is similar. The levels of Fe, Zn, Cu and Mn concentrations in sunflower samples taken from the northern region of Turkey are below the values given above (Angelova et al, 2004b).

4. Conclusions and Recommendations

Sunflower oil seeds are in the first place in terms of vegetable oil production and use in Turkey. Therefore, detecting and evaluating the heavy metal content in sunflower seeds can be considered beneficial in terms of food safety and human health. Determination of heavy metal and trace element content obtained from sunflower seed oil grown in Turkey, will allow monitoring of the health and quality of oil production. In our study, Cd and Pb contents in sunflower seeds are in trace amounts, and according to the results obtained from some studies, the content of elements B, Al, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, and Zn is below the critical level. However, since sunflowers draw excessive amounts of elements from the soil, more studies are needed in the regions in terms of heavy metal pollution.

5. Acknowledge

The authors are grateful for support from Bayburt University Faculty of Applied Sciences.

References

Angelova, V., Ivanova, R., & Ivanov, K. (2004b). Heavy Metal Accumulation and Distribution in Oil Crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35(17-18): 2551-2566. DOI:10.1081/CSS-200030368

Angelova, V., Ivanova, R., Delibaltova, V., & Ivanov, K. (2004a). Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre

crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*, 19: 197-205. DOI:10.1016/j.indcrop.2003.10.001

Benavides, M.P., Gallego, S.M., & Tomaro, M.L. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17: 21-34. DOI:10.1590/S1677-0420200500010003

Chizzola, R. (1998). Aufnahme und Verteilung von Cadmium in Sonnenblume. *Kâmile und Johanniskraut. - Z. Arznei- & Gewürzpfl.*, 3: 91-95.

Dökmeci, İ., & Dökmeci, A.H. (2005). *Toxicology Diagnosis and treatment with poisoning*. 4nd ed. İstanbul, Turkey: Nobel Medical Bookstore, p 675

Franco, R., Iseppi, L., & Taverna, M. (2018). Sunflower oil functional properties for specialty food. *Nutrition & Food Science International Journal*, 5: 4-7. DOI: 10.19080/NFSIJ.2018.05.555668

Jadia, C., & H. Fulekar, M. (2008). Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5): 547-558. DOI:10.30638/eemj.2008.078

Jadia, C.D., & Fulekar, M.H. (2008). Phytoremediation: the application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. *Envir. Eng. and Management J*, 7(5): 547-558. DOI:10.30638/eemj.2008.078

Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *Br Med Bull*, 68:167-82. DOI:org/10.1093/bmb/ldg032

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., & Timur, S. (2003). Environmental Effects of Metals-I. *TMMOB Chamber of Metallurgical Engineers Metalurji Magazine*, 136: 47-53.

Kastori, R., Plesnicar, M., Sakac, Z., Pankovic D., & ArsenijevicMaksimovic,I. (1998). Effect of lead excess on sunflower growth and photosynthesis. *Journal of Plant Nutrition*, 21:75-85.

Kötschau, A., Büchel, G., Einax, J.W., Von Tümpling, W., & Merten, D. (2014). Sunflower (*Helianthus annuus L.*): phytoextraction capacity for heavy metals on a mining-influenced area in Thuringia, Germany. *Environmental earth sciences*, 72: 2023-2031. DOI:10.1007/s12665-014-3111-2

La Pera, L., Lo Coco, F., Mavrogeni, E., Giuffrida, D., & Dugo, G. (2002). Determination of copper (II), lead (II), cadmium (II) and zinc (II) in virgin olive oils produced in Sicily and apulia by derivative potentiometric stripping analysis. *Italian Journal Food Science*, 14(4): 389-399.

Lombi, E., H Gerzabek, M., & Horak, O. (1998). Mobility of heavy metals in soil and their uptake by sunflowers grown at different contamination levels. *Agronomic* 18(5-6): 361-371. DOI:10.1051/agro:19980503

Long, X.X., Yang X.E., & Ni, W.Z. (2002). Current Status and Perspective on Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Soils. *Journal of Applied Ecology*, 13: 757-762. DOI:10.1631/jzus.B0710633

Madejón, P., Murillo, J.M., Marañón, T., Cabrera, F., & Soriano, M.A. (2003). Trace element and nutrient accumulation in sunflower plants two years after the Aznalcóllar mine spill. *Science of the Total Environment*, 307(1-3): 239-257. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00609-5

Öztürk, Ö., Akınerdem, F., Bayraktar, N., & Ada, R. (2008). Determination of Yield and Important Agricultural Characteristics of Some Hybrid Sunflower Varieties in Konya Watery Conditions. *S.Ü. Journal of Agricultural Faculty*, 22 (45): 11-20.

- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review Plant Biology*, 5:15-39. DOI:org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214
- Plank, C.O., Granberry, D.M., & Phatak, S. (1995). *Plant Analysis. Handbook for Georgia, Agricultural & Environmental Services Laboratories.*
- Şabudak, T., Şeren, İ., Kaykioğlu, İ., & Dinçer, A.R. (2007). Determination of Copper, Zinc and Lead Contents in Sunflower Plants. *Journal Environmental Protection and Ecology*, 8: 101-106.
- Samarghandi, M.R., Nouri, J., Mesdaghinia, A.R., Mahvi, A.H., Nasser, S., & Vaezi, F. (2007). Efficiency Removal of Phenol, Lead and Cadmium by Means of UV/TiO₂/H₂O₂ Processes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4: 19-25. DOI:10.1007/BF03325957
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., Finkelman, R.B. Fuge, R., Lindh, U., & Smedley, P. (2005). *Essentials of Medical Geology.* Burlington, MA: Elsevier Academic Press, p 832
- Türküzü, D., & Ganlıer, N. (2014). Heavy Metal Contamination in Foods: Contamination Sources, Health Risks and National/International Standards. *Electronic Journal of Food Technology*, 9(10): 29-46.
- Yıldız, N. (2001). Methods of Determination of Some Heavy Metals (Zn, Cu, Cd, Pb, Co and Ni) in Soil Pollutants. *Atatürk University Agricultural Faculty Magazine*, 32(2): 207-213.
- Zengin, F.K., & Munzuroğlu, Ö. (2006). Ayçiçeği Fidelerinin Toplam Çözülebilir Protein, Prolin ve Klorofil Miktarları Üzerine Cıva Klorürün Etkileri, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimi Dergisi, 18: 25-30.



Kaba Küme Akış Çizgilerinin Olasılıksal Yapısı

Mert Bal^{1*}

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalürji Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6250-929X), mertbal@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 28 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 11 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.801014)

ATIF/REFERENCE: Bal, M. (2021). Kaba Küme Akış Çizgilerinin Olasılıksal Yapısı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 730-741.

Öz

Tanecikli Hesaplama yöntemlerinden biri olan Kaba Kümeler Teorisi 1980'li yılların başlarında Zdzislaw Pawlak tarafından, belirsiz ve muğlak bilgi ile uğraşmak için ortaya atılmıştır. Belirsizliğin en temel nedenlerinden biri, belirsizliğin ilgili olduğu alanın tüm değişkenlerini gözlemlemenin güçlüğüdür. Ayrıca, gözlemlenebilen değişkenlerin ait oldukları dünya deterministik olmasına rağmen, rastgele davranış gösterir. Kaba kümeler teorisi evrende her bir nesneden bilgi elde edebileceğimiz varsayımı üzerine kuruludur. Teorinin ortaya atılmasından günümüze kadar geçen süre içerisinde kaba kümeler teorisi üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan biri de, 2000'li yılların başlarında kuramı ortaya atan Pawlak tarafından sunulan akış çizgileridir. Akış çizgeleri; verilerden akıl yürütmek ve akıllı veri analizi için veri tablolarından bilgi akışı dağılımını temsil etmek amacıyla grafiksel bir çerçeve sunmaktadır. Pawlak, akış çizgelerini Łukasiewicz tarafından önerilen olasılığı mantıksal terimlerle ifade etmeyi öneren kavramdan yola çıkarak açıklamıştır. Akış çizgeleri teorik bakış açısından, Łukasiewicz'in fikirlerinin bir genellemesi olarak görülebilir. Kaba küme teorisine dayalı akış çizgeleri, belirsiz ve eksik bilgi ile ilgilenen diğer yöntemler ile de örtüşmektedir. Bunlardan birisi de karmaşık alanlarda belirsizliği yönetmek için anlamsal bir modelleme aracı olarak kullanılan Bayes ağlarıdır. Kaba küme teorisi tarafından sunulan Bayes teoremine bakış, herhangi bir veri kümesinin toplam olasılık kuralı ve Bayes teoremini karşıladığını ortaya koymaktadır. Bayes teoremi, yeni bir kanıtın varlığında o ana kadar olan inançlarımızı nasıl değiştirmemiz gerektiğini açıklayan matematiksel bir kuraldır. Diğer bir deyişle, yeni bilgiler ile hali hazırda bulunan verilerin ve bilgilerin birleştirilmesini sağlar. Bu nedenle, akış çizgelerini Bayes ağlarının özel bir durumu olarak görebilmek mümkündür. Ayrıca, akış çizgeleri, karar tablolarından elde edilen kuralları Yönlendirilmiş Çevrimsiz Çizge (YDC) olarak düzenleyerek geleneksel kaba küme araştırmasını genişletir. Pawlak'ın akış çizgeleri, bilgi akışını görselleştirme yetenekleri nedeniyle hem pratik hem de teorik birçok araştırmacının ilgisini çekmiş ve birçok alanda başarı ile uygulanmıştır. Bu çalışmada, akış çizgelerinin temel kavramları ve özellikleri incelenmiş; akış çizgelerinin Bayes teoremi ve Bayes ağları ile ilişkisi gösterilmiştir. Ayrıca, akış çizgeleri ile ilgili geniş bir literatür araştırması yapılmış ve ilgili alanda yer alan uygulamalar ile teorik çalışmalara değinilmiştir. Çalışmanın son bölümünde, bir uygulama üzerinde, karar algoritması, sonlu bir "Eğer....O halde...." şeklinde karar kuralları kümesi olarak ifade edilmiştir. Ayrıca, bu karar kurallarının taşıdığı anlamlar Bayes teoremini sağlayan güç, kesinlik ve kapsama katsayıları ile ifade edilmiş ve değerlendirilmiştir. Burada her karar kurallarını olasılıksal özellikleri ortaya çıkardığı ve Bayes teoremi ile toplam olasılık kuralını karşıladığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akış Çizgeleri, Kaba Kümeler, Bayes Teoremi, Bayes Ağları, Belirsizlik, Karar Kuralları, Karar Algoritmaları.

Probabilistic Structure of Rough Set Flow Graphs

Abstract

The Rough Set Theory, one of the granular computing methods, was put forward by Zdzislaw Pawlak in the early 1980s to deal with uncertain and vague information. One of the main reasons for uncertainty is that the uncertainty stems from the difficulty of observing all the variables of the domain it relates to. Also, although the world to which the observable variables belong is deterministic, it shows random behavior. The rough set theory is based on the assumption that we can obtain information from every single object in

* Sorumlu Yazar: mertbal@yildiz.edu.tr

the universe. Many studies have been conducted on the theory of rough sets in the period that passed since the theory was introduced. One of these is the flow charts presented by Pawlak, who introduced the theory in the early 2000s. Flow charts provide a graphical framework for reasoning from data and representing the distribution of information flow from data tables for intelligent data analysis. Pawlak explained the flow graphs from the concept proposed by Łukasiewicz that proposes to express probability in logical terms. Flow graphs can be viewed from a theoretical point of view as a generalization of the Łukasiewicz 'ideas. Flow graphs based on rough set theory overlap with other methods that deal with uncertain and incomplete information. One of these is Bayesian networks used as a semantic modeling tool to manage uncertainty in complex domains. The look at Bayes' theorem presented by the rough set theory reveals that any data set meets the total probability rule and Bayes' theorem. Bayes' Theorem is a mathematical rule that explains how we should change our beliefs up to that point in the presence of new evidence. In other words, it ensures that new information is combined with already existing data and knowledge. Therefore, we can see flow graphs as a special case of Bayesian networks. In addition, flow graphs extend the traditional rough set research by organizing the rules derived from decision tables into Directed Acyclic Graphs (DAGs). Pawlak's flow graphs have attracted the attention of many practical and theoretical researchers due to their ability to visualize the flow of information and have been successfully applied in many areas. In this study, basic concepts and properties of flow charts are examined; the relationship of flow graphs with Bayes' theorem and Bayes networks is shown. In addition, a wide literature research on flow charts has been made and the applications and theoretical studies in the related field are mentioned. In the last section of the paper, the decision algorithm on an application is expressed as a finite set of decision rules in the form of "If...Then...". In addition, the meanings of these decision rules are expressed and evaluated with the strength, certainty and coverage coefficients that provide Bayes' theorem. It is seen here that each decision rules reveal probabilistic properties and meet Bayes' theorem and the total probability rule.

Keywords: Flow Graph, Rough Sets, Bayes Theorem, Bayesian Networks, Uncertainty, Decision Rules, Decision Algorithms.

1. Giriş

Kaba küme teorisi, muğlak, eksik veri analizi ve karmaşık alanlardaki belirsizliği modellemek için yeni bir matematiksel araç olarak Zdzislaw Pawlak (1982) tarafından tanıtılmıştır. Bu teorinin felsefesi, araştırma evreninin her nesnesiyle bazı bilgilerin ilişkilendirildiği varsayımına dayanır. Teori, karar desteği, mühendislik, bilgisayar bilimleri, bankacılık, tıp ve birçok alanda uygulama bulmuştur. Ayrıca, kaba küme teorisi, eksik ve belirsiz bilgiyle ilgilenen kanıt teorisi bulanık kümeler, Bayes ağları gibi birçok teori ile de örtüşmektedir. Örneğin, kaba küme teorisi, Bayes'in teoremine yeni bir bakış açısı sunar. Kaba küme teorisi tarafından sunulan Bayes teoremine bakış, herhangi bir veri kümesinin (karar tablosu) toplam olasılık kuralını ve Bayes teoremini karşıladığını ortaya koymaktadır. Bu özellikler, öznel ön bilgilere ve yeni kanıtlar mevcutsa revizyonuna başvurmadan nesnel verilerden sonuç çıkarmak için doğrudan kullanılabilir. Bu nedenle, Bayes'in teoremine ilişkin kaba küme görüşü, teoremin öznel "klasik" yorumunun aksine, oldukça nesneldir (Pawlak, 2002a).

Bayes ağları (Pearl,1988), karmaşık alanlarda belirsizlik ile baş etmek için anlamsal bir modelleme aracıdır. Bir Bayes ağı, Yönlendirilmiş Çevrimsiz Çizgeden (Directed Acyclic Graph-DAG) ve bu çizgeye karşılık gelen bir koşullu olasılık tabloları kümesinden oluşur. Yönlendirilmiş çevrimsiz bir çizge' de kodlanan olasılıksal koşullu bağımsızlıklar (Wong vd., 2000), koşullu olasılık tablolarının çarpımlarının tek bir ortak olasılık dağılımı olduğunu gösterir. Cooper (1990) çıkarımın karmaşıklığının NP-Zor olduğunu göstermesine rağmen, literatürde pratikte oldukça iyi sonuç veren birkaç yaklaşım geliştirilmiştir. Kaba kümeler ve Bayes ağlarının en önemli farklılıklarından birisi, kaba kümelerde Bayes ağlarından farklı olarak, söz konusu problem alanıyla ilgili hiçbir varsayımda

bulunulmaz. Bunun yerine, çıkarım süreci yalnızca örnek veriler tarafından yönetilir (Butz vd., 2005).

2002 yılında Pawlak kaba küme teorisinin önemli bir uzantısı olan ve verilerden akıl yürütmek için bir grafik çerçeve olarak matematiksel akış çizgelerini sunmuştur (Pawlak 2002b & Pawlak, 2003a). Akış çizgeleri, optimal akış analizi için Ford ve Fulkerson (1962) tarafından önerilen yöntemden farklıdır ve optimal akıştan ziyade, karar algoritmalarında bilgi akışı analizi için matematiksel bir araç olarak kullanılmaktadır.

Bir akış çizgesi, ağdaki akış dağılımını modeller ve verilen veri setinden bilgi akışının matematiksel modelini temsil eder. Akış çizgesinin dalları, karar kuralları olarak yorumlanırken, tüm akış çizgesi karar algoritmasının bir temsili olarak yorumlanabilir. Akış çizgesindeki bilgi akışı, Bayes'in kuralını sağlar, ancak kural olasılıksal bir anlama sahip değildir ve tamamen deterministiktir. Yani, Łukasiewicz'in öngördüğü olasılık ve doğruluk değerlerini kullanmak yerine, akış çizgelerinde deterministik akış analizi kullanılır. Bu özellik olasılıksal yapısına ve mantıksal yoruma atıfta bulunmadan, verilerden sonuç çıkarmak için kullanılabilir. Ayrıca, akış çizgesinin dalları arasındaki akış dağılım oranları olarak yorumlanabilmesini sağlar (Pawlak, 2003a & Pawlak,2003b). Teorik bakış açısından, akış çizgeleri, olasılığı mantıksal terimlerle ilk kez ifade etmeyi öneren Łukasiewicz 'in fikirlerinin bir genellemesi olarak görülebilir. Olasılığın önermesel fonksiyonların bir özelliği olduğunu ve [0,1] aralığına ait doğruluk değerleriyle değiştirilebileceğini iddia eder. Akış çizgesinde doğruluk değerleri ve dolayısıyla olasılıklar, bir akış çizgesinin dallarındaki akış yoğunluğu olarak yorumlanır (Pawlak, 2003a). Kaba küme teorisindeki akış çizgeleri, sezgisel ve açık biçimlendirme, basit hesaplama, paralel işleme ve Markov özelliği sergiler (Yao & Miao, 2019).

Bir Karar Algoritması, sonlu bir "Eğer....O halde...." karar kuralları kümesidir. Her karar kuralı, Bayes'in teoremini

sağlayan güç, kesinlik ve kapsama olmak üzere üç temel katsayı ile ilişkilidir. Kapsama katsayısı belirli bir karar için nedenlerin koşullu olasılığını verir. Bu nedenle akış çizgeleri, Bayesci (Bayesian) çıkarım metodolojisine yeni bir bakış açısı sağlar. Ayrıca, akış çizgeleri Bayes ağlarının özel bir durumudur (Greco, vd., 2002) ve karar tablolarından elde edilen kuralları yönlendirilmiş çevrimsiz çizge olarak düzenleyerek geleneksel kaba küme araştırmasını genişletir (Butz vd., 2005 & Butz vd., 2006). Pawlak'ın akış çizgeleri, bilgi akışını görselleştirme yetenekleri nedeniyle hem pratik hem de teorik araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bilgi keşfi, bilgi temsili, veri analizi ve veri madenciliği gibi birçok alanda başarıyla uygulanmıştır (Chitcharoen & Pattaraintakorn, 2010).

Bu çalışmada, akış çizgelerinin temel kavramları ve özellikleri incelenmiş ve Bayes ağları ile akış çizgelerinin ilişkisi gösterilmiştir. Ayrıca, akış çizgeleri ile ilgili geniş bir literatür araştırması yapılmış ve uygulamada ve teorik yapılan çalışmalara değinilmiştir. Son bölümde, bir uygulama üzerinde, karar algoritması, sonlu bir karar kuralları kümesi olarak ve Bayes'in teoremini sağlayan güç, kesinlik ve kapsama katsayıları ile ifade edilmiştir.

2. Literatür Özeti

Bu bölümde kaba kümeyle dayalı akış çizgeleri ile ilgili hem teorik hem de uygulamaya yönelik literatürde yer alan çalışmalara yer verilecektir.

Pawlak (2002a & 2002b) çalışmasında, her karar algoritmasının, olasılık özelliklerini ortaya çıkardığı, özellikle toplam olasılık kuralı ve Bayes teoremini karşıladığını göstermiştir. Bu özellikler, Bayesci muhakeme ile doğası gereği ilişkilendirilen, önsel ve sonsal olasılıklara atıfta bulunmadan, verilerden sonuç çıkarmak için yeni bir yöntem sunar. Greco vd. (2002), karar kurallarının karşılıklı dışlanması kavramını gevşetmiş ve karar algoritmalarının özelliklerinin hala geçerli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, karar kuralları kesinlik faktörünün bir derecesinde doğru olduğunda, toplam olasılık kuralının modus ponens ve modus tollens çıkarım kuralları ile nasıl ilişkili olduğunu ve gevşetilmiş koşullar altında, her karar algoritmasıyla bir akış grafiğinin ilişkilendirilebileceğini ve karar algoritmalarının yararlı bir yorumlanmasını sağladığını göstermişlerdir (Chitcharoen & Pattaraintakorn, 2010). Pawlak (2003b), akış çizgeleri ve olasılık arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, modus ponens ve modus tollens kavramlarından, doğruluk değerlerini karşılık gelen olasılıklarla değiştirmiş ve kaba modus ponens ve kaba modus tollens elde etmiştir. Pawlak (2003c), Bayes teoremi ile kaba kümeler arasındaki bazı ilişkileri göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada, her karar algoritması ile bir akış çizgesinin ilişkilendirilebileceğini göstermiştir. Kostek ve Czyzewski (2004a & 2004b), müzikal veritabanlarında bulunan meta verilerin akıllı analizine dayalı olarak müziğe erişimin sağlanmasına yönelik bir yöntem geliştirmişler ve akış çizgelerinden çıkarım kuralı türetme kavramından yararlanarak gelişmiş bir sorgu algoritması sunmuşlardır.

Pawlak (2005a) çalışmasında, akış çizgesinin hem kaba küme teorisi anlamında kümelerin yaklaşımlarını hesaplamak için biçimsel dil hem de veri yapısı için açıklama aracı olarak kullanılabileceği göstermiştir. Pawlak (2005b), bir akış çizgesindeki bilgi akışı dağılımına dayalı olarak veri madenciliği ve bilgi keşfi için yeni bir yaklaşım önermiş ve bir ağdaki akış dağılımını modellemiştir. Ayrıca, karar algoritmalarını basitleştirmenin yanında, akış çizgesinden ve koşullar ile karar kurallarının kararları arasındaki bağımlılık ile ilgili bir karar algoritması tanıtmıştır. 2006 yılında Butz vd., geleneksel kaba küme akış çizgesi çıkarım algoritmasının üstel zaman karmaşıklığına sahip olduğunu göstermiş ve geleneksel kaba küme akış çizgesinde çarpanlara ayırmayı kullanan yeni bir kaba küme akış çizgesi çıkarım algoritması önermiştir.

Pattaraintakorn vd. (2006), sıralı tahmin için kaba kümeler kural öğrenimi, kuralların kaba çizge gösterimine dayanan bir çalışma ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada, melanom verileri üzerinde bir vaka çalışması yapılmıştır. Sonuçlar, bu yenilikçi sistemin hem kuralları bulmak için hesaplama performansında hem de türetilen kuralların kullanılabilirliğinde kural öğrenmede bir gelişme sağladığını göstermiştir. Pawlak'ın akış çizgesi nicel bir çizge olduğundan, yani akış miktarını kullanarak düğümler arasındaki ilişkileri temsil ettiğinden, karar sistemlerinin özelliklerini tam olarak açıklayamaz. Sun vd. (2006) bu sorunu çözmek için akış çizgelerinin bir uzantısını geliştirmiştir. Bulanık akış çizgeleri kavramı, 2006 yılında Rolka ve Rolka tarafından tanıtılmıştır. Bu çalışmada, karar tablolarının bulanık özniteliklerle temsiline izin vermek için bulanık akış çizgeleri kavramı önerilmiştir (Chitcharoen & Pattaraintakorn, 2010). Karar ağaçları ve akış çizgeleri arasındaki ilişki Pawlak (2006) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada önerilen akış çizgesi, veri yapısında ilgili karar ağacından daha iyi kavrama sağlar ve doğrudan ağaçtan görülemeyen, karar ağaçlarının çok ilginç yeni özelliklerini ortaya çıkarır. Birçok şekilde kullanılabilirler ve özellikle verilerden verimli bir karar kuralları oluşturulmasını sağlarlar.

Suraj ve Pancercz (2007), zamansal bilgi sisteminin ardışık zaman pencerelerinde kural madenciliği için bir araç olarak akış çizgelerini kullanmıştır. Elde edilen kurallar, analiz edilen sistemin gelecekteki davranışını tahmin ederek, sistemdeki bileşenlerin gelecekteki değişikliklerini ve ardından gelenleri tahmin etmek için kullanılır. Chien ve Tsumoto (2007) çalışmasında, Çoklu küme (Multiset) Karar Tabloları kavramını kullanarak karar kuralları ve akış çizgeleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu çalışma ile, çoklu küme karar tablosunun akış çizgelerinin minimal bir temsiline sağladığını ve tutarsız verilerden karar kurallarının öğrenilmesini kolaylaştırdığı gösterilmiştir. Kurallar, Pawlak tarafından sunulan Bayes faktörleriyle karakterize edilir (Chitcharoen & Pattaraintakorn, 2010).

Pal ve Chakraborty (2007) makalesinde, video gözetleme için, tanecikli hesaplama çerçevesinde yeni bir uyarlanabilir kural oluşturma yöntemi, kaba kural tabanı ve ayrıntılı akış

çizgesine dayalı olarak yeni bir kavram ve yüksek performanslı bir yöntem tanıtmışlardır. Bu çalışmada, akış çizgesi hem eğitim hem de doğrulama görevlerinde uygulanabilir kılmak için iki yeni özellik, yani beklenen akış çizgesi ve akış çizgeleri arasındaki karşılıklı bağımlılık tanımlanmıştır. Tüm bu teknikler, komşu tanecikler seviyesinde gerçekleştirilir. Denetimsiz video gözetleme için üretilen kaba akış çizgesi tabanlı uyarlanabilir tanecikli kural tabanlı sistem, çerçevelerdeki belirsizlikleri ve eksiklikleri yönetebilir, ilk manuel etkileşimler olmadan ortaya çıkan bilgilerdeki eksikliklerin üstesinden gelebilir ve üstün performans ve hesaplama süresinde kazanç sağlar.

Sun vd., (2008) tanecikli hesaplama kullanarak genişletilmiş bir akış çizgesi için hem basit hem de somut bir model geliştirmişler ve akış çizgeleri ile tanecikli hesaplama arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Matusiewicz ve Pancercz (2008), durum tahmin problemlerinde akış çizgelerini ve bulanık ilişki denklemlerinin maksimum çarpım bileşimini birleştirmişler ve karar tablolarının bulanık özniteliklerle temsiline izin vermek için bulanık akış çizgeleri kavramını önermişlerdir.

Chitchareon ve Pattaraintakorn (2008a), akış çizgeleri ve birliktelik kuralları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için iki yeni önerme sunmuşlar ve gerçek dünya verileri üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Chitchareon ve Pattaraintakorn (2008b), çeşitli koşullar altında bulanık akış çizgelerinin kesinlik, kapsama ve güç katsayılarını hesaplamak için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Ayrıca, karar algoritmasının karşılıklı dışlama özelliğinin gevşetilmesini önermişler ve kesinlik ve kapsama katsayılarını hesaplamışlardır. Pattaraintakorn (2009), Pawlak'ın matematiksel akış çizgesinde bir entropi ölçüsü tanıtmıştır. Bu çalışma ile özellikle, akış çizgelerindeki entropi ölçümlerinin, verilerden yeni bir akıl yürütme metodolojisine yol açtığı ve akış çizgeleri, entropi ve karar ağaçları arasındaki sıkı ilişkiler gösterilmiştir.

Chitchareon ve Pattaraintakorn (2010), çalışmada bir akış grafiğinin akışını ve matris biçiminde hem normalleştirilmiş hem de birleştirilmiş normalleştirilmiş akış çizgelerinin güç, kesinlik ve kapsama katsayılarını temsil etmek için yeni bir yöntem önermiştir. Matris formunun hesaplamayı basitleştirdiği ve zaman karmaşıklığını iyileştirdiği gösterilmiştir.

Akış çizgeleri, video gözetleme sistemlerinde özellikle de, sınırlı algılamaları nedeniyle insan operatörler tarafından ele alınması sorunlu olan dağıtılmış çoklu kamera sistemlerinde kullanılabilir. Bu tür sistemlerde otomatik video analizinin

3. Akış Çizgeleri ve Bayes Ağları

Bu bölümde Bayes teoremi ile Kaba kümeler teorisi arasında bir ilişkinin varlığı gösterilecektir. Herhangi bir karar algoritması, Bayes teoremini klasik Bayes metodolojisi ile birleştirilen önsel veya sonsal olasılıkları kullanmadan sağlar. Bunun yanında, her karar algoritması ile bir akış çizgesinin

uygulanması gerekir. Bu analizin önemli bir parçası, tek bir kamera içinde ve kameraların görüş alanları arasında nesneyi takip etmektir. Ayrıca, akış çizgeleri belirli bir nesnenin gelecekteki hareketini tahmin etmek için de kullanılabilir. Lisowski ve Czyzewski (2015) çalışmada, gözetlenen alandaki nesnelerin yollarına dayalı akış çizgesi oluşturma, akış çizgesi temelinde bir olasılık ağacı inşa etmenin bir yöntemini ve akış çizgesini kamera ağının değişen topolojisine uyarlamak için bir yöntem sunmuşlardır. Kaur vd. (2016), akış çizgeleri kavramını, algısal nesnelerin ayrık kümeler arasındaki yakınlığı belirlemede çok önemli bir rol oynadıkları, algısal sistemlere uygulamış ve İçerik Tabanlı Görüntü Erişimi (Content Based Image Retrieval-CBIR) gerçekleştirmek için dijital görüntüleri göre tanımlanan bir algısal sistem tarafından oluşturulan akış çizgelerinin pratik bir uygulamasını sunmuşlardır. Liou vd. (2016) çalışmalarında, havayolu müşterilerinden oluşan geniş bir örneklemeden, hizmet kalitesine ilişkin müşteri tutumlarını belirlemek, hizmet kalitesini iyileştirmek ve böylece müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak için akış çizgeleri yaklaşımıyla bir dizi kural türetmişler ve akış çizgelerinin tahmin yeteneğini değerlendirmişlerdir. Ayrıca, çalışmalarında Kaba Küme Teorisi modeli ve akış çizgelerinin kombinasyonunun belirlenmesine ve bir iyileştirme stratejisinin geliştirilmesine yardımcı olduğunu göstermişlerdir. Takács ve Csajbók (2017) çalışmada, kaba küme akış çizgeleri ile istatistiksel olasılık tabloları arasındaki bağlantıyı göstermişlerdir. Lewicki ve Eberbach (2018) çalışmalarında, çok amaçlı optimizasyon probleminde yaklaşık kümeleri bulmak için karınca kolonilerinin değiştirilmiş bir kolektif davranış stratejisinin kullanımını sunmuşlardır. Ayrıca, dağıtık bilişsel ortamlarda yapay karıncaların iletişim stratejisini kontrol etmek için kaba küme akış çizgelerinin kullanımına dayalı yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Yao ve Miao (2019) çalışmalarında, akış çizgelerinin doğrudan öznitelik-değer tabloları biçiminde verilerden çıkarılmasına ve bu tür tablolardaki değişkenler arasındaki nedenselliğin tanımlanmasına odaklanmışlar; ayrıca nedenselliğin varlığı ile değişkenler arası akış çizgesi arasında ilişki kurmuşlardır. Söz konusu çalışmada Yao ve Miao (2019) denklik sınıfları ve doğrudan veri tablolarından türetilen bölümler kullanılmak suretiyle Markov özelliğine sahip değişkenlerin, akış çizgelerine entegre edilebilecek yapıları oluşturmak amacıyla kurulabileceğine vurgu yapmışlardır. Daha sonra, bu yapılarla dayanarak veri tablolarında gizlenen nedensellik, Pearl (2009) tarafından önerilen kriterler aracılığıyla belirlenebilir.

birleştirilmesi mümkündür. Bayes teorisi çizgedeki bilgi akışı ile yakından ilişkilidir. Ayrıca, her akış çizgesi, Öklidyen (Euclidean) uzayı ile ifade edilebilir. Burada, Öklidyen uzayının noktaları karar algoritması tarafından belirlenen kararları temsil ederken noktalar arasındaki mesafe ise, karar algoritmasındaki kararlar arasındaki mesafeyi gösterir (Pawlak, 2003c). Koşul ve karar özelliklerinin birbirinden ayırt edildiği bilgi tablosu karar tablosu olarak adlandırılır. Karar tablosundan

“Eğer.....O halde.....” biçiminde karar kuralları şeklinde bazı örüntüler çıkarılabilir (Greco vd., 2004).

Karar algoritması, “Eğer.....O halde.....” karar kurallarının sonlu bir kümesidir. Karar kuralları örüntüleri üç katsayı ile ifade edilir. Bu katsayılar, bir kuralın gücü, kesinliği ve kapsama faktörleridir. Bahsi geçen katsayılar veriden hesaplanabilir veya öznel bir değerlendirme ile belirlenebilir. Güç, kesinlik ve kapsama katsayıları Bayes teoremini sağlar. Bayes çıkarım metodolojisi önsel olasılıkları güncellemeden oluşur ve bunları da sonsal olasılıklar yoluyla gerçekleştirir. Bunun anlamı da, verinin mevcut olması durumunda güncellenmiş bilgiyi ifade etmesidir. Güç, kesinlik ve kapsama faktörleri, sınır hattındaki olasılıklar veya gerçeklik derecesi olarak yorumlanabilir. Ayrıca bunlar karar algoritmaları ile birleştirilmiş olarak akış çizgelerindeki bir deterministik akış dağılımı olarak yorumlanabilir.

3.1. Akış Çizgeleri

Bir akış çizgesi, yönlü, çevrimsiz, sonlu bir $G = (N, \mathfrak{B}, \varphi)$ çizgesi'dir. Burada, N düğümlerin kümesi $\mathfrak{B} \subseteq N \times N$ yönlü dalların kümesi, $\varphi: \mathfrak{B} \rightarrow R^+$ bir akış fonksiyonu ve R^+ pozitif gerçel sayılar kümesidir. $(x, y) \in \mathfrak{B}$ ise o halde x , y 'nin giriş ve y 'de x 'in çıkışıdır. Eğer, $x \in N$ ise bu durumda $I(x)$, x 'in tüm girişlerinin ve $O(x)$ 'de x 'in tüm çıkışlarının kümesidir G çizgesinin giriş ve çıkışı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$I(G) = \{x \in N : I(x) = \emptyset\} \quad (1)$$

$$O(G) = \{x \in N : O(x) = \emptyset\} \quad (2)$$

G çizgesinin giriş ve çıkışları G 'nin dış düğümleridir, diğer düğümler ise G 'nin iç düğümleri olarak adlandırılır. Eğer, $(x, y) \in \mathfrak{B}$ ise o halde $\varphi(x, y)$ x 'den y 'ye bir akış yoludur. Varsayalım ki, her $(x, y) \in \mathfrak{B}$ için $\varphi(x, y) \neq 0$ olsun. G akış çizgesinin her x düğümü ile giriş ve çıkış akışını birleştirilelim bu durumda aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\varphi_+(x) = \sum_{y \in I(x)} \varphi(y, x) \quad (3)$$

$$\varphi_-(x) = \sum_{y \in O(x)} \varphi(x, y) \quad (4)$$

Benzer şekilde, tüm G akış çizgesi için aşağıdaki gibi giriş ve çıkış akışı tanımlanır.

$$\varphi_+(G) = \sum_{x \in I(G)} \varphi_-(x) \quad (5)$$

$$\varphi_-(G) = \sum_{x \in O(G)} \varphi_+(x) \quad (6)$$

Herhangi x içsel düğümü için, $\varphi_+(x) = \varphi_-(x) = \varphi(x)$ 'dir ve burada $\varphi(x)$, x düğümünün akış yoludur. Açık bir şekilde, $\varphi_+(G) = \varphi_-(G) = \varphi(G)$ olur ve burada $\varphi(G)$, G çizgesinin akış yoludur. Yukarıdaki formüller, akış korunum denklemleri olarak ele alınabilir. Bir normalize edilmiş akış çizgesi bir yönlü, çevrimsiz, sonlu bir $G = \{N, \mathfrak{B}, \sigma\}$ çizgesi'dir. Burada, N düğümler kümesi, $\mathfrak{B} \subseteq N \times N$ yönlü dalların bir kümesi ve $\sigma: \mathfrak{B} \rightarrow \langle 0,1 \rangle$, (x, y) 'nin normalize edilmiş akışıdır ve

$$\sigma(x, y) = \frac{\varphi(x, y)}{\varphi(G)} \quad (7)$$

(7) denkleminin (x, y) 'nin gücüdür ve 0 ile 1 arasında değerler alacaktır ($0 \leq \sigma(x, y) \leq 1$). Dalın gücü, dal boyunca toplam akışın basitçe yüzdesini ifade etmektedir. G akış çizgesinin her x düğümü ile onun normalize edilmiş giriş ve çıkış akışı birleştirilebilir. Bu durum aşağıdaki gibi tanımlanır (Pawlak, 2004a & Pawlak, 2004b).

$$\sigma_+(x) = \frac{\varphi_+(x)}{\varphi(G)} = \sum_{y \in I(x)} \sigma(y, x) \quad (8)$$

$$\sigma_-(x) = \frac{\varphi_-(x)}{\varphi(G)} = \sum_{y \in O(x)} \sigma(x, y) \quad (9)$$

Açıkça görülebilir ki, her x içsel düğümü için $\sigma_+(x) = \sigma_-(x) = \sigma(x)$ 'dir. Burada, $\sigma(x)$ normalize edilmiş akış yoludur. Ayrıca,

$$\sigma_+(G) = \frac{\varphi_+(G)}{\varphi(G)} = \sum_{x \in I(G)} \sigma_-(x) \quad (10)$$

$$\sigma_-(G) = \frac{\varphi_-(G)}{\varphi(G)} = \sum_{x \in O(G)} \sigma_+(x) \quad (11)$$

(10) ve (11) denklemlerinden, $\sigma_+(G) = \sigma_-(G) = \sigma(G) = 1$ olacağı açıkça görülmektedir.

3.2. Kesinlik ve Kapsama Faktörleri

Bir G akış çizgesinin her (x, y) dalı ile kesinlik ve kapsama faktörleri birleştirilebilir. (x, y) 'nin kesinlik ve

kapsama faktörleri aşağıdaki (12) ve (13) denklemleri ile tanımlanır.

$$\text{cer}(x, y) = \frac{\sigma(x, y)}{\sigma(x)} \quad (12)$$

$$\text{cov}(x, y) = \frac{\sigma(x, y)}{\sigma(y)} \quad (13)$$

Burada sırasıyla, $\sigma(x) \neq 0$ ve $\sigma(y) \neq 0$ olacaktır. Yukarıda verilen tanımlardan aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$\sum_{y \in O(x)} \text{cer}(x, y) = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{x \in I(y)} \text{cov}(x, y) = 1 \quad (15)$$

$$\sigma(x) = \sum_{y \in O(x)} \text{cer}(x, y) \sigma(x) = \sum_{y \in O(x)} \sigma(x, y) \quad (16)$$

$$\sigma(y) = \sum_{x \in I(y)} \text{cov}(x, y) \sigma(y) = \sum_{x \in I(y)} \sigma(x, y) \quad (17)$$

$$\text{cer}(x, y) = \frac{\text{cov}(x, y) \sigma(y)}{\sigma(x)} \quad (18)$$

$$\text{cov}(x, y) = \frac{\text{cer}(x, y) \sigma(x)}{\sigma(y)} \quad (19)$$

Yukarıdaki özellikler olasılıksal bir niteliğe sahiptir. Örneğin, (16) ve (17) denklemleri toplam olasılık kuralı yapısına sahiptir ve (18) ve (19) formülleri ise Bayes kurallarıdır. Burada ki yaklaşımda bu özellikler deterministik bir yol ile tanımlanır ve ağdaki dallar boyunca akış dağılımını tanımlar.

3.3. Yollar ve Bağlantılar

x 'den y 'ye bir yönlü yol G çizgesinde $x \neq y$ olmak üzere her i için $(1 \leq i \leq n-1)$ $x_1 = x$, $x_n = y$ ve $(x_i, x_{i+1}) \in \mathfrak{B}$ gibi x_1, x_2, \dots, x_n ' e düğümler dizisidir. x 'den y 'ye bir yol $[x \dots y]$ ile gösterilir. $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ yolunun gücü, kesinliği ve kapsamı sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\text{cer}[x_1, x_2, \dots, x_n] = \prod_{i=1}^{n-1} \text{cer}(x_i, x_{i+1}) \quad (20)$$

$$\text{cov}[x_1, x_2, \dots, x_n] = \prod_{i=1}^{n-1} \text{cov}(x_i, x_{i+1}) \quad (21)$$

$$\sigma[x \dots y] = \sigma(x) \text{cer}[x \dots y] = \sigma(y) \text{cov}[x \dots y] \quad (22)$$

G çizgesinde, x 'den y 'ye tüm yollar kümesi $\langle x, y \rangle$ ile gösterilir. Bu da G 'de x 'den y 'ye bir bağlantı olarak adlandırılır. Diğer bir ifadeyle, $\langle x, y \rangle$ bağlantısı x ve y düğümleri ile belirlenen G 'nin bir alt çizgesidir. Her $\langle x, y \rangle$ bağlantısı için güç, kesinlik ve kapsama faktörleri aşağıdaki gibi gösterilir.

$\langle x, y \rangle$ bağlantısının kesinliği,

$$\text{cer}\langle x, y \rangle = \sum_{[x \dots y] \in \langle x, y \rangle} \text{cer}[x \dots y] \quad (23)$$

$\langle x, y \rangle$ bağlantısının kapsamı,

$$\text{cov}\langle x, y \rangle = \sum_{[x \dots y] \in \langle x, y \rangle} \text{cov}[x \dots y] \quad (24)$$

$\langle x, y \rangle$ bağlantısının gücü,

$$\sigma\langle x, y \rangle = \sum_{[x \dots y] \in \langle x, y \rangle} \sigma[x \dots y] = \sigma(x) \text{cer}\langle x, y \rangle = \sigma(y) \text{cov}\langle x, y \rangle \quad (25)$$

$[x \dots y]$ bir yol olsun. Burada, x ve y sırasıyla G çizgesinin giriş ve çıkışıdır. Böyle bir yol tam olarak adlandırılır. x 'den y 'ye tüm yolların kümesi G çizgesinde x 'den y 'ye tam bağlantı olarak adlandırılacaktır. x ve y sırasıyla, G 'nin giriş ve çıkışı olsun. Eğer G 'deki her $\langle x, y \rangle$ tam bağlantısı için, $\sigma(x, y) = \sigma\langle x, y \rangle$ ile yer değiştirirsek $\text{cer}(x, y) = \text{cer}\langle x, y \rangle$ ve $\text{cov}(x, y) = \text{cov}\langle x, y \rangle$ olur. O halde, $\sigma(G) = \sigma(G')$ gibi yeni bir G' akış çizgesi elde ederiz. Yeni akış çizgesi, birleştirilmiş akış çizgesi olarak adlandırılır (Pawlak, 2004a & Pawlak, 2004b). Verilen bir akış çizgesi için birleştirilmiş akış çizgesi onun giriş ve çıkışları arasındaki ilişkiyi temsil eder.

4. Karar Algoritmaları

Bir karar kuralı, $\Phi \rightarrow \Psi$ biçiminde ifade edilir ve "Eğer Φ ise o halde Ψ " şeklinde okunur. Burada Φ ve Ψ kuralın koşul ve kararı olarak adlandırılan mantıksal formüllerdir. Bu mantıksal formüller çizgenin düğüm kümesini oluşturur. Mantıksal formüller, önermesel fonksiyonlar olarak ifade edilir ve her kenar (Φ, Ψ) karar kuralı olarak görülebilir. $|\Phi|$, U

evreninden tüm nesnel kümesini gösterir ve bunlar Φ özelliğine sahiptir. Eğer, $\Phi \rightarrow \Psi$ bir karar kuralı ise o zaman $\text{supp}(\Phi, \Psi) = \text{card}(\Phi \wedge \Psi)$ karar kuralının desteği olarak adlandırılır ve karar kuralı, bu kuralın gücü ($\sigma(\Phi, \Psi)$), kesinliği ($\text{cer}(\Phi, \Psi)$) ve kapsama ($\text{cov}(\Phi, \Psi)$) faktörleri ile karakterize edilir. Her $[\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n]$ yolu, $\Phi_1 \rightarrow \Phi_2, \Phi_2 \rightarrow \Phi_3, \dots, \Phi_{n-1} \rightarrow \Phi_n$ karar kuralları dizisini oluşturur ve karar kurallarının bu dizisi tek bir karar kuralı $\Phi_1 \Phi_2 \dots \Phi_{n-1} \rightarrow \Phi_n$ olarak yorumlanır ve kısaca $\Phi^* \rightarrow \Phi_n$ olarak yazılır. Burada, $\Phi^* = \Phi_1 \wedge \Phi_2 \wedge \dots \wedge \Phi_{n-1}$ dir ve aşağıdaki gibi karakterize edilir.

$$\text{cer}(\Phi^*, \Phi_n) = \text{cer}[\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n] \quad (26)$$

$$\text{cov}(\Phi^*, \Phi_n) = \text{cov}[\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n] \quad (27)$$

$$\sigma(\Phi^*, \Phi_n) = \sigma(\Phi_1) \text{cer}[\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n] = \sigma(\Phi_n) \text{cov}[\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n] \quad (28)$$

Burada, $\sigma(\Phi)$ formülün doğruluk değeri ve $\sigma(\Phi, \Psi)$, $\Phi \rightarrow \Psi$ karar kuralının gücüdür. Benzer şekilde, her $\langle \Phi, \Psi \rangle$ bağlantısı tek karar kuralı $\Phi \rightarrow \Psi$ olarak yorumlanabilir ve aşağıdaki (29), (30) ve (31) bağıntıları ile gösterilir.

$$\text{cer}(\Phi, \Psi) = \text{cer}\langle \Phi, \Psi \rangle \quad (29)$$

$$\text{cov}(\Phi, \Psi) = \text{cov}\langle \Phi, \Psi \rangle \quad (30)$$

$$\sigma(\Phi, \Psi) = \sigma(\Phi) \text{cer}\langle \Phi, \Psi \rangle = \sigma(\Psi) \text{cov}\langle \Phi, \Psi \rangle \quad (31)$$

$[\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n]$ bir yol olsun. Şöyle ki, Φ_1 bir giriş ve Φ_n G akış çizgesinin bir çıkışıdır. Böyle bir yol, uygun $\langle \Phi_1, \Phi_n \rangle$ bağlantısı tam olarak adlandırılır. Tüm karar kuralları $\Phi_{i_1} \Phi_{i_2} \dots \Phi_{i_{n-1}} \rightarrow \Phi_{i_n}$ tüm tam yollar $\Phi_{i_1} \Phi_{i_2} \dots \Phi_{i_n}$ ile ilişkilidir ve akış çizgesi tarafından çıkarılan karar algoritması olarak adlandırılır.

Bir karar kuralının gücü, kesinlik ve kapsama faktörleri aşağıdaki gibi tanımlanır.

Karar kuralının gücü,

$$\sigma(\Phi, \Psi) = \frac{\text{supp}(\Phi, \Psi)}{\text{card}(U)} \quad (32)$$

Karar kuralının kesinlik faktörü,

$$\text{cer}(\Phi, \Psi) = \frac{\text{supp}(\Phi, \Psi)}{\text{card}(\Phi)} \quad (33)$$

Karar kuralının kapsama faktörü,

$$\text{cov}(\Phi, \Psi) = \frac{\text{supp}(\Phi, \Psi)}{\text{card}(\Psi)} \quad (34)$$

Karar tablolarından “Eğer.....O halde.....” şeklinde karar kuralları örüntülerinin çıkarılabileceğine yukarıda değinilmişti. Örneğin, hasta örneklerinden tıbbi bilgi toplayan bir veri tablosunda belirtiler kümesi $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ ’yi koşul özellikleri ve hastalıklar kümesi $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ ’yi de karar özellikleri olarak ele alalım. Karar tablosunda karar kurallarını “Eğer $S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{in}$ belirtileri görülürse o halde d_j hastalığı vardır” biçiminde karar kurallarını çıkarabiliriz. Burada $S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{in} \in S$ ve $d_j \in D$ ’dir. Bir karar tablosundan çıkarılan her karar kuralı ile geleneksel olarak üç katsayı (güç, kesinlik ve kapsama) ilişkilidir. Örneğin, karar kuralı “Eğer $S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{in}$ belirtileri görülürse o halde d_j hastalığı vardır” şeklinde ise bu aşağıdaki şekilde karakterize edilebilir (Greco vd.,2004):

- $S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{in}$ belirtilerine sahip olan hastalar ve d_j hastalığı örnekteki tüm hastaların %15’ini oluşturur. Bu durumda kuralın gücü %15’dir.
- $S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{in}$ belirtilerine sahip olan hastaların %91’i ayrıca d_j hastalığına sahiptir. bu durumda kuralın kesinlik faktörü %91’dir.
- d_j hastalığına sahip hastaların %52’si ayrıca $S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{in}$ belirtilerine sahiptir. Bu durumda kuralın kapsama faktörü %52’dir.

Güç, kesinlik ve kapsama katsayıları, uzun zamandır veri tabanlarında ve makine öğreniminde kullanılmaktadır. Eğer $\text{cer}(\Phi, \Psi) = 1$ ise, $\Phi \rightarrow \Psi$ karar kuralı kesin olarak adlandırılır. Aksi takdirde karar kuralı, kesin olmayan şekilde adlandırılır. Karar kurallarının bir kümesi,

$$\text{Dec}(\Phi, \Psi) = \{\Phi_i \rightarrow \Psi_i\}_{i=1}^n \quad (35)$$

şeklindedir.

Eğer (35) de verilen ifadenin tüm karar kuralları aşağıdaki özellikleri sağlarsa $n \geq 2$ için bir karar algoritması olarak adlandırılır.

- $\text{supp}(\Phi_i, \Psi)_i \neq \emptyset$ (her $1 \leq i \leq n$ için)
- Karşılıklı olarak bağımsız, örneğin, her $\Phi_i \rightarrow \Psi_i$ ve $\Phi_j \rightarrow \Psi_j$ için, $\Phi_i = \Psi_j$ veya $\Phi_i \wedge \Psi_j = \emptyset$ ve $\Phi_j = \Psi_i$ veya $\Psi_i \wedge \Phi_j = \emptyset$.
- $|\bigvee_{i=1}^n \Phi_i| = |\bigvee_{i=1}^n \Psi_i| = U$.

Eğer, $\text{Dec}(\Phi, \Psi) = \{\Phi_i \rightarrow \Psi_i\}_{i=1}^n$ bir karar algoritması ise,

$$\text{Dec}(\Psi, \Phi) = \{\Psi_i \rightarrow \Phi_i\}_{i=1}^n \quad (36)$$

ifadesi $\text{Dec}(\Phi, \Psi)$ 'nin ters karar algoritması olarak adlandırılır.

4.1. Karar Algoritmalarının Özellikleri

$\text{Dec}(\Phi, \Psi)$ bir karar algoritması ve $\Phi \rightarrow \Psi$, karar algoritmasındaki bir karar kuralı olsun. $D(\Phi)$ ve $C(\Psi)$, Φ 'nin tüm kararların kümesini ve $\text{Dec}(\Phi, \Psi)$ 'deki Ψ 'nin tüm koşullarının kümesini gösterir (Pawlak, 2002c). Her karar algoritması aşağıdaki olasılıksal özelliklere sahiptir.

$$\sum_{\Phi' \in C(\Psi)} \text{cov}(\Phi', \Psi) = 1 \quad (37)$$

$$\sum_{\Psi' \in D(\Phi)} \text{cer}(\Phi, \Psi') = 1 \quad (38)$$

$$\pi(\Psi) = \sum_{\Phi' \in C(\Psi)} \text{cer}(\Phi', \Psi) \cdot \pi_s(\Phi') = \sum_{\Phi' \in C(\Psi)} \sigma(\Phi', \Psi) \quad (39)$$

$$\pi(\Phi) = \sum_{\Psi' \in D(\Phi)} \text{cov}(\Phi, \Psi') \cdot \pi_s(\Psi') = \sum_{\Psi' \in D(\Phi)} \sigma(\Phi, \Psi') \quad (40)$$

$$\text{cer}(\Phi, \Psi) = \frac{\text{cov}(\Phi, \Psi) \cdot \pi(\Psi)}{\sum_{\Psi' \in D(\Phi)} \sigma(\Phi, \Psi')} = \frac{\sigma(\Psi, \Phi)}{\pi(\Phi)} \quad (41)$$

$$\text{cov}(\Phi, \Psi) = \frac{\text{cer}(\Phi, \Psi) \cdot \pi(\Phi)}{\sum_{\Phi' \in C(\Psi)} \sigma(\Phi', \Psi)} = \frac{\sigma(\Phi, \Psi)}{\pi(\Psi)} \quad (42)$$

Burada, $\pi(\Psi)$ ve $\pi(\Phi)$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\pi(\Psi) = \frac{\text{card}(|\Psi|)}{\text{card}(U)} \quad (43)$$

$$\pi(\Phi) = \frac{\text{card}(|\Phi|)}{\text{card}(U)} \quad (44)$$

(37) ve (42) formülleri olasılıksal bir çerçeveye sahiptir. (39) ve (40) formülleri toplam olasılık formülleri olarak anlaşılabilir. (41) ve (42) formülleri ise Bayes kuramı biçimindedir. Daha öncede belirtildiği gibi eğer, güç, kesinlik ve kapsama faktörleri, olasılıklar olarak yorumlarsak o halde, bu formüller karar algoritmasındaki veri arasında bazı ilişkileri açıklar. Bununla beraber, bu faktörleri bir gerçeklik derecesi olarak deterministik bir yolla yorumlamak da mümkündür.

5. Akış Çizgelerindeki Bağımlılıklar

$(x, y) \in \mathfrak{B}$ olsun. $\sigma(x, y) = \sigma(x) \cdot \sigma(y)$ olduğunda x ve y düğümleri birbirinden bağımsızdır. Sonuç olarak,

$$\frac{\sigma(x, y)}{\sigma(x)} = \text{cer}(x, y) = \sigma(y) \quad (45)$$

$$\frac{\sigma(x, y)}{\sigma(y)} = \text{cov}(x, y) = \sigma(x) \quad (46)$$

$$\text{cer}(x, y) > \sigma(y) \quad (47)$$

$$\text{cov}(x, y) > \sigma(x) \quad (48)$$

yukarıdaki (45) - (48) ifadelerinin gerçekleşmesi durumunda x veya y 'nin birbirine pozitif olarak bağımlı olduğu söylenebilir.

Benzer şekilde, eğer

$$\text{cer}(x, y) < \sigma(y) \quad (49)$$

$$\text{cov}(x, y) < \sigma(x) \quad (50)$$

(49) ve (50) eşitsizlikleri gerçekleşmesi durumunda, x veya y birbirine negatif olarak bağımlıdır denir.

Bağımlılık ve bağımsızlık ilişkilerinin simetrik ve istatistikte kullanılan durumlara benzer olduğu söylenebilir.

Her $(x, y) \in \mathfrak{B}$ için, $\eta(x, y)$ bağımlılık faktörü aşağıdaki gibi tanımlanır (Pawlak, 2004c).

$$\eta(x, y) = \frac{\text{cer}(x, y) - \sigma(y)}{\text{cer}(x, y) + \sigma(y)} = \frac{\text{cov}(x, y) - \sigma(x)}{\text{cov}(x, y) + \sigma(x)} \quad (51)$$

Burada,

- (a) eğer, $\eta(x, y)=0$ ise x veya y birbirinden bağımsızdır,
 (b) eğer, $-1 < \eta(x, y) < 0$ ise, x veya y negatif olarak bağımlı ve
 (c) eğer, $0 < \eta(x, y) < 1$ ise x veya y birbirine pozitif olarak bağımlıdır.

$\dots < a_n$, yani, $A, <$ ile doğrusal olarak sıralansın. O halde, $AS = (U, \mathcal{R}, V)$ yaklaşım uzayını temsil eden bir $G(A, S) = (N, \mathfrak{B}, \varphi)$ akış grafiği oluşturulabilir, burada;

1. $N = \{n_X: X \in \mathcal{R}\};$
2. $n_X \mathfrak{B} n_Y$ sadece ve sadece bazı $a_i \in A, a_j \in A, v \in V_{a_i}, v' \in V_{a_j}$ için

$X = \{u \in U: a_i(u) = v\}, Y = \{u \in U: a_j(u) = v'\}$ elde ederiz ve a_j, a_1, \dots, a_n 'nin doğrusal sırasına göre a_i 'nin doğrudan mirasçısıdır.

3. Herhangi bir $n_X, n_Y \in N$ için:

- (a) $\varphi(n_X, n_Y) = |X \cap Y|/|U|;$
- (b) $cer(n_X, n_Y) = |X \cap Y|/|X|;$
- (c) $cov(n_X, n_Y) = |X \cap Y|/|Y|.$

Bu nedenle, $G(A, S) = (N, \mathfrak{B}, \varphi)$ akış grafiği, A' dan alınan özniteliklerin verilen $<$ sıralamasına göre $AS = (U, \mathcal{R}, \vartheta)$ yaklaşım uzayının bir görüntüsü olarak ele alınabilir. Bu tür görüntüler ve bunların birleşimleri (füzyonları), kavram (konsept) yaklaşımları için modellerin sonuç çıkarımında kullanılabilir (Pawlak, 2005).

8. Uygulama

Bu bölümde, akış çizgesi ve bu çizge üzerinde oluşturulan karar kurallarının Bayes teoremini sağlayan güç, kesinlik ve kapsama katsayıları ile değerlendirilmesine yönelik bir örnek uygulama verilecektir. Sigara içme ve Kanser hastalığı arasındaki ilişkinin gösterildiği örneği göz önünde bulunduralım. Bu örnekte veri analizinin olasılıklı yapısı gösterilmiş ve ayrıca, istatistiksel ve akış çizgelerine dayalı metodoloji arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Bu bölümde Grinstead ve Snell (1997)'den alınan örnek üzerinde bir uygulama gösterilecektir. Tablo 1'de sigara içen ve içmeyen, kanser hastası olan ve olmayan 60 kişiye ait veriler gösterilmektedir.

Şekil 1'de, Tablo 1'de verilen verilere ilişkin akış çizgesi gösterilmektedir. Şekil 2'de, Şekil 1'de verilen akış çizgesi için normalleştirilmiş akış çizgesi sunulmuştur.

Tablo 1 Sigara içme ve Kanser Hastalığı

	Sigara İçmeyen	Sigara İçen	Toplam
Kanser Hastası Değil	40	10	50
Kanser Hastası	7	3	10
Toplam	47	13	60

6. Karar Uzayı

n değerli her karar algoritması ile n boyutlu Öklidyen uzayını birleştirmek mümkündür. Karar uzayı, bir karar algoritmasının kararlar arasındaki farklılıkları geometrik bir şekilde göstermek amacıyla kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Burada, kararların değerleri çizgenin n apsisini belirler ve koşul özellik değerleri (denklik sınıfları) uzayın noktalarını belirler. Karar kurallarının güçleri, karşılık gelen noktaların koordinatları olarak görülmelidir. $\delta(x, y)$ mesafesi n boyutlu karar uzayında x ve y noktaları arasındaki mesafe

$$\delta(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (52)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ karşılık gelen karar kurallarının vektörleridir (Pawlak, 2003c).

7. Akış Çizgeleri ve Kaba Kümeler

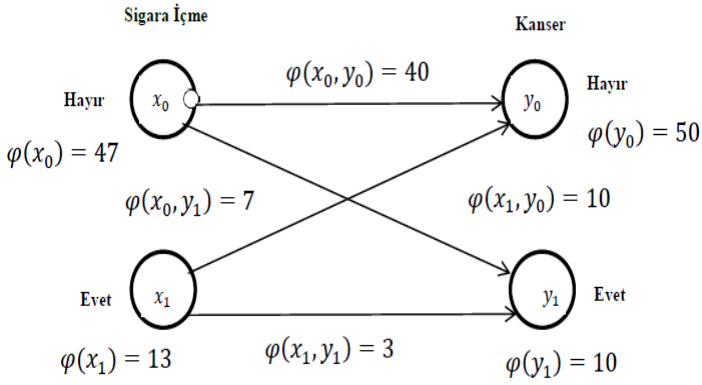
Bu bölümde akış çizgeleri ve kaba kümeler arasındaki ilişki, bazı akış çizgelerinin yaklaşım uzaylarının temsili olarak ele alınması şeklinde gösterilecektir. Bu durumu açıklamak amacıyla, bilgi sistemleri için yaklaşım uzaylarına dayalı bir örneği göz önüne alalım. $IS = (U, A)$ bir bilgi sistemi olsun. Burada, U nesnelere bir evreni ve $A, a: U \rightarrow V_a$ formunun öznitelikleri kümesidir (Pawlak, 1991). Bu tür bir bilgi sistemi, $AS = (U, \mathcal{R}, \vartheta)$ yaklaşım uzayını tanımlar (Skowron & Stepaniuk, 1996). Burada, \mathcal{R}, A üzerindeki tanımlayıcılar tarafından oluşturulan bir kümeler ailesidir. Yani,

$$\mathcal{R} = \{X \subseteq U: X = \{u \in U: a(u) = v\} \text{ bazı } a \in A \text{ için, } v \in V_a\}$$

ve $\vartheta: P(U) \times P(U) \rightarrow [0, 1]$, aşağıdaki (53) ifadesi tarafından tanımlanan standart kaba dahil etme işlemidir.

$$\vartheta(X, Y) = \begin{cases} \frac{|X \cap Y|}{|X|} & \text{Eğer } X \neq \emptyset \\ 1 & \text{Eğer } X = \emptyset \end{cases} \quad (53)$$

Dolayısıyla, $\vartheta(X, Y)$, herhangi bir $X, Y \in \mathcal{R}$ için X 'in Y 'ye dahil edildiği bir derecedir. Varsayalım ki, $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ ve $a_1 <$



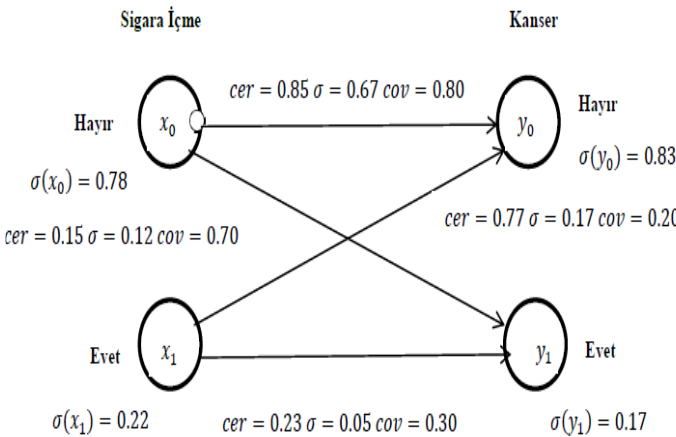
Şekil 1. Tablo 1 için Akış Çizgesi

Akış çizgesinden aşağıda verilen sonuçları elde ederiz:

- Sigara içmeyenlerin %85’inde kanser hastalığı yok ($cer(x_0, y_0) = 40/47 \approx 0.85$),
- Sigara içmeyenlerin %15’i kanser hastası ($cer(x_0, y_1) = 7/47 \approx 0.15$),
- Sigara içenlerin %77’sinde kanser hastalığı yok ($cer(x_1, y_0) = 10/13 \approx 0.77$),
- Sigara içenlerin %23’ü kanser hastası ($cer(x_1, y_1) = 3/13 \approx 0.23$).

Akış çizgesinden kansere sahip olup olmamanın aşağıdaki nedenini elde ederiz:

- Kanser hastalığı olmayanların %80’i sigara içmiyor ($cov(x_0, y_0) = 4/5 = 0.80$),
- Kanser hastalığı olmayanların %20’si sigara içiyor ($cov(x_1, y_0) = 1/5 = 0.20$),
- Kanser hastalığı olanların kişilerin %70’i sigara içmiyor ($cov(x_0, y_1) = 7/10 = 0.70$),
- Kanser hastalığı olan kişilerin %30’u sigara içiyor ($cov(x_1, y_1) = 3/10 = 0.30$).



Şekil 2. Tablo 1 için Normalize Edilmiş Akış Çizgesi

Bu sigara içmeyen kişilerin çoğunlukla kanser hastası olmadığı, ancak sigara içmenin çoğunlukla kanserle ilişkili olmadığı anlamına gelir. Ters akış çizgesinden kanser hastalığına yakalanmamanın nedeninin sigara içmek olmadığı, ancak kanser hastalığına yakalanmanın sigara ile ilişkili olmadığı sonucuna varılır (Pawlak, 2005).

Normalize edilmiş akış çizgesindeki karar kuralları ve bu karar kurallarına ait güç, kesinlik ve kapsama faktör katsayıları aşağıda verilmektedir:

Kural 1: $x_0 \rightarrow y_0$ ($cer = 0.85, \sigma = 0.67, cov = 0.80$)

“Eğer kişi Sigara içmiyorsa o halde Kanser hastası değil”,

Kural 2: $x_0 \rightarrow y_1$ ($cer = 0.15, \sigma = 0.12, cov = 0.70$)

“Eğer kişi Sigara içmiyorsa o halde Kanser hastasıdır”,

Kural 3: $x_1 \rightarrow y_0$ ($cer = 0.77, \sigma = 0.17, cov = 0.20$)

“Eğer kişi Sigara içiyorsa o halde Kanser hastası değil”,

Kural 4: $x_1 \rightarrow y_1$ ($cer = 0.23, \sigma = 0.05, cov = 0.30$)

“Eğer kişi Sigara içiyorsa o halde Kanser hastasıdır”.

Akış çizgesi için aşağıdaki bağımlılıklar elde edilir:

$$\eta(x_0, y_0) = 0.01, \eta(x_0, y_1) = -0.06, \eta(x_1, y_0) = -0.09 \quad \text{ve} \\ \eta(x_1, y_1) = 0.15.$$

Bu, x_0 ve y_0 (Kural 1) arasında hafif pozitif bağımlılık ve x_1 ile y_1 (Kural 4) arasında çok daha güçlü pozitif bağımlılık olduğu anlamına gelir. Ayrıca, x_0 ile y_1 (Kural 2) arasında negatif ilişki ve x_1 ve y_0 (Kural 3) arasında da yine negatif bir ilişki söz konusudur. Örnek uygulamadaki sonuçlar istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde, $\sigma(x_0), \sigma(x_1)$ önsel (prior) olasılıklara, $\sigma(x_0, y_0), \dots, \sigma(x_1, y_1)$ ortak olasılık dağılımlarına, $cov(x_0, y_0), \dots, cov(x_1, y_1)$ sonsal (posterior) olasılıklara ve $\sigma(y_0), \sigma(y_1)$ ‘in de marjinal olasılıklara tekabül ettiği görülmektedir.

9. Sonuç

Bu çalışmada, akış çizgelerinin temel kavramları ve özellikleri incelenmiştir. Bunun yanında, Bayes teoremi ve Bayes ağları ile akış çizgelerinin ilişkisi gösterilmiştir. Ayrıca, akış çizgeleri ile ilgili literatür araştırması yapılmış ve uygulamada ve teorik olarak yapılan çalışmalara değinilmiştir. Literatür araştırmasında da görüldüğü üzere akış çizgeleri birçok alanda başarılı bir şekilde uygulama alanı bulmuştur. Son bölümde, bir uygulama üzerinde, karar algoritması, sonlu bir **“Eğer....O halde....”** şeklinde karar kuralları kümesi olarak ifade edilmiştir. Ayrıca, bu karar kurallarının taşıdığı anlamlar Bayes teoremini sağlayan güç, kesinlik ve kapsama katsayıları ile ifade edilmiş ve değerlendirilmiştir. Burada, her karar kurallarının olasılıksal özellikleri ortaya çıkardığı ve Bayes teoremi ile toplam olasılık kuralını karşıladığı görülmektedir. Bu Pawlak’ın ilgili çalışmalarında da belirttiği; Bayes teoreminin önsel (prior) ve sonsal (posterior) olasılıklara gerek olmadan doğrudan verilerden mantık yürütmede kullanılan Bayesci

çıkartım metodolojisinin de yeni bir bakış açısına yol açmaktadır. Uygulamadaki sonuçlar istatistiksel olarak incelendiğinde, $\sigma(x_0), \sigma(x_1)$ önsel olasılıklara, $\sigma(x_0, y_0), \dots, \sigma(x_1, y_1)$ ortak olasılık dağılımlarına, $cov(x_0, y_0), \dots, cov(x_1, y_1)$ sonsal olasılıklara ve $\sigma(y_0), \sigma(y_1)$ 'in de marjinal olasılıklara karşılık gelmektedir.

Kaba küme teorisine dayalı akış çizgilerinin bilgi tabanlı karar desteği sağlamada çeşitli alanlarda yararlı olduğu ve bir dizi karar kuralıyla temsil edilen bilgi akışını modellemek için güçlü bir araç olduğu çalışmada gösterilmiştir. Akış çizgilerinin farklı alanlarda uygulamalarının gelecek çalışmalarda uygulamaları yapılabilir. Özellikle, yöneticilerin karar verme süreçlerinde yol gösterici ve karar desteği sağlayan akış çizgilerinin uygulandığı çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Kaynakça

- Butz, C.J., Yan, W. & Yang, W., (2005). The Computational Complexity of Inference Using Rough Set Flow Graphs, Rough Sets Fuzzy Sets Data Mining and Granular Computing 2005, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3641, Springer Verlag, Berlin, 335 – 344.
- Butz, C.J., Yan, W. & Yang, W., (2006). An Efficient Algorithms for Inference in Rough Set Flow Graphs, Transaction on Rough Sets V, Lecture Notes in Computer Science, 4100, Springer Verlag, Berlin, 102-122.
- Chien, C.C. & Tsumoto, S., (2007). On Learning Decision Rules from Flow Graphs, In Proc. of North America Fuzzy Information Processing Society, 655 – 658.
- Chitchoreon, D. & Pattaraintakorn, P., (2008a). Knowledge Discovery by Rough Sets Mathematical Flow Graphs and its Extension, In Proc. of the 26th IAESTED Int. Conf. on AI and Applications AIA' 08, ACTA Press, 340 – 345.
- Chitchoreon, D. & Pattaraintakorn, P., (2008b). Towards Theories of Fuzzy Sets and Rough Set to Flow Graphs, In Proc. of the 2008 IEEE World Congress on Computational Intelligence, Hong Kong, 1675 – 1682.
- Chitchoreon, D. & Pattaraintakorn, P., (2010). Novel Matrix Forms of Rough Set Flow Graphs with Applicationsto Data Integration, Computers and Mathematics with Applications, 60, 2880-2897.
- Cooper, G.F., (1990). The Computational Complexity of Probabilistic Inference Using Bayesian Belief Networks, Artificial Intelligence, Vol.42 (2-3), 393 – 405.
- Czyzewski, A., & Kostek, B., (2004a). Musical Metadata Retrieval with Flow Graphs. In Rough Sets and Current Trends in Computing, Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, Berlin, 3066, 691 – 698.
- Ford, L.R. & Fulkerson, D.R., (1962). Flows in Networks, Princeton University Press. Princeton, New Jersey.
- Greco, S., Pawlak, Z. & Slowinski, R., (2004). Can Bayesian Confirmation Measures be Useful for Rough Set Decision Rules?, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 17, 345 – 361.
- Grinstead, C.M. & Snell, J.L., (1997). Introduction to Probability, Second Revised Edition, American Mathematical Society.
- Kaur, K., Ramanna, S. & Henry, C., (2016). Measuring the Nearness of Layered Flow Graphs Application to Content Based Image Retrieval, Intelligent Decision Technology, 10, 165 – 181.
- Kostek, B. & Czyzewski, A., (2004b). Processing of Minimal Metadata Employing Pawlak's Flow Graphs, In Transactions on Rough Sets I, Vol.3100, Lecture Notes in Computer Sciences, Springer Verlag, Berlin, 279 – 298.
- Lewicki, A. & Eberbach, E., (2018). Learning Network Flow Based on Rough Set Flow Graphs and ACO Clustering in Distributed Cognitive Environments, Int.Workshop on Software Engineering for Cognitive Services (SE4COG), IEEE/ACM, 18 – 24.
- Liou, J.J.H, Chuang, Y.C. & Hsu, C.C., (2016). Improving Airline Service Quality Based on Rough Set Theory and Flow Graphs, Journal of Industrial and Production Engineering, Taylor & Francis, vol. 33, 123 – 133.
- Lisowski, K., & Czyzewski, A., (2015). Pawlak's Flow Graph Extensions for Video Surveillance Systems, Federated Conf. on Computer Science and Information Systems, 81 – 87.
- Matusiewicz, Z., & Pancerz, K., (2008). Rough Set Flow Graphs and max-* Fuzzy Relation Equations in State Prediction Problems, In Rough Sets and Current Trends in Computing in Lecture notes in Artificial Intelligence 5306, Springer Verlag, Berlin, 359 – 368.
- Pal, S.K., & Chakraborty, D.B., (2017). Granular Flow Graph Adaptive Rule Generation and Tracking, IEEE Transactions on Cybernetics, vol.47, 4096 – 4107.
- Pattaraintakorn, P., (2009). Entropy Measures of Flow Graphs with Applications to Decision Trees, In Rough Sets and Knowledge Technology, Lecture Notes in Computer Sciences, 5589, Springer Verlag, Berlin, 618 – 625.
- Pattaraintakorn, P., Cercone, N. & Nauredomkul, K., (2006). Rule Learning: Ordinal Prediction based on Rough Set and Soft Computing, Applied Mathematics Letters, 19, 1300-1307.
- Pawlak, Z., (1982). Rough Sets, Int. Journal of Computer and Information Sciences, 11 (5) , 341 – 356.
- Pawlak, Z., (1991). Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data, Kluwer, Dordrecht.
- Pawlak, Z., (2002a). The Rough Set View on Bayes' Theorem, AFSS 2002, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2275, Springer Verlag, Berlin, 106 – 116.
- Pawlak, Z., (2002b). Rough Sets, Decision Algorithms and Bayes' Theorem, European Journal of Operational Research, 136, 181 – 189.
- Pawlak, Z., (2002c). Rough Set Theory, Journal of Telecommunications and Information Technology, Vol.3, 7 – 10.
- Pawlak, Z., (2003a). Flow Graphs and Decision Algorithms, The 9th Int. Conf. on RSDGrC 2003, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2639, Springer Verlag, Berlin, 1 – 10.
- Pawlak, Z., (2003b). Probability, Truth and Flow Graph, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Vol.82 (4), 1 – 9.
- Pawlak, Z., (2003c). Decision Algorithms and Flow Graphs: A Rough Set Approach, Journal of Telecommunications and Information Technology, 3, 98 – 101.
- Pawlak, Z., (2004a). Flow Graphs - A New Paradigm for Data Mining and Knowledge Discovery, The Proc. of. 5th International Symposium on Knowledge and Systems Science, JAIST, 147-153.
- Pawlak, Z., (2004b). Decision Rules and Flow Networks. European Journal of Operational Research, 154, 184 – 190.
- Pawlak, Z., (2004c). Data Analysis and Flow Graphs, Journal of Telecommunications and Information Technology, Vol.3, 1 – 5.

- Pawlak, Z., (2005a). Rough Sets and Flow Graphs, Int. Workshop on RSFDGrC, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3641, Springer Verlag, Berlin, 1 – 11.
- Pawlak, Z., (2005b). Flow Graphs and Data Mining, Transactions on Rough Sets III, Lecture Notes in Computer Sciences, 3400, Springer Verlag, Berlin, 1 – 36.
- Pawlak, Z., (2006). Decision Trees and Flow Graphs, , In Rough Sets and Current Trends in Computing, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 4259, Springer Verlag, Berlin, 268 – 277.
- Pearl, J., (2009). Causality: Models, Reasoning and Inference, Second Edition, Cambridge University Press, New York.
- Rolka, M. A., & Rolka, L., (2006). Flow Graph and Decision Tables with Fuzzy Attributes, In Proc. of the 8th Int. Conf. AI and Soft Computing, Zakopane, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 4029, Springer Verlag, Berlin, 268 – 277.
- Skowron, A. & Stepaniuk, J., (1996). Tolerance Approximation Spaces, *Fundamenta Informaticae*, 27, 245 – 253.
- Sun, J., Liu, H. & Zhang, H., (2006). An Extension of Pawlak's Flow Graphs, In Proc. of the 1st Int. Conf. on Rough Sets and Knowledge Technology, 1191 – 199.
- Sun, J., Liu, H., Qi, C. & Zhang, H., (2008). Interpretation of Extended Pawlak's Flow Graphs Using Granular Computing, In Transaction Rough Sets VIII, Lecture Notes in Computer Sciences, 5084, Springer Verlag, 93 – 115.
- Suraj, Z., & Panczerz, K., (2007). Flow Graphs as a Tool for Mining Prediction Rule of Changes of Components, In Temporal Information Systems, Rough Sets and Knowledge Technology, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2475, Springer Verlag, Berlin, 468 – 475.
- Takacs, P., & Csajbok, Z.E., (2017). On the Connection of Flow Graphs and Contingency Tables, The 10th Int. Conf. on Applied Informatics, 295 – 302.
- Wong, S.K.M., Butz, C.J. & Wu, D., (2000). On the Implication Problem for Probabilistic Conditional Independency, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.30 (6), 785 – 805.
- Yao, N. & Miao, D., (2019). Identification of Structures and Causation in Flow Graphs, *Information Sciences*, 486, 287 – 309.



Süperiletken Manyetik Yataklı Doğrusal Fırlatıcı Sistemi için H-Formülü Yöntemi ile Manyetik Ray Konfigürasyonu Tasarımı

Sinan Başaran^{1*}, Mutlu Altıncılıç², Ali Suat Yıldız³

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

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4989-0131),
maltinkilic@gmail.com

³ Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6914-5222),
suat@sivas.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 17 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.884362)

ATIF/REFERENCE: Başaran, S., Altıncılıç, M., & Yıldız, A. S. (2021). Süperiletken Manyetik Yataklı Doğrusal Fırlatıcı Sistemi için H-Formülü Yöntemi ile Manyetik Ray Konfigürasyonu Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 742-749.

Öz

Süperiletken malzemeler kullanılarak oluşturulan sistemlerde deneysel yapının kurulmasından önce sistemin hareketine bağlı levitasyon kuvveti gibi spesifik karakteristiklerini gözlemlemek ve tasarımı şekillendirmek için çeşitli analitik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Maxwell denklemleri üzerinden elde edilen bu analitik yaklaşımlar ile kalıcı mıknatıs ve süperiletken malzeme arasındaki etkileşimi modelleme mümkün olmaktadır. Bu çalışmada manyetik alanın analitik olarak modellenmesini sağlayan H-formülasyonu yöntemi ile süperiletken manyetik yataklı doğrusal fırlatıcı sistemi için manyetik ray konfigürasyonu sunulmuştur. Bu çalışmada ele alınan sistemde insansız hava araçları için fırlatıcı olarak kullanılabilir yapıya sahip doğrusal bir ivmelendirici sisteminin yataklanmasının süperiletken manyetik yataklar yardımı ile temassız bir şekilde gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Dolayısı süperiletken ve manyetik ray arası etkileşimin incelenmesi ve levitasyon kuvvetlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Süperiletken manyetik yatak, Doğrusal fırlatıcı, H-formülü.

Magnetic Rail Configuration Design with H-Formulation Method for Superconducting Magnetic Bearing Linear Launcher System

Abstract

Various analytical approaches have been used in the superconducting levitation system before the experimental application stage to observe specific behavior such as displacement depending on force characteristic. The interaction between the permanent magnet and superconducting material can be modelled with these analytical approaches derived from Maxwell's equations. In this study, the H-formulation method that uses an analytic form of the magnetic field is presented for the magnetic rail configuration of a superconducting magnetic bearing linear launcher system. The system addressed in this study is aimed to realize the contactless bearing of a linear accelerator system that can be used as a launcher for unmanned aerial vehicles including a superconducting magnetic bearing. Therefore, the interaction between the superconductor and magnetic rail should be examined and also resulting force characteristics should be derived.

Keywords: Superconductive magnetic bearing, Linear launcher, H-formulation.

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

1. Giriş

Her ne kadar manyetik levitasyon çok yeni bir konsept olmasada, yüksek maliyet nedeniyle, günlük hayatta uygulama olarak sadece birkaç çeşit örneği vardır. Yıllar içerisinde süperiletken manyetik yataklama ve buna bağlı uygulamalarda birçok gelişme olmaktadır. Bu gelişmeler birkaç ana başlık altında toplanabilir. Süperiletken yataklama alanındaki gelişmelerin ilki kriyostat gelişmeleri olarak nitelendirilebilir.

Süperiletken ve kalıcı mıknatıs arasındaki etkileşim basitçe şu şekilde açıklanabilir. Kalıcı mıknatıs bir süperiletkene yaklaştırıldığında süperiletken içerisinde mıknatıstan kaynaklanan bir diyamanyetik görüntü oluşur. Süperiletken bu haldeyken kritik sıcaklığın altına soğutulduğunda bu diyamanyetik görüntü süperiletken içinde hapsolür. Bu halde süperiletken bir manyetik alana maruz kaldığında, bu manyetik alan süperiletken tarafından tamamen itilir. Bunun bir sonucu olarak bir kalıcı mıknatıs, süperiletkene yaklaştırıldığında kararlı bir manyetik levitasyon elde edilir. Bu kararlı manyetik levitasyonun korunabilmesi için kritik sıcaklığın aşılması gerekmektedir. Günümüzde bu alanda kullanılan YBCO (İtriyum Baryum Bakır Oksit) tipi süperiletkenlerin soğutulması için sıvı nitrojen ve kriyostatlar kullanılmaktadır. 2002 yılında ilk üretilen kriyostatlar ile 0.3 kg ağırlığında yük bir saatten az bir süre levite edilirken 2016 yılına gelindiğinde tek bir kriyostat ile 350 kg ağırlığında bir yük 24 saate yakın bir süre levite edilebilmektedir.(Floegel-Delor vd., 2018)

Kriyostatın taşıma kapasitesi kullanılan süperiletkenin miktarına ve sıcaklığına, taşıma süresi ise gerçekleştirilen ısı yalıtıma bağlıdır. Günümüzde kullanılan gelişmiş kriyostat sistemlerinde, sıvı azot bakır bir hazne içerisinde muhafaza edilmektedir. Bakırın yüksek ısı iletimi sebebiyle süperiletken, sıvı azota temas etmeden soğutulabilmektedir. Kriyostatın dış yüzeyi ise paslanmaz çelikten levhalarla kaplanmıştır. Bakır gövde ve paslanmaz çelik gövde arasındaki hava vakumlanarak, yayılım yoluyla ısı alverişi engellenmeye çalışılmıştır. Sıvı azotun kaynama sıcaklığı düşük olduğundan sistemdeki sıvı azot buharlaşma yoluyla sürekli olarak azalmaktadır. Paslanmaz çelik gövdeden bakır gövdeye giden paslanmaz çelik dolun kanalları sayesinde sisteme dışarıdan sıvı azot nakli yapılabilmektedir. Her ne kadar kriyostat ısı alverişini engellemeye çalışsa da bunu mükemmel olarak yapması mümkün değildir ve kriyostatın dış yüzeyi de epey düşük sıcaklıklara düşmektedir. Bu da ortamda bulunan nemli havanın kriyostat yüzeyinde yoğunlaşmasına ve çığlenmeye neden olacaktır. Kriyostat dış yüzeyinin paslanmaz çelik malzemeden imal edilmesinin nedeni de hem sıcaklık farkından dolayı kriyostat dış yüzeyinde yoğunlaşan havanın korozyon etkisini ortadan kaldırmak hemde kriyostatın manyetik ray ile etkileşime girmesini engellemektir. Eğer korozyon oluşursa çelik malzeme aşınacak ve vakumlanmış bölgeye hava hücum edecektir. Bu da izolasyonun tamamen ortadan kalkmasına ve sıvı azotun hızlı bir şekilde buharlaşıp kritik sıcaklığın aşılmasına neden olacaktır. Bu çalışmaya konu olan kriyostat tasarımında ise vakum izolasyon kullanılmayacaktır. Dış gövdede paslanmaz çelik yerine korozyona karşı dirençli ve kriyojenik sıcaklıklarda yüksek mekanik özellik gösteren PEEK polimer malzeme, vakum izolasyon yerine de yalıtım battaniyeleri ile kriyostat tasarımı yapılmıştır. Üretilen kriyostat, vakumlu kriyostat kadar uzun süre çalışması ve sıvı azotu muhafaza etmesi beklenemez

ancak deney esnasında süperiletkeni kritik sıcaklığın altında tutacak seviyede ısı yalıtım sağlaması beklenmektedir.

Süperiletken manyetik yataklamadaki bir başka gelişmede süperiletkenlerin üretim süreçlerindeki gelişim olarak sınıflandırılabilir. Ancak bunlar çoğunlukla malzeme ile ilgili gelişmeler olduğundan çok fazla değinilmeyecektir. Her ne kadar günümüzde kritik sıcaklığı 250K olan süperiletken üretilmiş olsa da bu süperiletken çok yüksek basınç altında süperiletken olma özelliğini korumaktadır ve mühendislik olarak bir değeri yoktur (Drozdov vd., 2019). Günümüzde mühendislik alanında YBCO tipi süperiletkenler kullanılmaktadır. Bu süperiletkenlerde itriyum, baryum, bakır ve oksijenden oluşan seramiklerdir. YBCO tek tip bir süperiletken değildir ve değişik süperiletkenlerde bu elementler değişik miktarlarda bulunmaktadır.

Süperiletken yataklamadaki son gelişimde bu çalışmaya da konu olmuş kalıcı mıknatısların diziliminde gerçekleşmektedir. Manyetik levitasyonun oluşması için gereken manyetik alan ve bu manyetik alanların oluşturduğu kuvvet daha önce yapılan bir çok çalışmayla belirlenmiştir (Basaran ve Sivrioglu, 2017a; Ozturk vd., 2019; Yang ve Zheng, 2007). Kalıcı mıknatıs manyetik alanının şiddeti ne kadar fazla ise levitasyonun oluşturulabileceği süperiletken kalıcı mıknatıs mesafesi de artacaktır. Düşük manyetik alanlarda artan mesafe ile levitasyon ortadan kaybolacaktır. Manyetik levitasyonu içinde bulunduran sistem çalışma esnasında mekanik titreşimlere veya başka bozucu etkenlere maruz kalabilir. Bu sebeple mıknatıs ve süperiletken arasındaki mesafenin fazla olması ve korunabilmesi önemlidir. Mıknatıs dizilimindeki bir başka önemli nokta ise süperiletken üzerindeki manyetik alan şiddetinin farklı mıknatıs dizilimleri ile değiştirilebilmesidir. Örneğin neodyum mıknatısların yüzeyindeki manyetik alan mıknatısın büyüklüğünden bağımsız olarak 0.5 tesla civarındadır. Ancak süperiletken ve mıknatıs arasındaki levitasyon kuvveti mıknatıs yüzeyindeki ortalama manyetik alanla doğru orantılıdır. Her ne kadar mıknatısın yüzeyindeki azami manyetik alan değiştirilemez olsada mıknatısların farklı dizilimi ile ortalama manyetik alan değiştirilebilir ve oluşan kuvvet de buna göre değişir.

Yüksek sıcaklık süperiletken (YSS)-Kalıcı mıknatıs (KM) etkileşimini ifade etmek için bazı modelleme araçlarının kullanılması gerekmektedir. Bu araçlar arasında, analitik modeller, belirli varsayımlar altında basit geometriler için kullanılabilir. Daha karmaşık bir yapı için, YSS ve KM arasındaki etkileşimi açıklamak için Maxwell denklemlerinden türetilen sayısal yöntemlerin kullanılması gereklidir. Manyetik alana dayalı H-formülasyonu, hesaplama hızı ve ticari FEM yazılımları ile uygulanabilirliği gibi kolaylıkları nedeniyle levitasyon davranışını modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. H-formülasyon ile modellenecek yapı bir sonlu elemanlar çözüm yazılımı olan COMSOL Multiphysics ile çözdürülecektir. Bu alanda daha önce benzer ama öncü çalışmalar da bulunmaktadır (Sass vd., 2015). Sass vd. gerçekleştirdiği bu çalışmada süperiletken manyetik alan içinde ve manyetik alansız soğutulmuş ve tek parça kalıcı mıknatısla etkileşimi farklı mesafelerde incelenmiştir. Bu çalışmada ise süperiletken 4 kalıcı mıknatıstan oluşan sistemin etkisiyle manyetik alan içinde soğutulacak ve H-formülasyon kullanılarak süperiletken ve mıknatıslar arasındaki etkileşim modellenecektir.

Bu çalışmaya konu olan projede süperiletken manyetik fırlatıcı tasarlanması hedeflenmektedir. Manyetik fırlatıcı hali

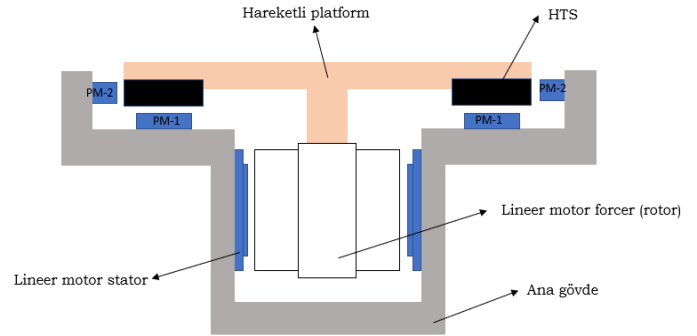
hazırda kullanılan fırlatıcılara göre birçok avantajı bulunmaktadır. Manyetik fırlatıcılar, geleneksel fırlatıcılara göre çok daha yüksek hızlara ulaşabilmektedir ayrıca manyetik fırlatıcılar geleneksel fırlatıcıların aksine tamamen otomatik olarak çalışabilmektedir. Daha önce süperiletken manyetik fırlatıcılar üzerine çalışmalar olmuştur (Kozdraš ve Sibilska-mroziewicz, 2017). Ancak her ne kadar amaç aynı olsada önceki çalışmada kurulan sistem ve projeye konu olan sistem arasında farklar bulunmaktadır. Polonya’da daha önce çalışılan sistemde pod adı verilen ufak sistemlerden oluşmaktadır. Her bir podda dört adet süperiletken, sıvı nitrojen kabı ve duralumin dış yüzeyden oluşmaktadır. Ayrıca podların alt yüzeyi süperiletkenleri darbelerden korumak için karbon fiber ile kapatılmıştır. Sistemde iki adet birbirine paralel mıknatıs yolu bulunmaktadır. Her bir mıknatıs yolu yanyana üçerli halde dizilmiş sıra mıknatıslardan oluşmaktadır podlar bu mıknatıs yolunun üzerinde hareket etmektedir ve podlar ayrıca insansız hava aracını taşıma işini de üstlenmiştir. Polonya’da çalışılan sistemin projede tasarlanan sistemden bazı farkları bulunmaktadır. Öncelikle Polonya’daki sistemde 21mm çapında ve 8mm kalınlığında dairesel süperiletkenler kullanılmışken projede, çok yüzeyli levitasyon konsepti sebebiyle 40mmx40mmx13mm boyutlarında kare prizma süperiletken kullanılacaktır. Polonya’daki sistemde yollar sadece üçerli mıknatıs yolu vardır dolayısıyla mıknatıs ve süperiletken arasında tek yüzeyli iletişim vardır. Projede tasarlanan sistemde yatay mıknatıs yolu dışında süperiletkenlerin yan yüzeyine etki edecek ikinci bir yol daha bulunmaktadır. Bu sayede süperiletken ve mıknatıslar arasında çok yüzeyli etkileşim hedeflenmektedir. Çok yüzeyli etkileşim ile yanal eksende, Polonya’daki sisteme göre daha yüksek bir katılık elde edilir, bu da projedeki sistemin yanal eksenlerden gelecek bozukluklara karşı daha kararlı bir yapıda olacağını gösterir. Mıknatıs ve süperiletken arasında ki çoklu yüzey etkileşimi üzerine çalışmalar da bulunmaktadır (Sivrioglu vd., 2016), (Sivrioglu vd., 2018), (Ozturk vd., 2020).

2. Süperiletken Manyetik Yataklı Fırlatıcı Sistemi

Hedef uçak veya insansız hava aracı gibi yapısı gereği kalkış sistemi bulunmayan araçlarda kalkışı bir fırlatıcı sayesinde gerçekleştirilmektedir. İnsansız hava araçları için genel olarak mekanik tipte bir fırlatıcı sistem kullanılmaktadır (Novaković ve Medar, 2013). Mekanik fırlatıcı sistemlerde hava aracının kalkış hızı sabit olmakta olup gerekli ivme ve hız kontrolü yapılamamaktadır. Burada hava aracının fırlatılması pnömatik bir sistem yardımı ile yapılmaktadır. Burada hava aracına uygulanan pnömatik kuvvet büyüklüğü kalkış hızını belirlemektedir. Uygulanan pnömatik kuvvette herhangi bir geri besleme sistemi olmadığı için, hava aracına zarar vermeyecek büyüklükte olmalıdır. Buradan yola çıkarak daha kontrollü kalkışlar için son yıllarda yapılan çalışmalarda mekanik fırlatma sistemlerine alternatif olarak elektromanyetik fırlatıcı tasarımları yapılmaktadır (Fahlstrom ve Gleason, 2012). Elektromanyetik fırlatıcılar sayesinde hava araçları daha kısa mesafelerden hızlandırılarak kalkış yapılması sağlanmakta ayrıca ivme ve kalkış hızının manyetik fırlatıcı ile kontrol edilmesi ile farklı tipte ve ortamda kalkış işleminin gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Tipik bir elektromanyetik fırlatıcı sistemi lineer motor prensibi ile çalışmaktadır. Dolayısı ile motora uygulanan geri beslemeli kontrol sayesinde daha kontrollü hava aracı kalkışları yapılabilmekte ve klasik yöntem nazaran hava aracı gövdesine zarar verme olasılıkları minimize edilmektedir. Elektromanyetik

fırlatıcıların bir diğer avantajı ise klasik sistemlere göre daha az yer kaplaması ve operasyonel maliyetlerinin daha düşük olmasıdır (Kondratiuk ve Ambroziak, 2016; Reck, 2003). Elektromanyetik fırlatıcılar, hava aracını fırlatmak için bir pist boyunca bir vagonu iten elektrik akımı ile çalışan doğrusal bir endüksiyon motorunu (linear induction motor) kullanırlar. Fırlatma işlemi tamamlandıktan sonra fırlatıcı vagon kablo yardımı ile geri çekilerek ilk konumuna getirilmektedir. Uçak gemisi gibi yapılarda savaş uçaklarını fırlatmak için gereken enerji miktarı yüksek olmasına karşın uçak gemisinin hareketi için gereken güce nazaran epey düşük bir miktardadır. Elektromanyetik fırlatıcı sisteminin insansız hava araçları için kullanıldığı daha küçük ve daha az enerji tüketen bir sistem tasarlanabilir. Geri beslemeli kontrol için lineer motorun konumu hall etkili bir sensör yardımı ile kontrol edilmektedir.

Klasik mekanik fırlatıcı sistemler mevcut dezavantajları sebebi ile yerini elektromanyetik fırlatıcılara bırakmaktadır. Süperiletken manyetik yatakların temassız olarak yataklamayı sağladığı elektromanyetik fırlatıcı tasarımı henüz çalışılmamış bir konudur. Bu çalışmada laboratuvar ölçekli süperiletken manyetik yataklı doğrusal fırlatıcı sistem tasarımı önerilmektedir. Bu yapı her ne kadar laboratuvar ölçekli olsa da (tahmini boyu 1,5 metre) aynı zamanda küçük ve orta ölçekli insansız hava araçlarını fırlatabilecek kapasitede olacaktır. Bu yapı aynı zamanda süperiletken manyetik yatakların farklı ivmelenme durumlarındaki davranışlarını inceleyeceği için daha büyük ölçekli manyetik levitasyonlu yolcu taşıma sistemleri gibi projeler için bir ön hazırlık ve bilgi birikimi oluşturacaktır.



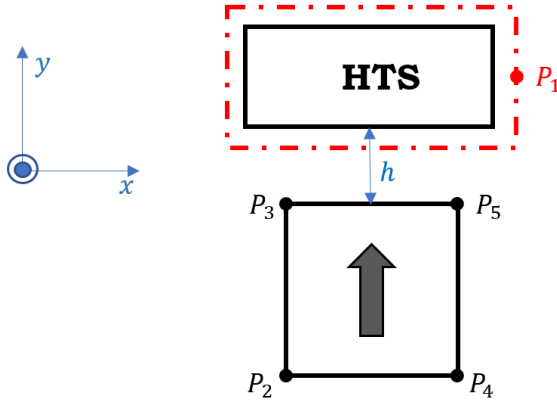
Şekil 1. Süperiletken manyetik yataklı fırlatıcı şematik görünüşü.

Şekilde verilen yapı fırlatılacak yükün taşındığı platformun süperiletken manyetik yatakla levite edildiği ve doğrusal hareketin lineer motorla sağlandığı bir elektromanyetik fırlatıcı sistemi tasarımını kapsamaktadır. Ayrıca süperiletken malzemeler genel olarak literatürde tek bir yüzey üzerinde sabit mıknatıslar ile levite edilmektedir. Bu yapıda ise süperiletken malzemenin aktif yüzeyi olarak hem alt yüzeyi hem de yan yüzeyi kullanılacaktır (Şekil 1). Çok yüzeyli levitasyon (Basaran ve Sivrioglu, 2017b; Sivrioglu vd., 2016) ismi verilen bu yapı ayrıca tek bir süperiletken malzemenin elde edilebilecek katılık değerini arttıracak ve lineer hareket esnasından yanal yüklerin bastırılmasını kolaylaştıracaktır.

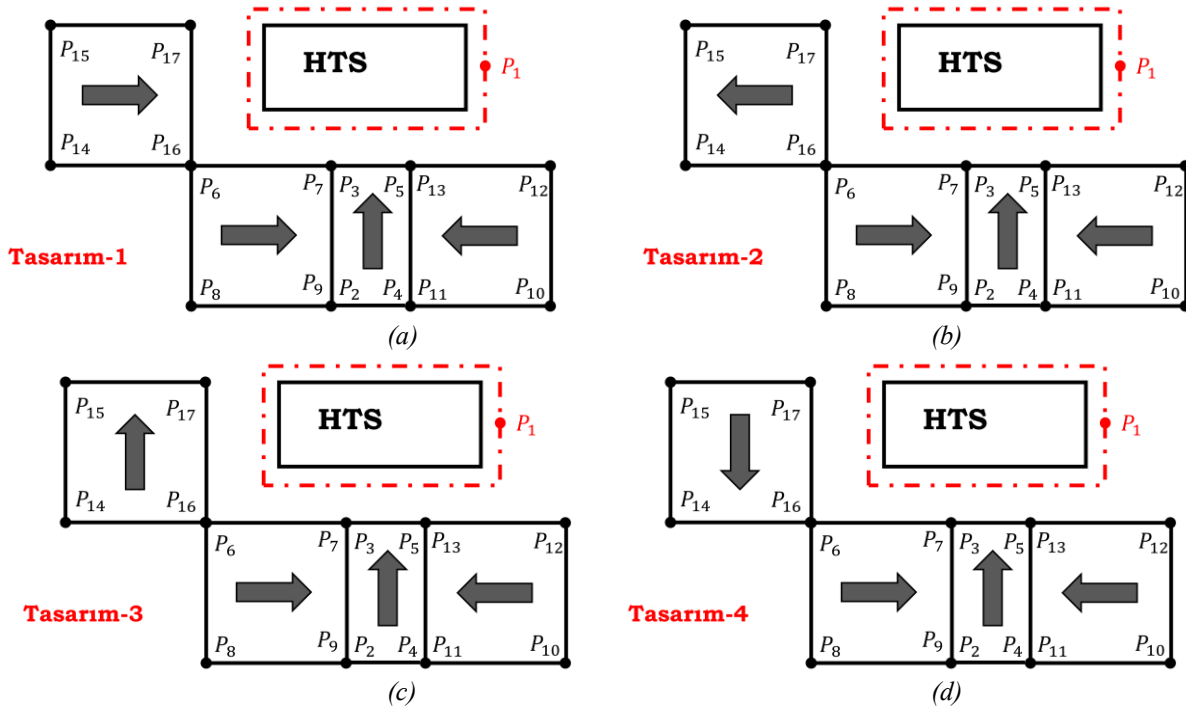
3. H-formülasyon Yöntemi

Manyetik alan (H) zamanı bağılı olarak analitik elde edilebilmektedir. Dolayısı ile süperiletken malzeme ile sabit mıknatıs arasındaki etkileşimi tanımlamak için en etkin yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Elde edilen manyetik alan analitik ifadesi sonlu elemanlar yöntemi ile süperiletken sabit mıknatıs arasındaki zamana bağılı olarak

oluşan manyetik kuvvetin hesaplanması için kullanılmaktadır. Süperiletken fazına giren bir malzeme manyetik bir alan içerisine girdiği zaman kendisini denge noktasına itecek şekilde bir kuvvet oluşumuna sebep olur. Şekil 2’de tek bir sabit mıknatıs ve süperiletken malzeme arasında oluşan manyetik alanın analitik fomülünde kullanılacak geometrik konumlar gösterilmektedir. Bu şekilde süperiletken malzemenin sınır tabakası onun etrafını saran ince hava bölgesinden oluşmaktadır. Dolayısı ile birinci geometrik nokta olarak bu sınır tabakası üzerindeki herhangi bir nokta kabul edilebilir. Sabit mıknatıstan kaynaklanan ve bu sınır tabaka üzerine etki eden manyetik alan zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplanması gerekmektedir. Bilindiği üzere manyetik alan vektörel bir büyüklüktür ve kartezyen koordinatlarda büyüklüğü ve yönü tanımlanabilir. Ayrıca buradaki manyetik alan sabit mıknatısın mıknatıslanmasının (M_0) bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Şekil 2’de verilen sistem dikkate alınarak sanit mıknatıstan kaynaklına x ve y yönündeki manyetik alan ifadeleri Biot-Savart yasaları kullanılarak ifade edilebilir. Bu ifadeler denklem (1) ve (2)’de verildiği gibidir.



Şekil 2. Bir süperiletken ve kalıcı mıknatıstan oluşan manyetik yatağın temsili gösterimi.



Şekil 3. Sabit mıknatıs kılavuz ray sistemi ve yanal sabit mıknatıs konfigürasyonu.

$$H_x = \frac{M_0}{4\pi} \ln \frac{[\Delta y_{13}^2 + \Delta x_{13}^2][\Delta y_{14}^2 + \Delta x_{14}^2]}{[\Delta y_{12}^2 + \Delta x_{12}^2][\Delta y_{15}^2 + \Delta x_{15}^2]} \quad (1)$$

$$H_y = \frac{M_0}{2\pi} \operatorname{atan} \left(\frac{\Delta y_{12}}{\Delta x_{12}} \right) - \frac{M_0}{2\pi} \operatorname{atan} \left(\frac{\Delta y_{13}}{\Delta x_{13}} \right) - \frac{M_0}{2\pi} \operatorname{atan} \left(\frac{\Delta y_{14}}{\Delta x_{14}} \right) + \frac{M_0}{2\pi} \operatorname{atan} \left(\frac{\Delta y_{15}}{\Delta x_{15}} \right) \quad (2)$$

Burada Δx_{1i} ve Δy_{1i} ($i = 2,3,4,5$), P_1 noktasının kalıcı mıknatıs köşe noktalarına göre zamanla değişen koordinatlarını ifade etmektedir. Maxwell denklemleri, COMSOL kısmi diferansiyel denklemler modülü kullanılarak çözülebilir. Bu modülde, YSS, bir güç yasası ile elde edilen doğrusal olmayan dirençli bir alan olarak modellenmiştir. Lineer olmayan direnç ifadesi ρ_{sc} , $E - J$ güç yasasından türetilir.

$$\rho_{sc} = \frac{E_c}{J_{c(B)}} \left| \frac{J}{J_{c(B)}} \right|^{n-1} \quad (3)$$

Kritik akım yoğunluğu ve manyetik alan arasındaki ilişki ise denklem (3)'de verilmiştir.

$$J_c = J_{c0} \exp \left(-\frac{|H|}{H_0} \right) \quad (4)$$

Levitasyon kuvveti ise denklem (5)'de verilen Lorentz kuvvet formülü ile ifade edilir.

$$F_{y,x} = l \mu_0 \int_S J_z H_{x,y} dS \quad (5)$$

Burada H_x ve H_y bir önceki denklem (1) ve (2)'de hesaplanan manyetik alan komponentleridir, J_z ise süperiletken içerisindeki akım yoğunluğunu ifade etmektedir. Bu ifade denklem (6) ile verilmiştir

$$J_z = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \quad (6)$$

4. Manyetik Ray Tasarımı

Süperiletken manyetik yataklı lineer fırlatıcı düzeneğinde kullanılacak olan sabit mıknatıs ray tasarımları ve bu tasarımlara ait çok yüzeyli manyetik akı yoğunluğu hesabı bu çalışmada sunulmuştur. Şekil 3'te süperiletken ve olası sabit mıknatısların

konfigürasyonları verilmiştir. Burada yanal kılavuz ray için olası 4 farklı durum incelenmiştir. Sonuçlar deneysel sistemde süperiletken malzemenin soğutulması planlandığı CH=5 mm mesafesi için süper iletkenin alt yüzeyi temsil eden doğru boyunca elde edilmiştir.

4.1. Süperiletken Üzerindeki Manyetik Alan

Birinci durum, yanal sabit mıknatısın polarizasyon yönünü +x yönünde olduğu konfigürasyon için Bölüm 3'te anlatılan yaklaşım ile elde edilen manyetik alan analitik ifadeleri x ve y yönleri için sırası ile denklem (7) ve (8)'de elde edilmiştir.

$$H_{y_ext} = \frac{M_0}{2\pi} \left[\operatorname{atan} \frac{y-y_2}{x-x_3} - \operatorname{atan} \frac{y-y_3}{x-x_3} + \operatorname{atan} \frac{y-y_5}{x-x_5} - \operatorname{atan} \frac{y-y_4}{x-x_5} \right] + \frac{M_0}{4\pi} \left[\ln \frac{(x-x_6)^2+(y-y_7)^2}{(x-x_7)^2+(y-y_7)^2} + \ln \frac{(x-x_9)^2+(y-y_9)^2}{(x-x_8)^2+(y-y_9)^2} + \ln \frac{(x-x_{11})^2+(y-y_{11})^2}{(x-x_{10})^2+(y-y_{11})^2} + \ln \frac{(x-x_{12})^2+(y-y_{13})^2}{(x-x_{13})^2+(y-y_{13})^2} + \ln \frac{(x-x_{15})^2+(y-y_{15})^2}{(x-x_{16})^2+(y-y_{16})^2} + \ln \frac{(x-x_{17})^2+(y-y_{17})^2}{(x-x_{14})^2+(y-y_{16})^2} \right] \quad (7)$$

$$H_{x_ext} = \frac{M_0}{2\pi} \left[\operatorname{atan} \frac{x-x_{10}}{y-y_{11}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{11}}{y-y_{11}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_{13}}{y-y_{13}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{12}}{y-y_{13}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_7}{y-y_7} - \operatorname{atan} \frac{x-x_6}{y-y_7} + \operatorname{atan} \frac{x-x_8}{y-y_9} - \operatorname{atan} \frac{x-x_9}{y-y_9} + \operatorname{atan} \frac{x-x_{14}}{y-y_{14}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{15}}{y-y_{14}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_{17}}{y-y_{17}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{16}}{y-y_{16}} \right] + \frac{M_0}{4\pi} \left[\ln \frac{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}{(x-x_3)^2+(y-y_2)^2} + \ln \frac{(x-x_5)^2+(y-y_4)^2}{(x-x_5)^2+(y-y_5)^2} \right] \quad (8)$$

Burada x_{1i} ve y_{1i} ($i = 2,3, \dots, 17$), $P_1(x,y)$ noktasının kalıcı mıknatıs köşe noktalarına göre zamanla değişen koordinatlarını ifade etmektedir (Şekil 3(a)).

Tasarım-2 için verilen numaralandırılmış ray geometrisi Şekil 3(b)'de gösterilmiştir. Bu numaralandırmayı ve sabit mıknatısların manyetiklenme yönlerini dikkate alarak harici olarak elde edilen manyetik alanın x ve y bileşenleri (9) ve (10) nolu denklemler ile verilmiştir

$$H_{y_ext} = \frac{M_0}{2\pi} \left[\operatorname{atan} \frac{y-y_2}{x-x_3} - \operatorname{atan} \frac{y-y_3}{x-x_3} + \operatorname{atan} \frac{y-y_5}{x-x_5} - \operatorname{atan} \frac{y-y_4}{x-x_5} \right] + \frac{M_0}{4\pi} \left[\ln \frac{(x-x_6)^2+(y-y_7)^2}{(x-x_7)^2+(y-y_7)^2} + \ln \frac{(x-x_9)^2+(y-y_9)^2}{(x-x_8)^2+(y-y_9)^2} + \ln \frac{(x-x_{11})^2+(y-y_{11})^2}{(x-x_{10})^2+(y-y_{11})^2} + \ln \frac{(x-x_{12})^2+(y-y_{13})^2}{(x-x_{13})^2+(y-y_{13})^2} + \ln \frac{(x-x_{15})^2+(y-y_{15})^2}{(x-x_{16})^2+(y-y_{16})^2} + \ln \frac{(x-x_{17})^2+(y-y_{17})^2}{(x-x_{15})^2+(y-y_{15})^2} \right] \quad (9)$$

$$H_{x_ext} = \frac{M_0}{2\pi} \left[\operatorname{atan} \frac{x-x_{10}}{y-y_{11}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{11}}{y-y_{11}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_{13}}{y-y_{13}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{12}}{y-y_{13}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_7}{y-y_7} - \operatorname{atan} \frac{x-x_6}{y-y_7} + \operatorname{atan} \frac{x-x_8}{y-y_9} - \operatorname{atan} \frac{x-x_9}{y-y_9} + \operatorname{atan} \frac{x-x_{14}}{y-y_{14}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{15}}{y-y_{14}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_{16}}{y-y_{16}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{17}}{y-y_{16}} \right] + \frac{M_0}{4\pi} \left[\ln \frac{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}{(x-x_3)^2+(y-y_2)^2} + \ln \frac{(x-x_5)^2+(y-y_4)^2}{(x-x_5)^2+(y-y_5)^2} \right] \quad (10)$$

3 numaralı tasarım yani yanal sabit mıknatısın polarizasyon yönünü +y yönünde olduğu için verilen numaralandırılmış ray geometrisi Şekil 3(c)'te gösterilmiştir. Bu numaralandırmaya ve sabit mıknatısların manyetiklenme yönlerini dikkate alarak benze şekilde Biot-Savart yasaları kullanılarak harici olarak elde edilen manyetik alanın x ve y bileşenleri (11) ve (12) nolu denklemler ile verilmiştir.

$$H_{y_ext} = \frac{M_0}{2\pi} \left[\operatorname{atan} \frac{y-y_2}{x-x_3} - \operatorname{atan} \frac{y-y_3}{x-x_3} + \operatorname{atan} \frac{y-y_5}{x-x_5} - \operatorname{atan} \frac{y-y_4}{x-x_5} + \operatorname{atan} \frac{y-y_{14}}{x-x_{15}} - \operatorname{atan} \frac{y-y_{15}}{x-x_{15}} + \operatorname{atan} \frac{y-y_{17}}{x-x_{17}} - \operatorname{atan} \frac{y-y_{16}}{x-x_{17}} \right] +$$

$$\frac{\mu_0 M_0}{4\pi} \left[\ln \frac{(x-x_6)^2+(y-y_7)^2}{(x-x_7)^2+(y-y_7)^2} + \ln \frac{(x-x_9)^2+(y-y_9)^2}{(x-x_8)^2+(y-y_9)^2} + \ln \frac{(x-x_{11})^2+(y-y_{11})^2}{(x-x_{10})^2+(y-y_{11})^2} + \ln \frac{(x-x_{12})^2+(y-y_{13})^2}{(x-x_{13})^2+(y-y_{13})^2} \right] \quad (11)$$

$$H_{x_ext} = \frac{M_0}{2\pi} \left[\operatorname{atan} \frac{x-x_{10}}{y-y_{11}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{11}}{y-y_{11}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_{13}}{y-y_{13}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{12}}{y-y_{13}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_7}{y-y_7} - \operatorname{atan} \frac{x-x_6}{y-y_7} + \operatorname{atan} \frac{x-x_8}{y-y_9} - \operatorname{atan} \frac{x-x_9}{y-y_9} \right] + \frac{\mu_0 M_0}{4\pi} \left[\ln \frac{(x-x_{15})^2+(y-y_{15})^2}{(x-x_{15})^2+(y-y_{14})^2} + \ln \frac{(x-x_{17})^2+(y-y_{16})^2}{(x-x_{17})^2+(y-y_{17})^2} + \ln \frac{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}{(x-x_3)^2+(y-y_2)^2} + \ln \frac{(x-x_5)^2+(y-y_4)^2}{(x-x_5)^2+(y-y_5)^2} \right] \quad (12)$$

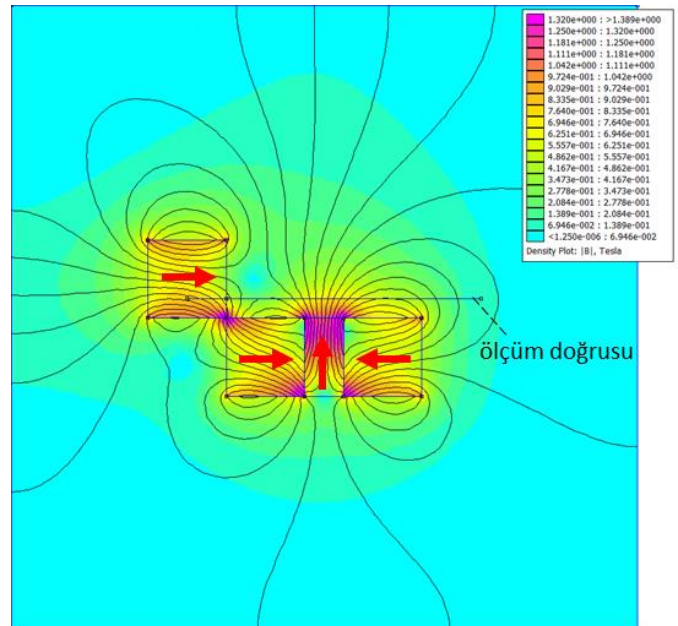
Son olarak Tasarım-4 için verilen numaralandırılmış ray geometrisi Şekil 3(d)'de gösterilmiştir. Elde edilen manyetik alanın x ve y bileşenleri (13) ve (14) nolu denklemler ile verilmiştir.

$$H_{y_ext} = \frac{M_0}{2\pi} \left[\operatorname{atan} \frac{y-y_2}{x-x_3} - \operatorname{atan} \frac{y-y_3}{x-x_3} + \operatorname{atan} \frac{y-y_5}{x-x_5} - \operatorname{atan} \frac{y-y_4}{x-x_5} + \operatorname{atan} \frac{y-y_{15}}{x-x_{15}} - \operatorname{atan} \frac{y-y_{14}}{x-x_{15}} + \operatorname{atan} \frac{y-y_{16}}{x-x_{17}} - \operatorname{atan} \frac{y-y_{17}}{x-x_{17}} \right] + \frac{M_0}{4\pi} \left[\ln \frac{(x-x_6)^2+(y-y_7)^2}{(x-x_7)^2+(y-y_7)^2} + \ln \frac{(x-x_9)^2+(y-y_9)^2}{(x-x_8)^2+(y-y_9)^2} + \ln \frac{(x-x_{11})^2+(y-y_{11})^2}{(x-x_{10})^2+(y-y_{11})^2} + \ln \frac{(x-x_{12})^2+(y-y_{13})^2}{(x-x_{13})^2+(y-y_{13})^2} \right] \quad (13)$$

$$H_{x_ext} = \frac{M_0}{2\pi} \left[\operatorname{atan} \frac{x-x_{10}}{y-y_{11}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{11}}{y-y_{11}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_{13}}{y-y_{13}} - \operatorname{atan} \frac{x-x_{12}}{y-y_{13}} + \operatorname{atan} \frac{x-x_7}{y-y_7} - \operatorname{atan} \frac{x-x_6}{y-y_7} + \operatorname{atan} \frac{x-x_8}{y-y_9} - \operatorname{atan} \frac{x-x_9}{y-y_9} \right] + \frac{M_0}{4\pi} \left[\ln \frac{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}{(x-x_3)^2+(y-y_2)^2} + \ln \frac{(x-x_5)^2+(y-y_4)^2}{(x-x_5)^2+(y-y_5)^2} + \ln \frac{(x-x_{15})^2+(y-y_{14})^2}{(x-x_{15})^2+(y-y_{15})^2} + \ln \frac{(x-x_{17})^2+(y-y_{16})^2}{(x-x_{17})^2+(y-y_{16})^2} \right] \quad (14)$$

4.2. Sonlu Elemanlar Programı ile Karşılaştırma

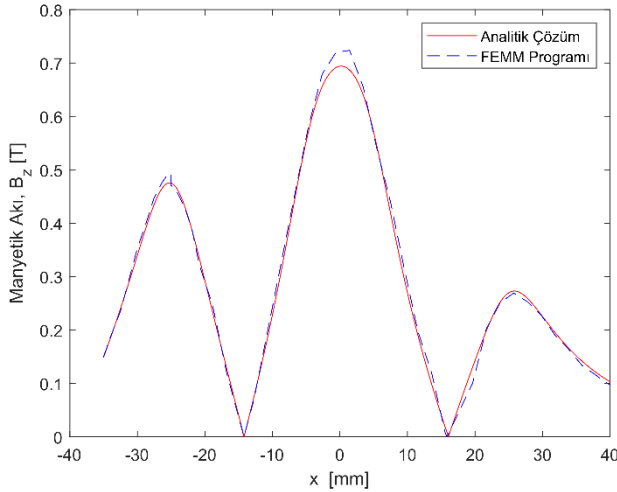
Süperiletken manyetik yataklı doğrusal fırlatıcı sistemi için yapılan sabit mıknatıs kılavuz ray sistemi konfigürasyon çalışması sonucunda elde edilen analitik manyetik alan sonuçlarının doğrulanması için elektromanyetik sonlu elemanlar program olan FEMM ile iki boyutlu analizler yapılarak elde edilen dikey yönlü manyetik akı yoğunlukları karşılaştırılmıştır. Şekil 4'te kurulan sonlu elemanlar modeli ve Tasarım-1 için elde edilmiş manyetik akı dağılımı verilmektedir.



Şekil 4. Sabit mıknatıs kılavuz ray sistemi sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen manyetik akı dağılımı.

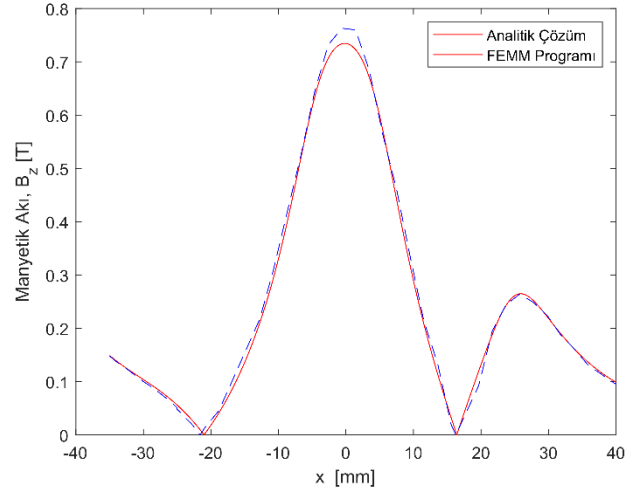
Farklı manyetik ray konfigürasyonlarının y yönünde oluşacak levitasyon kuvvetine etkisini görmek genel bir bilgi edinmek için Şekil 4'te belirtilen 75 mm uzunluğunda bir doğru boyunca grafikler çizdirilmiştir. Ayrıca hem analitik çözümler hem de FEMM sonlu elemanlar programında elde edilen çözümler için kullanılan geometrik mesafeler sabit mıknatısların ve süperiletken malzemenin boyutlarına bağlıdır. Kullanılan süperiletken malzeme 40 mm x 40 mm x 13 mm ölçülerine sahiptir. Sabit mıknatıs manyetik ray tasarımlarında ise iki farklı ölçüde sabit mıknatıs kullanılmıştır. Bunlardan dikdörtgen geometrisine sahip olan sabit mıknatısın ölçüleri 20 mm x 10 mm x 10 mm, kare geometrisine sahip olan ise 20 mm x 20 mm x 20 mm olarak seçilmiştir.

Şekil 5'te Tasarım-1 için elde edilen denklem (7)'de verilmiş olan manyetik alan y bileşeni kullanılarak elde edilen manyetik akı için FEMM programında elde edilen sonuç ile karşılaştırılması verilmektedir. Görüldüğü üzere analitik çözüm ile FEMM programın çıktısı olan sayısal çözüm büyük ölçüde örtüşmektedir. Burada elde edilen sonuçlar hem analitik olarak hem de sayısal olarak manyetik ray ile süperiletken malzemenin alt yüzeyi arasında 5 mm boşluk olması durumu için elde edilmiştir.

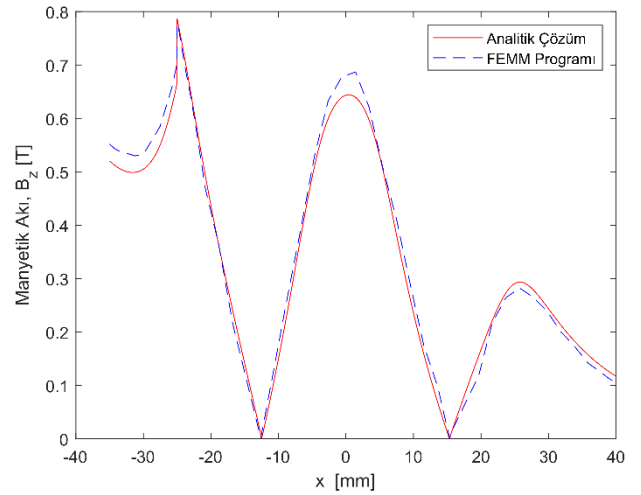


Şekil 5. Sabit mıknatıs kılavuz ray sistemi eksenel manyetik akı yoğunluğu- (Tasarım-1).

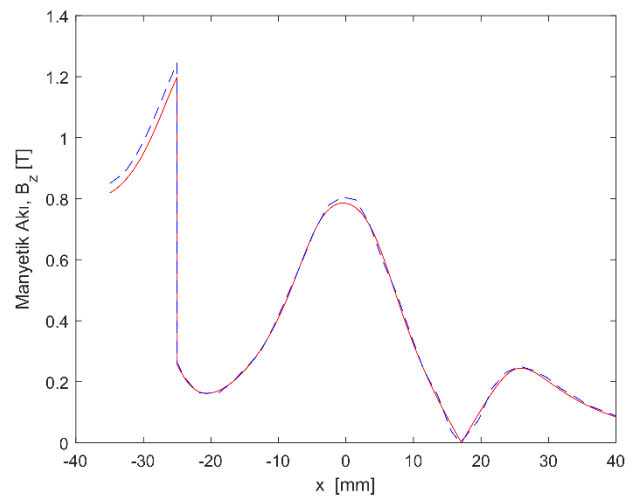
Benzer şekilde Tasarım 2, 3 ve 4 için yapılan analitik çözüm ve sayısal çözüm karşılaştırmalı dikey yönlü manyetik akı yoğunlukları sırası ile Şekil 6-8 ile verilmiştir. Bu şekiller sonucu yanal ray sabit mıknatısı için mıknatıslanma yönünü x doğrultusunda olması durumunda analitik çözüm ve sayısal çözümün örtüştüğü gözükmemekte fakat y doğrultusu -35 mm ile -20 mm arasındaki x mesafesinde ufak bir farklılık olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca tüm dört farklı tasarım arasında elde edilen en yüksek manyetik akı değeri Tasarım-4 için yani yanal sabit mıknatısın $-y$ doğrultusunda mıknatıslanma yönüne sahip olması durumu için elde edilmiştir. Tasarlanan bu yapı sayesinde mevcut süperiletken manyetik levitasyon sistemlerinden farklı olarak tek bir süperiletken malzemenin iki yüzeyini aktif olarak kullanmanın levitasyon kuvvetini artırıcı etkisi olduğunu göstermiştir. Çok yüzeyli levitasyon ismi verilen bu yapı geliştirmeye açık farklı konfigürasyonlara sahip olmasının yanında levitasyon kuvveti ve yanal dengeleme kuvvetini aynı anda sağlama sebebi ile özgün bir özelliğe sahiptir.



Şekil 6. Sabit mıknatıs kılavuz ray sistemi eksenel manyetik akı yoğunluğu- (Tasarım-2).

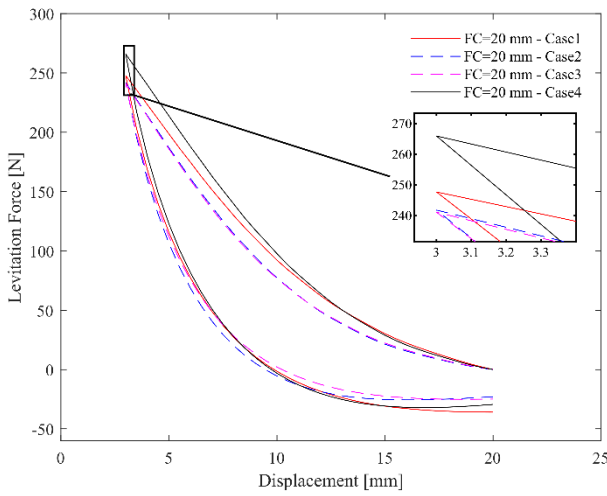


Şekil 7. Sabit mıknatıs kılavuz ray sistemi eksenel manyetik akı yoğunluğu- (Tasarım-3).



Şekil 8. Sabit mıknatıs kılavuz ray sistemi eksenel manyetik akı yoğunluğu- (Tasarım-4).

Son olarak yukarıda doğrulanmış manyetik alan ifadeleri ile COMSOL programı kullanılarak levitasyon kuvvetleri elde edilmiştir. Bunun için Comsol programı içerisinde süperiletken ve sabit mıknatıs için gerekli karakteristik özelliklerinin girilerek Maxwell denklemleri kısmi diferansiyel denklem (partial differential equation (pde)) modülü ile çözülmesiyle levitasyon kuvvetleri elde edilmiştir. Süperiletken ve sabit mıknatıs arasındaki kuvvet ilişkisi histerisiz barındırmaktadır. Şekil 9'da elde edilen levitasyon kuvveti ile bu histerisiz durumu gözlemlenebilmektedir. Bu senaryo için süper iletken malzemenin manyetik ray üzerinde 20 mm soğutma mesafesinde durduğu ve levitasyon kuvvetinin gözlemlenebilmesi için 5 mm boşluğa indirildiği ve daha sonra tekrar 20 mm mesafeye getirildiği bir işlem adımı seçilmiştir. Analiz sonuçlarına göre tasarım 2 ve 3 en düşük olmak üzere benzer seviyelerde levitasyon kuvveti oluşturmuştur. En yüksek levitasyon kuvveti ise tasarım 4 için elde edilmiştir.



Şekil 9. Aksel levitasyon kuvveti karşılaştırılması.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada süperiletken manyetik yataklar ile yataklanması gerçekleştirilen bir doğrusal fırlatıcı sistemi için sabit mıknatısların oluşturduğu manyetik ray konfigürasyonu sunulmuştur. Süperiletken malzemeler kullanılarak oluşturulan sistemlerde deneysel yapılarının kurulmasından önce levitasyon kuvveti gibi spesifik karakteristiklerini gözlemlemek ve tasarımı şekillendirmek için yapılan analitik yaklaşımlar önem taşımaktadır. Bu yaklaşımlardan biri olan manyetik alanın analitik olarak modellenmesini sağlayan H-formülasyonu yöntemi ile süperiletken manyetik yataklı doğrusal fırlatıcı sistemi için manyetik ray konfigürasyonu bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Çalışmada sunulan yapı sayesinde klasik süperiletken manyetik yatak sistemlerinden farklı olarak tek bir süperiletken malzemenin aynı anda iki farklı yüzeyini kullanarak hem levitasyon kuvvetinde iyileştirme hemde ekstre yanıl kılavuz kuvveti elde edilmesi mümkündür. Çok yüzeyli levitasyon ismi verilen bu yapı geliştirmeye açık farklı sabit mıknatıs konfigürasyonlarının da denemek için çalışmalara konu olabilecek bir yapıya sahiptir. Elde edilen sonuçlar H-formülasyon yönteminin sabit mıknatısların bir araya gelmesi ile elde edilen farklı ray tasarımına nasıl uygulanacağını analitik olarak göstermektedir. Yan yüzeyde yer alan kalıcı mıknatıs polarizasyonun değiştirilmesi ile en düşük duruma göre yaklaşık %11 oranında levitasyon kuvvetinde artış sağlanmıştır. Ayrıca

elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar programı yardımı ile doğrulanmıştır.

6. Teşekkür

Bu çalışma 119M131 proje numaralı, Tübitak 3501 Kariyer destek programı kapsamında yapılmıştır. Yazarlar katkılarından dolayı Tübitak'a teşekkürlerini sunarlar.

Kaynakça

- Basaran, S., ve Sivrioglu, S. (2017a). Levitation force analysis of ring and disk shaped permanent magnet-high temperature superconductor. *Indian Journal of Pure & Applied Physics (IJPAP)*, 55(4), 261-268.
- Basaran, S., ve Sivrioglu, S. (2017b). Radial stiffness improvement of a flywheel system using multi-surface superconducting levitation. *Superconductor Science and Technology*, 30(3). IOP Publishing.
- Drozdov, A. P., Kong, P. P., Minkov, V. S., Besedin, S. P., Kuzovnikov, M. A., Mozaffari, S., Balicas, L., vd. (2019). Superconductivity at 250 K in lanthanum hydride under high pressures. *Nature*, 569(7757), ss. 528-531. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1201-8>.
- Fahlstrom, P. G., ve Gleason, T. J. (2012). *Introduction to UAV Systems: Fourth Edition. Introduction to UAV Systems: Fourth Edition*.
- Floegel-Delor, U., Schirmeister, P., Riedel, T., Koenig, R., Kantarbar, V., ve Werfel, F. N. (2018). Bulk Superconductor Levitation Devices: Advances in and Prospects for Development. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 28(4), ss. 1-5.
- Kondratiuk, M., ve Ambroziak, L. (2016). Concept of the magnetic launcher for medium class unmanned aerial vehicles designed on the basis of numerical calculations. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 54(1), ss. 163-177.
- Kozdraś, E. Ł., ve Sibilska-mroziewicz, A. (2017). Analysis of the Levitation Forces Generated by High-Temperature Superconductors Located within the Magnetic Field of a UAV Catapult System, 3(29), ss. 87-94.
- Novaković, Z., ve Medar, N. (2013). Analysis of a UAV Bungee Cord Launching Device. *Scientific Technical Review*, 63(3), ss. 41-47.
- Ozturk, K., Abdioglu, M., ve Karahmet, Z. (2020). Magnetic force and stiffness performances of Maglev system based on multi-surface arrangements with three-seeded bulk YBaCuO superconductors. *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 578(July), s. 1353739. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2020.1353739>.
- Ozturk, K., Guner, S. B., Abdioglu, M., Demirci, M., Celik, S., ve Cansiz, A. (2019). An analysis on the relation between the seed distance and vertical levitation force for the multi-seeded YBCO using the modified advanced frozen image (MAFI) and experimental methods. *Journal of Alloys and Compounds*, 805, ss. 1208-1216. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.07.205>.
- Reck, B. (2003). First design study of an electrical catapult for unmanned air vehicles in the several hundred kilogram range. *IEEE Transactions on Magnetism*, 39(1), ss. 310-313.
- Sass, F., Sotelo, G. G., De Andrade, R., ve Sirois, F. (2015). H-formulation for simulating levitation forces acting on HTS

- bulks and stacks of 2G coated conductors. *Superconductor Science and Technology*, 28(12). IOP Publishing.
- Sivrioglu, S., Basaran, S., ve Yildiz, A. S. (2016). Multisurface HTS-PM Levitation for a Flywheel System. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 26(8). IEEE.
- Sivrioğlu, S., Yıldız, A. S., Başaran, S, Bolat. F. C., ve Kepenek, E. (2018). Design and simulation of a model maglev vehicle. *4th International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'18), Karabuk, Turkey.*
- Yang, Y., ve Zheng, X. (2007). Method for solution of the interaction between superconductor and permanent magnet. *Journal of Applied Physics*, 101(11).



Meriç Nehri Havzasında Sıcaklık ve Yağış Değerlerinin Dönemsel Trend Analizi

İlker Eroğlu^{1*}

^{1*} Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, (ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4601-024X>), ieroglu@nku.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 20 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.882937)

ATIF/REFERENCE: Eroğlu, İ. (2021). Meriç Nehri Havzasında Sıcaklık ve Yağış Değerlerinin Dönemsel Trend Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 750-760.

Öz

Bu çalışmada Türkiye'nin en önemli sınır oluşturan ve sınır aşan akarsularından biri olan Meriç Nehri Havzası'nın yıllık ortalama sıcaklık ve yağış değerlerinin dönemlik trend analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bulgaristan ve Türkiye sınırları içinde kalan 10 meteoroloji istasyonunun yaklaşık 50 yıllık verilerinin dönemsel (1965-1990, 1991-2015 ve 1965-2015) yıllık ortalama sıcaklık ve yağış verilerinin pozitif ya da negatif yönlü eğilimleri belirlenmiştir. Bu veriler ışığında küresel iklim değişikliğinin ve küresel ısınmanın havza alanının yıllık sıcaklık ve yağış ortalamalarına etkileri istatistiksel olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışmada yöntem olarak parametrik olmayan testlerden Mann-Kendall Testi ve Sen'in Trend Eğim testi kullanılmıştır. Ortaya çıkan trend analizleri sonuçlarına göre yıllık ortalama sıcaklıklar 1965-1990 yılları arasında kapsayan dönemde sadece Lüleburgaz istasyonunda anlamlı negatif bir trend, 1991-2015 döneminde Lüleburgaz dışında istasyonların hepsinde anlamlı pozitif trend ve 1965-2015 döneminde Kazanlak, Sliven, Pazardzhik, Haskovo, Kırklareli, Edirne, Lüleburgaz, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala'da anlamlı ve pozitif yönlü trend göstermektedir. Yıllık yağış ortalamalarında 1965-1990 döneminde Kazanlak, Sliven, Pazardzhik, Haskovo ve İpsala'da anlamlı negatif yönlü trend ve 1991-2015 döneminde genel eğilim artış yönünde olmakla birlikte Kırklareli istasyonunda anlamlı pozitif yönlü bir trend vardır. 1965-2015 döneminde havza alanındaki hiçbir istasyonda istatistiksel olarak anlamlı bir trend bulunmamaktadır. Meriç Nehri Havzası'nın yıllık ortalama sıcaklık ve yağış trendlerindeki değişimler beraberinde su kıtlığı veya taşkın riskinin artması, kuraklık, toprak erozyonu, arazi degradasyonu, ekolojik dengede bozulmalar, tarımsal verimin düşmesi, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık faaliyetlerinin olumsuz etkilenmesi gibi pek çok sorunun ortaya çıkmasına neden olacaktır. Bundan dolayı havza alanı ile ilgili planlamalarda ve sorunların çözümünde ortalama sıcaklık ve yağış trendlerindeki değişiklikler göz önünde bulundurulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Meriç Nehri, Mann-Kendall, Trend analizi, Sıcaklık, Yağış, İklim değişikliği.

Periodical Trend Analysis for Temperature and Precipitation in the Maritsa River Basin

Abstract

The present study aims to conduct trend analysis on the annual average temperature and precipitation values for the basin of the Maritsa (Meriç) River, one of the most important boundary and transboundary rivers in Turkey. The analysis reveals the positive and negative trends in the annual average temperature and precipitation data on a periodical basis over the course of around 50 years (1965-1990, 1991-2015 and 1965-2015) collected from 10 meteorological stations within the borders of Bulgaria and Turkey. In light of these data, the study attempts to provide a statistical account of the impact of global climate change and global warming on the annual temperature and precipitation averages in the basin. The Mann-Kendall Test and Sen's Trend Slope Test, both of which are non-parametric tests, are used as the methodology of the study. In terms of annual average temperatures, the trend analysis results indicate that only the Lüleburgaz station displays a significant negative trend during the period between 1965 and 1990, that all stations apart from Lüleburgaz display a positive trend during the 1991-2015 period, and that the stations in Kazanlak, Sliven, Pazardzhik, Haskovo, Kırklareli, Edirne, Lüleburgaz, Çorlu, Tekirdağ and İpsala show a significant and positive trend. As far as annual average precipitation values are concerned, while the trend in the Kazanlak, Sliven, Pazardzhik, Haskovo and İpsala stations is significant and negative during the 1965-1990 period with an overall increasing trend in the 1991-2015 period, the Kırklareli station displays a significant and positive trend. No station in the basin displays statistically significant trends in the 1965-2015 period. The changes in the annual average temperature and

* Sorumlu Yazar: ieroglu@nku.edu.tr

precipitation in the Maritsa River basin bring about a plethora of problems such as the increase in the water shortage and flood risks, drought, soil erosion, land degradation, deteriorations in the ecological balance, decrease in agricultural productivity, and issues in cattle and sheep and goat farming. Therefore, the changes in the average temperature and precipitation trends must be taken into consideration within the plans to be made for the basin area and for the solution of the problems.

Keywords: Maritsa (Meriç) River, Mann-Kendall, Trend analysis, Temperature, Precipitation, Climate change.

1. Giriş

Son yıllarda en fazla konuşulan ve tartışılan konuların başında küresel iklim değişikliği ve küresel ısınma gelmektedir. Geçmiş dönemlerde dünya yörüngesindeki değişiklikler, güneş patlamaları, volkanik püskürmeler ve kıtaların kayması gibi doğal etkenlerin neden olduğu iklim değişikliklerine günümüzde antropojenik etkenler sebep olmaktadır. Özellikle sanayi devriminin yaşanması ve hızlı nüfus artışıyla birlikte atmosfere salınan sera gazları miktarlarının artması ve doğal çevre üzerindeki insan tahribatları nedenleriyle atmosferin yeryüzüne yakın bölgeleri gereğinden fazla ısınmaktadır (Kadioğlu, 2019). İklim elemanlarından sıcaklık ve yağış değerlerinin trendlerinde meydana gelen pozitif veya negatif yönlü değişimler küresel iklim değişikliğinin etkilerini anlamada önemli göstergeler olmakla birlikte özellikle 1990 yıllardan sonra bu etkinin çok daha fazla hissedilmeye başladığı görülmektedir. Nitekim 1995-2006 yılları arası 1850'den beri görülen en sıcak dönem olmuştur (Atalay, 2013).

Türkiye'nin sınır aşan akarsularından birini oluşturan Meriç Nehri, sadece Türkiye açısından değil Bulgaristan ve Yunanistan ülkeleri için de tarım alanlarının sulanması, içme ve kullanma suyu temini, elektrik enerjisi üretimi ve hayvancılık için önemli bir kaynaktır.

Genel olarak sulu tarımın yapıldığı Meriç Nehri Havzası, oldukça önemli tarım alanlarını ihtiva etmektedir. Bu verimli tarım alanları aynı zamanda bu yörede yaşayan kırsal nüfus için önemli geçim sahası özelliği taşımaktadır. Tarımsal faaliyetlerin entansif metotlarla yoğun bir şekilde gerçekleştirildiği bu tarım alanlarında tahıllar ve çeltik üretimi ile birlikte çok çeşitli sebze ve meyve yetiştirilmekte, büyük ve küçükbaş hayvancılık, kurbağa avcılığı ve balıkçılık gibi ekonomik faaliyetler önemli geçim kaynakları arasında yer almaktadır (Özşahin vd., 2020; Özşahin ve Eroğlu, 2019).

Meriç Nehri Havzası'nın iklim özelliklerini ortaya koymak amacıyla Bulgaristan sınırları içindeki Kazanlak, Sliven, Pazardzhik ve Haskovo, Türkiye'deki Kırklareli, Edirne, Lüleburgaz, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala meteoroloji istasyonlarının aylık ve yıllık ortalama sıcaklık ve yağış verilerine Thornthwaite ve De Martonne yıllık kuraklık indisi formülleri uygulanmıştır.

Thornthwaite iklim sınıflamasına göre Kazanlak ve Pazardzhik ($C_1 B'_1 d b'_3$) kurak-az nemli, birinci dereceden mezotermal, su fazlası olmayan veya çok az olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine, Sliven ($C_1 B'_3 d b'_3$) kurak-az nemli, üçüncü dereceden mezotermal, su fazlası olmayan veya çok az olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine, Haskovo ($C_2 B'_1 s b'_3$) yarı nemli, birinci dereceden mezotermal, yaz mevsiminde orta derecede su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine, Kırklareli, Edirne ve Çorlu ($C_1 B'_2 s b'_3$) kurak-az nemli, ikinci dereceden mezotermal, kış mevsiminde orta derecede su fazlası olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine, Lüleburgaz ($C_1 B'_1 s_2 b'_3$) kurak-az nemli, birinci dereceden mezotermal, kış mevsiminde çok kuvvetli su fazlası olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine, Tekirdağ ($C_1 B'_2 s_2 b'_3$) kurak-az nemli,

ikinci dereceden mezotermal, kış mevsiminde çok kuvvetli su fazlası olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine ve İpsala ($C_2 B'_2 s_2 b'_3$) yarı nemli, ikinci dereceden mezotermal, yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girmektedir.

De Martonne'nun yıllık kuraklık indisi (1942) formülüne göre (Ardel vd., 1965) Kazanlak nemli (I:24,8), Sliven nemli (I:24,4), Pazardzhik nemli (I:25,6), Haskovo nemli (I:22,0), Kırklareli yarıkurak-nemli (I:16,3), Edirne yarıkurak-nemli (I:17,5), Lüleburgaz yarıkurak-nemli (I:16,3), Çorlu yarıkurak-nemli (I:17,0), Tekirdağ yarıkurak-nemli (I:15,7) ve İpsala yarıkurak-nemli (I:15,9) iklim özelliği göstermektedir.

Yukarıdaki değerlendirmelerden Meriç Nehri Havzası'nda Thornthwaite iklim sınıflamasına göre Kazanlak, Pazardzhik, Sliven, Kırklareli, Edirne, Çorlu, Lüleburgaz ve Tekirdağ'da kurak-az nemli, Haskovo ve İpsala'da yarı nemli iklim tipi, De Martonne'nun yıllık kuraklık indisine göre Bulgaristan sınırları içinde kalan Kazanlak, Sliven, Pazardzhik ve Haskovo nemli, daha güney enlemlerde Türkiye sınırları içinde kalan Kırklareli, Edirne, Lüleburgaz, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala'da yarı kurak-nemli iklim tipi görüldüğü anlaşılmaktadır. Türkeş (2012)'in yaptığı kuraklık indisi çalışmasında, Aşağı Meriç Havzası da dâhil olmak üzere Trakya'nın büyük bölümü yarı nemli indis aralığında kalmakta ve Türkiye'nin klimatolojik olarak yıllık su açığı bulunan, kuraklık ve çölleşmeye eğilimli bölgelerine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte Nojarov (2017), Balkan Yarımadası'nın ikliminin okyanusal ile karasal iklim ve subtropikal ile ılıman iklimler arasında geçiş özelliği gösterdiğini ve 1950-2012 periyodunda Balkan Yarımadası üzerindeki atmosfer sirkülasyonunda bazı önemli değişiklikler olduğunu belirtmiştir.

Meriç Nehri Havzası ve çevresiyle ilgili daha önce yapılmış olan bazı çalışmalarda sıcaklık ve yağış trendleriyle ilgili şu tespitler bulunmaktadır;

Türkeş (1996), 1930-1993 yılları arasındaki yıllık yağış miktarlarında aralarında Çorlu, Lüleburgaz, Kırklareli, Edirne, ve Tekirdağ'ın da bulunduğu Marmara Bölgesi meteoroloji istasyonlarından sadece Lüleburgaz'da azalma yönünde anlamlı bir trend tespit etmiştir.

Knight ve Staneva (1996), Bulgaristan'da 1961-1994 dönemi yağışlarda artan bir kuraklık eğilimi olduğunu ve bu azalma eğiliminin istatistiksel olarak anlamlı bulunduğunu belirtmiştir.

Kadioğlu (1997), Türkiye genelinde yıllık ortalama sıcaklık kayıtlarının 1955-1989 yılları arasında soğuma trendi gösterdiğini vurgulamıştır.

Partal (2002), Marmara Bölgesi istasyonlarının (Çorlu, Edirne, Florya, Göztepe, Kırklareli, Kocaeli, Lüleburgaz, Sakarya, Şile ve Tekirdağ) 65 yıllık (1929-1993) yağış serilerinin hiçbirinde %95 seviyesinde önemli bir trend bulmamıştır.

Türkeş vd. (2007), Türkiye'de yıllık toplam yağışlarda ve yağış yoğunluğu tutarlarında belirgin bir azalma eğilimi olduğunu, yağış yoğunluğu açısından bu azalmanın Marmara

Bölgesi istasyonlarında daha kuvvetli olduğunu tespit etmişlerdir.

Ölgen (2010), yağış değişkenliği katsayısının Marmara Geçiş Yağış Rejim Bölgesi'ndeki hemen tüm istasyonlarda %25 sınır değerinin altında (%17-21 arası) kaldığını belirtmiştir.

Gönençgil (2012), Trakya'da 1975-2011 yılları arası ortalama sıcaklıklarda artış yönünde anlamlı trendler tespit etmiştir. Yıllık yağış serilerinde Kırklareli'nde 1989-1997, Tekirdağ'da 1992-1993 döneminde, Çorlu'da 1989-1990 ve 1992-1994 döneminde önemli kurak koşulların görüldüğünü belirlemiştir. Toplam yıllık yağışlarda Edirne ve Kireçburnu haricinde bütün istasyonlarda azalma trendi görülmüş, Edirne'de 1975'ten beri gözlenen azalma trendi, 1990'ların başından itibaren artma trendine girmiştir.

Turoğlu ve Uludağ (2013), Meriç Nehri Havzası'nın Türkiye'deki bölümünde taşkın ve su yetersizliği sorunları, su kalitesinin kötüleşmesi, ekosistem problemleri ve yerel halkın sosyo-ekonomik sorunları gibi problemlerin giderek arttığını vurgulamıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2014), Ergene Havzası'nda RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre ortalama sıcaklık (2013-2040, 2041-2070, 2071-2099) ve yağışlarda (2011-2040, 2041-2070, 2071-2099) bütün dönemlerde artış eğilimi olduğunu tespit etmiştir.

Hanedar vd. (2019), MPIESM-MR modeli, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre 2015-2100 projeksiyon süresince yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin 3°C-3,9°C artacağı ve en yüksek sıcaklık artışlarının Edirne'de gerçekleşeceği tespit etmiştir. HadGEM2-ES modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre ise 2015-2100 projeksiyon yılları arasında toplam yağışlarda düzenli bir artıştan veya azalıştan söz etmenin mümkün olmadığını, RCP4.5 senaryosu için yağış artışlarının en fazla Tekirdağ'da beklendiğini, RCP8.5 senaryosu için en fazla yağış azalmasının Edirne için öngörüldüğünü belirlemişlerdir.

Erkal ve Topgül (2020), Mann-Kendall ve Sen'in Trend Eğimi yöntemine göre Aşağı Meriç Nehri akımlarının (1986-2016) akım trendlerinde ve trendlerin lineer eğilimlerinde artan yönde pozitif trendler ve yıllar içerisinde yukarı yönlü eğilim olduğu tespit etmiştir.

Sıcaklık ve yağış ortalamalarındaki trend analizleri ile ilgili yapılmış çalışmalardan bazıları Demir vd., 2008; Karabulut ve Cosun, 2009; Bayer Altın ve Barak, 2012; Sütgibi, 2015; Kızılelma, vd., 2015; Roboaa ve Al-Barazanji, 2015; Polat ve Sunkar, 2017; Şenocak ve Emek, 2019 ve Coşkun, 2020a dır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Meriç Havzası sınırları dâhilinde bulunan Kazanlak, Sliven, Pazardzhik, Haskovo, Çorlu, Edirne, İpsala, Kırklareli, Lüleburgaz ve Tekirdağ meteoroloji istasyonlarının uzun yıllık verileri kullanılmıştır (Tablo 1). Kırklareli, Edirne, Lüleburgaz, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala meteoroloji istasyonlarının yıllık ortalama sıcaklık ve yağış verileri (1965-2015) Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden, Bulgaristan sınırları içinde kalan Kazanlak, Sliven, Pazardzhik ve Haskovo, meteoroloji istasyonlarına ait sıcaklık (1965-2015) ve yağış (1965-2012) verileri kişisel temaslara Sliven Institut Meteorologiyal Hidrologiya'dan temin edilmiştir.

İklim değişikliğine etki eden parametrelerin analizinde son yıllarda parametrik olmayan testler tercih edilmektedir (Büyükyıldız ve Berktaş, 2004). Parametrik olmayan testler veri hatalarından ve eksik değerlerden etkilenmediğinden ve ihtiyaç duyduğu varsayımlar az olduğundan sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizi sonuçlarında daha güvenilir sonuçlar vermektedir (Yu vd., 1993; Partal, 2002). Zira sıcaklık ve yağış verilerinin analizinin güvenilirliği elde edilecek bulgular açısından oldukça önemli kabul edilmektedir (Kadioğlu, 1997; Partal ve Kahya, 2006; Çeribaşı ve Doğan, 2015; Coşkun, 2020b; Coşkun, 2020c).

Meriç Nehri Havzası'ndaki meteoroloji istasyonlarının yıllık ortalama sıcaklık ve yağış değerlerindeki trend analizinin tespitinde diğer testlere göre daha güçlü olduğu kabul edilen (Çeribaşı ve Doğan, 2015) Mann-Kendall testi ve Sen'in Trend Eğim testi tercih edilmiştir (Büyükyıldız ve Berktaş, 2004; Gocic ve Slavisa, 2013).

Test değerlerinin pozitif olması artan yönde, negatif olması azalan yönde bir trend olduğunu ortaya koymaktadır. Bu testlerin uygulanmasında XLSTAT (2020) programının 14 günlük deneme sürümünden yararlanılmıştır (Çalışkan, 2016). Haritaların hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) ArcGIS 10.8 programı kullanılmıştır.

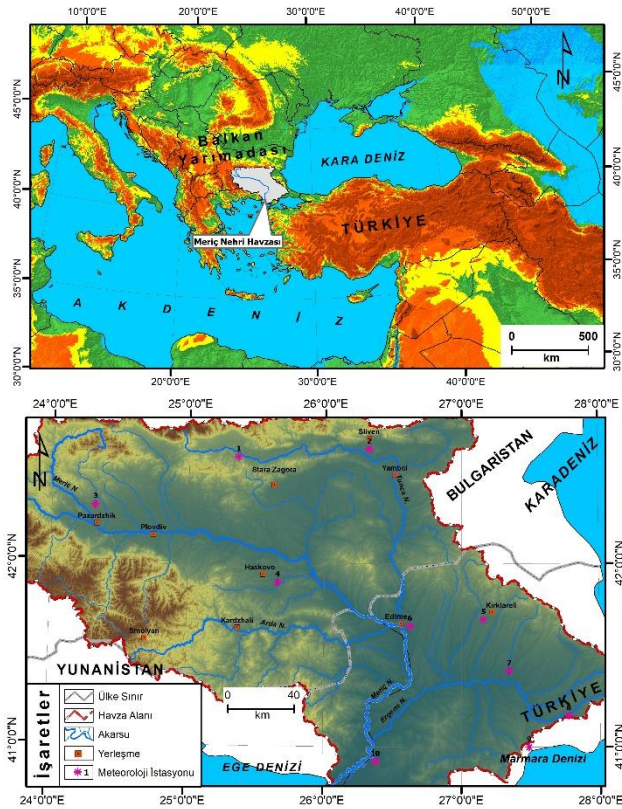
Tablo 1. Çalışmada Verileri Kullanılan Meteoroloji İstasyonları ve Özellikleri.

İstasyon Adı	Bulunduğu Ülke	Enlem	Boylam	Yükselti (m)	Yıllık Ortalama Sıcaklık Rasat Yılları	Yıllık Ortalama Yağış Rasat Yılları
Kazanlak	Bulgaristan	42° 36' K	25° 28' D	366	1965-2015	1965-2012
Sliven	Bulgaristan	42° 42' K	26° 19' D	264	1965-2015	1965-2012
Pazardzhik	Bulgaristan	42° 11' K	24° 20' D	213	1965-2015	1965-2012
Haskovo	Bulgaristan	41° 55' K	25° 36' D	195	1965-2015	1965-2012
Kırklareli	Türkiye	41° 44' K	27° 13' D	232	1965-2015	1965-2015
Edirne	Türkiye	41° 40' K	26° 33' D	51	1965-2015	1965-2015
Lüleburgaz	Türkiye	41° 23' K	27° 20' D	46	1965-2015	1965-2015
Çorlu	Türkiye	41° 07' K	27° 54' D	183	1965-2015	1965-2015
Tekirdağ	Türkiye	40° 57' K	27° 29' D	4	1965-2015	1965-2015
İpsala	Türkiye	40° 55' K	26° 22' D	10	1965-2015	1965-2015

3. Çalışma Alanı

Çalışma alanını Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan için önemli akarsulardan biri olan Meriç Nehri Havzası oluşturmaktadır (Şekil 1). Kaynağını Bulgaristan'daki Rodop Dağları sırasının kuzey-batı kesimindeki Rila Dağları'nın (2925 m) kuzey yamaçlarından alan Meriç Nehri, Rodop Dağları ile Balkan Dağları arasında tektonik kökenli çukurluğu izleyen batı-doğu doğrultulu bir vadide akarak Dimotrovgrad'dan geçtikten sonra kuzeyden gelen Sazlık kolunu alır ve daha sonra güneydoğuya doğru akar. Bulgaristan'dan çıktuktan sonra 15 km boyunca Türkiye-Yunanistan sınırını çizer, daha sonra 13 km Türkiye sınırları içinde akar ve yeniden Türkiye-Yunanistan sınırını oluşturarak Ege Denizi'ne dökülür. Meriç Nehri'nin uzunluğu Bulgaristan sınırları içinde 320 km, havza tamamında 490 km dir (Yıldız, 2011; Erkal ve Topgül, 2015).

Meriç Nehri'ne Edirne'nin batısından sağ kol olarak Arda Nehri, sol kol olarak Tunca Nehri, Dimetoka'nın güneyinden sağ taraftan Kızılçay ve İpsala'nın kuzeyinde sol taraftan Ergene Nehri bağlanır. Meriç Nehri'nin üç ülkenin sınırları içinde yayılan toplam havza alanı 52600 km² dir. Havza alanının %65'i (34 067 km²) Bulgaristan, %28'i (14 850 km²) Türkiye ve %7'si (3685 km²) Yunanistan sınırları içinde kalmaktadır (Yıldız, 2011; Turoğlu ve Uludağ, 2013).



Şekil 1. Meriç Nehri Havzası'nın Lokasyon Haritası.

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

4.1. Meriç Nehri Havzası'nda 1965-1990 Dönemi Sıcaklık ve Yağış Trend Analizi

Yıllık ortalama sıcaklıklar 1965-1990 yılları arasında kapsayan dönemde Sliven, Kırklareli, Edirne, Lüleburgaz, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala'da azalma trendindedir (Tablo 2, Tablo 3, Şekil 2, Şekil 4). Ancak sadece Lüleburgaz istasyonunda istatistiksel olarak

$\alpha=0,05$ anlamlılık seviyesine göre negatif bir trend görülmektedir. Sliven, Kırklareli, Edirne, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala'da negatif yönlü eğilim anlamsız bulunmuştur. Bulgaristan'ın Kazanlak, Pazardzhik ve Haskovo istasyonlarında pozitif yönlü bir trend olmasına rağmen istatistiksel olarak yine anlamsız bir özellik göstermektedir.

Mann-Kendall ve Sen'in trend eğimi test analizlerinden elde edilen sonuçların grafiksel olarak gösterimi olan Şekil 2 incelendiğinde de bu değerlerdeki artış veya azalış yönlerinin Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen eğilim çizgisi yönleri ile örtüştüğü anlaşılmaktadır.

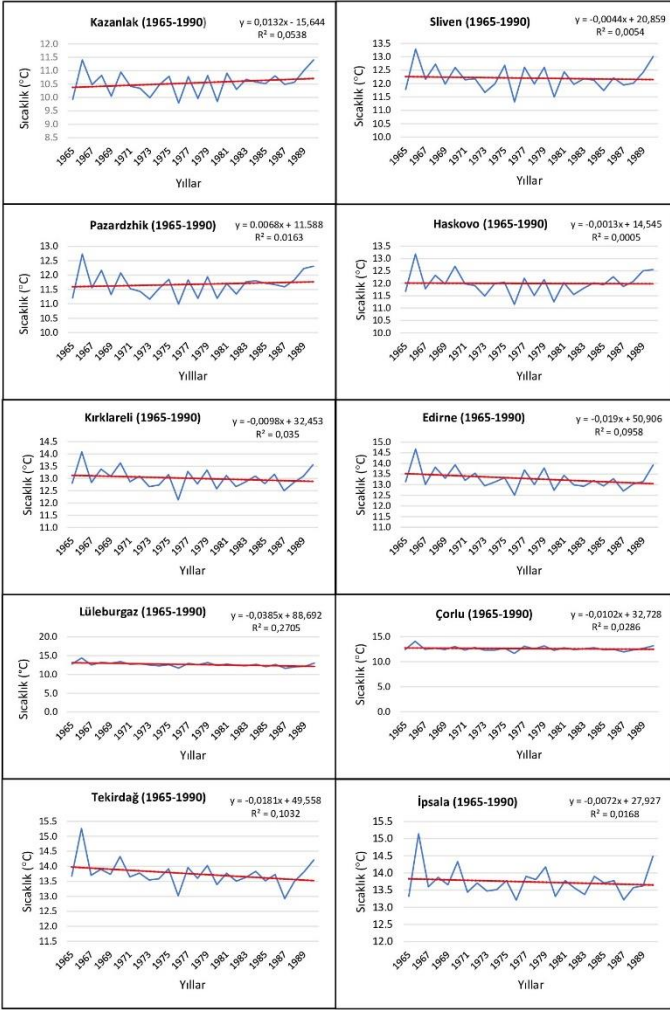
Tablo 2. Meriç Nehri Havzası'nda 1965-1990 Dönemi Sıcaklık Trend Değerleri.

İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak	0,261	0,160	0,015
Sliven	0,774	-0,043	-0,002
Pazardzhik	0,641	0,089	0,011
Haskovo	0,454	0,108	0,006
Kırklareli	0,612	-0,074	-0,005
Edirne	0,158	-0,200	-0,016
Lüleburgaz	0,008	-0,372	-0,034
Çorlu	0,791	-0,040	-0,003
Tekirdağ	0,252	-0,163	-0,009
İpsala	0,965	-0,009	-0,001

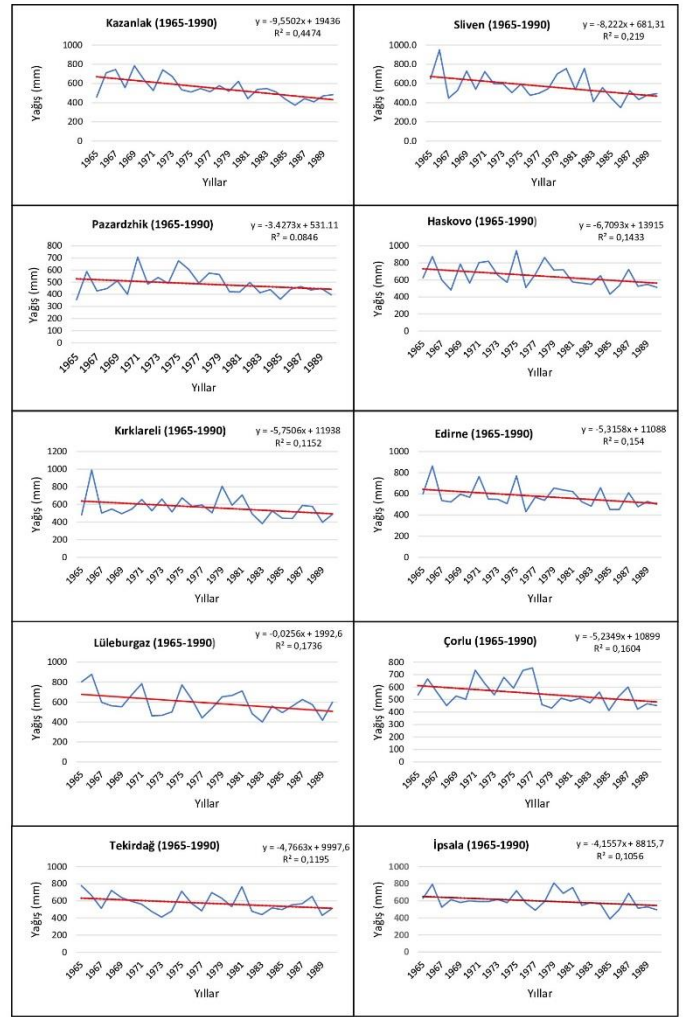
Tablo 3. Meriç Nehri Havzası'nda 1965-1990 Dönemi Sıcaklık Eğilimleri.

İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak	●	↑	↑
Sliven	●	↓	↓
Pazardzhik	●	↑	↑
Haskovo	●	↑	↑
Kırklareli	●	↓	↓
Edirne	●	↓	↓
Lüleburgaz	●	↓	↓
Çorlu	●	↓	↓
Tekirdağ	●	↓	↓
İpsala	●	↓	↓

Anlamsız ● Anlamlı ● Azalış ↓ Artış ↑



Şekil 2. Meriç Nehri Havzası'nın 1965-1990 Dönemi Sıcaklık Eğilim Grafikleri.



Şekil 3. Meriç Nehri Havzası'nın 1965-1990 Dönemi Yağış Eğilim Grafikleri.

Tablo 4. Meriç Nehri Havzası'nda 1965-1990 Dönemi Yağış Trend Değerleri.

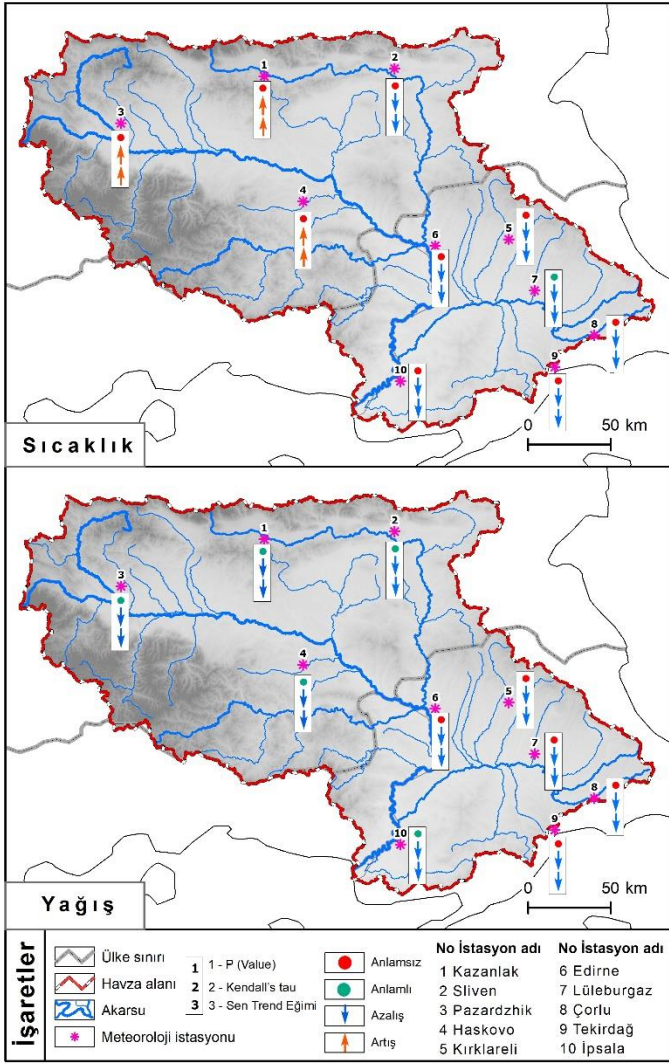
İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak	0,000	-0,502	-9,600
Sliven	0,022	-0,323	-6,438
Pazardzhik	0,039	-0,302	-6,579
Haskovo	0,043	-0,286	-6,706
Kırklareli	0,201	-0,182	-3,492
Edirne	0,064	-0,262	-4,188
Lüleburgaz	0,581	-0,054	-0,825
Çorlu	0,052	-0,274	-4,467
Tekirdağ	0,103	-0,231	-4,589
İpsala	0,031	-0,305	-4,460

Tablo 5. Meriç Nehri Havzası'nda 1965-1990 Dönemi Yağış Eğilimleri.

İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak	●	↓	↓
Sliven	●	↓	↓
Pazardzhik	●	↓	↓
Haskovo	●	↓	↓
Kırklareli	●	↓	↓
Edirne	●	↓	↓
Lüleburgaz	●	↓	↓
Çorlu	●	↓	↓
Tekirdağ	●	↓	↓
İpsala	●	↓	↓

Anlamsız ● Anlamlı ● Azalış ↓ Artış ↑

Meriç Nehri Havzası'ndaki bütün istasyonların 1965-1990 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış trendleri negatif yönlüdür (Tablo 4, Tablo 5, Şekil 3, Şekil 4). Bu istasyonlardan Kazanlak, Sliven, Pazardzhik, Haskovo ve İpsala'da anlamlı negatif yönlü trend bulunmuştur. Kırklareli, Edirne, Lüleburgaz, Çorlu ve Tekirdağ'da yıllık yağış trend yönü negatif olmakla birlikte anlamsızdır. Bu verilerden Meriç Nehri Havzası'nın Bulgaristan sınırları içindeki kesiminde yağış değerlerindeki azalmanın anlamlı olduğu, Türkiye sınırları içinde ise sadece İpsala'da anlamlı bir azalma olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Meriç Nehri Havzası'nın 1965-1990 Dönemi Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yağış Eğilim Haritaları.

4.2 Meriç Havzası'nda 1991-2015 Dönemi Sıcaklık ve Yağış Trend Analizi

1991-2015 dönemi Meriç Nehri Havzası'nda yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin önemli artışlar sergilediği dönemdir. 1965-1990 döneminde azalma eğiliminde olan yıllık ortalama sıcaklık değerleri, bu dönemde bütün istasyonlarda artış eğilimine girmiştir (Tablo 6, Tablo 7, Şekil 5, Şekil 7). Kazanlak, Sliven, Pazardzhik ve Haskovo, Kırklareli, Edirne, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala'da anlamlı pozitif eğilimler gözlenmiştir. Lüleburgaz'da da yıllık ortalama sıcaklıkların trend yönü pozitif fakat anlamsız bulunmuştur.

Tablo 6. Meriç Nehri Havzası'nda 1991-2015 Dönemi Sıcaklık Trend Değerleri.

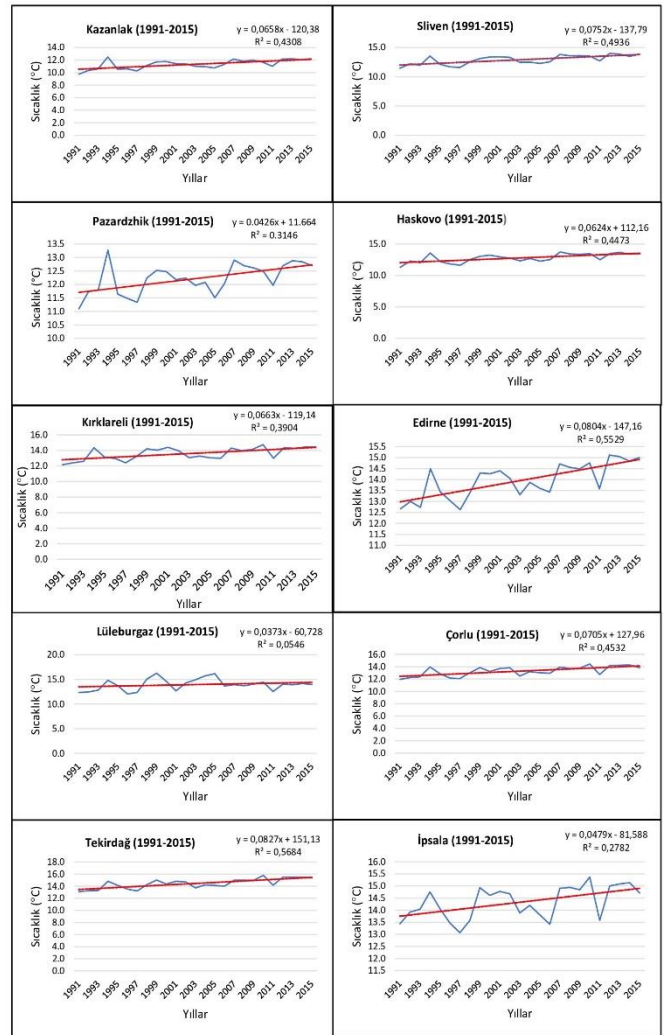
İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak	0,001	0,487	0,073
Sliven	0,000	0,538	0,071
Pazardzhik	0,001	0,496	0,069
Haskovo	0,002	0,451	0,064
Kırklareli	0,002	0,451	0,072
Edirne	< 0,0001	0,560	0,087
Lüleburgaz	0,315	0,147	0,037

Çorlu	0,001	0,467	0,076
Tekirdağ	0,000	0,533	0,081
İpsala	0,006	0,393	0,045

Tablo 7. Meriç Nehri Havzası'nda 1991-2015 Dönemi Sıcaklık Eğilimleri.

İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak	●	↑	↑
Sliven	●	↑	↑
Pazardzhik	●	↑	↑
Haskovo	●	↑	↑
Kırklareli	●	↑	↑
Edirne	●	↑	↑
Lüleburgaz	●	↑	↑
Çorlu	●	↑	↑
Tekirdağ	●	↑	↑
İpsala	●	↑	↑

Anlamsız ● Anlamlı ● Azalış ↓ Artış ↑



Şekil 5. Meriç Nehri Havzası'nın 1991-2015 Dönemi Sıcaklık Eğilim Grafikleri.

1991-2015 dönemi yıllık yağışlarda Meriç Nehri Havzası'nda sadece Kırklareli istasyonunda anlamlı pozitif yönlü bir trend görülmektedir (Tablo 8, Tablo 9, Şekil 6, Şekil 7).

Kazanlak, Sliven, Pazardzhik, Haskovo, Edirne, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala'da anlamsız pozitif yönlü eğilimler gözlenmektedir. Bu istasyonlardan farklı olarak Lüleburgaz'da trend yönü negatiftir ve anlamsızdır. 1965-1990 döneminde Meriç Nehri Havzası'nın tamamında azalma eğiliminde olan yıllık ortalama yağışlar, 1991-2015 döneminde artış eğilimine girmiştir.

Tablo 8. Meriç Nehri Havzası'nda 1991-2015 Dönemi Yağış Trend Değerleri.

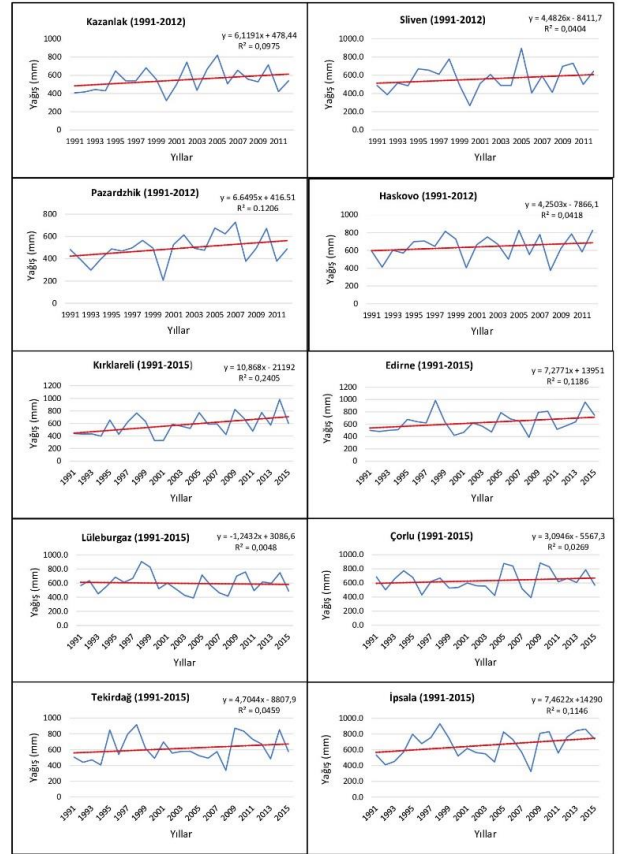
İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak*	0,102	0,255	6,533
Sliven*	0,463	0,117	2,220
Pazardzhik*	0,357	0,131	4,720
Haskovo*	0,236	0,186	6,700
Kırklareli	0,038	0,300	10,377
Edirne	0,065	0,267	7,706
Lüleburgaz	0,761	-0,07	-2,100
Çorlu	0,834	0,033	1,112
Tekirdağ	0,272	0,160	4,442
İpsala	0,072	0,260	8,051

(*1991-2012)

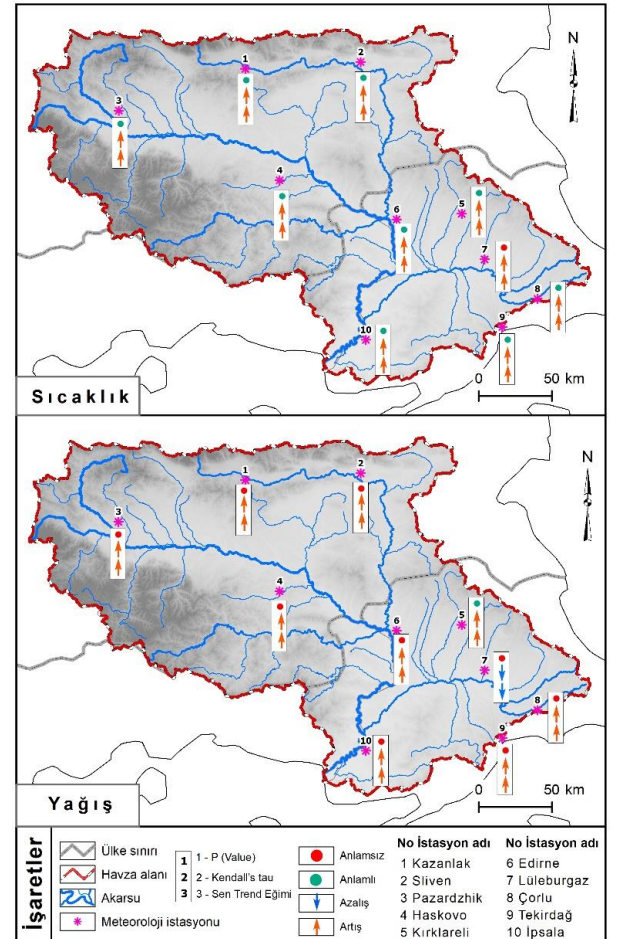
Tablo 9. Meriç Nehri Havzası'nda 1991-2015 Dönemi Yağış Eğilimleri.

İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak*	●	↑	↑
Sliven*	●	↑	↑
Pazardzhik*	●	↑	↑
Haskovo*	●	↑	↑
Kırklareli	●	↑	↑
Edirne	●	↑	↑
Lüleburgaz	●	↓	↓
Çorlu	●	↑	↑
Tekirdağ	●	↑	↑
İpsala	●	↑	↑

Anlamsız ● Anlamlı ● Azalış ↓ Artış ↑



Şekil 6. Meriç Nehri Havzası'nın 1991-2015 Dönemi Yağış Eğilim Grafikleri.



Şekil 7. Meriç Nehri Havzası'nın 1991-2015 Dönemi Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yağış Eğilim Haritaları.

4.3 Meriç Nehri Havzası'nda 1965-2015 Dönemi Sıcaklık ve Yağış Trend Analizi

Meriç Nehri Havzası'nda 1965-2015 dönemi sıcaklık ortalamaları incelendiğinde Kazanlak, Sliven, Pazardzhik, Haskovo, Kırklareli, Edirne, Lüleburgaz, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala'da sıcaklık trendleri anlamlı ve pozitif yönlüdür (Tablo 10, Tablo 11, Şekil 8, Şekil 10). Başka bir deyişle Meriç Nehri Havzası'nda 1965 yılından bu yana geçen 50 yıllık sürede sıcaklıklar artmış ve bu artış eğilimi sürmektedir.

Diğer taraftan 1965-1990 döneminde genel anlamda azalma trendinde olan yıllık ortalama sıcaklıklar 1991-2015 ve 1965-2015 döneminde artış trendine girmiştir.

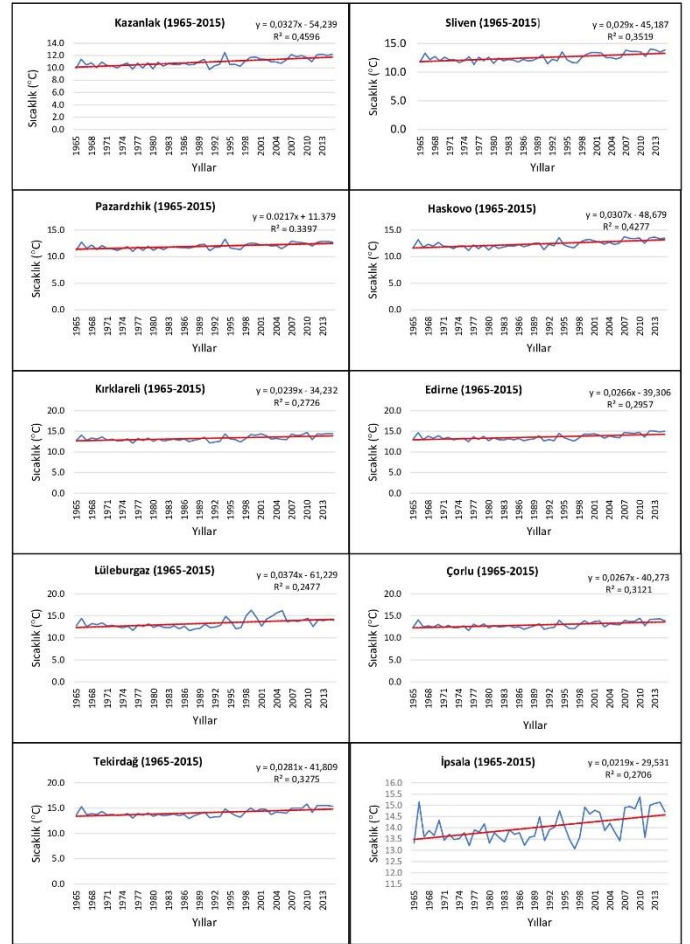
Tablo 10. Meriç Nehri Havzası'nda 1965-2015 Dönemi Sıcaklık Trend Değerleri.

İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak	<0,0001	0,475	0,034
Sliven	<0,0001	0,383	0,028
Pazardzhik	<0,0001	0,418	0,021
Haskovo	<0,0001	0,477	0,033
Kırklareli	0,002	0,305	0,022
Edirne	0,001	0,333	0,028
Lüleburgaz	0,008	0,256	0,030
Çorlu	0,000	0,350	0,028
Tekirdağ	0,000	0,353	0,028
İpsala	0,000	0,348	0,023

Tablo 11. Meriç Nehri Havzası'nda 1965-2015 Dönemi Sıcaklık Eğilimleri.

İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak	●	↑	↑
Sliven	●	↑	↑
Pazardzhik	●	↑	↑
Haskovo	●	↑	↑
Kırklareli	●	↑	↑
Edirne	●	↑	↑
Lüleburgaz	●	↑	↑
Çorlu	●	↑	↑
Tekirdağ	●	↑	↑
İpsala	●	↑	↑

Anlamsız ● Anlamlı ● Azalış ↓ Artış ↑



Şekil 8. Meriç Nehri Havzası'nın 1965-2015 Dönemi Sıcaklık Eğilim Grafikleri.

1965-2015 yılları arası dönemde Meriç Nehri Havzası'na ait yağış trendleri hiç bir istasyonda istatistiksel olarak anlamlı değildir (Tablo 12, Tablo 13, Şekil 9, Şekil 10). Kazanlak, Sliven, Pazardzhik, Haskovo, ve Lüleburgaz meteoroloji istasyonlarının yıllık yağış ortalamalarında negatif yönlü bir eğilim Kırklareli, Edirne, Çorlu, Tekirdağ ve İpsala'da pozitif yönlü bir eğilim vardır.

Tablo 12. Meriç Nehri Havzası'nda 1965-2015 Dönemi Yağış Trend Değerleri.

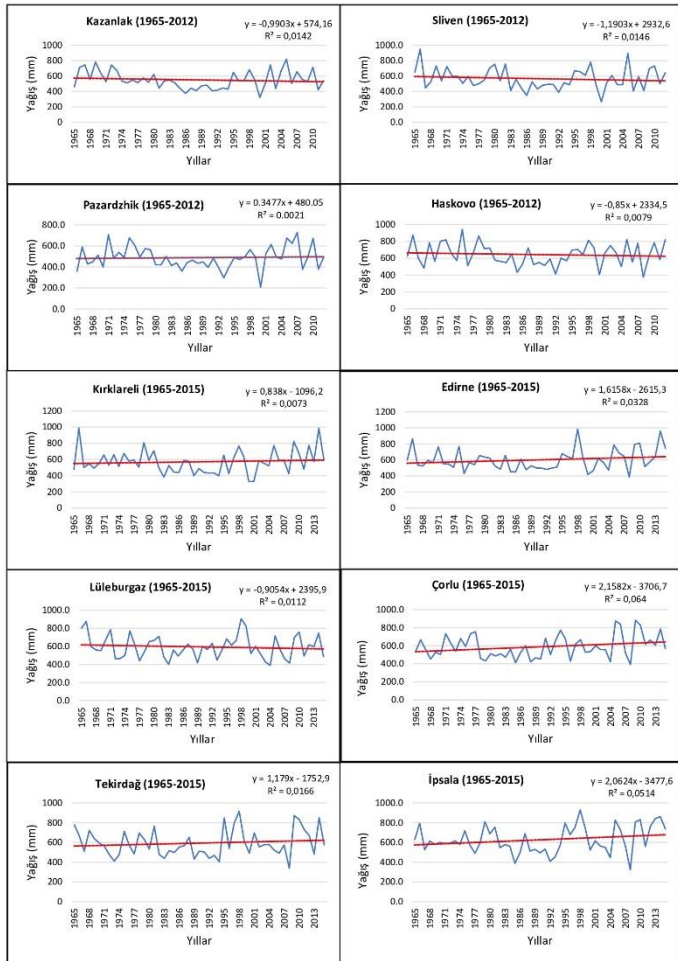
İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak*	0,315	-0,101	-1,009
Sliven*	0,369	-0,090	-1,077
Pazardzhik*	0,593	-0,086	-0,643
Haskovo*	0,838	-0,021	-0,398
Kırklareli	0,685	0,040	0,654
Edirne	0,389	0,084	1,108
Lüleburgaz	0,113	-0,225	-0,223
Çorlu	0,188	0,128	1,750
Tekirdağ	0,564	0,056	0,558
İpsala	0,346	0,092	1,414

(*1965-2012)

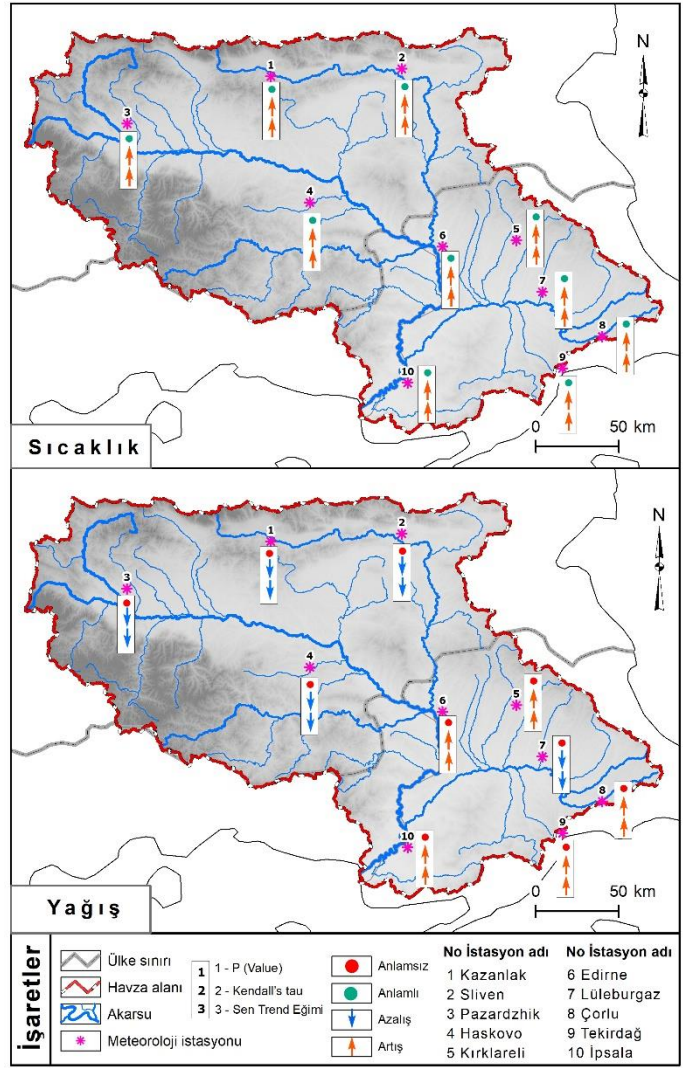
Tablo 13. Meriç Nehri Havzası'nda 1965-2015 Dönemi Yağış Eğilimleri.

İstasyon Adı	P (Value) ($\alpha=0,05$)	Kendall's tau	Sen Trend Eğimi
Kazanlak*	●	↓	↓
Sliven*	●	↓	↓
Pazardzhik*	●	↓	↓
Haskovo*	●	↓	↓
Kırklareli	●	↑	↑
Edirne	●	↓	↓
Lüleburgaz	●	↓	↓
Çorlu	●	↑	↑
Tekirdağ	●	↑	↑
İpsala	●	↑	↑

Anlamsız ● Anlamli ● Azalış ↓ Artış ↑ (*1965-2012)



Şekil 9. Meriç Nehri Havzası'nın 1965-2015 Dönemi Yağış Eğilim Grafikleri.



Şekil 10. Meriç Nehri Havzası'nın 1965-2015 Dönemi Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yağış Eğilim Haritaları.

5. Sonuç

Meriç Nehri Havzası'nda yıllık sıcaklık ortalamaları 1965-1990 döneminde bütün istasyonlarda azalmakla birlikte sadece Lüleburgaz'da istatistiksel olarak anlamlı azalış göstermektedir. Bu dönemin yıllık ortalama yağışlarında trend yönü azalma yönündedir. Havza alanının Bulgaristan'da kalan kesiminin tamamında ve İpsala'da yıllık yağış azalma eğilimi istatistiksel olarak anlamlıdır.

Meriç Nehri Havzası'nın bu çalışmada ortaya konulan 1965-1990 dönemi yıllık ortalama sıcaklık ve yağış trend yönleri Kadioğlu (1997), Türkeş (1996), Knight ve Staneva (1996) ve Partal'ın (2002) bulgularıyla uyumludur.

Yıllık ortalama sıcaklıklar 1991-2015 ve 1965-2015 dönemlerinde Meriç Nehri Havzası genelinde anlamlı pozitif eğilimler göstermektedir. Yıllık ortalama yağışlar 1965-1990 döneminde bütün istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı olmasa da azalış yönünde bir trend göstermektedir. 1991-2015 döneminde yağışlar Kırklareli'nde istatistiksel olarak anlamlı olmak üzere genel olarak artış yönündedir. Yıllık ortalama yağışlarda 1965-2015 dönemi yani bütün rasat dönemi geneli esas alındığında Meriç Nehri'nin Bulgaristan'da kalan kesiminde azalma, Türkiye sınırları içinde kalan kesiminde Lüleburgaz hariç olmak üzere artış yönünde bir trend görülmektedir. Ancak havza

genelinde yer alan hiçbir istasyonun trend yönleri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu trend sonuçlarının Gönençgil (2012), Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2014) ve Hanedar vd. (2019)'nin yaptıkları çalışmalar ile uyumlu olduğu söylenebilir.

Meriç Nehri Havzası'ndaki bütün istasyonların sıcaklık değerlerinde 1990-2015 döneminde ortaya çıkan pozitif yönlü anlamlı trendler küresel iklim değişikliğinin sıcaklık ve yağış parametreleri üzerindeki etkisinin son yıllarda çok daha hissedilmeye başlandığını göstermesi açısından oldukça manalıdır. Meriç Nehri sınır aşan bir akarsu olduğundan havza alanının Bulgaristan'da kalan kesimlerinde yağış miktarının artış ya da azalış yönünde seyir izlemesi hiç şüphesiz Aşağı Meriç Havzası'nda akım rejim özelliklerinin değişmesine ve dolayısıyla taşkınlara veya su sıkıntısı çekilmesine neden olabilecektir. Zira Turoğlu ve Uludağ (2013), Meriç Nehri Havzası'nın Türkiye'deki bölümünde taşkın, su yetersizliği, su kalitesi vb. pek çok problemin giderek arttığını özellikle vurgulamışlardır.

Meriç Nehri'nin Bulgaristan tarafında yağış miktarı ve rejiminde görülen değişimler, erozyon alanlarından taşınan toprak miktarının artmasına ve bu durumdan Türkiye sınırları içindeki arazilerin de olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Bulgaristan arazisinde %78 oranında düşük erozyon, %6,07 şiddetli erozyon, %5,26 hafif erozyon, %5,09 yüksek erozyon ve %4,89 orta derecede erozyon belirlenmiştir (Özşahin vd., 2019). Havza alanındaki tarım alanlarında ise RUSLE yöntemine göre 1990-2015 yılları arasında toprak kaybı oranında dikkate değer artış tespit edilmiştir (Özşahin vd., 2018). Türkiye sınırları içinde Meriç Nehri'nin erozyon ve taşkın zararlarını azaltmak ve verimli tarım alanlarının zarar görmemesi için ülkeler arası işbirliğinde Türkiye kadar diğer ülkelerde gerekli hassasiyeti göstermelidir.

Meriç Nehri Havzası'nın iklim özelliklerinde değişikliklerin yaşanması havza alanında kuraklık, toprak erozyonu, arazi degradasyonu, su kıtlığı veya taşkın riskinin artması, ekolojik dengede bozulmalar, tarımsal verimin düşmesi, ürün çeşitliliğinin azalması, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık faaliyetlerinin olumsuz etkilenmesi gibi sorunlara yol açacaktır. Bu sorunların büyümeden çözülmesi için havza alanı ile ilgili planlamalarda ortalama sıcaklık ve yağış trendlerindeki değişikliklerin sonuçları göz önünde bulundurulmalıdır.

6. Teşekkür

Kazanlık, Sliven, Pazardzhik ve Haskovo meteoroloji istasyonlarına ait sıcaklık ve yağış verilerinin temininde yardımlarını esirgemeyen Peter NOJAROV'a teşekkür ederim.

Kaynakça

- Ardel, A., Kurter, A. & Dönmez, Y. (1965). *Klimatoloji Tatbikatı*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayın No:1123, Coğrafya Enstitüsü Yayın No: 40.
- Atalay, İ. (2013). *Uygulamalı Klimatoloji (2. Baskı)*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Bayer Altın, T. & Barak B. (2012). Seyhan Havzası'nda 1970-2009 yılları arasında yağış ve sıcaklık değerlerindeki değişimler ve eğilimler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 58, 21-34.
- Büyükyıldız, M. & Bertkay, A. (2004). Parametrik olmayan testler kullanılarak Sakarya havzası yağışlarının trend analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 23-38.

- Coşkun, S. (2020a). Van Gölü kapalı Havzası'nda yağışların trend analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 521-532.
- Coşkun, S. (2020b). Aras-Kura kapalı Havzası'nın ortalama sıcaklık, yağış ve akım verilerinin trend analizi (Türkiye). *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 30(2), 29-42.
- Coşkun, S. (2020c). Akarçay kapalı Havzası'nın ortalama sıcaklık ve yağış verilerinin eğilim analizi (Afyonkarahisar-Türkiye). *Jass Studies-The Journal of Academic Social Science Studies*, 81, 533-547. <http://dx.doi.org/10.29228/JASSS.44156>
- Çalışkan, O. (2016). Klimatolojik araştırmalar. Nurettin Özgen, Sabri Karadoğan (Ed). *Fiziki coğrafyada araştırma yöntemleri ve teknikleri* içinde (ss. 247-290). Ankara: PEGEM Akademi.
- Çeribaşı, G. & Doğan, E. (2015). Trend analizi yöntemi kullanılarak Batı ve Doğu Karadeniz ile Sakarya havzası akım miktarlarının değerlendirilmesi. *SDU International Technologic Science*, 7(2), 1-12.
- Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M. & Sümer, U. M. (2008). Türkiye'de maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklıkları ile yağış dizilerinde gözlenen değişiklikler ve eğilimler. *TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu (13-14 Mart 2008) Bildiriler Kitabı* içinde (ss. 69-84). Ankara: TMMOB adına TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası,
- Erkal, T. & Topgöl, İ. (2015). Meriç Nehri'nin son 15 yıllık taşkınları ve korunma projeleri. *TUCAUM VIII. Coğrafya Sempozyumu (23-24 Ekim 2014) Bildiriler Kitabı* içinde (ss.165-174). Ankara: Ankara Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi.
- Erkal, T. & Topgöl, İ. (2020). Aşağı Meriç Nehri akımlarının mevsimsel ve yıllık değişiminin taşkınlar üzerine etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 74, 33-38. DOI: 10.17211/tcd.645865.
- Gocic, M. & Slavisa, T. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172-182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>.
- Gönençgil, B. (2012). Climate characteristics of Thrace and observed temperature - precipitation trends. *The Balkans at a Crossroads: Evaluating Past, Reading Present, Imagining Future (11-14 October 2012)*, Tirana. Bekir Çınar (Ed). *Conference Proceeding Book. Vol.2* içinde (ss. 80-95). 24.01.2021 tarihinde <http://cdn.istanbul.edu.tr/FileHandler2.ashx?f=ibac-2012-albania-volume-ii-1.pdf> adresinden erişildi.
- Hanedar, A., Çağlar, F., Görgün, E., Konukçu, F., Altürk, B. & Albut, S. (2019). TR21 Bölgesi iklim değerlendirmesi: Mevcut durum ve projeksiyonlar. Konukçu F., Albut S., Altürk B. (Ed). TR 21 Trakya bölgesinde iklim değişikliğinin etkileri ve uyum stratejileri içinde (s.1-22), Tekirdağ: Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Toprak Ofset.
- Kadioğlu, M. (1997). Trends in surface air temperature data over Turkey. *International Journal Of Climatology*, 17, 511-520.
- Kadioğlu, M. (2019). *Bildiğiniz havaların sonu küresel iklim değişikliği ve Türkiye*. (Gözden geçirilmiş ve güncellenmiş basım). İstanbul: Sia Kitap.
- Karabulut, M. & Cosun, F. (2009). Kahramanmaraş ilinde yağışların trend analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7 (1), 65-83.
- Kızılelma, Y., Çelik, M. A. & Karabulut, M. (2015). İç Anadolu Bölgesinde sıcaklık ve yağışların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 64, 1-10. <https://doi.org/10.17211/tcd.90494>.

- Knight, C. G. & Staneva, M. (1996). The water resources of Bulgaria: an overview. *GeoJournal*, 40(4), 347-362. doi:10.1007/bf00183411
- Nojarov, P. (2017). Genetic climatic regionalization of the Balkan peninsula using cluster analysis. *Journal of Geographical Sciences*, 27(1), 43-61. DOI: 10.1007/s11442-017-1363-y.
- Ölgen, M. K. (2010). Türkiye’de yıllık ve mevsimsel yağış değişkenliğinin alansal dağılımı. *Ege Coğrafya Dergisi*, 19(1), 85-95.
- Özşahin, E. & Eroğlu, İ. (2019). Frog hunting in Edirne province (Thrace, Turkey). Recep Efe, Irina Koleva, Münir Öztürk, Ramiz Arabacı (Ed.), *Recent Advances in Social Sciences* içinde (ss. 575-584). Cambridge Scholars Publishing.
- Özşahin E., Duru Ü. & Eroğlu İ. (2018). Land use and land cover changes (LULCC), a key to understand soil erosion intensities in the Maritsa Basin. *Water*, 10, 1-15.
- Özşahin, E., Eroğlu, İ. & Ocak, A. (2019). Soil erosion in Bulgaria. Dimitar Kirilov Dimitrov, Dimitar Nikoloski Rasim Yılmaz (Ed.) XI. IBANESS Congress Series-Tekirdağ / TURKEY. (09-10 Mart 2019) Proceedings Book içinde (ss. 1234-1237).
- Özşahin, E., Eroğlu, İ. & Özdeş, M. (2020). Yerçekilleri ve AKAÖ (arazi kullanımı/arazi örtüsü) arasındaki ilişkinin incelenmesi: Hisarlıdağ ve yakın çevresi örneği (Enez/Edirne). Salih Birinci, Çağlar Kıvanç Kaymaz, Yusuf Kızıllan (Ed). *Coğrafi perspektifle dağ ve dağlık alanlar (sürdürülebilirlik-yönetim-örnek alan incelemeleri* içinde (ss. 73-100). İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Partal, T. (2002). *Türkiye yağış verilerinin trend analizi*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Partal, T. & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*. 20, 2011–2026. Doi: 10.1002/Hyp.5993.
- Polat, P.& Sunkar, M. (2017). Rize’nin iklim özellikleri ve Rize çevresinde uzun dönem sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizleri. *Firat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27(1), 1-23.
- Roboaa, E. M. & Al-Barazanji, Z. (2015). *Mann–Kendall trend analysis of surface air temperatures and rainfall in Iraq*. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, 119(4), 493–514.
- Saplıoğlu, K. & Çoban, E. (2013). *Karadeniz Bölgesi yağış serilerinin trend analizi*. VII. Ulusal Hidroloji Kongresi (26 - 27 Eylül 2013), (ss. 500-512). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Sütgibi, S. (2015). Büyük Menderes Havzası’nın sıcaklık, yağış ve akım değerlerindeki değişimler ve eğilimler. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 31, 398-414. DOI: 10.14781/mcd.36029.
- Şenocak, S. & Emek, M. F. (2019).Trend analizi yöntemleri kullanılarak Doğu Anadolu Bölgesi aylık yağış miktarlarının değerlendirilmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 807-822.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2014). İklim projeksiyonlarına göre akarsu havzalarında sıcaklık ve yağış değerlendirmesi. Ankara: Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü. 09.02.2021 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/2014/iklim-Projeksiyonlari-ve-Havzalar-2014.pdf> adresinden erişildi.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2017). Çorlu, Edirne, İpsala, Kırklareli, Lüleburgaz ve Tekirdağ meteoroloji istasyonlarının sıcaklık ve yağış verileri.
- Turoğlu, H. & Uludağ, M. (2013). Possible hydrographic effects of climate change on lower part of transboundary Meriç river basin (Turkey). *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 14(2), 77-85.
- Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16, 1057-1076.
- Türkeş, M. (2012). Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.
- Türkeş, M., Koç, T. & Sarış, F. (2007). Türkiye’nin yağış toplamı ve yoğunluğu dizilerindeki değişikliklerin ve eğilimlerin zamansal ve alansal çözümlemesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(1), 57-73.
- Yıldız, D. (2011). *Meriç Nehri havzası su yönetiminde uluslararası işbirliği zorunluluğu*. Ankara: ORSAM Rapor No: 44. ORSAM Su Araştırmaları Programı Rapor No: 4. 24 Ocak 2021 tarihinde <https://www.orsam.org.tr/tr/meric-Nehri-havzasi-su-yonetimi-nde-uluslararası-isbirligi-zorunluluğu/> adresinden erişildi.
- Yu, Y. S., Zou, S. & Whittemore, D. (1993) Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas, *Journal of Hydrology*, 150, 61-80. <https://www.xlstat.com/en/download/xlstat> (Erişim tarihi: 10.10.2020).



Mamdani Model based ANFIS and Application in Prediction of Soot Emission

Muhammet Öztürk^{1*}, İsmail Bayezit², İbrahim Özkol³

^{1*} Necmettin Erbakan University, Faculty of Avionics and Astronautics, Department of Astronautical Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0057-5205), mozturk@erbakan.edu.tr

² İstanbul Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aeronautical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9345-5108), bayezit@itu.edu.tr

³ İstanbul Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aeronautical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9300-9092), ozkol@itu.edu.tr

(First received 21 August 2020 and in final form 20 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.783878)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, M., Bayezit, İ., & Özkol, İ. (2021). Mamdani Model based ANFIS and Application in Prediction of soot Emission. *European Journal of Science and Technology*, (23), 761-768.

Abstract

This paper proposed Mamdani-based Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (MANFIS). In literature, there are very applications of Sugeno Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) because of simplicity of the Sugeno defuzzification step. Mamdani defuzzification step is linguistic but the Sugeno defuzzification step has constant and linear functions. So, Mamdani parameters training algorithms given in the open literature are not efficient and give worse results when compared to the Sugeno ANFIS. The proposed Mamdani ANFIS is tested for an equation and to predict vehicle soot emission that soot emission is effective at global warming and melting of sea ice in the Arctic. The proposed Mamdani ANFIS is compared to the Sugeno ANFIS for Least Square Estimation method and Gradient Descent method. The training results show that The Mamdani ANFIS consumes less time and needs less epoch number. It is determined that for Gradient Method, the proposed Mamdani has less training error.

Keywords: Mamdani ANFIS, Gradient, Emission Prediction, RMSE, Least Square Estimation.

Mamdani Modeli tabanlı ANFIS ve Kurum Emisyon Tahmininde Uygulanması

Öz

Bu çalışmada Mamdani Bulanık Çıkarım Sisteminin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Eğitimi (MANFIS) için bir metod tasarlanmıştır. Sugeno duruluşturma işleminde sabit ve doğrusal fonksiyonlar kullanıldığından ANFIS kullanımı kolay olmuştur. Bu sebeple literatürde Sugeno ANFIS ile alakalı çok çalışma bulunmaktadır. Mamdani duruluşturma aşaması ise üyelik fonksiyonlarını içermektedir. Bu sebeple Mamdani giriş ve çıkış parametrelerinin eğitimi için bazı kabuller yapmak zorunludur. Literatürde, Mamdani eğitimi için yapılan çalışmalarda, Mamdani ANFIS sonuçlarının Sugeno ANFIS'e göre verimsiz olduğu görülmüştür. Geliştirdiğimiz metodu bir denklem ve araçların emisyon değerlerinin tahmini için denedik. Emisyon değerleri küresel ısınma ve kuzey kutbundaki buzulların erimesinde etkili faktörlerdir. Bu çalışmada ki eğitimlerde Sugeno ANFIS ve Mamdani ANFIS algoritmaları En Küçük Kareler ve Gradyan metodları için karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarında bu çalışmada geliştirilen Mamdani ANFIS algoritmalarının daha az zamanda ve daha az eğitim adımıyla Sugeno ANFIS'e kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mamdani ANFIS, Gradyan, Emisyon Tahmini, RMSE, En Küçük Kareler.

* Corresponding Author: mozturk@erbakan.edu.tr

1. Introduction

Computational Intelligence methods are very useful to represent nonlinear mathematical models and to solve problems that impossible to solve so they are wisely implemented in engineering and social projects. These methods involve neural networks, gradient methods, genetic algorithms, fuzzy logic, etc. The methods have some advantages and disadvantages to each other and so Computer Intelligence methods are examined as a combination of methodologies. When they are combined, better results can be obtained (Eberhart, 1998). In these studies, Fuzzy Logic is used with Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) training.

Fuzzy Inference System (FIS) are offered a linguistic approximation for complicated problems and systems in 1973 (Zadeh, 1973). The Mamdani model is proposed as a fuzzy approach to engineering control problems (Mamdani & Assilian, 1975). The Mamdani structure consists of fuzzy inputs and outputs, so it was linguistic and it had a humanly structure. Mamdani structure has a defuzzification step to take crisp values as output. Even if Mamdani is well suited to human, it was hard to training and use in engineering problems because of low computer processing power. Afterwards, the Sugeno model is proposed as more convenient to engineering issues (Sugeno, 1985). Sugeno FIS has fuzzy inputs as Mamdani but it does not need the defuzzification step. The Sugeno FIS outputs membership functions (MF) are linear or constant, so Sugeno outputs are crisp values.

FIS can be constructed with expert opinion but this is not possible or effective for every problem. So, ANFIS is proposed for Sugeno structure that it was a hybrid system consisting of Least Square Estimation (LSE) method and Gradient Descent (GD) method (Jang, 1993). The ANFIS is a generally used technique (Şahin, OKTAY, & Konar, 2020) to train fuzzy inference systems that it is explicit and needs less computational processing load when compared to other training methods (Raja & Pahat, 2016). Besides, it gives better results than other fuzzy training methods (Neshat, Adeli, Masoumi, & Sargolzae, 2011).

ANFIS has two processes as forward and backward. The forward process takes input MFs and trains output MFs. The backward process takes output MFs and trains input MFs. So, fuzzy inference system input and output parameters are trained. Forward process training are executed with LSE and Gradient Descent, Backward process training is executed with gradient descent method (Raja & Pahat, 2016).

Sugeno has advantages in engineering problems when compared to Mamdani and so it is easier to train Sugeno. However, Mamdani has a more suited structure to human than Sugeno. So, Mamdani ANFIS models are created and tested in traffic solution problem (Chai, Jia, & Zhang, 2009). The given Mamdani ANFIS model is changed and it is explained in the Mamdani ANFIS section.

The proposed Mamdani ANFIS and ANFIS is tested with a nonlinear equation and Soot Emission prediction. There are very much soot emission prediction studies in the open literature (Özhan, 2020). The used soot emission test data is taken from (Ondes, Bayezit, Poergye, & Hafsi, 2017).

The rest of this paper is organized as follows. In section 2, the Sugeno ANFIS structure is examined as stated in the open

literature. In section 3, the proposed method Mamdani ANFIS (MANFIS) is given in detail. In section 4, the methods are implemented to a nonlinear equation and prediction of emission problem.

2. ANFIS

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) is a hybrid computational hybrid system that consists of neural networks and fuzzy logic (Rai, Pai, & Rao, 2015). The ANFIS is based on the given Sugeno model that Sugeno Fuzzy Inference System has 5 steps as fuzzification," and/or" method, implication, aggregation, and defuzzification. Sugeno FIS structure is given as "and" operator and Implication is product, aggregation is sum and defuzzification is wtaver. These steps' mathematical equation is given below.

Step 1: Fuzzification:

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad O_i^1 = \mu_{B_i}(y) \quad (1)$$

Step 2: "and/or" method; ANFIS uses "and-prod" operator:

$$O_i^2 = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y) = w_i \quad (2)$$

Step 3: Implication; ANFIS uses "product" operator:

$$f_i = p_i x_1 + q_i x_2 + r_i$$

Step 4: Aggregation; ANFIS uses "sum" operator:

$$O_i^4 = \sum_{i=1}^n O_i^3 \quad (4)$$

Step 5: Defuzzification; ANFIS uses "wtaver" (weighted average) operator:

$$O_i^5 = \frac{O_i^4}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5)$$

For the given Sugeno FIS, the ANFIS structure is given in Figure 1. For the given Sugeno; the ANFIS structure is generated as below step by step.

Layer 1: Membership functions generation are formed.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad O_i^1 = \mu_{B_i}(y) \quad (6)$$

Layer 2: The and/or method implementation. "prod" method is implemented. "prod" method crosses the input's membership grades.

$$O_i^2 = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y) = w_i \quad (7)$$

Layer 3: In Sugeno FIS third step is implication but it is represented in layer 4. In the last step of Sugeno is "wtaver" defuzzification method are used. Wtaver method is represented in this layer.

$$O_i^3 = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (8)$$

Layer 4: The implication step "product" method is implemented. "product" method multiplies the normalized weights and f values.

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = y_i \quad (9)$$

Layer 5: The aggregation step is represented that all rule output values are gathered.

$$O_i^5 = \sum_{i=1}^n y_i \tag{10}$$

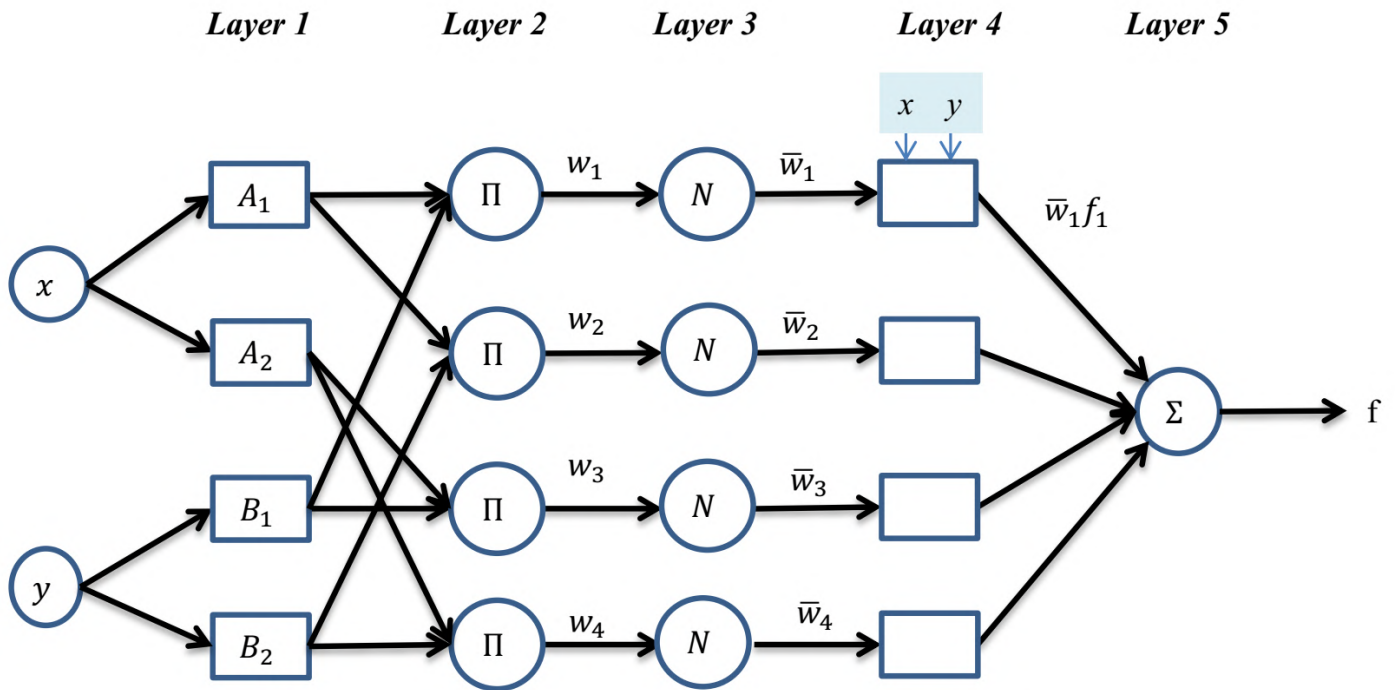


Figure 1. ANFIS Structure

2.1. ANFIS LSE Method

LSE method gives the exact results. The LSE method steps are given below (Wesley Hines, 1997):

Layer 1: Membership functions generated.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad O_i^1 = \mu_{B_i}(y) \tag{11}$$

Layer 2: "and-prod" method are used to find weights.

$$O_i^2 = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y) = w_i \tag{12}$$

Layer 3: Weights are normalized.

$$O_i^3 = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \tag{13}$$

Layer 4: The rule outputs are calculated.

$$O_i^4 = y_i = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(p_i x_1 + q_i x_2 + r_i) \tag{14}$$

Layer 5: The aggregation step is represented that all output values are gathered.

$$O_i^5 = \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n \bar{w}_i f_i = (\bar{w}_1 x_1) p_1 + (\bar{w}_1 x_2) q_1 + \bar{w}_1 r_1 + (\bar{w}_2 x_1) p_2 + (\bar{w}_2 x_2) q_2 + \bar{w}_2 r_2 \tag{15}$$

The equation 15 must be put into a usable form to implement Least Square algorithm (Wesley Hines, 1997).

$$y = (w_1 x_1) p_1 + (w_1 x_2) q_1 + w_1 r_1 + (w_2 x_1) p_2 + (w_2 x_2) q_2 + w_2 r_2 \tag{16}$$

$$y = [w_1 x_1 \quad w_1 x_2 \quad w_1 \quad w_2 x_1 \quad w_2 x_2 \quad w_2] \begin{bmatrix} p_1 \\ q_1 \\ r_1 \\ p_2 \\ q_2 \\ r_2 \end{bmatrix} = XW \tag{17}$$

"w" is the weights, "x" is the inputs and "W" is the output parameters. Weights and input values are known and so output parameters will be found.

$$y = XW \Rightarrow X^{-1}Y \tag{18}$$

If X is not invertable than pseudoinverse can be used. In this study, pseudoinverse is used.

2.2. ANFIS Gradient Descent Method

In some situations, there is not any convenient inverse of matrices. So, the fuzzy training can be implemented with some methods and Gradient is one of the simplest. The method equation is given below for "y" is measured output values, "y^t" is calculated output values, "lr" is learning rate, and W is the output parameters.

$$E = \frac{1}{2} (y - y^t)^2 \quad y = XW \tag{19}$$

$$\frac{\partial E}{\partial W} = (y - y^t) y' = (y - y^t) X \tag{20}$$

$$W(t + 1) = W(t) - lr \frac{\partial E}{\partial W_i} = W(t + 1) = W(t) - lr(y - y^t) X \tag{21}$$

3. Mamdani ANFIS

Mamdani model inputs and outputs are fuzzy; however, Sugeno outputs are crisp. So, Mamdani has advantages on the Sugeno model: it is heuristical and very compatible to human thought structure (Chai et al., 2009).

Mamdani model operators are chosen as; for and/or operator "and/prod", for implication operator "product", for aggregation operator "sum" and for defuzzification operator "centroid" is used. The MANFIS structure is given in Figure 2. The trained Mamdani structure:

Step 1: Fuzzification:

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad O_i^1 = \mu_{B_i}(y) \quad (22)$$

Step 2: "and/or" method; MANFIS uses "and-prod" operator:

$$O_i^2 = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y) = w_i \quad (23)$$

Step 3: Implication; MANFIS uses "product" operator where "(area)_i" is area of the consequent MFs:

$$O_i^3 = w_i * (area) = a_i \quad (24)$$

Step 4: Aggregation; MANFIS uses "sum" operator where "z_i" is center of the consequent MFs:

$$O_i^4 = \sum_{i=1}^n a_i z_i \quad (25)$$

Step 5: Defuzzification; MANFIS uses "centroid" operator:

$$O_i^5 = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y)}{\sum_{i=1}^n \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y)} \quad (26)$$

when simplified for our Mamdani structure:

$$O_i^5 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i z_i}{\sum_{i=1}^n a_i} = \bar{a}_i z_i \quad (27)$$

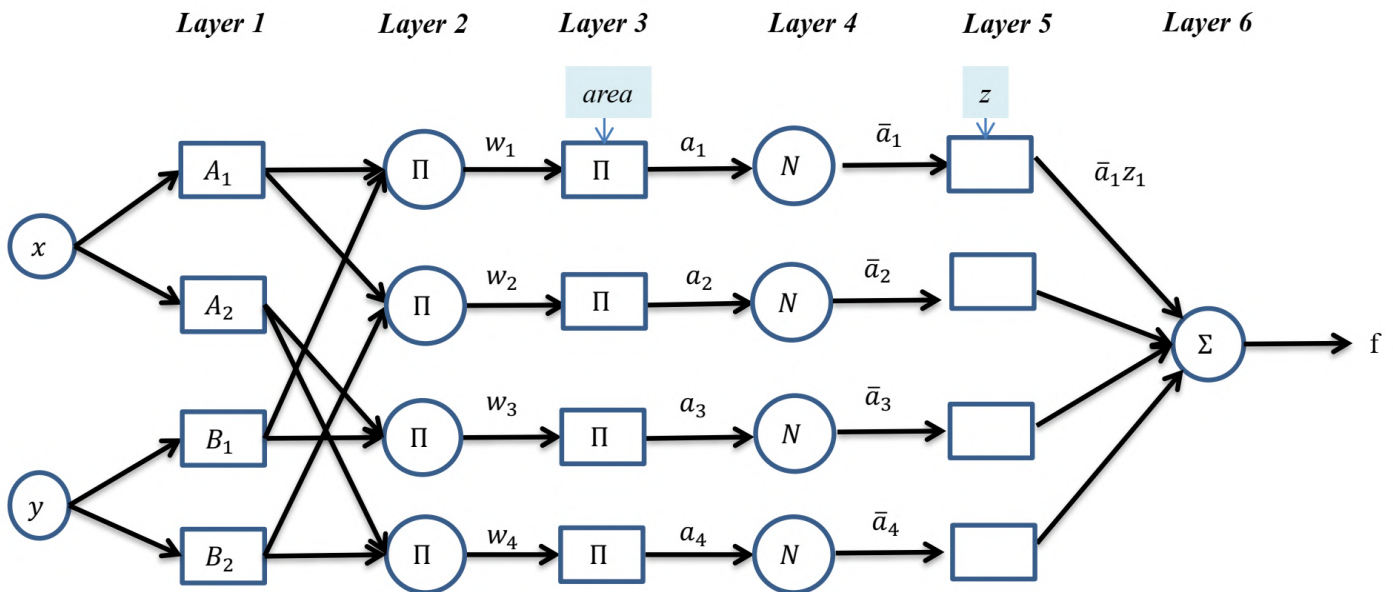


Figure 2. MANFIS Structure

For the given Mamdani; MANFIS structure is generated as below step by step.

Layer 1: Membership functions generation are formed.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad O_i^1 = \mu_{B_i}(y) \quad (28)$$

Layer 2: The "and/or" operator implementation. "prod" operator is implemented. "prod" operator multiplies the input's membership grades.

$$O_i^2 = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y) = w_i \quad (29)$$

Layer 3: Implication "prod" operator. \$a_i\$ is the output MFs' area.

$$O_i^3 = w_i * (area) = a_i \quad (30)$$

Layer 4: Aggregation "sum" operator.

$$O_i^4 = \frac{a_i}{w_1 + w_2} = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} = \bar{a}_i \quad (31)$$

Layer 5: Defuzzification.

$$O_i^5 = y_i = \bar{a}_i z_i \quad (32)$$

Layer 6: Summation.

$$O_i^6 = \sum_{i=1}^n y_i \quad (33)$$

In MANFIS training main goal is to train output membership functions. In this work, output values are trained with Gradient Descent and Least Square Estimation methods. Afterwards, as a second step input membership functions are trained with the neural network.

3.1. Mamdani ANFIS Gradient Descent Method

Gradient method regulated for MANFIS where "y" is measured output values, "\$y^t\$" is calculated output values, "lr" is learning rate and \$W = r_i\$.

$$E = \frac{1}{2}(y - y^t)^2 \quad y = \bar{a}_i z_i \quad (34)$$

$$z(t + 1) = z(t) - lr \frac{\partial E}{\partial z_i} \tag{35}$$

$$\frac{\partial E}{\partial z_i} = (y - y^t) \bar{a}_i \tag{36}$$

$$z(t + 1) = z(t) - lr(y - y^t) \bar{a}_i \tag{37}$$

3.2. Mamdani ANFIS LSE Method

LSE method are very effective method in training that it is used in ANFIS, but it could not be able used in Mamdani. The $[\bar{w}_i \bar{a}_i]$ matrix that was given in (Chai et al., 2009) was a $[1, \text{rulenumber}]$ matrix. So, the inverse of $[\bar{w}_i \bar{a}_i]$ matrix is not accurate.

In our Mamdani ANFIS training structure that is given in Figure 2 $[\bar{a}_i]$ matrix will be inverted. The $[\bar{a}_i]$ matrix are $[\text{rulenumber}, \text{datanumber}]$. So, the matrix inverse can be calculated as accurate.

The Mamdani ANFIS LSE method steps are given below (Wesley Hines, 1997):

Layer 1: Membership functions generated.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad O_i^1 = \mu_{B_i}(y) \tag{38}$$

Layer 2: "and-prod" method is used to find weights.

$$O_i^2 = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y) = w_i \tag{39}$$

Layer 3: Triggered MF areas are calculated.

$$O_i^3 = w_i * (\text{area}) = a_i \tag{40}$$

Layer 4: Areas are normalized.

$$O_i^4 = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} = \bar{a}_i \tag{41}$$

Layer 5: The rule outputs are calculated.

$$O_i^5 = y_i = \bar{a}_i z_i \tag{42}$$

Layer 6: The aggregation step is represented that all output values are gathered.

$$O_i^6 = \sum_{i=1}^n y_i = a_1 z_1 + a_2 z_2 + a_3 z_3 \dots \tag{43}$$

$$y = [a_1 \quad a_2 \quad a_3] \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = XW \tag{44}$$

"X" is triggered MF areas and "W" is the output parameters. The triggered MF's and areas are known but the output parameters are not known. So the output parameters will be found.

$$y = XW \Rightarrow X^{-1}Y \tag{45}$$

If X is not invertible than pseudoinverse can be used. In this study, pseudoinverse is used.

4. Results and Discussion

In this section, the proposed MANFIS is compared to ANFIS for a nonlinear equation and soot emission prediction. The ANFIS algorithms has two stages as consequent and antecedent trainings. In this study, only consequent parameters are trained to show the effectiveness of the proposed MANFIS method. The antecedent

parameters are chosen as trapezoid membership functions. The scaling is given in Figure 3. Four trapezoid functions are used as input membership functions and they are scaled between zero and two.

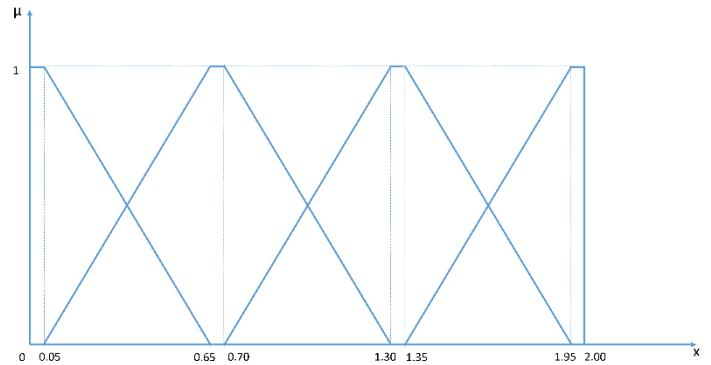


Figure 3. Scaling of antecedent parameters

4.1. Example 1: Modeling for three input nonlinear function

Three input nonlinear function is used to compare the performances of the methods. The used equation is given below (Jang, 1993; Shoorehdeli, Teshnehlab, Sedigh, & Khanesar, 2009). The equation system has three inputs as (x, y, z) and one output. The grid points are taken as $(x \in [1,6], y \in [1,6], z \in [1,6])$. So, there are 216 data pairs. As shown in Figure 3, there are 4 membership functions and so, there are 64 rules. Learning rate is $lr = 10^{-5}$ and for every iteration it changes. If the error becomes smaller the learning is increased by one thousandth, when becomes bigger the learning rate is decreased by one tenth.

$$y = (1 + x^{0.5} + y^{-1} + z^{-1.5})^2 \tag{46}$$

As shown in Table 1, the ANFIS has better results in LSE method. However, the MANFIS has less error for the same iteration number when compared to ANFIS. The gradient method is used for control studies like Neuro-fuzzy control (Öztürk & Özkol, 2021) however, the LSE can not be used. So, the gradient method has priority for evaluation. The training records for gradient descent methods are given in Figures 4 that the Gradient-based Mamdani ANFIS training gives faster reaction than Gradient based ANFIS training.

Table 1. Comparison of ANFIS and Mamdani ANFIS (Ex. 1)

Parameters	ANFIS Gradient	ANFIS LSE	MANFIS Gradient	MANFIS LSE
Training Steps	1000	2	1000	2
Training Error (RMSE)	0.82661	0	0.07688	0.07038
Simulation Time (sec)	2.34027	0.02717	4.75705	1.07010

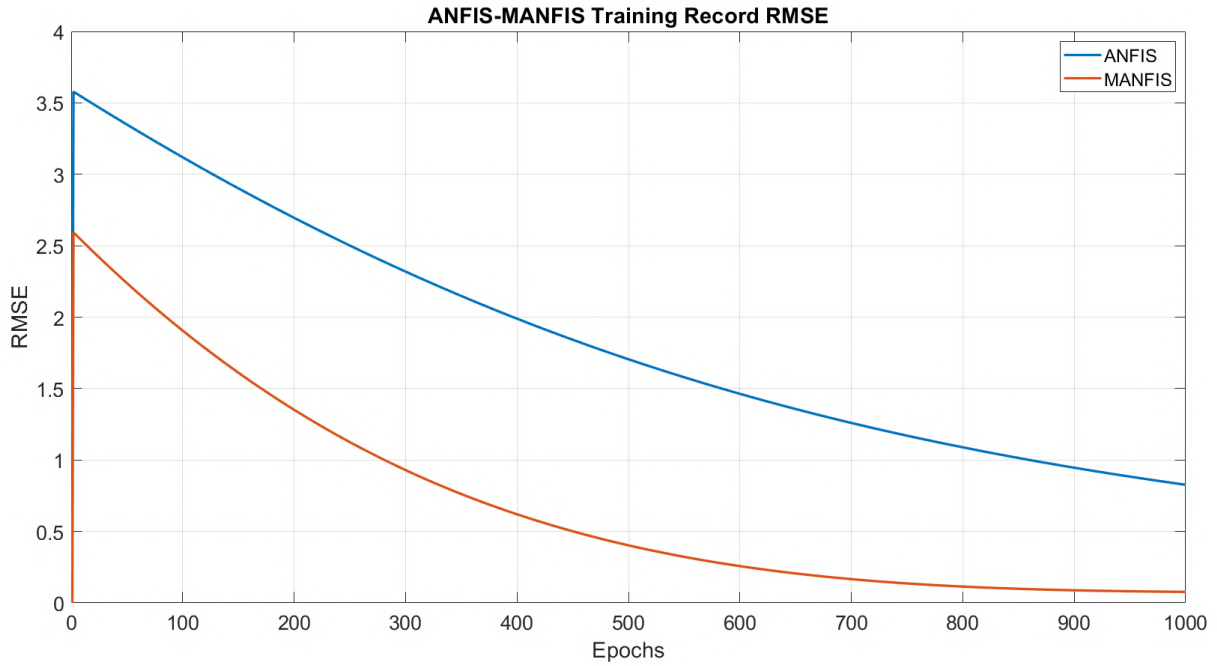


Figure 4. Gradient based ANFIS-MANFIS Training Error (Example 1)

4.2. Example 2: Soot Emission Prediction

In this example, a fuzzy model is trained between input parameters (Torque, Engine Speed, Lambda, EGR Ratio) and output parameter (Soot Emission). The Soot Emission Fuzzy Logic Structure is given in Figure 5. The same membership function and same structure is used in the example 2. ANFIS learning rate $lr = 10^{-5}$ diverged and so learning rate is started from $lr = 10^{-9}$. MANFIS worked properly for very big learning rates like $lr = 10^{-1}$, however, for the same conditions $lr = 10^{-9}$ is used for the both of ANFIS and MANFIS.

ANFIS LSE is a convenient training approach for Sugeno and so as seen from the Table 2, the ANFIS results are better at training error. However, MANFIS LSE needs less time when compared to ANFIS LSE. The main target in proposed training algorithm is the Gradient method. Especially in control studies, the Gradient method is a useful tool. When the Gradient methods compared, MANFIS gradient has less training error and less simulation time when compared to ANFIS gradient. So, this will bring the on-line training results to a much better level.

Table 2. Comparison of ANFIS and Mamdani ANFIS (Ex. 2)

Parameters	ANFIS Gradient	ANFIS LSE	MANFIS Gradient	MANFIS LSE
Training Steps	1000	2	1000	2
Training Error (RMSE)	28.4627	0.14100	1.03293	0.26825
Simulation Time (sec)	376.214	1.09041	162.881	0.08149

As seen in Figure 6, the Mamdani ANFIS error is less when compared to ANFIS. In Figure 7, measured data, ANFIS LSE results, Manfis Gradient results and Manfis LSE results are given. ANFIS Gradient was not included in the drawing because its results are meaningless. As seen in the Figure 7, all three methods can represent real models.

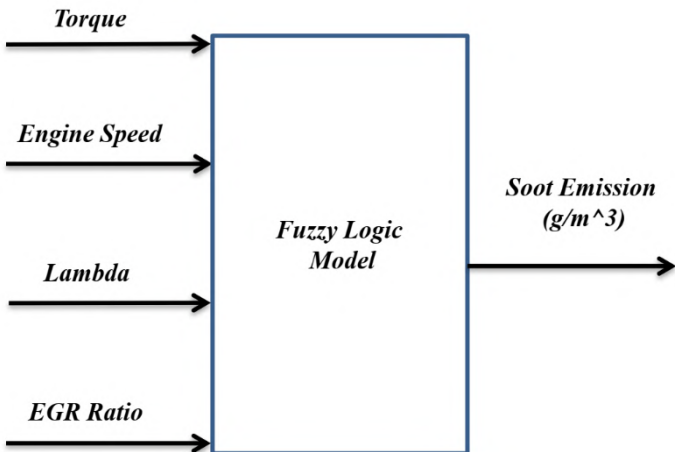


Figure 5. Soot Emission Fuzzy Logic Structure

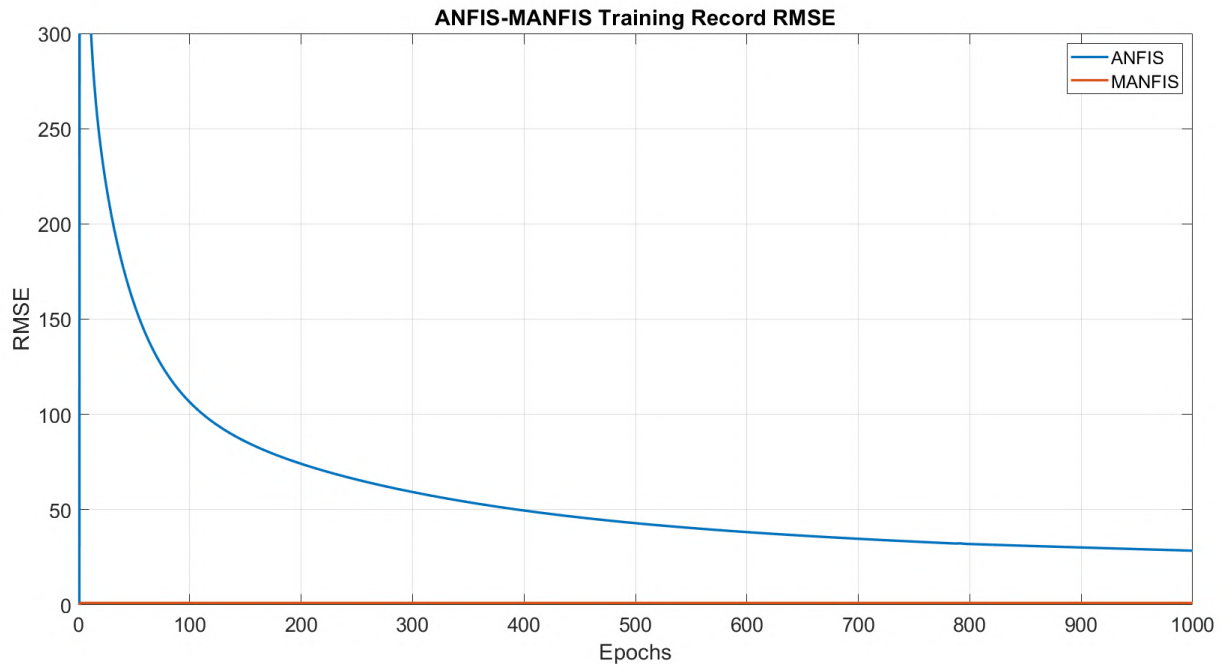


Figure 6. Gradient based ANFIS-MANFIS Training Error (Example 2)

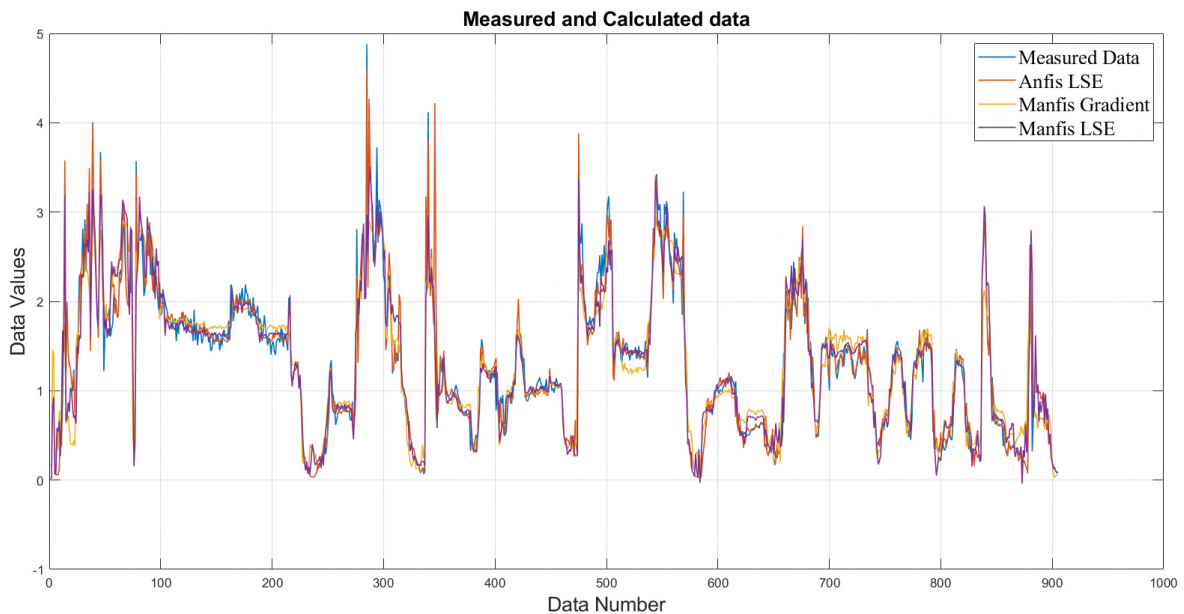


Figure 7. Results of Sugeno and Mamdani Training Algorithms

5. Conclusions and Recommendations

The ANFIS with LSE method is the best for training error and as seen from Figure 7 the three implementations are available to represent a model. However, the LSE method can not be used effectively as Gradient method in Neuro-Fuzzy control studies. The ANFIS and MANFIS structures with Gradient Methods are used in control studies in the continuation of this study and it is seen that MANFIS (especially Gradient method) can be used effectively at modelling any system.

References

- Chai, Y., Jia, L., & Zhang, Z. (2009). Mamdani model based adaptive neural fuzzy inference system and its application. 5(1), 22-29.
- Eberhart, R. C. (1998). *Overview of computational intelligence [and biomedical engineering applications]*. Paper presented at the Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Vol. 20 Biomedical Engineering Towards the Year 2000 and Beyond (Cat. No. 98CH36286).
- Jang, J.-S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. 23(3), 665-685.

- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.
- Neshat, M., Adeli, A., Masoumi, A., & Sargolzae, M. (2011). A comparative study on ANFIS and fuzzy expert system models for concrete mix design. *International Journal of Computer Science Issues*, 8(3), 196.
- Ondes, E. B., Bayezit, I., Poergye, I., & Hafsi, A. (2017). *Model-based 2-D look-up table calibration tool development*. Paper presented at the 2017 11th Asian Control Conference (ASCC).
- Özhan, E. (2020). Yapay Sinir Ağları ve Üstel Düzleştirme Yöntemi ile Türkiye'deki CO2 Emisyonunun Zaman Serisi ile Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(19), 282-289.
- Öztürk, M., & Özkol, İ. (2021). Comparison of self-tuned Neuro-Fuzzy controllers on 2 DOF helicopter: an application. *SN Applied Sciences*, 3(1), 1-14.
- Rai, A. A., Pai, P. S., & Rao, B. S. (2015). Prediction models for performance and emissions of a dual fuel CI engine using ANFIS. *Sadhana*, 40(2), 515-535.
- Raja, P., & Pahat, B. (2016). A review of training methods of ANFIS for applications in business and economics. *International Journal of u-and e-Service, Science Technology*, 9(7), 165-172.
- Şahin, H., OKTAY, T., & Konar, M. (2020). Anfis Based Thrust Estimation of a Small Rotary Wing Drone. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(18), 738-742.
- Shoorehdeli, M. A., Teshnehlab, M., Sedigh, A. K., & Khanesar, M. A. J. A. S. C. (2009). Identification using ANFIS with intelligent hybrid stable learning algorithm approaches and stability analysis of training methods. 9(2), 833-850.
- Sugeno, M. (1985). *Industrial applications of fuzzy control*: Elsevier Science Inc.
- Wesley Hines, J. (1997). *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering* MATLAB Supplement.
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man, Cybernetics*(1), 28-44.



Evaluation of Coffeehouse Spaces' Interior Design Through Phenomenological and Ocular-Centered Methods

Didem Erten Bilgiç^{1*}, Esmahan Betül Şahin²

^{1*} Kocaeli University, Faculty of Architecture and Design, Department of Interior Architecture, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6304-8648), didemerten@gmail.com

² Kocaeli University, Social Science Institute, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8924-333X), esbetul@hotmail.com

(First received 12 February 2021 and in final form 21 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.879248)

ATIF/REFERENCE: Erten Bilgiç, D., Şahin, E.B., (2021). Evaluation of Coffeehouse Spaces' Interior Design Through Phenomenological and Ocular-Centered Methods. *European Journal of Science and Technology*, (23), 769-780.

Abstract

The perception of space is related to the consumer experiencing in the space and remembering the space. The ocular-centered perspective of modernism has created aesthetic forms far from experience with a completely relative understanding of beauty for the space designer and the space user. However, it is possible to perceive and gather information about space in memory beyond the five senses; vitalness, space-subject interaction, sensation, experience, movement, time, and subjectivity. Phenomenology is the focal point of these spatial practices. In this study, the consumer's effective roles in the perception of space have been investigated through ocular-centrist and phenomenological methods. To obtain data, study areas were determined, therefore, coffee presentation-sale areas were chosen as the study area. The continuation of the study identifies the historical district of Beyoğlu as the location of five coffeehouses. Moreover, a questionnaire was conducted upon the twenty people who have experienced those coffeehouses to infer how they perceive and remember their space-design. The questionnaires inquire into the comparison between spaces that include perception elements beyond the five senses and the spaces that include solely the visual perception elements to understand the preferences of the consumers and which space type leaves a positive and permanent impression in their memory.

Keywords: Ocular-centrism, phenomenology, space, coffeehouse, Istanbul- Beyoğlu.

Kahve Mekânları İç Mekân Tasarımının Fenomenolojik ve Gözmerkezci Yöntemler Üzerinden Değerlendirilmesi

Öz

Mekân algısı, kullanıcının mekânda deneyim kazanması ve bu doğrultuda hatırlanması ile ilgilidir. Modernizmin gözmerkezci bakış açısı zaman içinde hem mekânı tasarlayan hem de mekân kullanıcısı için tamamen göreceli bir güzellik anlayışı ile deneyimden uzak estetik formlar oluşturmuştur. Ancak mekânı algılama ve bellekte mekâna dair bilgiler toplama; beş duyunun ötesinde, yaşamsallık, mekân özne etkileşimi, duyum, deneyim, hareket, zaman ve özellikle şekillenerek mümkündür. Bu mekânsal pratiklerin odak noktasını fenomenoloji oluşturur. Makalede, gözmerkezci ve fenomenolojik yöntemler aracılığı ile kullanıcının mekânı algılamadaki etkin rolleri araştırılmıştır. Araştırmada veri elde etmek için çalışma alanları belirlenmiş ve inceleme alanı olarak kahve sunum-satış alanları seçilmiştir. Çalışmanın devamında kokusu ile herkesin belleğinde anılarını çağrıştıran kahvenin, İstanbul'un Beyoğlu semtinde seçilen beş kahve mekânı ve bu mekânları deneyimleyen yirmi kişi üzerinde mekânları nasıl algıladıklarına ve mekân tasarımlarına ilişkin hatırladıklarına yönelik anket yapılmıştır. Çalışmada sorgulanan durum; mekânı algılamada beş duyumuzun ötesinde duyum ve deneyime dayanan algı öğelerini barındıran mekânlar ile görsel algıya dayanan öğeleri barındıran mekânların kullanıcıların tercihleri açısından karşılaştırılmasının yapılması ve kullanıcı hafızasında hangi etkileri bıraktığını anlamaktır.

Anahtar Kelimeler: Gözmerkezcilik, fenomenoloji, mekân, kahvehane, İstanbul- Beyoğlu.

* Corresponding Author: didemerten@gmail.com

1. Introduction

A person perceives and interprets the space in which she or he is located and interprets this space. The perception of space is shaped by the knowledge, culture, and environment of the subject from her or his past life. While this situation reveals the subjectivity of the perception of space, space is also effective in shaping the actions and experiences of the subject per se. The perception that shapes space-subject interaction and which is the common research subject of many disciplines is defined in Dr. Feriha Baymur's book titled "General Psychology" as "the stimuli transmitted to the brain through the sensory organs which turn into sensations and organize and gain meaning in various aspects." (Baymur, 1976: 125). Psychologist Clifford T. Morgan, who came up with a similar definition in his book titled Introduction to Psychology defines perception as "the process of interpreting senses and making them meaningful. People perceive the world through all sensory organs, so they have perceptions about every situation such as visual perception, auditory perception, and others" (Morgan, 1981:261). Because the life of each person is shaped individually and sui generis, people interpret the same stimuli differently and therefore their perceptions differ from each other.

2. Material and Method

In this study, first of all, theoretical explanations were made on the definitions, emergence, and revealed differences of the ocular-centric and phenomenological methods in the perception of the architectural space. Then, according to the data obtained from the results of the questionnaires conducted with the selected topic, the locations, and subjects suitable for the topic, information about the preference of the spaces for the consumers and the interior design criteria were analyzed.

As a result of this research, judgments were made on the preference of coffeehouse places according to the interior design incidental to the perception criteria determined by phenomenological and ocular-centric methods, whether the located structures have historical value or not and how they have an impact in terms of affirmative and adverse aspects on the perception experience of the consumer are determined. Derived from the results obtained, evaluations have been made on the perception of interior design that full success can be achieved in the design and consumer satisfaction only if there is a genuine sensory experience not only with the sense of vision but also in subjective integrity with the body and soul.

3. Ocular-Centric and Phenomenological Approach in The Perception Of Space

The perception of the architectural space is realized through the design created by the coexistence of the floor, wall, ceiling, and all the fittings that fill the void created by that space. It is an ocular-centered method of perception that the design of the space is perceived primarily and with a high level of vision. In this method of perception, only the brain that the eye sees are recorded first and those that are not seen are ignored. Ocular - centricism is also referred to in the international literature related to the terms "bodiless eye", "eye of the mind", "unfocused perspective". An ocular-centrist approach is an approach that degrades the subject to the eye which only watches. The subject has a perception that is far from experiencing and feeling the

space, disconnected from its body, with the eyes of the mind, accepting only what it sees, ignoring what it doesn't see. From this perspective, architecture is solely considered as a figure of the eye.

Within the context of the ancient age sight theories, objects are not connected to each other and to the coordinates of the space they are into the contrary of perspective, but rather they seem to be collocated in a finite container. The integrity and harmony in the Renaissance perspective is the stage where the way of seeing and the sense of space fuse together with the experience of space. Aesthetic and theoretical space unite and integrate in perspective and reshape the perceived space. In other words, the representation modality of sight and objects in art is parallel to the philosophical worldview (Panofsky, 1991: 44). The ocular-centered approach, which reached its climax with modernism, ignores the existence of the senses and suggests that information can merely be accessed by reason. The idea of seeing through the eyes of the mind, which privileges vision over the other senses and ignores bodily sensations, is dominant. Establishing an objective relationship with the environment, the observer attains and reaches information through the eyes of the mind. The visual perception criteria determined by this ocular-centered view of modernism for the perception of space are based on the law of Gestalt, which examines the form and proportion created by the parts that make up the form. This law contains concrete rules based on vision. The parts that make up the whole are more meaningful than they individually express. Gestalt law aims to create a simple order based on the shape-ground relationship of the perceived forms. Since modern architecture uses these criteria to reveal the most aesthetic form, these spaces, which are disconnected from time and movement phenomena designed with an aesthetic understanding that is only pleasing to the eye, create instantaneous effects and are not included in the observer's memory. As explained by Altıparmakoğlu and Güreni from Hillier and Hanson's research, essentially focused on the spatial experiences of people allows for concrete expression and analysis of abstract characteristics of space that plays the most significant role in creating information based on experiences as a reflection of space in the human mind (Altıparmakoğlu; Güreni,2021:345). It is necessary to examine this information in terms of phenomenology.

Although phenomenology was used in different meanings by philosophers such as Kant, Hegel, Bergson in the history of philosophy, Phenomenology is the philosophical view developed by Edmund Husserl (1859-1938). Husserl developed phenomenology as a philosophical method that postulates to retrace to the preliminary and principle meanings of beings (İnceoğlu, 1999). Dating from 1965, the ocular-centered perspective based on objective and visual concerns began to be questioned and a quest was embarked on for another modern architecture within the scope of the architectural community. Martin Jay was the first to criticize the perception of space using the ocular-centered method. The criticism explained in Downcast Eyes- The Denigration of Vision in Twentieth-Century French Thought in addition to the problem expressed by Jay is more than the dominance of the eye. The observer space in the position of a bodiless viewer began to perceive the space as a photograph, graphic design element, and this was valid not only for the perceiver but also for the designer. While designing the space, the designer aimed to make it an image that would create a striking effect. Adolf Loos, who is also a Modernist, opposes watching the space and turning it into photographic space. According to Loos, "a place designed to be experienced will not

appear nice in photographs. Because for such spaces it is intended that people feel and experience the sensory atmosphere with their five senses physically” (Loos, 2018: 11). In an ocular-centered perspective, space is considered within an eyewink just like a single photo frame. From these judgments, it is seen that the questions such as the value, meaning, and existence of the space beyond the physical definitions of the spaces in the field of architecture are faced with a situation similar to the pursuits of the human beyond its mere physical existence. Approaches using the phenomenological method in the field of architecture and phenomenology in the field of philosophy seek answers to these questions. Phenomenology is not seen as a discipline of philosophy for architecture, but as a method that enables the questioning of the meaning of the architectural form and the understanding of intertwined relations between human beings and the environment (Bognar, 1985: 183-201). Description of perception and essence of the conscious along with the experience that arises in the combination of thought and perception constitutes the subject of phenomenology.

In the sequel of the criticism of modern architecture, space began to be evaluated by a dint of phenomenological method in terms of the vitality, the integration of space and the subject, perceptions shaped by sensation, experience, movement, and time. Phenomenology rejects the idea of absolute perception through the eye and movement has an ascendant ground in relation with perception of space. Space shapes the perception whilst being experienced with the movement of the subject. An experienced space creates an infinite space perception with time. In this sense, phenomenology has shown that the connection of the subject with the world can be achieved by being purified from all sorts of presuppositions brought by the natural sciences and establishing a new category of consciousness and being.

4. Determination of Experimental Platform of Theoretical Infrastructure and Evaluation Criteria

Coffee, which started to be consumed among the Sufis in Yemen in the 15th century, has spread rapidly in the east and has shaped the social and communal relations. The Viennese introduced the coffee thanks to the coffee sacks left by the army as a consequence of the defeat of the Ottoman Army in the Siege of Vienna in 1683 (Gürsoy, 2005: 40). The foundations for the recognition of coffee first in Europe and then in America are based on this link-up in Vienna. With the spread of coffee among the communities, coffeehouses, which emerged as places to drink coffee, were first encountered in the Middle East, and later spread over throughout the world and became a part of social life. Following America’s acquaintance with coffee, coffee has gained global value rather than merely a flavor.

In coffeehouses, besides entertainment and socialization, diversified exchange of ideas and public discussions are also held. Unlike taverns and churches, such exchange is shared with more vivid consciousness due to the effect of coffee. In Europe and America, men interested in fields such as politics, commerce and culture came to coffeehouses and started drinking coffee. In the course of time, the coffeehouses frequented by everyone started to multiple and spread out preserving their unique culture and space design.

Cafes and coffee places, which have a deep-rooted history, have become an indispensable part of daily life and they are living quarters today. It has been decided to distinguish

coffee places as the experimental platform of the research, as they provide a suitable field to examine the sensations, spatiality, belonging, bonding which phenomenology presents us and to analyze how people are affected in the realm of social, cultural and communal life.

The chosen region which is appropriate to provide tangible data for the experimental platform has become the Beyoglu district in Istanbul. Cafe culture first emerged in Turkey in Beyoglu which served as a bridge for coffee to spread out in Europe. Beyoglu, which is Turkey's gateway to the world is the place of residence for a large number of non-Muslims and community members of diverse ethnic groups thus it is a district in which the effects of changes in the world can be observed in a quick and crystal clear manner. Today, with the impact of globalization, it is observed that coffee places in the world have evolved to hubs of consumption and the number of cafes has multiplied in Beyoglu district likewise. At the same time, this region is one of the significant places in Istanbul where the historical background is preserved, and it has been observed that coffee places that can be evaluated and assessed in a phenomenological sense are frequently located in this region. For this reason, five cafes have been selected in Beyoglu as it is decided as the region where the fieldwork will be conducted. These cafes, which are most preferred due to their location are also exclusively chosen because they have distinguished features from each other, and they reserve and shelter evaluation criteria at different rates. These cafes were experienced by a group of twenty people and a questionnaire was made to qualify how they perceive and remember the place a month after the day of the experience. Before examining the coffee places, the criteria of the place experienced with the ocular-centric and phenomenological method were determined by obtaining information from the previously conducted theoretical studies.

4.1. Determination of Interior Evaluation Criteria by Ocular-centric Method

Ocular-centrism is a tradition that renders the subject as a viewer privileging vision over the other senses. This tradition, which advocates that knowledge can only be accessed by reason defends that mind is superior to all senses and experiences and acknowledges the eye as the eye of the mind and not as a sense organ. By means of the knowledge and technology used by modern architecture, the domination of the spaces perceived from the ocularcentric point of view that objectifies the human revealed itself. For this reason, space evaluation criteria determined by using the ocular-centric method have the values in common with modern architecture. In this context, the items expressing the space perceived by the eye-centered method are defined as follows.

Rationality indicates that successful architecture should be focused on reason and efficiency. Rationalism is the basis of ocularcentrism as it is an indicator of the correlation between mind, eye and mathematical ratio. It is based on the conception that what is rational will satisfy mentally in the most efficient manner abiding by solid geometric form and mathematical proportions and thus the most aesthetic and accurate architecture will be obtained (Erkartal, 2014: 25-27).

Regarding Viewer may also be expressed as sight-oriented or objectifying. Modernist architects design the space through visual perception. It is also referred in Le Corbusier's Modulor and the "Gestalt Laws" used for the beautiful form that the space was designed for a photo frame with two dimensions

in mind. The subject is indeed a viewer distant from physical perception and experience.

Static refers to the space, which is a spectacular object, independent of the environment. The space must be stationary in order to perceive it in the most accurate way without being affected by the environment or human. In fact, it is observed that modern spaces are often designed with the idea of a beautiful shot from a photo frame or from a single perspective.

Form expresses simple geometries suitable for standardization such as spheres, cylinders and cones for modern architecture. According to Le Corbusier (1887-1965), one of the important representatives of modern architecture, "the architect's task is to equip the world with these forms by measuring the universal order forms and cubes, cones, spheres, cylinders, or pyramids are major fundamental forms... the images of the forms are evident within us, their tactility is not ambiguous. They are manifestations of the sublime order of the universe, and therefore in harmony with our inner world" (Ojalvo, 2012: 177).

Outsideness concept is the opposite of insideness concept which geographer Edward Relph (1944-...) expresses whilst defining "place". Outsideness involves the feeling like an alien and uneasy in a place as opposed to insideness. In the modern world, people are deterritorialized therefore they are distanced from the relationship between the place and insideness. Relph also considers outsideness as a loss of authenticity (Kartal, 2015: 90-91).

Universality connotes that together with the mass production introduced by the Industrial Revolution, modernism reveals common aesthetic values for the whole world by means of perfect forms and proportions. The objective judgment of modernism speaks of a universality that dedifferentiates all people. It imposes a universal design approach that is based on efficiency and function incidental to Gestalt principles and modular ratios, distanced from localities and cultures. This situation implies uniformization and standardization.

Structure is seen to be clear of architectural ornament as an aesthetic value in modern architecture and the functions of the building elements are integrated and rigid. The visualization of the building elements with their structural functions is a moral value of modern architecture and is evaluated with an ocularcentrist approach.

By means of *Abstractionism* it is aimed to reach a visually perfect place and space. In the modern understanding where the integrity of the building gains importance, the function of exposed concrete and white wall and structural elements such as scaffolding, columns, beams emerges. Thus, the most appropriate architecture is its abstraction by identifying the function of each building element in a visible manner (Erkartal, 2014: 31).

Finished by construction depicts places and spaces where the living people do not make changes according to the needs that arise with the ongoing life in the space after the building was built or an interior space was designed. In other words, it is the preservation of the designed space as it was built without any subjective arrangement arising from life experience or additions according to need.

Absolute Space refers to the same absolute perception valid for everyone which is idealized with abstract and geometric forms of space designs based and centered on ocularcentrism. It evaluates people in a passive position independent of experiences.

Functionality makes mention of a productivity-oriented perspective. Louis H. Sullivan (1856- 1924), known as the first

American modern architect enounced the slogan of "form follows function" (Leland, 2006: 592), which led to definition of every form by function in modern architecture.

Isolation is contemplation of modern constructions independent from the region it is located in during the stage of designing and building without questioning its relation with the surrounding environment.

New (Non-concrete, unsubstantial artificial material) refers to two separate meanings: Firstly, it is a sort of architecture that reacts to past styles and aspires to create new forms, along with the construction techniques and materials introduced by industrialization. Secondly, reference is made to places distant from ageless and timeless feeling of experience with the returns of industrialization in addition to new construction techniques and the use of glass, concrete, steel, plastic-based materials.

Machine Aesthetics; beauty which is a subjective concept is reduced to a universal aesthetic perception which can be measured by objectivizing the concept. Based on Le Corbusier's promise that "a house is a machine for living in" (Leland, 2006: 627), the aesthetics of the rational and simple architectural understanding, referring to the machines, is suitable for mass production and standardization.

4.2.Determination of Interior Evaluation Criteria by Phenomenological Method

For creating a space in a phenomenological sense, space must leave a trace in the memory. Memory is the ability to store history and reveal it if desired and creates an important data source in sensing space. Space transforms into codes in memory with perception, reminiscence, experience, and sensations and is recorded in long-term memory. The more context space contains for the individual, for longer it can last in memory. (Turgay, 2018: 156). The concept of space and the image of the space formed in one's mind are very important in terms of connecting with the past by remembering our memories together with the spaces in our minds. Although each and every person is situated in many places throughout her/his life, only certain places leave a trace in her/his memory. The long-term memory of spatial information is related to the relationship between space and subject as a result of one's relationship with space, sensuality and perceptual processes, as well as the social and cultural accumulative experience of the person. When talking about memory, it is necessary to mention not only the memory of the individual, but also the existence of a social memory emerging with the tradition and culture inherited from past life. The architecture of a building carries the contents of the social life of its period. Thus, people experience emotional relationships with people from the past, time difference disappears and those people virtually become part of our lives. (Soykan, 2008: 38-39).

The items expressing the perception of space with the phenomenological method by leaving a trace in memory are described below.

Aura; refers to the uniqueness of the space, it is the feeling of belonging to that moment and of being unique. It should be considered as the "aging mark" attached to the space and the "temporal layers" that occur in the space. Aura makes reference to the transition of the space to the spatial state through connection of the place with the present, remembrance of the past and sensation of the future. Heidegger states the difference between "space and spatiality" in his work titled "Being and Time" by saying that "... space includes the measurable, calculable dimensions of linear orientations, and the substance of

space is the extensions within this void. The notion of spatial, on the other hand, reflects the mode of comprehending space with practical information that brings the sense of belonging to the state of consciousness, Dasein to go beyond itself and recognize its genuine reality; it is indeed the space we live in." (Aydinli, 2008: 150-161).

Atmosphere is the first impression of a structure and the intuition created on behalf of a person. Swiss architect Peter Zumthor (1943-...) refers to "qualified architecture" while designating the expression of atmosphere. He denominates qualified architecture in a manner that the architecture has an impact on the subject and stimulates the subject's senses. The atmosphere focuses on the actual experience at the moment, the concept of space and feelings.

Concept of Place expresses the connection between the subject and the space through the concrete space, personal experience and sensations. "Space" and "place" are words used interchangeably in daily life, but when evaluated in a phenomenological sense, they express different concepts in terms of subject-space interaction. The transformation of space into place emerges following the emotional connection established between a person and space.

Bodily Sensation; Heidegger refers to experiencing the space instinctively through the body and the senses, which he calls "poetic measure". Heidegger states that the concept of (poetic) measure is related to the experiences of the person rather than the geometric dimensions. The measurement mentioned by Heidegger depends on the senses, imagination, person's ability to grasp and her/his emotions. He states that with bodily measurement, the person is instinctively integrated and feels familiar with space (Sharr, 2007: 82). As a result of spatial experience, when we look at those who remain in memory over time, it is seen that the vast majority of physical and objective elements are lost, experiences and genuine life experiences remain in memory.

Space-Subject Interaction refers to signification of space in a subjective manner together with time effect and sensations, movement comprehended with the experiencing body rather than merely watched object. The subject is the integration of the space, that is, the sensation of the space by feeling, smelling, touching, grasping with the body, and moving around the space very sensuously. Thus, the subject connects with the space she/he experiences rather than being a viewer.

Movement in the perception of space shapes the relationship that people establish with each other and with the space over time and ensures that each time they have different expressions about the space. This situation necessitates the movement within the space with the concept of time. Thus, the space becomes a "place" experienced with the events and actions that are experienced rather than being the object being watched. Experiencing space gains meaning through actions and movements that center the human body. In her work, "Ways of Seeing", Zevi described the concept of time-space as "the angle of view that keeps pace with each other," and added a fourth dimension namely time dimension to traditional three dimensions. Zevi expresses the fourth dimension with the words: "No architectural work will be fully explained unless the part of the time required to walk around the buildings is taken into account." The subject, acting within the space and looking from a new point of view, explains the concept of time through the actions within the space with the expression "it creates the fourth dimension itself and gives the space its holistic reality by doing so" (Zevi, 2015: 11-23).

Soul of the Place is the feature that distinguishes a space from others and gives life and originality. The soul of the place appears necessarily with environmental factors. The position of the sun is shaped by variables such as climates, day and night difference. (Kartal, 2015: 68).

Critical Regionalism; architectural theorist Kenneth Frampton (1930-...) emphasized the idea of critical regionalism regarding the place. He reveals a local cultural response and resistance to the modernization of the world with universal values, with this thought. It emphasizes the necessity to make designs while maintaining its nature-related structure, in line with the character of the place, and considers it a moral stance against the devastating effects of globalization. (Kartal, 2015: 71-74).

The identity of the place and the feeling of being inside; Edward Relph focuses on the identity of the place, focusing on the identity of the place and the identities that people acquire with the influence of that place. Being inside the place includes belonging to the place, being safe, identifying with the place. The interactions between the place and the subject and the meanings attributed to these interactions have been theorized as 'locality' (Kartal, 2015: 88-91). The feeling of being inside contains a sense of inwardness, intimacy, safety, longing, sense of being here, memory, and authenticity.

Settlement; Heidegger wrote the idea of settlement on the concept of place. The idea he emphasizes in the text "To Build, To Settle" means that a building will not end with building in one go, but building and housing are a whole of continuing actions in a whole way.

Relative Space; rejects idealisation of the space in abstract and geometric forms. It refers to the subjective perception of the experienced individual in interaction with the space. Relative space expresses a dynamic, holistic, multi-dimensional space perception. This is more than an absolute sense of space, an ambiguous spatial experience is felt. This ambiguity causes an infinite spatial image to be created in the human mind, that is, the individual re-creates the space by experiencing it at different times. It is the explanatory time of the endless image of a single space in memory.

Multi-Sensory Experience; in order for the space to be in the subject's memory, multi-sensory experience is needed. The more senses a space stimulates, the more it connects with the subject.

Unlike the eyes of the mind, bodily vision from these senses refers to re-qualifying the eye as a sense again. In the ocularcentered approach where the subject is the viewer, the observer cannot experience the space. Bodily vision, on the other hand, refers to the essence of the eye (bodily eye), to rethink the eye as a sense again.

Touch, which is a stimulus in perception of space, is important in human-space interaction. According to anthropologist Ashley Montagu, "Skin is the oldest and most sensitive organ. There is even a transformed skin layer on the mesh layer above the eye. Touch is the mother of all senses and has turned into other senses and has differentiated." (Çakıcı Alp and Erkan Yazıcı, 2017: 65) With the increase in social relations between the communities, new spaces needed have revealed new building types over time. Stone, wood, brick and glass, which have been used as building materials since the early ages, allowed production in limited sizes due to the production conditions and technological possibilities of the period. This limited production in the size of building material was reflected in the production of space, moreover, the construction period of

the buildings could reach decades or even centuries. An example of this is the hundreds of monumental buildings that have put their stamp in the history of architecture. When we look at the structures built today with the same materials, it is seen that their number is decreasing because new materials developed with the Industrial Revolution or developed with production techniques are used more often. With this situation, the departure from architectural tactility has begun to occur.

One of the stimulants that help to perceive the space, *sound*, just like light, acts by hitting and reflecting on the surfaces in the space and supports people in the sense of hearing and sense of space. Architecture historian Leland M Roth (1943-...) explains that architecture can be heard through the suppressed vision (Leland, 2006: 137). In today's world, where spaces are designed with an ocular-centered perspective, it is clear that the perception of space created by sound is more effective in terms of interaction and experience established with space. The subject, who is a spectator with vision, establishes a relationship with hearing and space. Every architectural work, city, street; according to its structure, material, shape and style, it has a unique echo.

Smell, which is one of the stimuli in perceiving the space, is the sense that creates the most permanent memory of the space in human memory. Since the smell is felt without passing through the cognitive filter, the reactions given are emotional intense reactions. Smells provide the ability to take people to memories in a short time, revitalizing an event or place in the mind. "The most permanent memory of any place is often its smell. Each shelter has its own individual home scent. A special scent allows us to re-enter a space that our memory has completely forgotten." (Pallasmaa, 2011: 67).

Another stimulating perception of space is the sense of *taste*. The fact that the relationship with the space is based on the multi-sensory experience strengthens its ability to be imprinted on one's mind and memory. The sensation that makes it most effective to remember in the senses is the sense of taste along with the smell. These senses form stronger ties with past moments than other senses.

5. Realization of Questionnaire Studies Through Determined Criteria

During the determination of the experimental platform of the theoretical research, it was aimed to understand how the consumer shapes the ocular-centric and phenomenological factors in the perception of space while selecting five coffee places in the Beyoglu Region. Therefore, attention was paid to the fact that the criteria of the location evaluation were dominated by the ocular-centric method of one of the selected places, the location evaluation criteria for the other place is designated by the phenomenological method, and the other three places were hybrid spaces containing the evaluation criterion by the ocular-centric and phenomenological method.

In order to obtain more realistic results, a fixed group of twenty people was created from the questionnaires for five coffee places located in Beyoglu region, which have different features, and it was aimed to compare their experiences in these cafes based on each subject. In this comparison made with the questionnaire questions, the features of the space which are perceived in the memory affecting the subjects positively are the perceived space (phenomenological, perceived or hybrid) and

the effects of the spaces on the interior design criteria were evaluated.

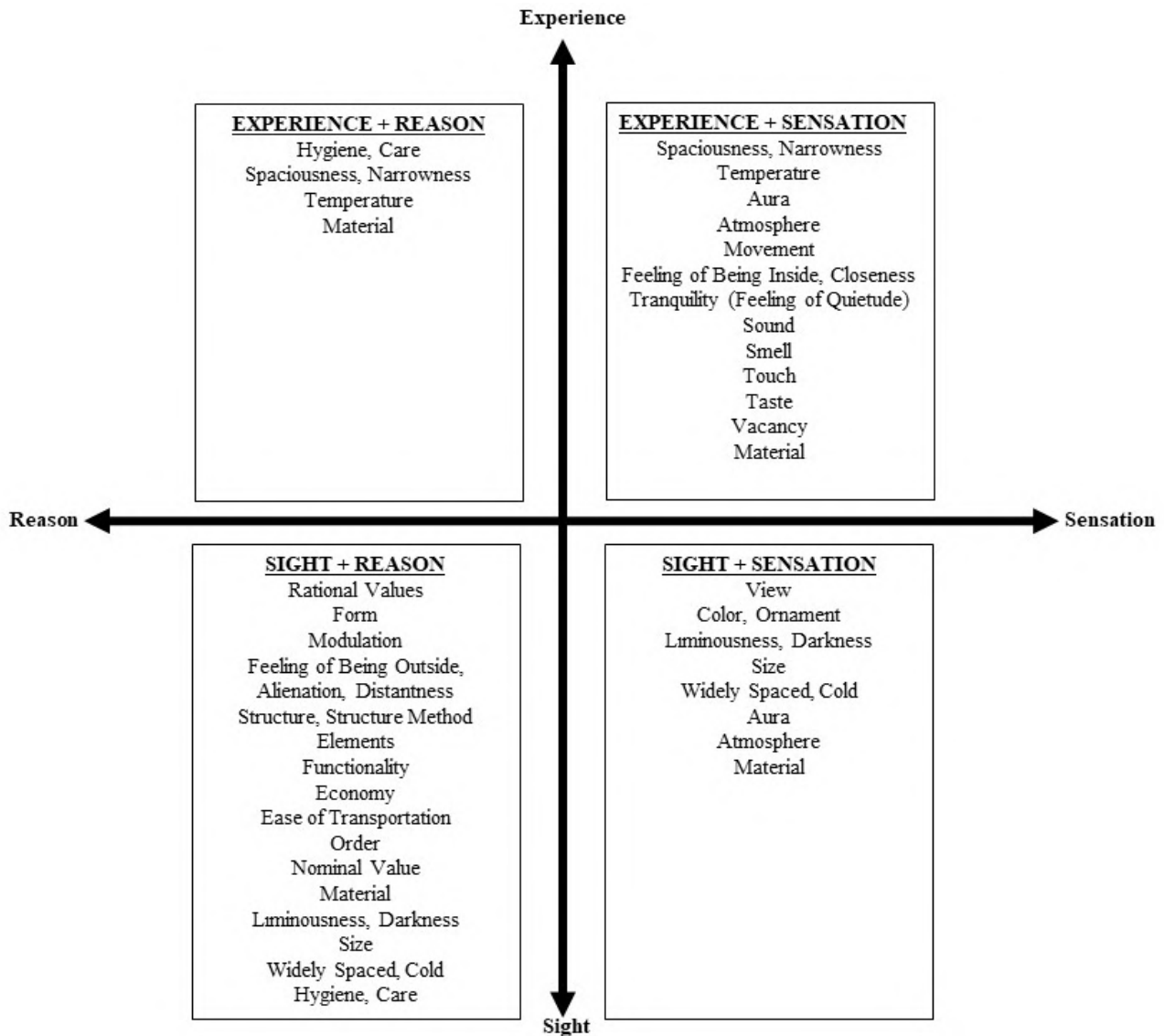
While creating the subject group, attention was paid to the fact that the determined group was composed of 25-40 age old, university graduate, and middle-income individuals following the general customer base of the selected coffee places. The subject group must be compatible with the target group spending time in the determined coffeehouses to obtain more realistic results. While creating the questions to be asked to the subjects, the aim is to understand which of the spatial features based on ocular-centered and phenomenological elements are in the memory of the subjects and which interior is preferred according to these perception criteria. In the spaces that are evaluated according to the determined criteria, will the users "perceive the cafes with these aspects", "will these effects of the cafes have effects on their senses, experience and behavior", "in which places the subjects feel better" and "is this feeling of well-being determined by the difference of perception of the place?" are the questions for which answers were sought. It was preferred that the questions designated for the questionnaire were open-ended so as not to manipulate the subjects and to learn their unique, personal feelings and thoughts. The participants were asked to compare the effects of the five coffee places determined by the questionnaire. It is aimed to understand whether the places are in the memory of the subjects with their experiences and sensations or functional and visual features. It was questioned which characteristics of the coffee places, which are recorded as positive in the memory of the subjects are effective. Did they feel good and happy because of their characteristics, were intuitive, emotional effects, experiences reasons of preference, what they remember, and what senses they stimulate?

Strong and ever-lasting spaces that affect the subject are those that establish a sensory relationship with the subject and leave traces in her/his memory. For this reason, each venue was first visited by the subjects, and then one month later, personal evaluations about the location experiences were obtained by asking open-ended questions about the five coffee places they visited. As an analysis method, the data are placed in multi-axis diagrams and grouped. The multi-axis diagram (Table 1) was preferred because it facilitates the arrangement and editing of personal expressions.

The ocular-centered approach states that the perception of space should be with sight and reason, and the phenomenological approach should be with the perception of space. For this reason, in the analysis of the questionnaires, the data that remained in the minds of the subjects regarding the coffee places were examined in two main axes: mind, sensation and experience, and vision in four sections. Based on the statements described in the conceptual section of the study and the expressions used by the participants in answering the questionnaire questions, special concepts were created for this study. The places of these concepts in the multi-axis diagram are determined by the scoring system in Table 2 (Erkartal, 2014: 83-88).

Figure 1. Data sections used in multi-axis diagram and questionnaire analysis. *Experience +Reason*: It consists of profit-oriented features that are experienced with the body without seeing. *Experience+Sensation*: This section, which includes the phenomenological features of architecture, includes sensations such as movement, hearing, smell, touch, the bond established with the place, the atmosphere effect and the aura of the space. It contains bodily sensations and multi-sensory experiences.

Sight+Reason: It includes rational features such as functionality, modulation, and form-oriented, based on the mind of modern architecture. For this reason, it expresses ocularcentrism. *Sight+Sensation*: It contains features that evoke strong emotions in the subject, the amount of light, brightness, and the space that the eye considers as a sense organ rather than the eye of the mind, which stimulates the psychological and physical perceptions.



The information obtained from the narrative expression of the subjects were matched with the concepts in table 1 and evaluated with the scoring system.

The concepts listed by the Data Scoring Method determine which of the four sections in the diagram belong to the 0,1,2 points given. "0" means that it does not belong to that section, "1" means that it belongs to that section conditionally, and "2" means that it belongs to that section. To evaluate the

scored concept, the decision was made taking into account the narrative expression of the subject. It is important to pay attention to the conditional features when evaluating the narratives, for example, if the subject remembers the soundness of the material, it is placed in the reason + sight section, and in the experience + sensation section if the subject recalls the texture felt when she/he touches its surface.

Table 1. The Concepts Listed By The Data Scoring Method

CONCEPTS USED IN DESCRIPTION OF THE SPACE	AXIS				PLACE IN THE AXIS
	EXPERIENCE	SENSATION	SIGHT	REASON	
RATIONAL (RATIO, PLAN, ANGLE) VALUES	0	0	2	2	Sight and Reason
FORM	0	0	2	2	Sight and Reason
MODULATION	0	0	2	2	Sight and Reason
FEELING OF BEING OUTSIDE, ALIEANATION, DISTANTNESS	0	0	2	2	Sight and Reason
STRUCTURE, STRUCTURE METHOD ELEMENTS	0	0	2	2	Sight and Reason
FUNCTIONALITY (PERFORMANCE-USEFULNESS)	0	0	2	2	Sight and Reason
ECONOMY	0	0	2	2	Sight and Reason
EASE OF TRANSPORTATION	0	0	2	2	Sight and Reason
ORDER	0	0	2	2	Sight and Reason
NOMINAL VALUE	0	0	2	2	Sight and Reason
MATERIAL	1	1	1	1	It will be shaped according to the relationship with the material.
VIEW	0	2	2	0	Sensation and Sight
COLOR, ORNAMENT	0	2	2	0	Sensation and Sight
LIGHT-SHADE	1	2	2	1	Sight and Sensation, Conditional Reason and Experience
LUMINOUSNESS-DARKNESS	0	1	2	2	Sight and Reason, Conditional Sensation
SIZE	0	1	2	2	Sight and Reason, Conditional Sensation
DISTANT COLD	0	1	2	2	Sight and Reason, Conditional Sensation
HYGIENE, CARE	1	0	2	2	Sight and Reason, Conditional Experience
SPACIOUSNESS-NARROWNESS	2	2	0	1	Experience and Sensation, Conditional Reason
TEMPERATURE	2	2	0	1	Experience and Sensation, Conditional Reason
AURA (FEELING OF LIFE EXPERIENCE, TEMPORAL LAYERS)	2	2	1	0	Experience and Sensation, Conditional Sight
ATMOSPHERE (SENSE, EMOTIONAL BOND, MATERIAL CONFORMITY) (FIRST IMPRESSION) (DEEP SHADE)	2	2	1	0	Experience and Sensation, Conditional Sight
MOVEMENT (KINETIK AND MUSCLE SENSATION ACTIVITY)	2	2	0	0	Experience and Sensation
FEELING OF BEING INSIDE CLOSENESS	2	2	0	0	Experience and Sensation
TRANQUILITY (FEELING OF QUIETUDE)	2	2	0	0	Experience and Sensation
SOUND	2	2	0	0	Experience and Sensation
SMELL	2	2	0	0	Experience and Sensation
TOUCH	2	2	0	0	Experience and Sensation
TASTE	2	2	0	0	Experience and Sensation
VACANCY (GAP)	2	2	0	0	Experience and Sensation

The data obtained from the questionnaires were placed in the data sections (table 1) in the multi-axis diagram according to the data scoring method in table 2. The expression, which corresponds to every concept in Table 2, was placed in the appropriate section in Table 1 and it was determined which information belonged to the section in the multi-axis diagram with the data which remains in the memory of the person. The answers given to the open-ended questions asked by the interview method involve the explanation and comparison of the coffee places. The expressions used by examining the

expressions were placed in the appropriate section in the multi-axis diagram for each coffee place.

6. Results and Discussion

The information obtained from the questionnaires was placed according to the region where it is appropriate in the axes by data scoring method.

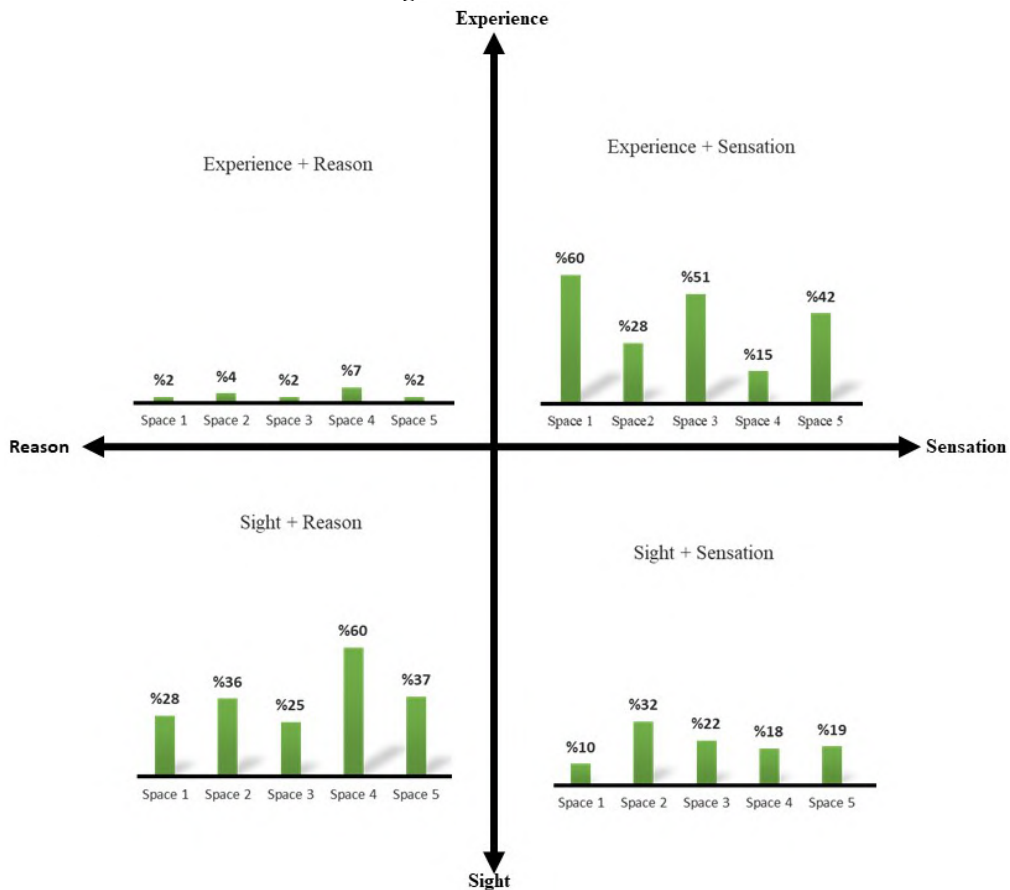
Table 2. Evaluation of Coffee Places by Data Scoring Method.

Cafeteria	Experien + Sensation	Experience + Reason	Sight + Reason	Sight + Sensation	Total Data
Space 1	172	5	78	27	282
Space 2	75	8	76	66	225
Space 3	148	6	71	63	288
Space 4	33	11	98	29	171
Space 5	103	5	79	40	227

Evaluation of Coffee Places by Data Scoring Method, the data obtained from the subjects were collected and placed in the relevant section for each place. Space1: The place with the highest score of data corresponding to Experience + Sensation, ranked 2nd with the total number of data, perceived by the phenomenological method. Space 2: The place with the highest score of data corresponding to Sight + Sensation, it is a hybrid place. Space 3: The place with the highest total number of data,

ranked 2nd corresponding to experience + sensation data number, it is a hybrid place. Space 4: The place with the highest score of data corresponding to Sight+Reason, with the lowest score of data corresponding to experience + sensation and total data number, it is a space perceived by ocularcentrist method. Space 5: It is a hybrid space.

Figure 2. Proportional distribution of coffee places data, data numbers in table 5, percentage distribution in the multi-axis diagram are shown.



Following the questionnaire studies conducted with a group of twenty people, when the numerical data (Table 3) and rates (Figure 2) for each coffee place are examined, it is seen that the subjects perceive the coffee places in a way that is parallel to the phenomenological and ocular-centric methods;

Space 1; is the space perceived by the phenomenological method. It was the coffee place that had the highest number of data based on “experience + sensation” in the memory of the subjects and ranked 2nd in the total number of data.

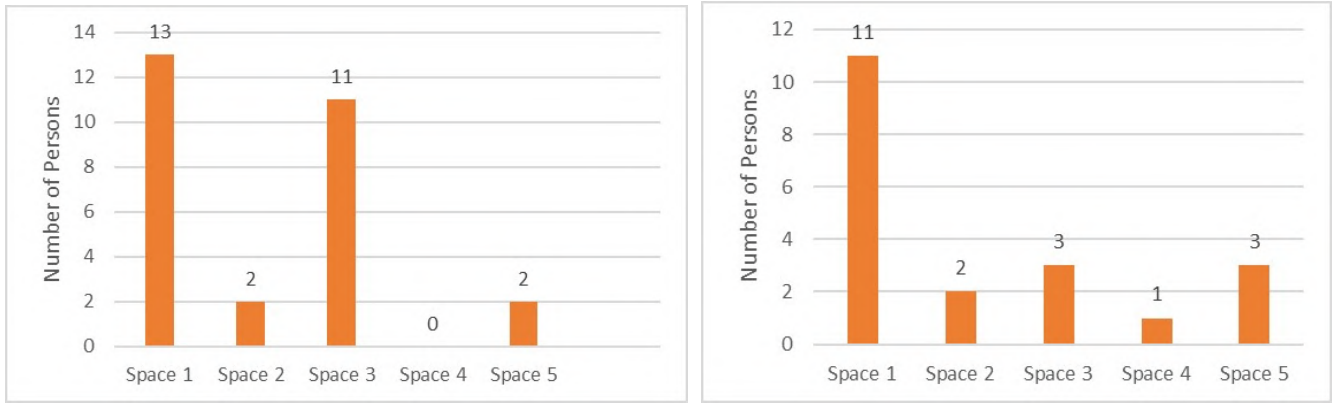
Space 2; it is a hybrid space where Pop Art effects are seen. Therefore, many items stimulate sight. As seen from the table as a result of the interviews, it is seen that the number of sight+sensation column numerical data is higher than the other places, and there is a lot of information about the bodily vision related to this place in the memories of the subjects.

Space 3; it is the place that has the most phenomenological element among the hybrid spaces examined. It is ranked in the 1st place with the number of data based on “experience + sensation”.

Space 4; it is a place that is perceived by the ocular-centered method. It is the place with the lowest total number of data and this data is based on “sight+reason”.

Space 5 is a hybrid environment that has the features of the two investigation themes, falling on the second row with its data based on “experience + sensation”. The environment benefits from natural substances to create the feeling of an atmosphere. However, the environment also holds the influence of the global system which the industrial-modern-world has imposed.

Figure 3. The primary two cafes in which people felt themselves good and happy When the subjects were asked which are the primary two cafes in which they felt themselves good, “Space 1” was selected as one of the places. When they were asked in which cafe, they feel themselves happy, the answer is again “Space 1”. “Space 1” is the place which has the most experience+sensation related data perceived by the phenomenological method.








It is seen that more data is remaining in the memory of the subjects regarding the spaces perceived by the phenomenological method, and most of these data are based on “experience + sensation”.

7. Conclusion

A person perceives the stimuli coming from the surrounding environment with senses and feelings, can make sense of life accordingly and collect memories. Temporary or permanent traces left by the spaces and places on human memory are shaped by the data to be deducted from the space and the place. The degree of influence and numbers of these data

define the trace left in memory. For this reason, the reduction of a spatial experience only to visuality has been the target of criticism of all the disciplines working on the notion of space. Figure 2 demonstrates the investigation regarding how the examined spaces are perceived, in terms of phenomenological and ocular-centered methods, by the consumers. In terms of the five coffee places selected in the Beyoglu district of Istanbul, the determination and preferences of consumers of these spaces were determined in light of the ocular-centric and phenomenological methods through the perception of the materials used for the interior design and the selection of the entire space fittings.

Table 3. Table Regarding the Evaluation of Space Through Phenomenological and Ocular-Centered Methods.

Space 1	Space 2	Space 3	Space 4	Space 5
				
The happiest and well-felt place perceived by the phenomenological method	Hybrid place; accomodates the highest number of ocularcentrist factors, ranks in the 3rd place in terms of the place in which subjects feel themselves good and happy	Hybrid place; accomodates the highest number of phenomenologic factors, ranks in the 2nd place in terms of the place in which subjects feel themselves good and happy	The least happy and well-felt place perceived by the ocularcentered method	Hybrid place ; ranks in the 2nd place in terms of accomodating phenomenologic factors and ranks 3rd in terms of the place in which the subjects feel themselves good and happy

As a consequence of the conducted questionnaires, it has been revealed and determined that the spaces perceived by the phenomenological method have been imprinted in consumer's memory more compared to the ones perceived by the ocular-centric method and the consumers feel better in such spaces and places. When it is evaluated in terms of consumer perception, interior design criteria are related to the aspects mentioned below;

- The space to stimulate other senses such as touch, smell, taste, and hearing in addition to sight, that is, space is experienced multi-sensuously,

- Designing the space to allow different experiences at every turn about movement and time, rather than being designed merely to create visually striking effects,

- Designing the space in harmony with the region where it is located, allowing the heritage, architectural origins and emotional strengths of the building or region to be felt, in other words, to maintain the bond between the street, avenue or neighborhood where the place is located,

- Designing the building in conformity with the climate of the place it is located in, suitable for the position of sun rays,

- Providing that the building preserves and protects the history, genuine life experience traces,

- The place being host to furniture, accessories and architectural elements related to the culture of the region where it is located which are reminiscent in the social and collective memory,

- Bringing the old construction methods and craftsmanship immanent in the original of the building to light, namely protecting authentic values, thus allowing the consumer to connect with the people who lived there in the past,

- Designing the space with an understanding that allows it to be shaped by the life which goes beyond a design understanding that is finished with the construction,

- Using tactile materials based on natural and old construction methods, such as firebrick, solid wood, a natural stone which can be sensed with bare skin, the consumer is ought to feel the hand of the craftsman on each brick and the traces of life experience on each piece of wood. Thus, it will be ensured that the consumer connects with space, perceives the space with

physical sensations and experiences suitable for human existence, and integrates with space, which is an achievement of belonging and adoption.

Despite the ocular-centric criticism initiated in the second half of the 20th century, most of the coffee places in Istanbul Beyoglu are still designed by the ocular-centered method under the influence of modernization, globalization and popular culture, and it is seen that there are very few coffee places designed by the phenomenological method. This situation can be acknowledged as a general change process for the globalizing world.

Due to the increasing number of digital platforms in our modus vivendi and the requirements introduced with the COVID-19 pandemic activate numerous new digital social sharing platforms. Connecting to these social sharing platforms, schools, and workplaces from home, provision of the functionality of these through computers from our homes now somehow eliminates the loss of time in traffic or for various reasons, and it seems to save us time. However, we will monitor how long a human being, a social entity, can continue this process with an ocular-centered perception through digital modalities and how it is suitable for human psychology in the coming period.

When museums, exhibitions, historical buildings, concerts, and demonstrations that are opened to visit in a virtual environment are examined, it is seen that they are detached from the essence without the sense of holistic space. This situation, which takes people away from dealing with and interacting with the work of art, also eliminates the emotional bond of the interlocutor because it is only the image of the artwork displayed on the screen. The time spent on the way to a museum or exhibition hall, the experiences lived there, the place you are in, the experiences gained while navigating the corridors are permanent in the human memory. The trip, which is initiated with a click for virtual visits, is subject to visual evaluation only within the limitations of time and space. It will be proportional to the extent to which of these events that are increasingly taking place on social media will leave a trace in our memories, to what extent the details will be remembered in the coming years, to what extent the perception of space which will be examined by

ocularcentric and phenomenological methods will be affected and changed.

Zevi, B. (2015). *Mimarlığı Görebilmek*. Translated by Alp Tümertekin. Istanbul: Daimon Publishing. ISBN: 9786058510876.

References

- Altıparmaklıoğlu Sakarya, G., Gürani, Y. (2021). Assessment of the Interaction between Space and Visitor in the Case of the Cité de l'Architecture et du Patrimoine. *European Journal of Science and Technology*, (21), 341-357.
- Aydınlı, S. (2008). Mekan'dan Mekansala: Mekanın zamansallığı, Zamanın mekansallığı. (Haz.: A. Şentürer, Ş. Ural, Ö. Berber, F. Uz Sönmez), s. 150-161, İstanbul: YEM Yayın.
- Baymur, F. (1976). *Genel Psikoloji*. İstanbul: İnkılap Kitabevi. ISBN:9751000972
- Bognar, B. (1985). A Phenomenological Approach To Architecture And Its Teaching In the Design Studio, In *Dwelling, Place And Environment: Towards A Phenomenology of Person and World*. ed: Seamon. D. and Mugerauer, R. (eds.) Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- Çakıcı Alp, N, Erkan Yazıcı, Y. (2017). Duyuların Mekânsal Deneyimleri Şekillendirmesi: Sagrada Familia Kilisesi. *SDÜ ART-E Güzel Sanat Dergisi*, 10(19), 55 – 77. e-ISSN: 1308-2698.
- Erkartal, Ö.P. (2014). *Modern Mimaride Biçimsel Kurguların Sorgulanması ve Dokunsal Mimarlık (Doctoral Thesis)*. Yıldız Technical University Science Institute, İstanbul.
- Gürsoy, D. (2005). *Sohbetin Bahanesi Kahve*. İstanbul: Oglan Publishing. ISBN: 9789753295192
- İnceoğlu, A. (1999). *Evin Anlamı Ve Kentleşme Süreci (Doctoral Thesis)*. I.T.U. Science Institute, İstanbul.
- Kartal, A. N. (2015). *Üç (Parantez) Bir anlatı: Ucu açık fenomenolojik bir deşifre (Master's Thesis)*. I.T.U. Science Institute, İstanbul.
- Leland, M. R. (2006). *Mimarlığın Öyküsü, Öğeleri ve Anlamı*. Translated by Ergün Akça. İstanbul: Kabalcı Publishing. ISBN: 978-605-5272-49-4
- Loos, A. (2018). *Mimarlık Üzerine*. Translated by Alp Tümertekin, Nihat Ülner. İstanbul: Janus. ISBN: 9786058495500
- Morgan, C. T. (1981). *Psikolojiye Giriş Ders Kitabı*. Translated by Rükzan Eski, Sirel Karakaş. Ankara: Hacettepe University Psikoloji Department Publishing. ISBN: 9758890705.
- Ojalvo, R. (2012). *Arzu Mimarlığı Mimarlığı Düşünmek ve Düşlemek*. İstanbul İletişim Publishing. ISBN: 9789750511264
- Pallasmaa, J. (2011). *Tenin Gözleri*. Translated by Aziz Ufuk Kılıç. İstanbul: YEM Publishing. ISBN: 6058119154.
- Panofsky, E. (1991), *Perspective as Symbolic Form*. New York: Zone Books. ISBN:0-942299-52-3; <http://tems.umn.edu/pdf/Erwin%20Panofsky%20-%20Perspective%20as%20Symbolic%20Form.pdf>
- Sharr, A. (2007). *Mimarlar için Heidegger*. Translated by Volkan Atmaca. İstanbul: Yem Publishing. ISBN: 9789944757782
- Soykan, Ömer Naci. (2008). *Uzam Bellek Bağlantısı Açısından Mimarlığa Bakış Zaman – Mekân*, 34-39. İstanbul: Yem Yayınları.
- Turgay, O. (2018). *Deneyimlenen Mekânın Bir Anlam Olarak Bellekte Varlığının Sürdürülmesi. Tasarım ve Bellek Temalı Ulusal Mekân Tasarımı Sempozyumu*. 156-165. Trabzon, Turkey.



Sentetik Pap-Smear Hücre Çekirdeği Üretiminde Üretici Çekişmeli Ağların Kullanılması

Sara Altun^{1*}, M. Fatih Talu²

¹ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2877-7105)

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1166-8404)

(İlk Geliş Tarihi 13 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 20 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.840114)

ATIF/REFERENCE: Altun, S. & Talu, M. F. (2020). Sentetik Pap-Smear Hücre Çekirdeği Üretiminde Üretici Çekişmeli Ağların Kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 781-786.

Öz

Sentetik görüntü üretimi geçmişten günümüze kadar araştırma alanı olmuştur. Çeşitli algoritmalar ile sentetik (sahte) görüntü üretimi yapılmaktadır. İncelenen sentetik görüntü üretme yöntemleri derin öğrenmeye dayanan üretici çekişmeli ağlar (GANs)'dır. GAN'lar üretici ve ayrıştırıcı olmak üzere iki sinir ağına sahiptir. Üretici ağ sentetik görüntü ya da sinyal üretirken; ayrıştırıcı ağ orijinal görüntü ya da sinyal ile üretilmiş sentetik görüntünün ya da sinyalin benzerliğini olasılıksal olarak ölçmektedir. GAN yöntemlerinden Döngüsel Üretici Çekişmeli Ağ (CycleGAN) ve Görüntüden Görüntüye Çeviren Ağ (Pix2Pix) yöntemleri sentetik görüntü üretirken görüntüden görüntüye çeviri yapılabilme yeteneğine sahip olduğundan hücre çekirdeği üretirken uygun yöntemler olarak belirlenmiştir. CycleGAN, bir üretici ve bir ayrıştırıcı ağına sahiptir. Üretici, sahte görüntüleri üretirken; ayrıştırıcı, sahte görüntüler ile gerçek görüntüleri ayırt etmeye çalışır. CycleGAN, bir görüntüyü X kaynak alanından eşleştirilmiş örneklerin yokluğunda bir hedef alan Y 'ye dönüştüren öğrenme yaklaşımı sunulur. Bu model iki "otokodlayıcı" eğitimi olarak görülebilir. Bir otokodlayıcıyı $F \circ G: X \rightarrow X$ ile bir başka otokodlayıcı olan $G \circ F: Y \rightarrow Y$ ile ortaklaşa öğrenir. Pix2Pix'in girişi bir görüntüdür. Pix2Pix, giriş görüntüsünden çıktı görüntüsüne dönüşümü eğitir. Pix2Pix, bir tane sentetik görüntü üreten üretici ağı ve bu sentetik görüntü ile gerçek görüntüyü ayırt edebilecek olan ayrıştırıcı ağına sahiptir. Bu çalışmada, 256x256 boyutunda görüntüler kullanılmış olup 256x256 boyutunda sonuçlar elde edilir. İki yöntemin zaman ve benzerlik indeksleri açısından karşılaştırması yapıp verimliliği incelenmiştir. Sonuçlar tablo ve şekil olarak gösterilmiştir. Uygulama için MATLAB 2019b kullanılmıştır. Görüntüden görüntüye dönüşümde GAN yöntemlerinin verimli sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Medikal görüntü üretirken deneysel sonuçlara göre CycleGAN yöntemi ile Pix2Pix yöntemi kıyaslandığında istenilen sonuca ulaşma bakımından Pix2Pix yöntemi tercih edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Sentetik Görüntü Üretimi, Üretici Çekişmeli Ağlar, CycleGAN, Pix2Pix.

The Use of Generator Adversarial Networks in Synthetic Cell Nucleus Production

Abstract

Synthetic image production has been an area of research from the past to the present. Synthetic (fake) images are produced with various algorithms. The synthetic image generation methods examined are generative adversarial networks (GANs) based on deep learning.

* Sorumlu Yazar: Sara ALTUN, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2877-7105, sara.altun@inonu.edu.tr

GANs have two neural networks, a generator and a discriminator. When the generator network generates synthetic images or signals; the discriminator network measures probabilistically the similarity of the synthetic image or signal generated with the original image or signal. Cycle-consistent Generating Adversarial Network (CycleGAN) and Image-to-Image Converting Network (Pix2Pix) methods, which are among the GAN methods, have been determined as suitable methods while producing a cell nucleus because they have the ability to translate from image to image while producing synthetic images. CycleGAN has two network of a generator and a discriminator. When the generator produces fake images; The discriminator tries to distinguish fake images from real images. CycleGAN presents a learning approach that transforms an image from the source field into a target area in the absence of paired samples. This model can be viewed as two "autocoder" training. Learns an autocoder jointly with $F \circ G: X \rightarrow X$ and another autocoder, $G \circ F: Y \rightarrow Y$. Pix2Pix's input is an image. Pix2Pix trains the conversion from input image to output image. Pix2Pix has one synthetic image generating network and a discriminating network that can distinguish the synthetic image from the real image. In this study, images of 256x256 are used and results of 256x256 are obtained. The efficiency of the two methods was compared in terms of time and similarity indexes and examined. Results are shown in tables and figures. MATLAB 2019b was used for the application. It is observed that GAN methods give efficient results in image-to-image conversion. When producing medical images, the Pix2Pix method can be preferred in terms of achieving the desired result when comparing the CycleGAN method with the Pix2Pix method according to the experimental results.

Keywords: Synthetic Image Generation, Generator Adversarial Networks, CycleGAN, Pix2Pix.

1. Giriş

Sentetik görüntü üretimi, gerçek olan verilerden bilgisayar ve benzeri ortamlardan aynısına benzer sahte görüntüler üretme işlemidir. Sentetik veriler, verinin sayısını arttırmak, sanal gerçekliği sağlamak ve araştırmacıların birçok konuda incelemeyapabilmesi için geniş bir alana sahiptir.

Üretici Çekişmeli Ağlar (Generative Adversarial Networks - GANs), makine öğrenme modellerinden bir tanesidir. GANlar sahte ama neredeyse gerçek denilecek şekilde veriler üretme yeteneğine sahiptir (Sara ve Fatih, 2019). Üretici ve ayrıştırıcı ağdan oluşmuşlardır. Üretici ağ gerçeğe benzeyen sahte görüntü üretir. Ayrıştırıcı ağ ise gerçek ile sahte görüntü arasında ayırım yapmaya çalışır. Ayrıştırıcıyı bir sınıflandırıcı olarak tanımlayan geleneksel GANlar, sigmoid çapraz entropi kaybı işlevini benimsemektedir (Barışkan vd., 2020). Bu fikirden yola çıkılarak görüntüden görüntüye dönüşüm yapan GAN yöntemlerinden olan Pix2Pix ve CycleGAN yöntemleri mevcuttur (Zhu et al., 2017; Isola et al., 2017).

Görüntüden görüntüye dönüştürme fikri, en az bir girdi-çıkı eğitim görüntü çifti üzerinde parametrik olmayan doku modelini (Efros and Leung) kullanan Hertzmann ve arkadaşlarının Görüntü Analojilerine dayanmaktadır (Hertzmann et al.,2001). Güncel yaklaşımlar, CNN'leri kullanarak parametrik dönüştürme işlevini öğrenmek için girdi-çıkı örneklerinden oluşan veri kümesi kullanır (ör. Long et al., 2015). CycleGAN yaklaşımı, Isola ve diğerlerinin "Pix2Pix" çerçevesi (Isola et al., 2017) üzerine kuruludur. girdiden çıkı görüntülerine kadar bir eşlemeyi öğrenmek için koşullu üretken bir düşman ağı kullanır (Goodfellow et al.,2014). Taslaklardan veya özniteliklerden (Sangkloy et al., 2017) ve anlamsal düzenlerden (Karacan et al., 2016) fotoğraflar üretmek gibi çeşitli görevlere benzer fikirler uygulanmıştır. CycleGAN önceki çalışmalardan farklı olarak, eşleştirilmiş eğitim örnekleri olmadan eşlemeyi öğrenir.

Bu çalışmada, aynı veriseti üzerinde Döngüsel Üretici Çekişmeli Ağ (CycleGAN) ve Görüntüden Görüntüye Çeviren Ağ (Pix2Pix) yöntemlerinin sentetik görüntü üretmede doğruluk

sonuçları ve görsel sonuçları üzerinde ne gibi etkileri olduğu araştırılmıştır. Bu iki GAN yöntemi için aynı başlangıç koşulları belirlenmiştir. Bu eşit koşullar altında generatör maliyeti, diskriminatör maliyeti ve doğruluk sonuçları deneysel sonuçlarda karşılaştırılmıştır.

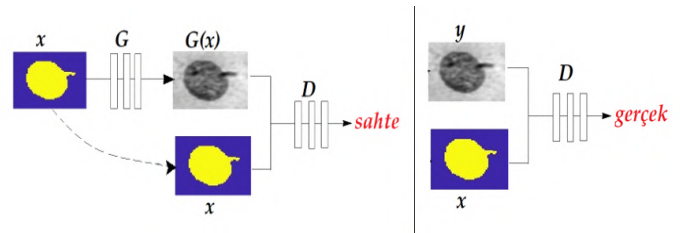
Bu çalışma ile CycleGAN ve Pix2Pix yöntemleri kullanılarak yapılacak araştırmalar için ön bilgi niteliğinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın organizasyonu şu şekilde planlanmıştır: ikinci bölümde kullanılan GAN yöntemleri ile ilgili genel bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölümde yapılan çalışma detaylı bir şekilde açıklanmaktadır, dördüncü bölümde ise deneysel sonuçları sunulmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Üretici çekişmeli ağlardan sentetik görüntü üretimi için uygun olan CycleGAN ve Pix2Pix yöntemlerine yer verilmektedir.

2.1. Pix2Pix

Pix2Pix, DCGAN'ın geliştirilmiş bir sürümüdür (Sato et al., 2018). Standart DCGAN'dan farkı, üretici ağı gelen girişdir. Standart DCGAN'ın girişi bir vektördür (ör. 100 boyutunda) ancak Pix2Pix'in girişi görüntüdür. Pix2Pix, giriş görüntüsünden çıkı görüntüsüne dönüşümü eğitir (ör. Gri tonlamadan renkli görüntüye).

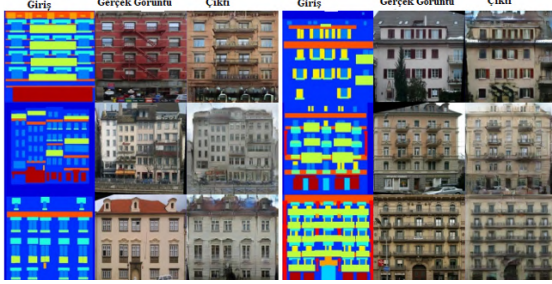


Şekil 1. Hücre Çekirdeği Oluşturulurken Pix2Pix'in Genel Yapısı

Pix2Pix, girdi ve çıktı görüntüleri arasındaki dönüşümü öğtebildiği için, sentetik görüntü üretmede kullanılabilir. Pix2Pix, üretici ve ayrıştırıcı ağdan oluşur. Üretici, giriş görüntüsünden bir çıktı görüntüsü üretir. Ayrıştırıcı, üretici ağın üretmiş olduğu çıktı görüntüsünün gerçek mi yoksa sahte mi olduğunu sınıflandırır. Diğer bir deyişle üretici, kaynak görüntü x ve rasgele görüntü vektörü z 'den hedef görüntü y 'ye, yani $\{x, z \rightarrow y\}$ bir eşlemeyi öğrenir. Ayrıştırıcı, $y | x$ etiketini gerçek veya sahte olarak ayırt eder. İki ağ, düşmanca bir ilişkiye sahiptir.

Şekil 1'de, üretici ağın çıkış görüntüsünü bir giriş görüntüsünden elde ettiği ve ayrıştırıcı ağın bunu gerçek veya sahte olarak sınıflandırdığı görülmektedir. Hücre çekirdeğinin maskesi üretici ağın (generatör-G) girişine verilmektedir. Üretici ağın iç kısmında konvolusyon vb. ara işlemlerden geçirilerek yeni sahte görüntü elde edilir. Ayrıştırıcı ağ (discriminator-D) ise gerçek ve sahte görüntüyü ayırt etmeye çalışır. Durma kriteri, ayrıştırıcı ağın ayırt etme olasılığı düştüğünde sonlanır. Denklem 1'de ise Şekil 1'de anlatılan Pix2Pix'in asıl amacının formüle edilmiş formuna yer verilmiştir. λ , iki hedefin göreceli önemini kontrol eder.

$$G^* = \underset{G}{\operatorname{argmin}} \underset{D}{\operatorname{max}} \mathcal{L}_{CGAN}(G, D) + \lambda \mathcal{L}_{L1}(G) \quad (1)$$



Şekil 2. Cephe Fotoğraflarında Pix2Pix Uygulama Sonuçları (Isola et al.,2017).

Pix2Pix yapı olarak ayrıştırıcı ağda CNN ve üretici ağ olarak U-net kullanılır. U-net, bir tür kodlayıcı-kod çözücü CNN'dir. Temel fark, kodlayıcıdan kod çözücüye giden yollardır. Yollar, kodlayıcı ile küçük nesnelerin kaybolmasını önler. Başka bir deyişle, çok ölçekli bilgi, sonuç görüntüsünü etkili bir şekilde oluşturmak için kullanılır. Ayrıştırıcı ağı, Pix2Pix'te üretici ağın verimliliğini değerlendirir. Ancak bu ağlar birbirlerinden bağımsızdır ve ayrıştırıcıdaki bilgiler üretici ağda etkin bir şekilde kullanılmamaktadır. Bu nedenle, Şekil 2'de görüldüğü gibi temel gerçeğe benzer iyi sentetik görüntü sonucu elde etmek için üretici ağ da ayrıştırıcı ağda özellik haritalarını kullanılır (Isola et al.,2017).

Pix2Pix'in geleneksel GAN ile önemli farklılıkları olduğunu belirtmekte fayda var. Örneğin, Pix2Pix ayrıştırıcısının girişi tek bir görüntü yerine bir çift görüntüdür, Pix2Pix'in ayrıştırıcısı gerçek görüntüyü sahte görüntülerden ayırmak için PatchGAN yapısını kullanır (Wang et al., 2018) .

2.2. CycleGAN

Görüntüden görüntüye dönüşüm, hedefin hizalanmış görüntü çiftlerini içeren bir eğitim seti kullanarak bir giriş görüntüsü ile çıkış görüntüsü arasındaki eşlemeyi öğrenmek olduğu bir görme ve grafik problemleri sınıfıdır. Bununla birlikte birçok işlem için eşleştirilmiş eğitim verileri kullanılamaz.

Niteliksel sonuçlar, koleksiyon stili aktarımı, nesne değişimi, sezon aktarımı, fotoğraf geliştirme vb. dahil olmak üzere eşleştirilmiş eğitim verilerinin bulunmadığı çeşitli işlemler de sunulur. CycleGAN yöntemi ile koleksiyon tarzı aktarım, mevsim geçişleri, çizimlerden fotoğraf üretimi, fotoğraf geliştirme, Gatys ve arkadaşları ile karşılaştırma (Gatys et al., 2016) yapılmıştır (Zhu et al.,2017). Önceki birkaç metotla yapılan nicel karşılaştırmalar, CycleGAN yaklaşımının üstünlüğünü göstermektedir. Şekil 3'de CycleGAN yönteminin zebraadan ata, gerçek görüntüden çizim görüntüsüne ve tam tersi örneklerle yer verilmiştir.



Şekil 3. CycleGAN Uygulama Sonuçları (Zhu et al., 2017)

CycleGAN yönteminde de üretici giriş olarak bir görüntü alır ve bunu işlemlerden geçirerek yeni görüntü üretir. Şekil 3'te gösterildiği gibi işlem döngüsel olarak gerçekleşir.

Şekil 4'te CycleGAN yöntemi görsel açıdan incelenmiştir. Görüntüyü X kaynak alanından eşleştirilmiş örneklerin yokluğunda bir hedef alan Y ye çevirmeyi öğrenme yaklaşımı sunulmaktadır. Hedef, $G: X \rightarrow Y$ eşlemesini öğrenmektir, öyle ki $G(X)$ den görüntülerin dağılımı, bir kayıp kaybı kullanarak Y dağılımından ayırt edilemez. Bu haritalama oldukça kısıtlı olduğundan birleştirilir. $F: Y \rightarrow X$ tersine eşleme ve $F(G(X)) \approx X$ (ve bunun tersi) zorlamak için döngüsel tutarlılık maliyetini sağlar.

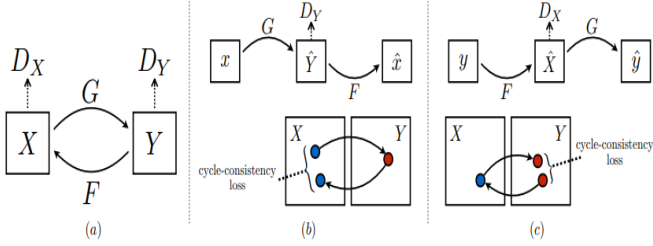
CycleGAN yönteminin amacı Denklem 2 ve Denklem 3'de gösterilmiş (Zhu et al., 2017); Şekil 4 ile ne anlama geldiği açıklanmıştır.

$$\mathcal{L}(G, F, D_X, D_Y) = \mathcal{L}_{GAN}(G, D_Y, X, Y) + \mathcal{L}_{GAN}(F, D_X, Y, X) + \lambda \mathcal{L}_{cyc}(G, F) \quad (2)$$

λ , iki hedefin göreceli önemini kontrol eder. Çözülmesi hedeflenen:

$$G^*, F^* = \underset{G, F, D_X, D_Y}{\operatorname{argminmax}} \mathcal{L}(G, F, D_X, D_Y) \quad (3)$$

Herhangi iki sıralanmamış görüntü koleksiyonu X ve Y verildiğinde, algoritma bir görüntüyü otomatik olarak bir görüntüden diğerine çevirmeyi ve bunun tersini öğrenir.

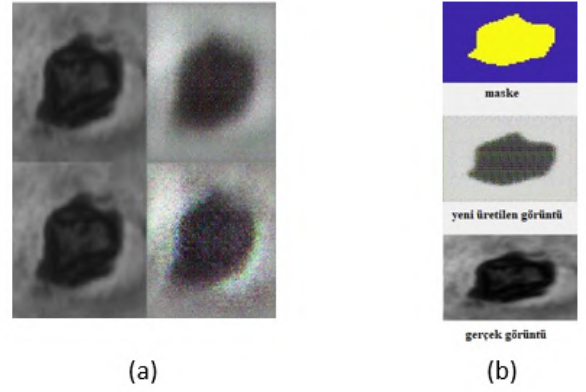


Şekil 4. CycleGAN Yapısı. (a) Model Tanımlanması (b) Döngü tutarlılığı (c) Döngü Tutarlılığı (Zhu et al., 2017)

zamansal karşılaştırmaları yapılmıştır. Belirli iterasyonlardaki sonuç görüntülerine yer verilmiştir.

3.2. CycleGAN ve Pix2Pix Yöntemlerinin Görsel Karşılaştırılması

CycleGAN iki yönlü eğitim imkânı sunmaktadır. Pix2Pix yöntemi ise görüntünün iskeleti çıkarılmış şekli ile orijinali arasında eğitim yapmaktadır. Şekil 6'da bir iterasyon için CycleGAN ve Pix2Pix için çalışma şekline yer verilmiştir.

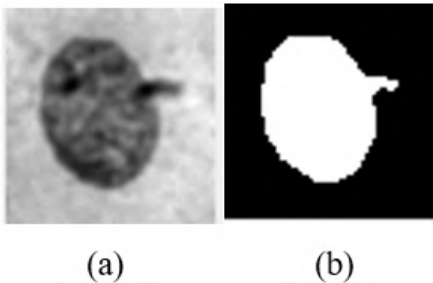


Şekil 6. Eğitim Şekilleri. (a) CycleGAN (b) Pix2Pix

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Veri Kümesi

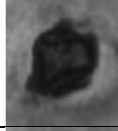
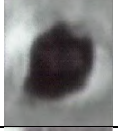

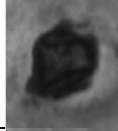

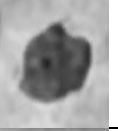
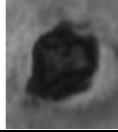
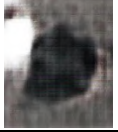
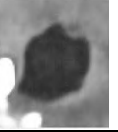
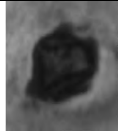
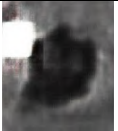
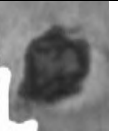
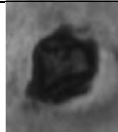

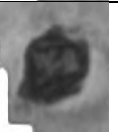
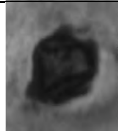
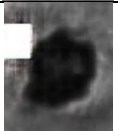
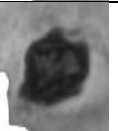
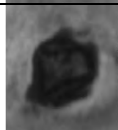

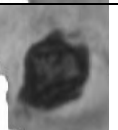
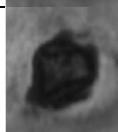
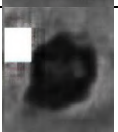
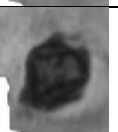
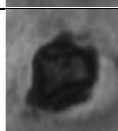
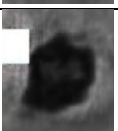
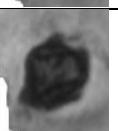
Veri kümesi olarak hücre çekirdeklerinin bulunduğu 100 adet görüntü kullanılmıştır. Bu veriler alındığı kısımdan her bir hücrede ardışıl görüntü (dip_image) olarak depolanmıştır. Bu görüntülerin her biri ayrıştırılarak tek bir görüntü şekline sahip değere dönüştürülmüştür. Veri kümesindeki birinci sütundaki hücrelerde 100 adet orijinal ve boyutları farklı hücre çekirdeği görüntüleri bulunmaktadır. Veri kümesindeki ikinci sütundaki hücrelerde bulunan görüntüler, orijinal görüntüdeki çekirdeğin bulunduğu kısımda 1; çekirdeğin bulunmadığı kısımda 0 bulunan maskeleri barındıran görüntülerdir. Veri kümesinin düzenlenmesi Matlab 2019b kullanılarak yapılmıştır. Şekil 5. (a)'da verisetinin birinci sütununda bulunan orijinal görüntülerden bir tanesi örneklenmektedir. Şekil 5. (b)'de verisetinin ikinci sütununda orijinal görüntülerden elde edilmiş görüntü maskesi verilmektedir.



Şekil 5. (a) Orijinal Çekirdek Görüntüsü (b) Çekirdek Görüntü Maskesi

Görüntüleri daha düzgün bir şekilde karşılaştırabilmek için CycleGAN ve Pix2Pix 256x256'lık giriş görüntüleri ve çıkış görüntüleri kullanılmıştır. İterasyon sayısı 200 olarak verilmiştir. Belirli iterasyon aralıklarındaki ortalama, standart sapmaları ve

Tablo 1. CycleGAN ve Pix2Pix Eğitim Sonuçları

İterasyon Sayısı	Orijinal Hücre Çekirdeği	CycleGAN	Pix2Pix
5			
25			
50			
75			
100			
125			
150			
175			
200			

Zaman açısından incelendiğinde bir iterasyon sonunda geçen süre Pix2Pix için $t \cong 38.3607s$; CycleGAN için $t \cong 98.5609s$ 'dir.

Gerçek görüntüye ne kadar benzediğini ölçmek için Jaccard indeksi, Dice indeksi yöntemleri kullanılmıştır. İki set A ve B'nin Jaccard benzerlik katsayısı (birleşme veya IoU üzerinden kesişme olarak da bilinir) şu şekilde ifade edilir:

$$jaccard(A, B) = \frac{|kesişim(A, B)|}{|birleşim(A, B)|} \quad (4)$$

Burada $|A|$, A kümesinin kardinalini temsil eder. Jaccard indeksi aynı zamanda gerçek pozitif (TP), yanlış pozitif (FP) ve yanlış negatif (FN) olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$jaccard(A, B) = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (5)$$

Dice indeksi Jaccard indeksi ile Denklem 6'da gösterilen ilişkiye sahiptir.

$$dice(A, B) = 2 * jaccard(A, B) / (1 + jaccard(A, B)) \quad (6)$$

Verilen benzerlik yöntemlerine göre Pix2Pix ve CycleGAN benzerlik sonuçlarına Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. CycleGAN ve Pix2Pix Benzerlik Sonuçları

Yöntemler	CycleGAN	Pix2Pix
Jaccard İndeksi	0.2954874	0.3011773
Dice İndeksi	0.4561795	0.4629305

4. Sonuç

Bu makalede, sentetik görüntü üretme yeteneğine sahip olan GAN yöntemlerinden Pix2Pix ve CycleGAN yöntemleri incelenmiştir. Orjinal yani gerçek görüntüye benzerlik açısından ve zaman açısından karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel sonuçlar incelendiğinde Pix2Pix yöntemi daha az iterasyon ile gerçek görüntüye daha yakın sonuç elde edebilmiştir. Eğitim sürecinde geçen zaman kontrol edildiğinde Pix2Pix yönteminin $t \cong 38.3607s$ ile daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Benzerlik metriği olarak Jaccard ve Dice indekslerine karşılaştırma yapılmıştır. Pix2Pix yönteminin gerçek görüntüye benzerlik oranı Tablo 2’de görüldüğü üzere daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. CycleGAN yöntemi ile üretilen görüntülerin gerçek görüntülere benzerliği Pix2Pix yöntemi ile kıyaslandığında daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Pix2Pix yöntemi gerçek görüntülere daha benzer görüntüler elde ettiğinden tercih edilebilir. Medikal görüntü üretirken görüntüden görüntüye çeviri yapabilme yeteneğine sahip olan Pix2Pix ve CycleGAN yöntemleri kullanılabilir. Dezavantajları, gerçek bir bölütleme yaparken ya da görüntü oluştururken eksik pikseller oluşturması bakımından hata ile karşılaşılmaktadır.

Kaynakça

- ALTUN, S., & TALU, M. F. (2019, October). Aynı Şartlar Altında Farklı Üretici Çekişmeli Ağların Karşılaştırılması. In *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-6). IEEE.
- BARIŞKAN, M. A., Orman, Z., & ŞAMLI, R. Common Generative Adversarial Network Types and Practical Applications. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 585-590.
- Zhu, J. Y., Park, T., Isola, P., & Efros, A. A. (2017). Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 2223-2232).
- Isola, P., Zhu, J. Y., Zhou, T., & Efros, A. A. (2017). Image-to-image translation with conditional adversarial networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1125-1134).
- Efros, A. A., & Leung, T. K. (1999, September). Texture synthesis by non-parametric sampling. In *Proceedings of the seventh IEEE international conference on computer vision* (Vol. 2, pp. 1033-1038). IEEE.
- Hertzmann, A., Jacobs, C. E., Oliver, N., Curless, B., & Salesin, D. H. (2001, August). Image analogies. In *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 327-340).
- Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3431-3440).
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., ... & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 2672-2680).
- Sangkloy, P., Lu, J., Fang, C., Yu, F., & Hays, J. (2017). Scribbler: Controlling deep image synthesis with sketch and color. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 5400-5409).

- Karacan, L., Akata, Z., Erdem, A., & Erdem, E. (2016). Learning to generate images of outdoor scenes from attributes and semantic layouts. *arXiv preprint arXiv:1612.00215*.
- Sato, M., Hotta, K., Imanishi, A., Matsuda, M., & Terai, K. (2018, January). Segmentation of Cell Membrane and Nucleus by Improving Pix2Pix. In *BIOSIGNALS* (pp. 216-220).
- Wang, X., Yan, H., Huo, C., Yu, J., & Pant, C. (2018, August). Enhancing Pix2Pix for remote sensing image classification. In *2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)* (pp. 2332-2336). IEEE.
- Gatys, L. A., Ecker, A. S., & Bethge, M. (2016). Image style transfer using convolutional neural networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2414-2423).



Üretken Rakip Ağ ile Türkçe Metin Üretimi

Barış Gücük^{1*}, Rafet Durgut², Oğuz Fındık³

^{1*} Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1381-3663),
barisgucuk@ogrenci.karabuk.edu.tr

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6891-5851), rafetdurgut@karabuk.edu.tr

³ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5069-6470), oguzfindik@karabuk.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 9 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 24 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.857179)

ATIF/REFERENCE: Gücük, B., Durgut, R. & Fındık, O. (2021). Üretken Rakip Ağ ile Türkçe Metin Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 787-792.

Öz

Makine öğrenmesi yöntemlerinde tahmin aşamasının başarısı için kullanılan eğitim veri seti kümesi oldukça önemlidir. Doğal dil işlemede en çok karşılaşılan problemlerden birisi yeterli veri bulunamaması veya bulunan verilerin etiketsiz olmasıdır. Özellikle sınıflandırma problemlerinde belirli bir sınıftaki verinin azlığı sınıflandırmanın başarısını düşürmektedir. Bu çalışmada veri kümesinde bulunan eksik sınıfa ait metinlerin artırılması amacı ile üretken rakip ağlar yöntemi kullanılmıştır. Haber metinleri üzerinde veri çoğalma işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar n-gram, destek vektör makinesi, TF-IDF ve lojistik regresyon gibi makine öğrenmesi teknikleriyle birlikte kullanılarak performansları değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre üretken rakip ağların Türkçe metin üretimi için kullanılması sınıflandırma başarısını yaklaşık % 47 oranında artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal dil işleme, Üretken rakip ağlar, Metin üretimi, Sınıflandırma.

Turkish Text Generation with Generative Adversarial Network

Abstract

The training data set used for the success of the training phase in machine learning methods is very important. One of the most common problems in natural language processing is the lack of sufficient data or the unlabeled data. Especially in classification problems, the scarcity of data in a certain class reduces the success of the classification. In this study, generative adversarial network method was used in order to increase the texts belonging to the missing class in the data set. Data augmentation is performed on news texts. The results obtained were evaluated together with machine learning techniques such as n-grams, support vector machine, TF-IDF and logistic regression. According to the results, the use of generative adversarial network for Turkish text generation increased the classification success by approximately % 47.

Keywords: Natural language processing, Generative adversarial networks, Text generation, Classification.

* Sorumlu Yazar: barisgucuk@ogrenci.karabuk.edu.tr

1. Giriş

Makine öğrenmesi, bilgisayarın tecrübelerden çıkarım yapabilmesi için kullanılan yapay zekâ yöntemidir (Michie ve ark., 1994). Makine öğrenmesi, danışmanlı, danışmansız veya pekiştirmeli öğrenme olmak üzere olarak üç kategoriye ayrılmaktadır (Ayon, 2016). Danışmanlı öğrenmede kullanılacak modelin eğitimi için etiketli verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Xiaojin, 2005). Etiketli verinin boyutu modelin tahmin başarısını doğrudan etkilemektedir. Verilerin etiketlenmesi konuyla ilgili uzman bir kişi tarafından yapılmalıdır. Etiketli verinin sayısı da modelin performansını etkilese de etiketli veri bulunması özellikle doğal dil işleme alanında oldukça zordur (Jun ve ark., 2008). Çünkü verilerin etiketlenmesi uzun süre alan maliyetli bir işlemdir. Etiketleme işlemini yapan kişinin uzmanlığı gereklidir. Etiketleme sırasındaki insan hataları modelin başarısını etkilemektedir. Bazı verilerde gizlilik gerekebilir bu gibi durumlarda etiketleme yapılamamaktadır.

Üretken Rakip Ağlar (ÜRA) 2014 yılında Ian Goodfellow vd. tarafından önerilmiş bir makine öğrenmesi yöntemidir (Goodfellow ve ark., 2014). Bu yöntem, iki sinir ağının birlikte çalışmasıyla meydana gelmektedir. Bir ağ üretim ile sorumlu iken diğer ağ ayırt edici olarak çalışmaktadır. Bir dengede çalışan bu iki ağ eğitilmesi sonrasında eğitim setinden farklı özgün yeni resimler, sesler üretilebilir. Ne kadar dengeli bir sistem kurulursa gerçeğe o kadar yakın sonuçlar elde edilir.

Oldukça yeni bir yöntem olmasına karşın üretken rakip ağlar üzerindeki çalışmaların sayısı hızla artmaktadır. Yapılan çalışmalarda gerçeğe çok yakın görüntüler üretilmiştir (Zhang ve ark., 2019). Buradaki başarıdan yola çıkarak, üretken rakip ağlar ile kurabilecek bir modelin metin üretimi gibi bir doğal dil işleme uygulamasında kullanılabilirliği aklı gelmektedir. Türkçe metin üretimlerinde daha çok Tekrarlayan Sinir Ağı (TSA) ve Uzun Kısa Süreli Bellek (UKSB) kullanılmaktadır. Bu yöntem ile üretilen metinlerin anlam yapısı bakımından başarısı yüksek değildir (Santhanam, 2018).

Metnin ayrık ve soyut doğası gereği üretken rakip ağlar ile metin üretimi aşamasında bazı problemler ile karşılaşmaktadır. Burada akla gelen ilk çözümlerden biri pekiştirmeli öğrenme uygulamaktır (Wang ve ark., 2019).

Tong Che vd. tarafından 2017 yılında yayınlanan makalesinde üretken rakip ağlardaki kararsızlığı yok etmek için maksimum olabilirliği artırılmış üretken rakip ağları (MaliGAN) önermiştir (Che ve ark., 2017). Bu yöntemde hedefi optimize etmektense ayırıcı sonuçları kullanılarak yeni bir hedef üretilir. Jiaxian Guo vd. yine 2017 yılında LeakGAN ile sızan bilgilerle uzun metin üretimi modelini yayınlamıştır (Guo ve ark., 2017). Bu modelde ayırıcı üreticiye daha fazla bilgi yönlendirmesine izin verilerek daha başarılı ve anlamını kaybetmeyen uzun metinler üretilebileceği ortaya koyulmuştur. SeqGAN eğitim tedbirli bir sıra oluşturucudur. Lantao Yu vd. tarafından 2017 yılında yayınlanan makalesinde üretken rakip ağın eğitiminde pekiştirmeli öğrenme uygulamıştır (Yu ve ark., 2017). Üreticinin sınıflandırma problemlerini atlayıp direk olarak eğitim tedbirli bir şekilde eğitimine devam etmektedir. Kevin Lin vd. 2017 yılında yaptığı çalışmada RankGAN ile ayırıcıyı sınıflandırmak için eğitmek yerine sıralama ve bir referans grubu oluşturacak şekilde değiştirmiştir (Lin ve ark., 2017). Daha sonrasında puanlandırma sistemi ile daha iyi değerlendirme yaptığını göstermiştir. William Fedus vd. 2018 yılında kelimelerin bir önceki kelimeye göre

koşullandırılması yerine maksimum olasılık yöntemi ile eğitilir (Fedus ve ark., 2018). MaskGAN metodu ile üretici daha kaliteli sonuçlar üretilebileceği gösterilmiştir. Üstteki yöntemler performans olarak başarılı olsalar dahi optimizasyon aşamalarında zorluk yaşamaktadır. Zhang vd. 2017 yılında yaptığı çalışmada TextGAN diğer modellerin aksine pekiştirmeli öğrenme içermeden metin üretimi yapmıştır (Cao ve ark., 2017). Matt Kusner vd. 2016 yılında yayınladığı çalışmasında üretken rakip ağ üzerinde Gumbel-softmax dağılımı kullanarak parametrelerin farklılaşması engellenmiştir (Kusner ve ark., 2016). Böylelikle eğitimin hızı ve istikrarı artmıştır.

Türkçe üzerinde doğal dil işleme ile alakalı birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan sınıflandırma konusunu ele alan çalışmalar incelendiğinde;

2019 yılında Tarık Ş. vd. doğal dil işleme alanında kullanılmak üzere Türkçe veri seti oluşturma çalışması yayınlamıştır (Tarık ve ark., 2019). Metin B. tarafından yapılan çalışmada köşe yazarlarının ait olduğu yazarın tahmini için bigram ve trigram ile LZW algoritmasından yararlanılmıştır (Metin, 2019).

Üretken rakip ağlar ile veri çoğaltmayla ilgili çalışmalar incelendiğinde;

Antreas Antoniou vd. 2017 yılında yayınladığı çalışmasında veri artırmak için üretken rakip ağ kullanmıştır. Çalışmada kullandığı DAGAN ile sınıflandırmada başarı artışı gözlenmiştir (Antreas ve ark., 2018). Georgios Douzas vd. 2018 yılında normal dağılımlı olmayan veri seti üzerinde sınıflandırma problemini çözmek için üretken rakip ağ kullanmıştır. Çalışmada kullandığı cGAN ile sınıflandırma başarısını artırmıştır (Georgios ve ark., 2018).

Bu çalışmada üretken rakip ağlar kullanılarak normal dağılımlı olmayan bir veri seti üzerinde eksik sınıfa yönelik Türkçe metin üretimi işlemi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

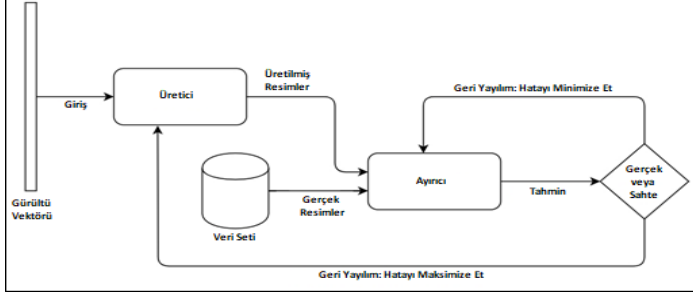
2.1. Üretken Rakip Ağlar

Üretken rakip ağlar bir makine öğrenmesi yöntemidir. İlk olarak 2014 yılında Ian Goodfellow vd. tarafından tanıtılmıştır (Goodfellow ve ark., 2014). Yapısı iki sinir ağının birbirine karşı çalışacak şekilde oluşturulmasından meydana gelmektedir. Bu iki ağ arasında sıfır toplamlı oyun Nash Dengesi (Maskin, 1999) vardır. Bunu bir ağın kazanması için diğerinin kaybetmesi gerekliliği gibi düşünülebilir. Her iki ağ aynı anda kazanamaz. Bu durumda toplam kazanç ve toplam kayıp toplamı sıfır çıkmalıdır. Zero-sum game problemleri min-max teoremi ile çözülmektedir (Gharesifard ve ark., 2013).

Modelin çalışma mantığından bahsetmek gerekirse, bir sinir ağı üretici diğer sinir ağı ise ayırıcı olarak adlandırılmaktadır. Bir ön eğitimden sonra üretici eğitim setinden öğrenmeye başlar ve bu öğrendiklerinden tahminlerde bulunur. Ayırıcı ise bu çıktıları eleyerek üreticiyi istenilen gerçeğe yakın çıktılara yönlendirmeye çalışır. Bunu sıcak soğuk oyunu gibi düşünürsek istenilen çıktıdan uzaklaşıldığında ayırıcı üreticiye soğuk şekilde geri bildirimde bulunur. Bu durumda üretici geri yayılım kullanarak hatasını minimize etmeye çalışır ve ağırlıklarını günceller. Diğer durumda ayırıcı üreticiden gelen çıktıların gerçeğe yaklaştığı fark eder ve bu durumda sıcak şekilde geri bildirimde bulunur. Üretici ise bu durumda kazancını maksimize etmeye çalışarak en

iyi sonuçları üretmek için geri yayılım kullanarak ağırlıklarını günceller.

Üretici gerçeğe yakın sonuçlar üretmeye başladığında ayırıcı üretilenler ve gerçek olanlar arasında ayırım yapmakta zorlanır. Bu durumda ayırıcı da kendi ağırlıklarını geri yayılım algoritması kullanarak günceller. Böylece üretilenler ve gerçek olanları ayırt etmede daha yetenekli olur.



Şekil 1. Üretken rakip ağlar için akış diyagramı.

Üretken rakip ağların yapısı algoritma ve akış diyagramından anlaşılabilir gibi bir gürültü vektörü ile başlar. Gürültü ile başladığında sistemin Nash dengesine gelmesi uzun sürebildiğinden veri setinin bir kısmından ön eğitim yapılabilir. Bu hem öğrenme süresini hızlandırır hem de sistemin kararlılığının artırır. Bu işlemden sonra küçük gruplar halinde çıktılar alınır ve ayırıcıya gönderilir. İki sinir ağına ağırlıkları geri yayılım ile güncellenir. Daha sonrasında sonuç olarak sistemin Nash dengesine ulaşması ve en gerçeğe yakın çıktılar üretmesi hedeflenir. Akış diyagramı Şekil 1'deki gibidir.

2.2. Uygulama

Bu çalışmada üretken rakip ağlar kullanılarak kendisine verilen haber metinlerinden yeni Türkçe metinler üretmek amaçlanmıştır. Kullanılan veri seti 2017'nin sonbaharında internet üzerindeki Türkçe haber sitelerinden toplanmış olup bu veri seti 3058 haber ve 832 bin 302 kelimedenden oluşmaktadır. Veri setinden bir kesit Tablo 1'de verilmiştir. Bu haberler iki kategoriye ayrılmıştır. Bu kategoriler anlamına göre olumlu haberler ve olumsuz haberler şeklindedir. Bu kategorileme sonucunda 2 bin 949 olumlu habere karşılık 109 olumsuz haber bulunmaktadır. Tahmin edileceği üzerine veri seti üzerindeki bu eşit olmayan dağılım sınıflandırmayı negatif olarak etkilemektedir.

Tablo 1. Haber metinlerinin ve sınıflandırma sonuçlarının bulunduğu veri setinden bir kesit.

No	Sınıf	Veri
61	Olumlu	Başkan'dan yeni yıl ziyaretleri Belediye Başkanı ilçedeki bankaların yöneticilerine yeni yıl ziyaretinde bulundu. Başkan yeni yıl ziyaretleri kapsamında İlçede faaliyet gösteren İşbank Müdürü, Garanti Bankası Müdürü, Vakıfbank Müdürü ve TEB Bankası Müdürünü ziyaret ederek 2018 yılını başarı dostluk ve mutluluk içerisinde geçmesini diledi

62	Olumsuz	Tünelden geçmedik çünkü... TRAFİK KİLİT AMA AVRASYA YİNE BOŞ M Avrasya Tiincli'nden geçişlerin beklenenin altında kalması İstanbul dünya trafik yoğunluğunda ilk 10'da yer almasına rağmen sürücüler neden tüneli tercih etmedi?' sorusunu gündeme getirdi. Gözler, tek yönde 16 TL'lik geçiş ücretine çevrildi. Tüneldeki ikinci krizi vatandaş şikayetleri ortaya koydu: M OGS'de para olmasına rağmen ceza yazıldı. M 'Plakaya ait ceza yoktur' yazısından üç gün sonra iki geçiş için 10 kat ceza kesildi. S/5
63	Olumlu	En çok dolar konuşuldu ama zirve borsanın Dünya ekonomisindeki toparlanma, 2018'de şirket karlarına, dolayısıyla borsa ve emtialara yarayacak Piyasalar, oynaklığın yüksek, sürprizlerin bol olduğu bir yılı daha geride bıraktı. Dolar çok konuşuldu ama 115 bin 840 puanla tüm zamanların en yüksek seviyesine çıkan Borsa Endeksi, yıllık yüzde47.6 ile 2017'nin getiri şampiyonu oldu. Eurodaki yükseliş yüzde 22.1 olurken dolardaki artış yüzde 7.5'te kaldı. Cumhuriyet altınındaki prim yüzde 20.9 olarak gerçekleşti. Yılın başında 1.000 TL'si olan için mevduatın getirisi 106 TL, tahvilin getirisi ise 123 TL olarak hesaplandı. Küresel ekonominin

Üretken rakip ağlar ile metin üretimi yapmak için birçok farklı metot kullanılabilir. Bu yöntemlerin uygulanan problem ve istenilen sonuca göre başarı oranları değişmektedir. Bu çalışmada sınıflandırma başarısını arttırmak ve test etmek için aşağıdaki metotlar kullanılmıştır.

Tensorflow kurulan yapay sinir ağına anlaşılabilirliğini artırarak tur sonrasında sonuçları incelemeye yardımcı olan basit bir matematik kütüphanesidir (URL-1, 2020). Bu çalışmada üretken rakip ağların kurulmasında Keras API kitaplıkları kullanılmıştır. Ayrıca büyük veri setlerinin eğitimi uzun süre almaktadır. Keras GPU destekli çalışmasından dolayı eğitim aşamasını kısaltmaktadır.

Uzun kısa süreli bellek (UKSB) özel bir TSA türüdür. Uzun kısa süreli bellek bilgileri uzun süre hatırlamak için kullanılır. UKSB hücreleri, lojik kapılar ile neyin saklanacağına neyin unutulacağına karar verir. Ağ şekli TSA biçimindedir. Her adımda bir cümledeki sonraki kelimeyi tahmin ederek eğitilirler. Yapısından dolayı zaman serili verilerde sınıflandırma ve tahmin konularına uygundur (URL-2, 2020).

N-gramlar unigram, bigram, trigram ve ngram olarak n adet kelime ya da harfin oluşturduğu sıralı dizilerdir. N-gramlar ile tekrar oranı bulunabilir. Çalışma mantığı istatistik ve olasılığa dayanmaktadır. Kendisinden önceki n-1 kelimeye bakarak Markov zincirlerinden yararlanır ve ardından gelecek kelimeyi belirlemeye çalışır (URL-3, 2020). Doğal dil işleme çalışmalarında n-gram modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada bigram ve trigram olarak ngram yöntemi analiz ve test aşamalarında kullanılmıştır.

Terim frekansı veri seti içerisinde bulunan kelimelerin sıklık oranlarını incelemek için kullanılır (URL-4, 2020). Ters belge frekansı yönteminde ise bu sıklık oranlarına göre bağlaçlar tespit edilip çıkartılarak daha başarılı eğitim amaçlanmıştır. Bu sayede en olumlu kelimeler ve en olumsuz kelimeler gibi bir sıralama yapılabilir.

Destek vektör makinesi (DVM) sınıflar arasına bir karar vektörü oluşturur. Destek vektör makinelerinde çekirdek fonksiyonları sayesinde birçok duruma uygun karar çizgileri çizilebilir. Burada veri seti olumlu ve olumsuz olmak üzere iki kategoriden oluşmaktadır. Olumlu ve olumsuz gruplar DVM ile bir optimal karar çizgisi ile ayrılabilir (URL-5, 2020).

Belirli bir sınıfın ya da durumun olasılığını modellemek için lojistik regresyon kullanılabilir (URL-6, 2020). Lojistik regresyonda her ögeye 0 ile 1 arasında toplamı bir olacak şekilde bir olasılık atanır ve bu ağırlığa göre verinin sınıflandırması yapılır.

Zemberek bir doğal dil işleme aracıdır. Türkçe üzerine özelleştirilmiştir ve metinlerin normalizasyon aşamasında kullanılır (URL-7, 2020).

Bu çalışmada kurulan üretken rakip ağ Python üzerinde hazırlanmıştır. İlk olarak veri seti hazırlık işlemleri yapılmıştır. Veri çiftleri ve bilgisi eksik hücreler var mı diye incelenmiştir. Haber verileri çekilirken hücrelere istenmeyen ögeler eklenip eklenmediğine bakılmıştır.

Öncelikle veri seti Sklearn kütüphanesi yardımı ile eğitim ve test veri seti olarak iki gruba ayrılmıştır. Test için % 30'luk kısım eğitim için % 70'lik kısım kullanılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının herhangi bir işlem yapılmadan önceki karmaşık matrisi Tablo 2'deki gibi dağılmıştır. Burada ana köşgende doğru sınıflandırılmış sonuçlar bulunmaktadır.

Tablo 2. Karışıklık matrisi dağılımı.

N = 918	Tahmin: 0	Tahmin: 1
Gerçek: 0	15	16
Gerçek: 1	4	883

Görüldüğü gibi test veri seti 918 haber metninin olumlu haberlerin doğru sınıflandırma oranı % 99,54904 iken olumsuz haberlerin doğru sınıflandırma oranı % 48,3871'de kalmaktadır. Buradaki olumlu haberlerin doğru sınıflandırılmasının olumsuz haberlerin doğru sınıflandırılmasına göre başarı oranındaki büyük farkın sebebi veri setinin normal dağılım göstermemesidir. Olumlu haberlerin sayısının olumsuz haberlere göre çok yüksek olması sınıflandırmayı doğrudan etkilemektedir.

Üretken rakip ağ modelinde üretici kısmında UKSB kullanılarak 128 düğüm içeren 3 katman oluşturulmuştur. Ayırıcı bölümünde ise sınıflandırma için DVM ve TF-IDF'ten yararlanılmıştır.

Eğitimde turlar sonrası en başarılı ağırlıklar not edilip bu ağırlıklardan daha iyiye yönlendirmeye çalışılmıştır. Üreticinin ürettiği bu metinler arasından veri setinin başarısızlığının ana sebebi olan olumsuz haberlerin sayıca eksikliği giderilmesi

sağlanmıştır. Yani üreticinin ürettiği metinler ayırıcıya yönlendirilip olumlu ya da olumsuz olduğu incelenmiştir. Olumsuz metinler ayrılarak bir kenarda saklanmıştır. Bu yeni üretilen olumsuz metinler Zemberek (URL-7, 2020)aracı ile normalizasyon çalışması geçirmiştir. Daha sonra bu metinler orijinal veri setine eklenerek eğitime devam edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İlk olarak yeni üretilmiş 50 olumsuz haber orijinal veri setine eklenmiştir. Üretilen bütün bu olumsuz haberler normalizasyon işlemi gördükten sonra herhangi bir kullanıcı düzenlenmesi olmadan veri setine eklenmiştir. Eklenmesi ile toplam haber sayısı 3108'e ulaşmıştır. Karar destek makinesi çekirdek fonksiyonu olarak 'linear' seçilip C katsayısı bir olarak tutulmuştur. Bunun üzerine alınan sınıflandırma başarı sonuçları not edilerek oluşturulan Tablo 3'te verilmiştir. Bu sınıflandırma işleminde cümlelerin içerdiği bütün kelimeler değerlendirmeye alınmış olup, bunların tamamı göz önüne alınarak cümlelerin sınıflandırma işlemi tamamlanmıştır.

Tablo 3. Elli olumsuz haberin eklenmesi sonucu karışıklık matrisi.

N = 933	Tahmin: 0	Tahmin: 1
Gerçek: 0	26	19
Gerçek: 1	3	885
Olumsuz Tahmin Yüzde	57,77778	
Olumlu Tahmin Yüzde	99,66216	

Yukarıdan da görüldüğü gibi 50 adet olumsuz haberin eklenmesi olumsuz tahmin başarı yüzdesinde yaklaşık % 9'luk bir artışa sebep olmuştur. Olumlu haber tahmin başarı yüzdesi ise % 0,11312'lik düşüş göstermiştir.

Yine kullanılan metot ile eğitime devam edilip yeni üretilen olumsuz haberler orijinal veri setine eklenmeye devam edilmiştir. Her yapılan eklemeden sonra alınan sonuçlar kaydedilmiştir. Toplamda 250 yeni olumsuz haberin eklenmesiyle oluşan karışıklık matrisi Tablo 4'teki gibidir.

Tablo 4. İki yüz elli olumsuz haberin eklenmesi sonucu karışıklık matrisi.

N = 996	Tahmin: 0	Tahmin: 1
Gerçek: 0	104	22
Gerçek: 1	1	869
Olumsuz Tahmin Yüzde	82,53968	
Olumlu Tahmin Yüzde	99,88506	

Eğitime devam edilip toplamda 250 yeni olumsuz haberin eklenmesinden sonra olumsuz haber tahmininde başarı oranı %82 seviyelerine ulaşmıştır. Olumlu haberlerde ise başarılı tahmin oranları devam etmektedir.

Eğitime devam edilip toplamda sırasıyla 750 ve 1750 yeni olumsuz haberin eklenmesiyle oluşan karışıklık matrisleri Tablo 5 ve Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 5. Yedi yüz elli olumsuz haberin eklenmesi sonucu karışıklık matrisi.

N = 1158	Tahmin: 0	Tahmin: 1
Gerçek: 0	260	33
Gerçek: 1	1	864
Olumsuz Tahmin Yüzde	88,7372	
Olumlu Tahmin Yüzde	99,88439	

Tablo 6. Bin yedi yüz elli olumsuz haberin eklenmesi sonucu karışıklık matrisi.

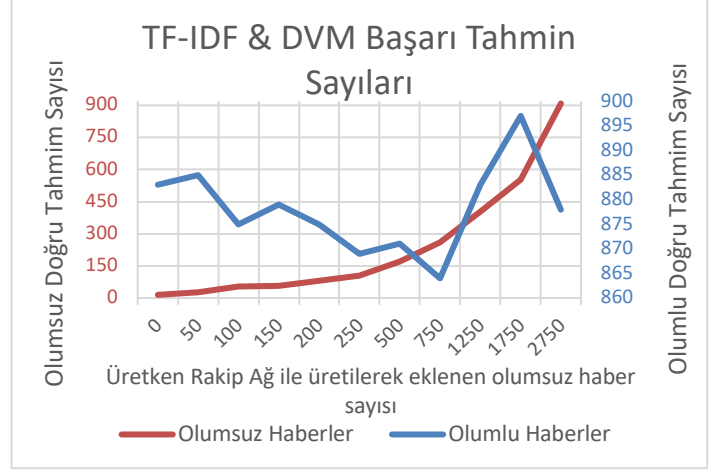
N = 1491	Tahmin: 0	Tahmin: 1
Gerçek: 0	553	40
Gerçek: 1	1	897
Olumsuz Tahmin Yüzde	93,25464	
Olumlu Tahmin Yüzde	99,88864	

Toplamda 2750 yeni olumsuz verinin üretilip eklenmesi sonucunda orijinal veri setindeki sınıf dengesizliği giderilmesi sağlanmıştır. Bu durumda oluşan yeni veri seti yaklaşık 6100 haberden oluşmaktadır. Eğitim sonucu alınan sonuçlarla oluşturulan karışıklık matrisi Tablo 7’de verilmiştir.

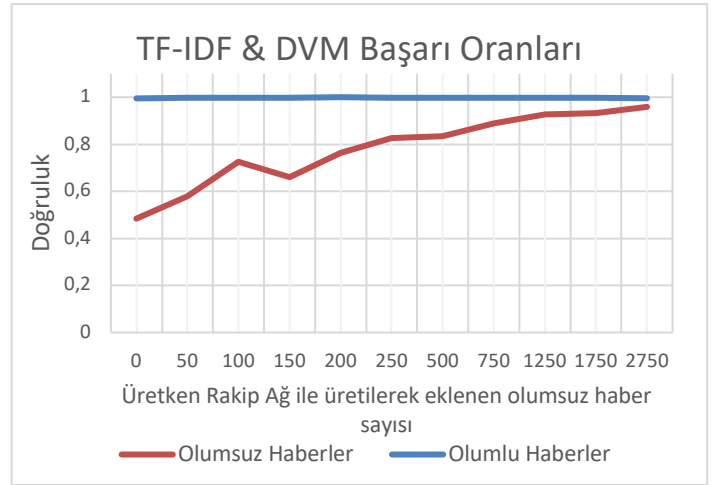
Tablo 7. İki bin yedi yüz elli olumsuz haberin eklenmesi sonucu karışıklık matrisi.

N = 1830	Tahmin: 0	Tahmin: 1
Gerçek: 0	909	39
Gerçek: 1	4	878
Olumsuz Tahmin Yüzde	95,88608	
Olumlu Tahmin Yüzde	99,54649	

Verilen çizelgelerden görüldüğü gibi veri setindeki eksik sınıfa ait metinlerin üretken rakip ağlar yöntemiyle üretilip sayıca sınıf eşitliği durumunun sağlanmasından sonra başarı oranı % 95,88608’e ulaştığı gözlenmiştir. Eğitimin her adımında alınan sonuçlar kaydedilmiş olup, başarılı tahmin sayıları ve başarılı tahmin oranları Şekil 2 ve Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 2. TF-IDF & DVM metodu ile eklenen olumsuz haber sayısına göre doğru sınıflandırılan haberlerin karşılaştırılması.



Şekil 3. TF-IDF & DVM metodu ile eklenen olumsuz haber sayısına göre doğru sınıflandırma oranları.

Görüldüğü gibi eğitim sonrasında olumsuz haberlerin doğru tahmin etme oranı yaklaşık % 47 artar iken olumlu haberlerin doğru tahmin etme oranında gözle görülür bir azalış olmamıştır. Üretken rakip ağların metin üretimindeki başarısı sonuçta olumlu bir etkiye sahip olmuştur.

Aşağıda üretken rakip ağ ile üretilen metinlerden birkaç örnek verilmiştir:

“buna hakkınız da yok yaşlı adam parayı cumhuriyet altında bir kapat kardı konusu bir yapılan bu karşılığı konusu bir yönetim ve istanbul bankasından alacakları ile”

“reddedi istanbul 4 asliye hukuk mahkemesinde bulunan subesi ve iş bankası da krediyi yakın izlemeye aldı garanti bankasının geri alındı”

“konu devlet meselesi değil memleket merkezi ve markaralara bir gidin başkanı belirtirleri dolan yer yaptığını bir türk heyeti alacakları ile”

“büyük darbeyi borsa vurdu rekor üstüne de kuruluyor bankalar bankası bir yıldan uzun yüzde 1,5 artış ile”

Olumlu ve olumsuz sınıfa ait cümleler incelenmiş olup TF-IDF metodu ile sıklık oranları belirlenip en olumlu ve en olumsuz kelimeler sıralanabilir. Bu sıralamada veri setinin hazırlandığı 2017 sonbaharındaki haberlerin belirleyici etkisi olmuştur. Örnek olarak en olumlu beş kelime ve en olumsuz beş kelime aşağıda verilmiştir.

En olumlu beş kelime;

“finansal, türkiye, dijital, yeni, en”

En olumsuz beş kelime;

“telekom, karar, yakın, müdürü, bankası”

4. Sonuç

Türkçe doğal dil işleme çalışmalarındaki problemlerden birisi de etiketli veri kümesi bulma zorluğudur. Bunun yanı sıra bulunan veri kümelerinde sınıflarının eşit dağılımlı olmaması da olağandır. Bu çalışmada üretken rakip ağlar ile Türkçe metin üretimi süreci yapılmıştır. Üretken rakip ağlar ile Türkçe dilinde başarılı şekilde Türkçe metinler üretilebileceği görülmüştür. Burada üretilen metinler normal dağılım göstermeyen bir veri seti üzerinde uygulanarak sınıflandırma başarısını artırılmıştır.

Hiçbir ekleme yapılmadan ki durumdan ve üretken rakip ağlar ile eksik sınıfa ait verilerin üretilip eklenmesiyle dengelenme durumunda sınıflandırma başarısı yaklaşık % 47 oranında artırılmıştır. Bu da üretilen metinlerin başarılı olduğunu göstermektedir. Üretken rakip ağlar ile üretilen metinlerin çıktılarının bir normalizasyon işlemi görmesi sonrasında gerçek konuşma diline yakın anlamlı cümleler oluşabildiği görülmüştür.

Kaynakça

- Michie D., Spiegelhalter D. J. & Taylor C. C. (1994). Machine learning. *Neural and Statistical Classification*, (13.1994), 1-298.
- Ayon D. (2016). Machine learning algorithms: a review. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, (7.3), 1174-1179.
- Xiaojin Z. (2005). Semi-Supervised Learning Literature Survey. *CS Technical Reports University of Wisconsin-Madison*.
- Jun S. & Hideki I. (2008). Semi-Supervised Sequential Labeling and Segmentation using Giga-word Scale Unlabeled Data. *Proceedings of ACL-08 HLT*, 665-673.
- Goodfellow I. J., Pouget-Abadie J., Mirza M., Xu B., Warde-Farley D., Ozair S., Courville A. & Bengio Y. (2014). Generative Adversarial Nets. *Advances in Neural Information Processing System (NIPS)*, 2672-2680.
- Zhang H., Xu T., Li H., Zhang S., Wang X., Huang X. & Metexas D. N. (2019). StackGAN++: Realistic Image Synthesis with Stacked Generative Adversarial Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, (41.8), 1947-1962.
- Santhanam S. (2018). Context Based Text-Generation Using Lstm Networks. *Conference: Artificial Intelligence International Conference A2IC*.

- Wang W. Y., Singh S. & Li J. (2019). Deep Adversarial Learning for NLP. *Proceedings of NAACL HLT*, 1-5.
- Che T., Li Y., Zhang R., Hjelm R., Li W., Song Y. & Bengio Y. (2017). Maximum-Likelihood Augmented Discrete Generative Adversarial Networks.
- Guo J., Lu S., Cai H., Zhang W., Yu Y. & Wang J. (2017). Long Text Generation via Adversarial Training with Leaked Information. *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*.
- Yu L., Zhang W., Wang J. & Yu Y. (2017). Long Text Generation via Adversarial Training with Leaked Information. *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*.
- Lin K., Li D., He X., Zhang Z. & Sun M. (2017). Adversarial Ranking for Language Generation. *Advances in Neural Information Processing System (NIPS)*.
- Fedus W., Goodfellow I. & Dai A. (2018). Maskgan: Better Text Generation Via Filling In The _____. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*.
- Cao Y., Zhou Z., Zhang W. & Yu Y. (2017). Unsupervised Diverse Colorization via Generative Adversarial Networks.
- Kusner M. & Hernandez-Lobato J. (2016). GANS for Sequences of Discrete Elements with the Gumbel-softmax Distribution.
- Şahin T., Demir Ö. & Yıldız K. (2019). Doğal Dil İşleme Uygulamaları İçin Türkçe Veri Seti Oluşturulması. *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, (1.2), 51-57.
- Bilgin M. (2019). Türkçe Metinlerin Sınıflandırma Başarısını Artırmak İçin Yeni Bir Yöntem Önerisi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, (24.1), 125-136.
- Antreas A., Amos S. & Harrison E. (2018). Data Augmentation Generative Adversarial Networks. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- Georgios D. & Fernando B. (2018). Effective data generation for imbalanced learning using conditional generative adversarial networks. *Expert Systems with Applications*, 464-471.
- Maskin E. (1999). Nash Equilibrium and Welfare Optimality. *The Review of Economic Studies*, (66.1), 23-38.
- Ghahesifard B. & Cortes J. (2013). Distributed convergence to Nash equilibria in two-network zero-sum games. *Automatica*, (49.6), 1683-1692.
- URL-1, (2020). Neden TensorFlow. Erişim Tarihi: 15.12.2020. Erişim Adresi: <https://www.tensorflow.org/about> .
- URL-2, (2020). Long short-term memory. Erişim Tarihi: 15.12.2020. Erişim Adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Long_short-term_memory .
- URL-3, (2020). N-gram. Erişim Tarihi: 15.12.2020. Erişim Adresi: <https://en.wikipedia.org/wiki/N-gram> .
- URL-4, (2020). TF-IDF/Term Frequency Technique. Erişim Tarihi: 15.12.2020. Erişim Adresi: <https://medium.com/analytics-vidhya/tf-idf-term-frequency-technique-easiest-explanation-for-text-classification-in-nlp-with-code-8ca3912e58c3> .
- URL-5, (2020). Support vector machine. Erişim Tarihi: 15.12.2020. Erişim Adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Support_vector_machine .
- URL-6, (2020). Logistic regression. Erişim Tarihi: 15.12.2020. Erişim Adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic_regression .
- URL-7, (2020). Zemberek-NLP. Erişim Tarihi: 15.12.2020. Erişim Adresi: <https://github.com/ahmetaa/zemberek-nlp> .

Not

Bu çalışmada 2020 yılında Barış Gücük tarafından sunulan “Üretken Rakip Ağlar ile Türkçe Metin Üretimi” isimli tezden üretilmiştir.



The Effect of Salt Stress on Root Development and Architecture in Common Grasspea (*Lathyrus sativus* L.)

Harun Bektas^{1*}

^{1*} Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology, Siirt, Turkey; (ORCID: 0000-0002-4397-4089); bektasharun@gmail.com

(First received 30 January 2021 and in final form 23 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.871122)

ATIF/REFERENCE: Bektas, H., (2021). The Effect of Salt Stress on Root Development and Architecture in Common Grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *European Journal of Science and Technology*, (23), 793-799.

Abstract

Plant root development and architecture are experiencing a period of increased interest due to climate change and increasing drought stress pressure. It is known that root has a 3-dimensional and complex developmental system, just like above-ground organs. Determination of abiotic stress factors affecting root architecture and development in forage legume species is essential for developing abiotic stress-tolerant cultivars and sustainable agricultural production. In this study, it was aimed to investigate the effect of 0- to 300 mM salt (NaCl) doses on early root development, root architecture, and endosperm usage ratios in two different common grasspea cultivars (*Lathyrus sativus* L.) with known basic developmental differences. As a result of the study performed with the modified cigar-roll technique, it was observed that in general, 100 to 150 mM and above doses inhibit root growth. The number and length of roots are affected parallel to each other. It was observed that the genotypic differences between the cultivars for the measured parameters related to root development were also reflected in the results. Different cultivars had different levels of tolerance, and the total number and length of roots affect the salt stress inhibition. As a result of the stress encountered in the seedling stage, it was observed that the seed endosperm usage ratio decreased up to 4-fold. It has been observed that evaluation of salt stress tolerance at the seedling stage may shed light on genotypic differences for germination and early development speed, and maybe important for earliness.

Keywords: Root architecture; forage legume; NaCl; lateral root development; endosperm usage ratio.

Yaygın Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) Bitkisinde Tuz Stresinin Kök Gelişimi ve Mimarisine Etkisi

Öz

Bitki kök gelişimi ve mimarisi iklim değişimi ve artan kuraklık baskısı nedeniyle artan bir ilgi ve önem dönemi yaşamaktadır. Kök gelişiminin aynı toprak üstü organların gelişiminde olduğu gibi, 3 boyutlu ve kompleks bir gelişim sistemi olduğu bilinmektedir. Baklagil yem bitkisi türlerinde kök mimarisi ve gelişimini etkileyen abiyotik stress elementlerinin belirlenmesi, abiyotik strese toleran çeşit geliştirilmesi ve sürdürülebilir tarımsal üretim açısından elzemdir. Bu çalışmada temel gelişimsel farklılıkları bilinen iki farklı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) çeşidinde 0-300 mM arası tuz (NaCl) uygulamasının erken dönem kök gelişimi ve kök mimarisine etkisi ve endosperm kullanım oranının incelenmesi amaçlanmıştır. Modifiye cigar-roll tekniği ile yapılan çalışma sonucunda, genel olarak 100-150 mM ve üstü dozlarının kök gelişimini inhibe ettiği, kök sayısı ve uzunluklarının birbirine paralel düzeyde etkilendiği görülmüştür. Kök gelişimi ile ilgili ölçülen parametreler açısından çeşitler arası genotipik farklılıkların, sonuçlara da yansıdığı görülmüştür. Farklı çeşitlerin, farklı düzeylerde toleranslarının olduğu, toplam kök sayısı ve uzunluğunun tuz stresinin etkisini belirgin bir şekilde yansıttığı anlaşılmıştır. Erken dönemde karşılaşılan stress sonucunda tohum endosperm kullanım oranının 4 kata kadar düştüğü görülmüştür. Fide aşamasında tuz stresi toleransı gözleminin çimlenme ve gelişme hızı açısından genotipik farklılıklara ışık tutabileceği ve erkencilik açısından önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kök mimarisi; baklagil yem bitkisi; NaCl; lateral kök gelişimi; endosperm kullanım oranı.

1. Introduction

Forage crops constitute one of the most important parts of animal production and affect end-user prices significantly (Özyazıcı & Açıkbaş, 2019a). Common grasspea (*Lathyrus sativus* L.) is a legume forage plant used in human and animal nutrition (Ahmadi et al., 2015), tolerant to diseases and pests (Talukdar & Biswas, 2008), and grown for both forage and grain yield (Özyazıcı & Açıkbaş, 2019b). Grasspea has a known tolerance to drought, cold and moderate salt stress and can be cultivated in diverse climate and soil conditions (Noto et al., 2001; Talukdar, 2011a).

Abiotic stress factors directly threaten food safety and affect production all over the world (Yavaş & İlker, 2020). Salt stress, one of the abiotic stress factors, is an important problem limiting plant growth, yield, and quality in agricultural production (McMaster & Wilhelm, 2003). As a result of the accumulation of salt ions in the soil, ion toxicity causes ion imbalances and consequently has negative effects on the yield and quality of the plant growth (Kwon et al., 2019). Besides, the photosynthesis capacity of plants grown in salty conditions decreases depending on the stress level, duration, plant age, and species (Najar et al., 2019). Each plant species reacts differently to salt stress. Sometimes significant differences can arise even between the cultivars of a plant species (Almansouri et al., 2001).

It is known that salt stress affects germination significantly and even completely prevents germination depending on the amount of salt in the soil. It is stated that the most sensitive growth stage to salt stress is germination (Ahmad et al., 2013). It is extremely important that the roots, which are one of the most important parts of the plants, are also significantly affected by salt stress and that the plant has an effective root system for its development.

The effects of salt stress on root architecture in leguminous plants have been demonstrated in some studies (Ariel et al., 2010; Egamberdieva et al., 2017). However, there were no previous reports on the effect of salt stress on common grasspea seedling development and root architecture. In this context, it is thought that this preliminary study may form the basis of future studies. Therefore, this study aimed to evaluate two different common grasspea cultivars for salt stress tolerance with a specific perspective on root development, architecture, and endosperm usage ratio.

2. Material and Method

2.1. Plant Materials and Growth Conditions

The study was planned to examine the root architectures of common grasspea cultivars under salt stress. It was established in the Laboratory of the Department of Agricultural Biotechnology in Siirt University, in 2020. Common grasspea (*Lathyrus sativus* L.) cultivars Gürbüz-2001 and GAP mavisı were used as plant materials in the study. The temperature was ranged between 25-27 ° C and the humidity level was 60-70% as controlled conditions. The study was established according to randomized complete blocks design (RCBD) with three replications and nine plants per replication. The experiment was set up on November 5, 2020, and was terminated on the 15th day to examine the early development stages.

Seed surface sterilization was carried out in 70% ethyl alcohol (C₂H₅OH) and then in 5% sodium hypochlorite (NaClO) for 5 minutes each. The sterilized seeds were rinsed under running water for 1 minute. The seeds were imbibed in water for 24 hours to allow the seeds to germinate homogeneously. The seeds showing homogeneous germination were placed between the germination papers (40 x 40 cm) as 3 seeds per set (with 10 cm intervals). Germination papers were turned into cigar rolls and placed in cylindrical containers and left to grow for fifteen days (Zhu et al., 2005). The control treatments had no salt, while salt-treated applications had 50, 100, 150, 200, 250, and 300 mM NaCl concentrations. The amount of water in each container was at the same level and each set received specified salt doses. The experiment was completed at the end of the 15th day and root and shoot growth parameters were measured. To examine the endosperm usage ratio of cultivars under different salt doses, dry seeds were weighted individually before and after the experiments.

2.2. Root Trait Measurements

Root samples were scanned in color scale at 600 DPI with a handheld scanner (Iscan Color Mini Portable Scanner). Root images were analyzed using ImageJ (imagej.nih.gov; Schneider et al., 2012) software. In the study, pre-experimental dry seed weight (PreSW), post-experimental dry seed weight (PostSW), shoot length (SL), number of roots (NOR), total root length (TRL), mean total root length (MeanTRL), taproot length (TapRL), number of lateral roots (NLR), total lateral root length (LRL) and mean lateral root length (MeanLRL) parameters were examined (Bektas and Waines, 2020).

2.3. Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using Statistix 10 software (Analytical Software; Tallahassee, FL, USA) to measure the variation within and between the cultivars with two-way variance analysis (ANOVA). Variance groupings were made using the Least significant Difference (LSD) tests (Steel et al., 1997). Relationships between parameters were examined with Pearson simple correlation analysis.

3. Results and Discussion

The effects of salt stress on early root and shoot development in common grasspea cultivars were examined in this study. Two different common grasspea cultivars with different growth characteristics (Özyazıcı & Açıkbaş, 2019b) were selected (Table 1) for the evaluation. The developmental variation observed between cultivars was effective in salt tolerance levels (Figure 1 and Table 2). According to variance analysis, the effect of seven different salt doses on root development of common grasspea cultivars was significant. Different response levels of the cultivars to salt doses and the cultivar x salt dose interactions were found statistically significant at the p < 0.05 level (Table 2 and 3).

Each cultivar had different salt stress tolerance levels at the seedling stage. As the salt dose increased, GAP Mavisı started to be affected at 100 mM salt dose, while Gürbüz-2001 was affected at 150 mM salt dose in terms of total root lengths. It was determined that 0 and 50 mM salt doses did not have a significant effect on root development in both cultivars (Table 2). Total root lengths were determined as 114.57 cm in GAP Mavisı and 114.02 cm in Gürbüz-2001 in the control group. At the highest salt dose (300 mM), the total root length in GAP Mavisı was decreased to

11.05 cm and in Gürbüz-2001 to 9.58 cm (Figure 1). Previous reports suggest weakened above and below ground growth in common grasspea due to salt stress (Talukdar, 2011b; Tsegay and Gebreslassie, 2014). The results of this study suggest that cultivars react to salt stress at different levels and different doses (Figure 1), possibly due to differences in root architecture and

various above-ground characteristics. Previously known above and below ground growth differences between these two cultivars were also effective in salt tolerance levels (Data not shown). Determination of the variation in salt stress tolerance within the species could contribute to the development of new cultivars for the specific needs of the salinity-affected regions.

Table 1. Descriptive statistics for the number of roots (NOR), number of lateral roots (NLR), total root length (TRL), lateral root length (LRL), taproot length (TapRL), mean total root length (MeanTRL; TRL/NOR), mean lateral root length (MeanLRL; LRL/NLR), seed weight before (PreSW) and after the experiment (PostSW), root thickness (RT) and shoot length (SL)

	Cultivar	NLR	TRL	LRL	Tap RL	Mean TRL	Mean LRL	PreSW	PostSW	RT	SL
Mean	GAP Mavisi	16.76	61.78	40.31	21.41	3.29	2.11	0.14	0.08	0.17	31.05
	Gürbüz-2001	16.19	56.57	35.14	21.45	2.96	1.69	0.15	0.10	0.16	29.20
SD	GAP Mavisi	12.37	47.73	41.05	9.98	2.88	2.85	0.02	0.05	0.03	11.41
	Gürbüz-2001	12.19	43.99	36.21	10.44	1.84	1.31	0.02	0.05	0.02	12.65
Variance	GAP Mavisi	152.89	2278	1685	99.54	8.28	8.12	0.00	0.00	0.00	130.22
	Gürbüz-2001	148.65	1936	1311	108.90	3.38	1.71	0.00	0.00	0.00	160.06
SE Mean	GAP Mavisi	1.62	6.27	5.39	1.31	0.38	0.37	0.00	0.01	0.00	1.50
	Gürbüz-2001	1.60	5.78	4.75	1.37	0.24	0.17	0.00	0.01	0.00	1.66
C.V.	GAP Mavisi	73.78	77.26	101.83	46.61	87.43	135.25	17.01	59.28	15.33	36.75
	Gürbüz-2001	75.31	77.77	103.05	48.65	62.08	77.22	13.66	52.60	14.23	43.33
Minimum	GAP Mavisi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.02	0.11	4.00
	Gürbüz-2001	0.00	4.23	0.00	4.23	0.00	0.00	0.10	0.02	0.07	3.50
Maximum	GAP Mavisi	54.00	212.1	186.08	36.91	21.21	20.68	0.21	0.22	0.23	52.00
	Gürbüz-2001	52.00	187.1	161.29	39.12	9.04	4.81	0.22	0.23	0.20	57.00

SD: Standard deviation, SE Mean: Standard error mean, C.V.: Coefficient of variation

When the total lateral root length was examined, the highest values were found in the control group (GAP Mavisi 85.28 cm, and Gürbüz 79.06 cm). It was determined that the differences between the control group and 50 mM in GAP Mavisi and 100 mM salt dose in Gürbüz-2001 were not significant. Each cultivar was affected differently depending on the salinity level (Figure 1 and Table 2). The first significant effect of salt stress was seen at 150 mM salt dose (Table 3). It is reported that the effect of salt stress on the plant varies according to the dose applied, the time elapsed after salt exposure, and the species (Hasanuzaman et al., 2013; Özkorkmaz and Yılmaz, 2017). According to the results of the current study, 150 mM salt dose was the critical threshold for both cultivars tested, and plant growth values decreased significantly above this dose. Since this is a preliminary study that examines the early seedling development period, it may be useful to control the upper limit of tolerance in further growth stages and different growth conditions. While 150 mM is a significant limiting threshold in semi-hydroponics culture (Tables 2 and 3), lower or higher doses may be effective in the solid growth medium, such as sand, vermiculite, perlite, or field conditions. Even under field conditions, sowing practices affect avoidable salt and other abiotic stresses (Akdağoğlu et al., 2020). Therefore, there is a need for the evaluation of salt stress tolerance under various growth scenarios. It is planned to examine salt stress and root development interactions under field conditions with the shovelomics technique (Colombi et al., 2015; BurrIDGE et al., 2016).

It was observed that the taproot lengths of the cultivars evaluated were not significantly different between control and 50 mM doses, and two constituted the first group (Table 2). The highest values were determined in Gürbüz-2001 as 34.95 and 32.95 cm in the control group and in 50 mM dose, respectively. The lowest values were determined as 10.57 cm in GAP Mavisi and 9.70 cm in Gürbüz-2001 at 300 mM salt dose. Even though 300 mM had the lowest values for taproot lengths, the values obtained at 250 mM dose were not significantly different from the highest dose. This similarity suggests that, after a certain threshold, plants can only grow to a limited size. In this parameter, the first significant effect of salt stress was observed at 100 to 150 mM salt doses (Figure 1 and Table 2). It was observed that 100 and 150 mM had a similar effect on root development, a similar observation was also seen between 250 and 300 mM doses. Here, 250 mM and above was perceived as a very high dose for common grasspea taproot initiation, and the taproot remained at one-third of the size compared to optimum development (control group). High levels of salt stress not only restricted lateral roots, but also the taproot, and as a result, the taproot remained very short compared to normal growth. The shortened taproot may cause the plant to have limited access to deep water layers in the soil during summer droughts and the plant may not survive the dry season. As a result, even short-term salt stress may cause the plant to fall behind its survival potential. Salt stress at early growth stages may have a limiting effect on plant productivity and product quality (Koca et al., 2007).

Mean lateral root length highlights, plant's overall ability in rooting. It was determined that the least affected cultivar was the GAP Mavisi with a mean lateral root length of 4.49 cm at 100 mM salt dose. The control group and 100 mM dose were statistically in the same group for GAP Mavisi. Depending on the effect of salt, the lowest mean lateral root length values were obtained in Gürbüz-2001 with 0.62 cm at 250 mM salt dose, and in both cultivars at 300 mM salt dose (Tables 2 and 3). The mean lateral root length is a parameter that reveals the rooting potential of the plant in terms of number and length. The decrease in the mean value from 4.49 cm to 0.62 cm indicates that the plants'

photosynthesis, respiration, and carbon circulation are significantly interrupted under salt stress. The negative interactions of the seed's final weight with the increased salt dose also shown that even the stocks in the endosperm cannot be used under salt stress. There was a 4-fold difference in seed final weight between control and 300 mM dose.

Although it is known that salt stress affects plant growth negatively, there is no study reporting its effect on the seedling root architecture of common grasspea. Talukdar (2011a) reported that low salt doses had a similar effect on root growth and higher doses led to a significant inhibition.

Table 2. Genotype x dose interactions for the cultivars GAP Mavisi and Gürbüz-2001 for total root length (TRL), lateral root length (LRL), taproot length (TapRL), mean lateral root length (MeanLRL; LRL/NLR), root thickness (RT), shoot length (SL), number of roots (NOR), number of lateral roots (NLR) and seed weight after the experiment (PostSW)

Dose	Genotype	TRL	LRL	TapRL	Mean LRL	RT	SL	NOR	NLR	Post SW
0	GAPMavisi	114.57 a	85.28 a	29.30 a-c	3.20 ab	0.19 a	40.78 ab	31.11 a	30.11 a	0.04 fg
	Gürbüz-2001	114.02 a	79.06 ab	34.95 a	3.05 a-c	0.17 a-d	44.53 a	27.27 ab	26.27 ab	0.03 g
50	GAPMavisi	94.45 ab	63.28 ab	30.78 ab	2.50 b-d	0.18 ab	37.22 a-c	26.56 ab	25.56 ab	0.05 e-g
	Gürbüz-2001	89.34 ab	56.87 bc	32.59 a	2.58 b-d	0.16 b-d	37.69 a-c	24.52 ab	23.51 ab	0.10 b-d
100	GAPMavisi	77.61 bc	56.15 bc	21.45 d-f	4.49 a	0.17 a-c	35.83 a-c	15.11 c-e	14.11 c-e	0.07 d-f
	Gürbüz-2001	93.43 ab	67.76 ab	25.68 b-d	2.52 b-d	0.17 a-d	31.35 c-e	25.67 ab	24.67 ab	0.08 c-e
150	GAPMavisi	57.83 cd	34.13 cd	23.69 c-e	1.62 b-e	0.16 b-d	33.17 b-d	20.56 bc	19.56 bc	0.08 c-e
	Gürbüz-2001	35.61 de	16.94 de	18.64 e-g	1.48 b-e	0.16 b-d	26.17 d-f	11.00 d-f	10.00 d-f	0.11 bc
200	GAPMavisi	30.14 e	13.98 de	16.16 f-h	1.01 c-e	0.15 cd	23.00 e-g	11.67 d-f	10.67 d-f	0.10 b-d
	Gürbüz-2001	34.27 de	15.64 de	18.66 e-g	0.87 de	0.17 a-d	26.10 d-g	18.67 b-d	17.67 b-d	0.12 ab
250	GAPMavisi	19.62 e	6.53 e	13.11 h	0.74 de	0.17 a-d	19.28 fg	8.47 ef	7.61 ef	0.15 a
	Gürbüz-2001	19.02 e	7.95 e	11.10 h	0.62 e	0.16 b-d	20.78 fg	9.78 ef	8.78 ef	0.13 ab
300	GAPMavisi	11.05 e	0.55 e	10.57 h	0.21 e	0.17 a-d	21.53 fg	4.21 f	3.2 f	0.10 b-d
	Gürbüz-2001	9.58 e	0.39 e	9.70 h	0.11 e	0.14 d	16.95 g	2.71 f	1.7 f	0.13 ab

Means followed by different letters within columns are different according to the least significant difference (LSD) test at p< 0.05

Although the effect of salt stress on root thickness in common grasspea was statistically significant, it was observed that it followed a fluctuating as higher doses were applied. While the highest value was determined in the control group as 0.19 cm in GAP Mavisi, the lowest value was found in Gürbüz-2001 as 0.11 cm at 300 mM salt dose (Table 2). Although the effect of root thickness by salt dose was significant between control and 300 mM, no dose-dependent interaction was observed. The reason for this may be the small number of cultivars or the duration of the experiment or some other complex interaction. The extent to

which the root diameter changes according to environmental conditions, the level of inheritance, and its effects on this parameter should be revealed with comprehensive studies. No similar studies were found in common grasspea or related species.

Shoot length variation under salt stress is also evaluated for two cultivars. Gürbüz-2001 was the least affected in the control group with a value of 44.53 cm. Along with this cultivar, the GAP Mavisi had a gradual decrease in shoot length as the salt dose increased. There were significant, but relatively small reductions between control, 50, and 100 mM doses (Figure 1). The salt doses

Table 3. The effect of salt dose in mean values for total root length (TRL), lateral root length (LRL), taproot length (TapRL), mean total root length (MeanTRL; TRL/NOR), mean lateral root length (MeanLRL; LRL/NLR), root thickness (RT), shoot length (SL), number of roots (NOR), number of lateral roots (NLR), and seed weight after the experiment (PostSW)

Dose	TRL	LRL	TapRL	Mean TRL	Mean LRL	RT	SL	NOR	NLR	Post SW
0	114.29 a	82.17 a	32.12 a	4.25 a	3.12 a	0.18 a	42.65 a	29.19 a	28.19 a	0.03 d
50	91.9 b	60.07 b	31.68 a	3.74 a	2.54 ab	0.17 ab	37.46 ab	25.54 ab	24.54 ab	0.08 c
100	85.52 b	61.95 b	23.57 b	4.49 a	3.5 a	0.17 ab	33.59 bc	20.39 bc	19.39 bc	0.08 c
150	46.72 c	25.54 c	21.17 bc	3.19 ab	1.55 bc	0.16 b	29.67 cd	15.78 c	14.78 c	0.09 bc
200	32.2 cd	14.81 cd	17.39 c	2.16 bc	0.94 c	0.16 b	24.53 de	15.17 cd	14.17 cd	0.11 b
250	19.32 de	7.24 cd	12.11 d	1.64 c	0.68 c	0.16 ab	20.03 e	9.12 de	8.2 de	0.14 a
300	10.32 e	0.24 d	10.12 d	1.8 bc	0.16 c	0.16 b	19.24 e	3.46 e	2.45 e	0.12 ab

Means followed by different letters within columns are different according to the least significant difference (LSD) test at p<0.05

showed different effects on the cultivars in terms of shoot growth. While salt showed its first significant effect on Güzbüz-2001 at 100 mM, it started to affect GAP Mavisi at 150 mM (Table 2) in shoot length. The sharpest effect of salt stress was observed in Gürbüz-2001 with a value of 16.95 cm shoot length at 300 mM dose. Considering that the shoot and root growth are significantly correlated (Bektas, 2015), and root growth is significantly affected from 100 to 150 mM doses, shoot growth is followed a similar trend.

When the cultivars were evaluated for the total number of roots, the highest mean values were found in GAP Mavisi with

31.11 roots per plant in the control group. The lowest values were determined as 4.21 and 2.71 under 300 mM salt dose. The first significantly limiting salinity level was 100 mM for GAP Mavisi and 150mM for Gürbüz-2001 (Figure 1 and Table 2). Increasing salt dose is thought to inhibit lateral root development and root differentiation from root epithelial cells. This directly effects features that determines the fate of the plant in both water and mineral uptake, such as total root length. Evaluation of the number and length of roots of a cultivar under salt stress is important to reveal the performance of the plant under stress, even though each genotype has a genetic potential for the number of roots.

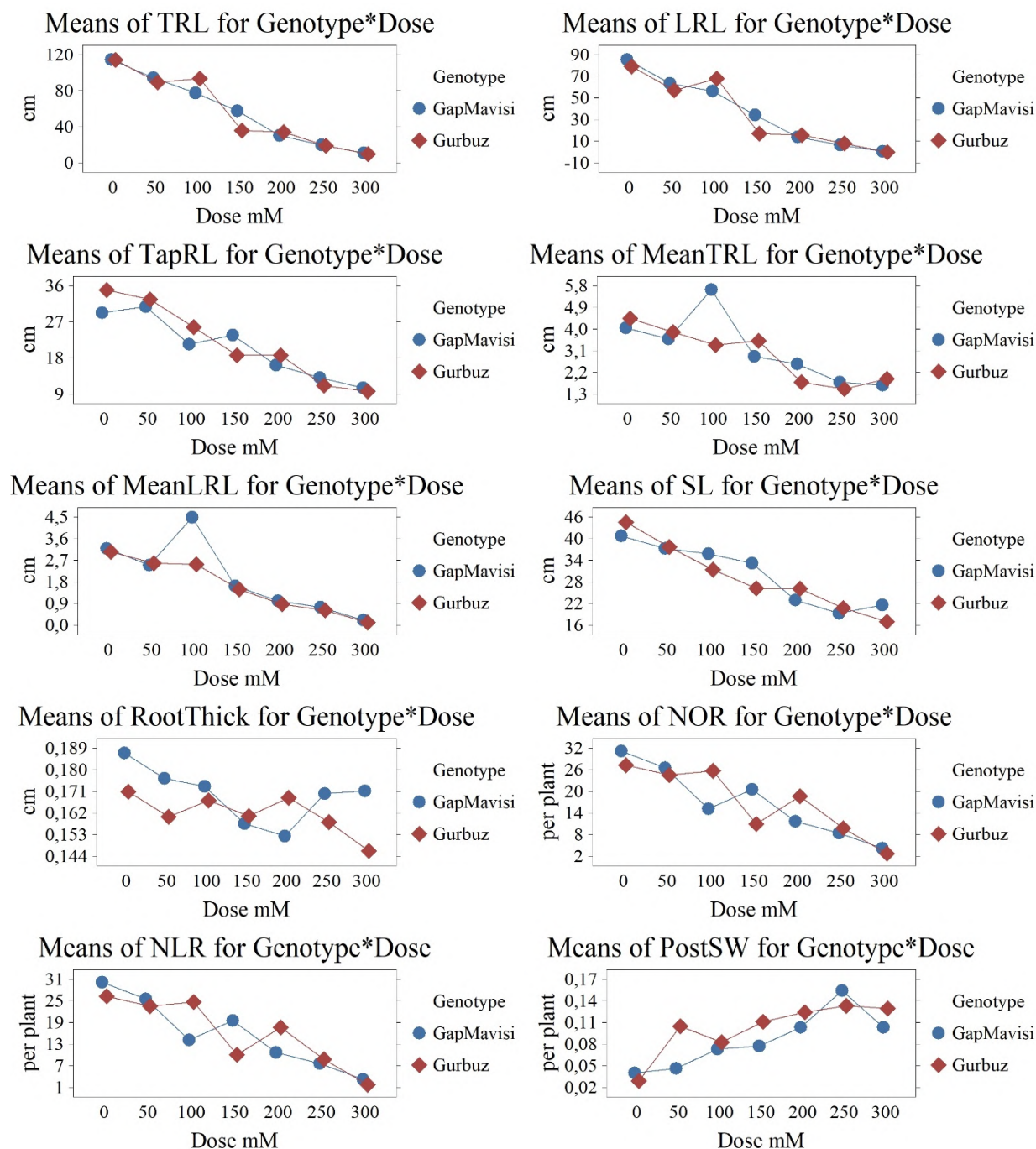


Figure 1. Changes in mean values for total root length (TRL), lateral root length (LRL), taproot length (TapRL), mean total root length (MeanTRL; TRL/NOR), mean lateral root length (MeanLRL; LRL/NLR), shoot length (SL), root thickness (RT), number of roots (NOR), number of lateral roots (NLR), and seed weight after the experiment (PostSW)

The effects of salt stress on the number of lateral roots in common grasspea cultivars were observed at a salt dose of 150 mM for Gürbüz-2001, while it was observed at 100 mM dose in GAP Mavisi (Figure 1 and Table 2). Although no similar studies were investigating the relationship between root architecture and salt stress, Önal Aşçı and Zambı (2020), stated that salt doses up to 150 mM negatively affected root biomass, number of leaves, and above-ground biomass in pea (*Pisum sativum* L.). Considering that root biomass and the number of roots is two correlated traits, the results in this study were comparable with the previous report.

Pre (PreSW) and post-experimental dry seed weights (PostSW) were also examined in this study. It was seen that the PostSW was increased as the salt dose increased and the highest PostSW values were at 250 mM and 300 mM salt doses (Table 2). The lowest values were found in the control group. According to these data, it was concluded that the endosperm usage ratio was reduced due to increasing salt doses. Under salt stress, the seedlings could not use the endosperm stocks and as a result, early root development progressed slowly. Similar results were observed in both cultivars with very similar pre-experimental seed weights (Figure 1). A similar study in another legume species

(*Pisum sativum arvense*) has been shown to have different endosperm utilization rates (Semih Acikbas, personnel communication) between cultivars during the same growth day. However, the endosperm utilization rates of different cultivars under salt stress have been shown for the first time in common grasspea with this study. As the salt dosage increased in both cultivars, PostSW was increased, but the ratios were different. The cultivar with a higher salt tolerance level used a higher proportion of its endosperm compared to the cultivar with a lower tolerance level.

To examine the relationships between seedling root traits, the correlation (Pearson) test was applied, and a high level of correlation was found between the root parameters. A positive correlation was observed between taproot length and, the total number of roots (0.74), the number of lateral roots (0.74), total root length (0.75), and total lateral root length (0.63) (Table 4). Besides, a negative correlation was determined (-0.34 to -0.63) between dry seed weight (PostSW) and all root traits (Table 4). As a result of this study, it was seen that root development proceeds with a system logic (Lynch, 2013) and there is correlated developmental progress that forms the basic architectural structure among all root parameters.

Table 4. Correlations (Pearson) coefficients between the number of roots (NOR), number of lateral roots (NLR), total root length (TRL), lateral root length (LRL), taproot length (TapRL), mean total root length (MeanTRL; TRL/NOR), mean lateral root length (MeanLRL; LRL/NLR), seed weight before (PreSW) and after (PostSW) the experiment, root thickness (RT), and shoot length (SL).

	NOR	NLR	TRL	LRL	Tap RL	Mean TRL	Mean LRL	PreSW	PostSW	RT
NLR	1.00									
<i>p-value</i>	0.00									
TRL	0.81	0.81								
	0.00	0.00								
LRL	0.77	0.77	0.99							
	0.00	0.00	0.00							
TapRL	0.74	0.74	0.75	0.63						
	0.00	0.00	0.00	0.00						
Mean TRL	0.11	0.11	0.56	0.57	0.34					
	0.24	0.24	0.00	0.00	0.00					
Mean LRL	0.23	0.23	0.69	0.72	0.34	0.90				
	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
PreSW	0.32	0.32	0.27	0.27	0.19	0.04	0.10			
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.65	0.28			
PostSW	-0.54	-0.54	-0.63	-0.62	-0.52	-0.34	-0.40	0.26		
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01		
RT	0.41	0.41	0.41	0.40	0.29	0.20	0.27	0.29	-0.28	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	
SL	0.73	0.73	0.74	0.69	0.71	0.35	0.43	0.19	-0.62	0.43
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00

4. Conclusions and Recommendation

Identification of the changes in the root architecture of cultivars with different root characteristics under salt stress is an important outcome to understand plant growth under abiotic stress. Further studies examining different genotypes under controlled and field conditions are important in terms of

understanding root architecture and universal responses to salt stress in legume species. This preliminary study aimed to examine the root development patterns of common grasspea cultivars under salt stress. An average of 100-150 mM salt dose seems to be the threshold for growth limitation in the root system and salt tolerance in common grasspea seedlings. The salt stress tolerance thresholds should be revealed with further studies and species to breed cultivars with higher tolerance rates.

5. Acknowledgements

The author is grateful to Semih Acikbas for his help with experiments and measurements.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

References

- Ahmad, P., Azooz, M. M., & Prasad, M. N. V. (2013). Salt stress in plants. Heidelberg: Springer.
- Ahmadi, J., Vaezi, B., & Pour-Aboughadareh, A. (2015). Assessment of heritability and relationships among agronomic characters in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) under rainfed conditions. *Biharean Biologist*, 9(1), 29-34.
- Akdağoğlu, M., Bayhan, Y., & Baran, M.F. (2020). II. Ürün Ayçiçeği Üretiminde Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Teknik Olarak Değerlendirilmesi. *European Journal of Science and Technology*, (20), 334-342.
- Almansouri, M., Kinet, J. M., & Lutts, S. (2001). Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*, 231(2), 243-254.
- Ariel, F. D., Diet, A., Crespi, M., & Chan, R. L. (2010). The LOB-like transcription factor *MtLBD1* controls *Medicago truncatula* root architecture under salt stress. *Plant Signaling & Behavior*, 5(12), 1666-1668.
- Bektaş, H., & Waines, J.G. (2020). Effect of Grain Size on The Root System Architecture of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(1), 78-84.
- Bektas, H. (2015). Determination of Root Traits in Wild, Landrace and Modern Wheats and Dissection of Quantitative Trait Loci (QTL) for Root Characters in Bread Wheat (Doctoral dissertation, UC Riverside).
- Burridge, J., Jochua, C. N., Bucksch, A., & Lynch, J. P. (2016). Legume shovelomics: high-throughput phenotyping of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata*) root architecture in the field. *Field Crops Research*, 192, 21-32.
- Colombi, T., Kirchgessner, N., Le Marié, C. A., York, L. M., Lynch, J. P., & Hund, A. (2015). Next generation shovelomics: set up a tent and REST. *Plant and Soil*, 388(1), 1-20.
- Egamberdieva, D., Wirth, S. J., Shurigin, V. V., Hashem, A., & Abd Allah, E. F. (2017). Endophytic bacteria improve plant growth, symbiotic performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and induce suppression of root rot caused by *Fusarium solani* under salt stress. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1887.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In *Ecophysiology and responses of plants under salt stress* (pp. 25-87). Springer, New York, NY.
- Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., & Türkan, İ. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and experimental Botany*, 60(3), 344-351.
- Kwon, O. K., Mekapogu, M., & Kim, K. S. (2019). Effect of salinity stress on photosynthesis and related physiological responses in carnation (*Dianthus caryophyllus*). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60(6), 831-839.
- Lynch, J. P. (2013). Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Annals of botany*, 112(2), 347-357.
- McMaster, G. S., & Wilhelm, W. (2003). Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving simulation models. *Journal of Agricultural Science*, 141, 129-147.
- Najar, R., Aydi, S., Sassi-Aydi, S., Zarai, A., & Abdelly, C. (2019). Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. *Plant Biosystems*, 153(1), 88-97.
- Noto, F., Poma, I., Gristina, L., Venezia, G., & Ferrotti, F. (2001). Bioagronomic and qualitative characteristics in *Lathyrus sativus* lines. In *Proceedings 4th European Conference on Grain Legumes* (eds. AEP) (pp. 8-12). Cracow, Poland.
- Önal Aşçı, Ö., & Zambı, H. (2020). Farklı NaCl konsantrasyonlarının bazı bezelye çeşit ve genotiplerinde bitki gelişimine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(3), 274-284.
- Özkorkmaz, F., & Yılmaz, N. (2017). Farklı tuz konsantrasyonlarının fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) ve börülçede (*Vigna unguiculata* L.) çimlenme üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 196-200.
- Özyazıcı, M.A., & Açıkbaş, S. (2019a). Koca Fiğ (*Vicia narbonensis* L.) Bitkisinde Fosforlu Gübre Dozlarının Ot ve Tohum Verimine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1031-1036.
- Özyazıcı, M. A., & Açıkbaş, S. (2019b). Yaygın Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) Genotiplerinin Yarı Kurak İklim Koşullarında Bazı Tarımsal Özellikleri ile Verim Performanslarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1058-1068.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods*, 9(7), 671-675.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., & Dickey, D.A. (1997). *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. New York: McGraw-Hill; 1997.
- Talukdar, D., & Biswas, A. K. (2008). Variability, heritability and scope of selection for some quantitative traits in induced mutant lines of grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *International Journal of Plant Sciences*, 3(2), 528-530.
- Talukdar, D. (2011a). Morpho-physiological responses of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes to salt stress at germination and seedling stages. *Legume Research*, 34(4), 232-241.
- Talukdar, D. (2011b). Flower and pod production, abortion, leaf injury, yield and seed neurotoxin levels in stable dwarf mutant lines of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) differing in salt stress responses. *International Journal of Current Research*, 2(1), 46-54.
- Tsegay, B. A., & Gebreslassie, B. (2014). The effect of salinity (NaCl) on germination and early seedling growth of *Lathyrus sativus* and *Pisum sativum* var. *abyssinicum*. *African Journal of Plant Science*, 8(5), 225-231.
- Yavaş, İ., & İlker, E. (2020). Çevresel Stres Koşullarına Maruz Kalan Bitkilerde Fotosentez ve Fitohormon Seviyelerindeki Değişiklikler. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 9(2), 295-311.
- Zhu, J., Kaeppler, S. M., & Lynch, J. P. (2005). Mapping of QTLs for lateral root branching and length in maize (*Zea mays* L.) under differential phosphorus supply. *Theoretical and Applied Genetics*, 111(4), 688-695.

Bazı Siyah Üzüm ve Nar Ürünlerinin Antioksidan Özelliklerinin İncelenmesi

Gamze Toydemir^{1*}

¹Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3738-0986), gamze.toydemir@alanya.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Ocak 2021 ve Kabul Tarihi 25 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.918712)

ATIF/REFERENCE: Toydemir, G. (2021). Bazı Siyah Üzüm ve Nar Ürünlerinin Antioksidan Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 800-809.

Öz

Antioksidan özellikteki biyoaktif bileşenlerce zengin gıdalar arasında yer alan meyvelerin, mevsimsel olarak üretilmeleri ve kısıtlı bir raf ömrüne sahip olmaları nedeniyle, farklı ürünlere işlenerek saklanması sağlanmakta, ve bu nedenle, meyvelerdeki biyoaktif bileşenler çoğunlukla işlenmiş meyve ürünleri içerisinde tüketilmektedir. Son yıllarda tüketicilerin doğal ve fonksiyonel ürün arayışlarının giderek artması sonucu, geleneksel metotlarla işlenmiş meyve ürünleri yeni alternatifler olarak tekrar karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’de yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ve antioksidan özellikleri ile ön plana çıkan meyvelerden olan siyah üzüm ve nar meyvelerinin hem dünya genelinde yaygın olan hem de ülkemize özgü tüketim şekilleriyle ön plana çıkan ürünlerinin, tüketildikleri haliyle (yaş madde bazında), sağladıkları antioksidan madde miktarı ve gösterdikleri antioksidan aktivitenin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, yerel üreticilerden temin edilen bazı siyah üzüm ürünleri (üzüm suyu, koruk suyu, hardaliye, üzüm sirkesi ve üzüm pekmezi) ve nar ürünlerinin (nar suyu, nar ekşisi, fermente nar ekşisi, nar sirkesi ve nar pekmezi) toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde ve toplam monomerik antosiyanin miktarları ile toplam antioksidan kapasite değerleri spektrofotometrik yöntemlerle belirlenmiş ve, aynı meyve grubu bazında, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Siyah üzüm ürünlerinden üzüm suyu, koruk suyu ve hardaliyenin; nar ürünleri arasından ise nar ekşisi, fermente nar ekşisi ve nar pekmezinin birbirleriyle daha yakın ve daha yüksek antioksidan değerler verdikleri tespit edilmiştir. Ürünler arasında yapılan karşılaştırmalar, geleneksel pekmez üretim metodunun, özellikle üzümde, başta antosiyanin grubu bileşenler olmak üzere, antioksidan madde miktarı ve dolayısıyla, antioksidan kapasitede önemli bir düşüşe neden olduğunu göstermektedir ($p<0.05$). Fermente nar ekşisi üretiminde uygulanan fermantasyon basamağının ise, nar ekşisine oranla, toplam fenolik, toplam flavonoid ve toplam monomerik antosiyanin miktarları ile toplam antioksidan kapasitede (DPPH ve ABTS metotları) önemli bir artış (sırasıyla, %173, %34, %78, %19 ve %34 artış) olmasına katkıda bulunduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Anahtar Kelimeler: Siyah Üzüm, Nar, Geleneksel Ürün, Antioksidan.

Investigating the Antioxidant Properties of Some Black Grape and Pomegranate Products

Abstract

Fruits, which are rich in antioxidant bioactives, are generally processed into a variety of products because of their short shelf-lives as seasonally grown crops. Therefore, fruit bioactives are usually consumed in processed form through these fruit products. In recent years, fruit products obtained through traditional processing methods have attracted attention as new natural and functional food alternatives that correspond to the increasing demand of consumers for these products. In this study, it is aimed to determine the antioxidant contents and activities, in “as is” (wet weight) basis, of some world-wide and traditionally consumed products of antioxidant rich black grape and pomegranate fruits which are widely cultivated in Turkey. Within this context, total phenolic, total flavonoid and total monomeric

* Sorumlu Yazar: gamze.toydemir@alanya.edu.tr

anthocyanin contents as well as total antioxidant capacities of some black grape products, including grape juice, verjuice, hardaliye, grape vinegar, and grape molasses, and some pomegranate products, including pomegranate juice, sour pomegranate syrup, fermented sour pomegranate syrup, pomegranate vinegar, and pomegranate molasses, were determined using spectrophotometric methods and evaluated by comparisons within the same fruit group. Within the black grape products, grape juice, verjuice, and hardaliye; and within the pomegranate products, sour pomegranate syrup, fermented sour pomegranate syrup, and pomegranate molasses were measured to exert comparable and higher antioxidant values. The comparisons among the products, those belong to the same fruit group, revealed that the traditional molasses processing led to significant reductions in the contents of antioxidants, primarily anthocyanins, and hence, in antioxidant capacity, specifically in grape molasses ($p<0.05$). On the other hand, the fermentation process applied in fermented sour pomegranate syrup processing gave rise to significant increases in total phenolic (173%), total flavonoid (34%), and total anthocyanin (78%) contents, as well as in total antioxidant capacities, determined by DPPH (19%) and ABTS (34%) methods ($p<0.05$).

Keywords: Black Grape, Pomegranate, Traditional Product, Antioxidant

1. Giriş

Meyveler, antioksidan özellikteki biyoaktif bileşenlerce zengin gıdalar olarak, son yıllarda hem tüketicilerin hem de gıda üreticilerinin artan ilgisiyle karşılaşmaktadır (Hidalgo ve Pilar Almajano, 2017). Antioksidanların oksidatif hasarı önleme ve bu hasarın neden olduğu, obezite, kanser, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, vb., birçok kronik hastalıkla mücadele etmedeki etkin rolleri, bu biyoaktif bileşenlerce zengin gıdaların günlük diyetteki önemini vurgulamaktadır (Cory ve ark., 2018). Anavatani Anadolu sınırları içerisinde yer alan ve Türkiye’de yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan siyah üzüm (Türkmen Özen, 2015) ve nar (Hoca, 2019) antioksidan özellikleri ile ön plana çıkan meyveler arasında yer almaktadır. Koyu renkli üzüm türleri, kateşin, epikateşin, resveratrol ve fenolik asitler gibi çoğu üzüm çeşidinde ortak olarak bulunan fenolik bileşiklerin yanı sıra antosiyanin grubu fenolikleri de içermekte (Cantos ve ark., 2002) ve bu sayede, doğal antioksidan bileşenlerce zengin bir kaynak olarak yüksek antioksidan aktivite göstermektedir (Liu ve ark., 2018). Nar meyvesi de antosiyaninler, elajik asit türevleri ve hidrolize olabilen tanenler gibi polifenoller bakımından zengin bir ürün olarak yüksek antioksidan potansiyele sahiptir (Gil ve ark., 2000; Kalaycıoğlu ve Erim, 2016).

Öte yandan, meyveler, mevsimsel olarak üretilmeleri ve kısıtlı bir raf ömrüne sahip olmaları nedeniyle farklı ürünlere işlenerek kalitelerinin korunması sağlanmakta (Rababah ve ark., 2013) ve bu nedenle, meyvelerdeki biyoaktif bileşenler çoğunlukla işlenmiş meyve ürünleri içerisinde tüketilmektedir (Wu ve ark., 2006). Dünya genelinde daha çok meyve suyu, kurutmalık, sofralık ve alkollü içecek sanayinde değerlendirilen üzüm, ülkemizde, bunlara ek olarak, geleneksel tüketim şekilleriyle de yaygın olup, pekmez, pestil, sirke, koruk suyu, koruk ekşisi (Ergezer ve ark., 2018; Otağ, 2015) ve hardaliye (Aydoğdu ve ark., 2014) ürünlerine de işlenmektedir. Bilinen en eski meyve türlerinden biri olan nar ise, ülkemiz genelinde taze meyve olarak tüketildiği gibi, nar suyu, nar konsantresi, nar ekşisi, nar şarabı, nar reçeli, nar şurubu, nar pekmezi, nar sirkesi gibi alternatif tüketim şekilleriyle de karşımıza çıkmaktadır (Özmert Ergin, 2019).

Tüketicilerin doğal ve fonksiyonel ürün arayışlarının giderek artması sonucu, tüketimi sınırlı olan geleneksel ürünler, son zamanlarda, yeni alternatifler olarak tekrar karşımıza çıkmakta ve bu ürünlerin fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesine yönelik araştırmalara daha çok gereksinim duyulmaktadır (Öncül ve Karabıyıklı, 2015). Bu bilgiler ışığında, bu çalışmada, siyah üzüm ve nar meyvelerinin hem dünya genelinde yaygın olan hem de ülkemize özgü tüketim şekilleriyle ön plana çıkan ürünlerinin antioksidan özelliklerinin (toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde, toplam monomerik antosiyanin ve toplam antioksidan kapasite), aynı meyve grubu bazında, karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, siyah üzüm

ürünleri arasından, üzüm suyu, koruk suyu, hardaliye, üzüm sirkesi ve üzüm pekmezi (Şekil 1); nar ürünleri arasından ise, nar suyu, nar ekşisi, fermente nar ekşisi, nar sirkesi ve nar pekmezi ürünleri (Şekil 2) seçilmiştir. Bu ürünlerin antioksidan özelliklerinin ayrı ayrı incelendiği literatür çalışmaları mevcut olmakla birlikte; geleneksel ürünler için yapılmış olan çalışma sayısı sınırlı olup (Coşkun ve ark., 2017; Faikoğlu, 2014; Kamiloğlu ve Çapanoğlu, 2014; Orak, 2009; Öncül ve Karabıyıklı, 2015; Özmert Ergin, 2020; Tüzün ve ark., 2020; Vatanserver, 2018); bilindiği kadarıyla, seçilen ürünlerin, aynı meyve grubu bazında, tümünün antioksidan özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Siyah üzüm ürünleri (üzüm suyu, koruk suyu, hardaliye, üzüm sirkesi ve üzüm pekmezi) (Şekil 1) ve nar ürünleri (nar suyu, nar ekşisi, fermente nar ekşisi, nar sirkesi ve nar pekmezi) (Şekil 2) yerel üreticilerden 3 tekrarlı olarak temin edilmiştir. Numuneler analize alınmaya kadar ambalajları üzerinde belirtilen saklama koşullarına uygun olarak muhafaza edilmiştir.

Analizler için kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta olup Sigma-Aldrich (Steinheim, Almanya) ve Merck (Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

2.2. Suda Çözünür Kuru Madde Miktarı Tayini

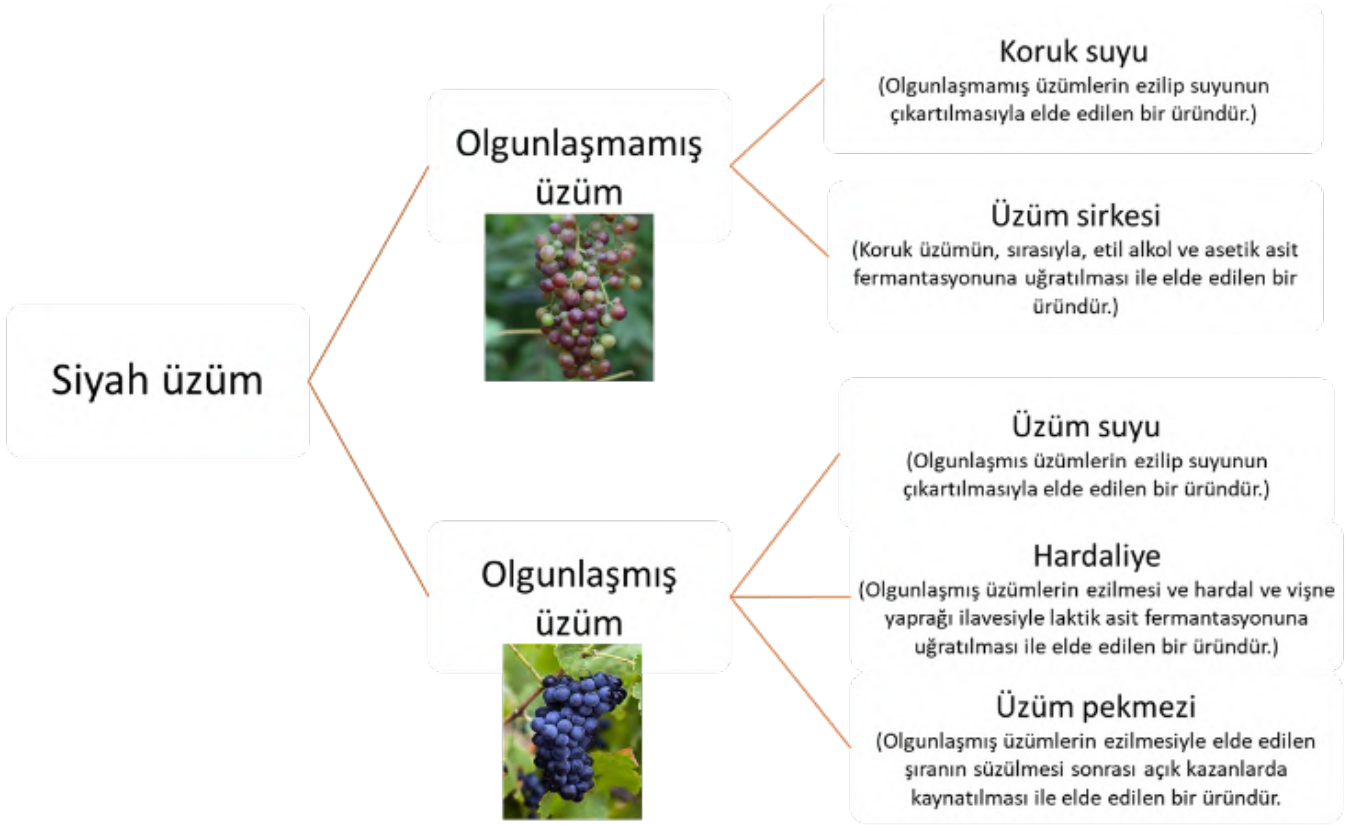
Numunelerin suda çözünür kuru madde (SÇKM) miktarları ($^{\circ}$ Briks) 20°C ’de refraktometre (Atago PAL-1, Tokyo, Japonya) ile tayin edilmiştir.

2.3. Ekstraksiyon

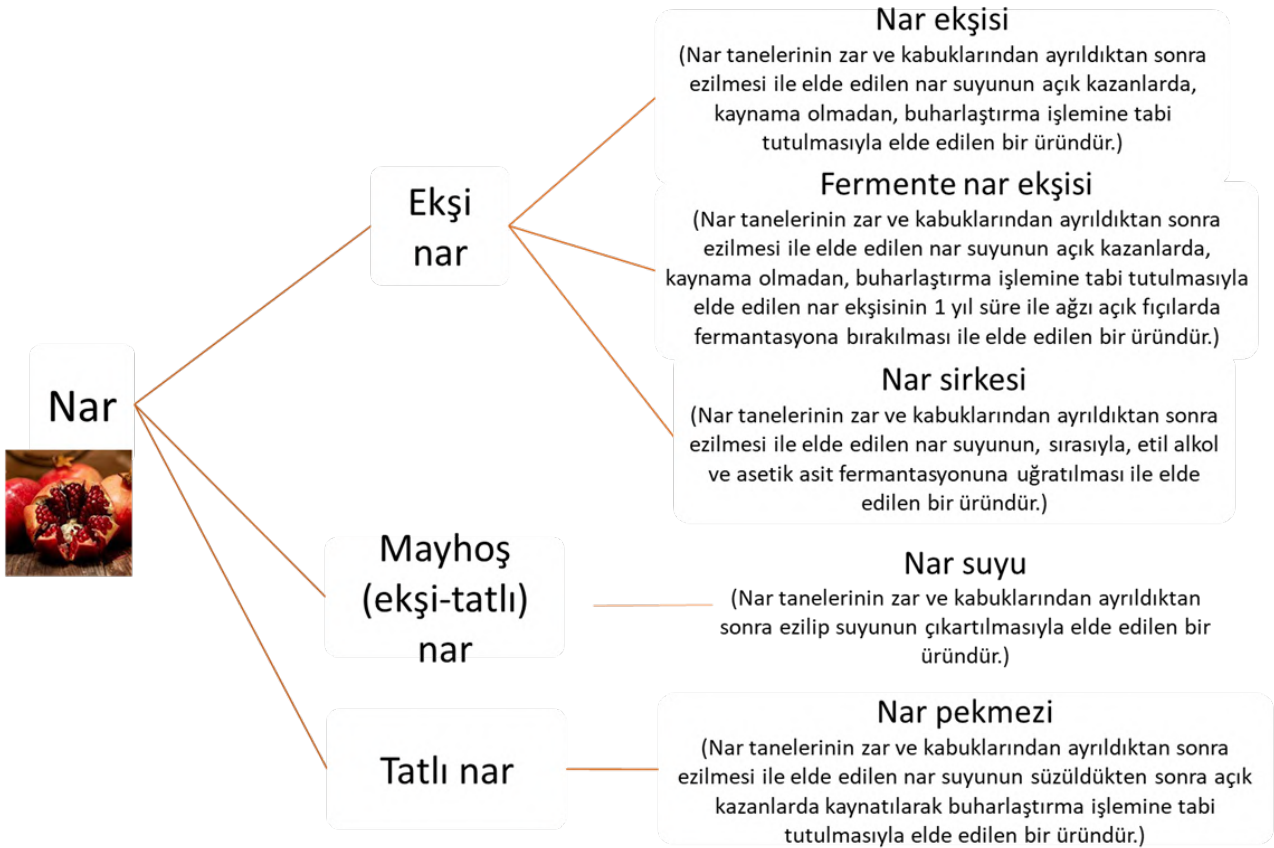
Antioksidan analizleri öncesi tüm numuneler %0.1 formik asit içeren metanol:su (6:4, hacmen) ile 1:5 (numune:(metanol:su), hacmen) oranında karıştırılmış ve vorteks ile homojenize edilmiştir.

2.4. Toplam Fenolik Madde Analizi

Toplam fenolik madde (TFEM) analizi Tezcan ve ark. (2009) tarafından belirtilen metoda uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 300 μL seyreltilmiş ekstrakt 1.5 mL Folin-Ciocalteu reaktifi (1:10, v/v) ve 1.2 mL Na_2CO_3 (%7.5) ile karıştırılmış ve 90 dk süre ile oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda spektrofotometre (Shimadzu UV-1800, Japonya) ile 760 nm’de absorbans ölçümü yapılmış ve TFEM miktarı mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/100 mL numune olarak ifade edilmiştir. Gallik asit standart eğrisi 0.01-0.08 mg/mL konsantrasyon aralığında elde edilmiştir ($R^2 = 0.998$).



Şekil 1. Siyah üzüm ürünleri ve genel ürün tanımları



Şekil 2. Nar ürünleri ve genel ürün tanımları

2.5. Toplam Flavonoid Madde Analizi

Toplam flavonoid madde (TFLM) analizi Zhishen ve ark. (1999) tarafından uygulanan metot takip edilerek gerçekleştirilmiştir. 250 µL seyreltilmiş ekstrakta 1.25 mL saf su ve 75 µL NaNO₂ (%5) ilave edilmiş ve 5 dk oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. Daha sonra, 150 µL AlCl₃.6H₂O (%10) eklenmiş ve 1 dk sonrasında 500 µL 1 M NaOH ile 275 µL saf su ilave edilmiştir. Spektrofotometre ile 510 nm’de absorbans ölçümü yapılmış ve TFLM miktarı mg kateşin eşdeğeri (KE)/100 mL numune olarak verilmiştir. (+)-Kateşin standart eğrisi 0.01-0.6 mg/mL konsantrasyon aralığında elde edilmiştir (R² = 0.998).

2.6. Toplam Monomerik Antosiyenin Tayini

Toplam monomerik antosiyenin (TMA) tayini için pH diferansiyel metodu (AOAC Official Method 2005.02) uygulanmıştır (Lee ve ark., 2005). Bu metoda göre, pH 1.0 ve pH 4.5’e ayarlanmış numunelerin spektrofotometrede antosiyeninlerin maksimum absorbans verdiği dalga boyunda (λ_{vis-max} ≈ 520 nm) ölçülen absorbans değerlerinin farkı, direkt olarak numunelerdeki antosiyenin konsantrasyonu ile orantılıdır. Metotta tarif edilen şekilde, numune ekstraktları için en uygun seyreltim oranı pH 1.0 tampon çözeltisi (KCl, 0.025 M) kullanılarak belirlenmiş ve seyreltim oranı belirlenirken, spektrofotometrede 520 nm’de ölçülen absorbans değeri için, birçok spektrofotometrenin linear sınırı olan 1.2 absorbans değeri (Cemeroğlu, 2007) dikkate alınmıştır. Belirlenen seyreltim oranı, numunelere, pH 1.0 tampon çözeltisi ve pH 4.5 tampon çözeltisi (CH₃CO₂Na.3H₂O) kullanılarak uygulanmış ve her iki tampon çözeltisi ile seyreltilen numunelerin absorbans değerleri, 15 dk’lık bekleme süresi sonunda, spektrofotometre ile 520 nm ve 700 nm (bulanıklıktan gelebilecek hatanın düzeltilmesi için)’de ölçülmüştür. Numunelerdeki TMA miktarı aşağıda verilen eşitlik kullanılarak; siyah üzüm ürünleri için mg malvidin-3-glukozit eşdeğeri (M3GE)/L numune, nar ürünleri için ise siyanidin-3-glukozit eşdeğeri (C3GE)/L numune olarak hesaplanmıştır. Daha sonra gerekli düzenlemeler yapılarak, sonuçlar, üzüm ürünleri için µg M3GE/100 mL numune, nar ürünleri için µg C3GE/100 mL numune olarak verilmiştir.

Toplam monomerik antosiyenin (TMA) (mg/L) = (AxMWxDFx 10³)/(εxL)

A = (A_{520nm} - A_{700nm})pH 1.0 - (A_{520nm} - A_{700nm})pH 4.5;

MW (C3G) = C3G için molekül ağırlığı; 449.2g/mol;

MW (M3G) = M3G için molekül ağırlığı; 493.2g/mol

DF = Seyreltme faktörü;

ε (C3G) = C3G için molar absorpsiyon katsayısı; 26900Lxmol⁻¹xcm⁻¹

ε (M3G) = M3G için molar absorpsiyon katsayısı; 28000Lxmol⁻¹xcm⁻¹

L = Absorbans ölçüm küvetinin tabaka kalınlığı (cm);

10³ = g’dan mg’a çevirme faktörü.

2.7. Toplam Antioksidan Kapasite Analizleri

Numunelerin toplam antioksidan kapasite (TAK) değerlerinin belirlenmesinde, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit diamonyum tuzu) (ABTS) ve bakır (II) iyonu indirgenme antioksidan kapasitesi (CUPRAC) metotları olmak üzere üç farklı metot kullanılmıştır. Gıda ürünlerinin antioksidan kapasitesinin tespitinde tek bir metot prensibine bağlı kalınmasının doğru bir değerlendirme için yeterli olmayacağı,

farklı çalışma prensiplerine sahip birden fazla *in vitro* metodun uygulanmasının daha gerçekçi bir değerlendirme için gerekli olduğu belirtilmiştir (Capanoglu ve ark., 2018). Bu nedenle bu çalışmada, TAK ölçümü için 3 farklı *in vitro* analiz metodu uygulanmıştır.

DPPH metodu Kumaran ve Karunakaran (2006) tarafından belirtilen metoda uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 100 µL seyreltilmiş ekstrakt 2 mL 0.1 mM metanolda çözünmüş DPPH reaktifi ile karıştırılmış ve 30 dk süre ile oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda spektrofotometre ile 517 nm’de absorbans ölçümü yapılmış ve TAK değeri mg Trolox eşdeğeri (TE)/100 mL numune olarak ifade edilmiştir. Trolox standart eğrisi 0.02-0.4 mg/mL konsantrasyon aralığında elde edilmiştir (R² = 0.997).

ABTS metodu Miller ve Rice-Evans (1997) tarafından uygulanan metot takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Numuneler ile karıştırılacak ABTS solüsyonunun eldesi için, ABTS stok solüsyonu 0.05 M potasyum fosfat tampon çözeltisi (pH 8.0) içinde 734 nm’de 0.9 (±0.2) absorbans değerini verecek şekilde seyreltilmiştir. 100 µL seyreltilmiş ekstrakta 1 mL ABTS solüsyonu ilave edilerek karıştırılmış ve 1 dk sonra spektrofotometre ile 734 nm’de absorbans ölçümü yapılmıştır. Toplam antioksidan kapasite mg Trolox eşdeğeri (TE)/100 mL numune olarak ifade edilmiştir. Trolox standart eğrisi 0.01-0.08 mg/mL konsantrasyon aralığında elde edilmiştir (R² = 0.998).

CUPRAC metodu Apak ve ark. (2006) tarafından belirtilen metoda uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 100 µL seyreltilmiş ekstrakt, toplam hacim 4.1 mL olacak şekilde, 1’er mL 10 mM CuCl₂, 7.5 mM neokuproin, 1 M NH₄C₂H₃O₂ ve saf su ile karıştırılmış ve 30 dk süre ile oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. Daha sonra, spektrofotometre ile 450 nm’de absorbans ölçümü yapılmış ve TAK değeri mg Trolox eşdeğeri (TE)/100 mL numune olarak ifade edilmiştir. Trolox standart eğrisi 0.1-0.8 mg/mL konsantrasyon aralığında elde edilmiştir (R² = 0.998).

2.8. İstatistiksel Analiz

Analizler 3 tekrarlı olarak temin edilen numunelerde 3 paralelli ölçümler yapılarak gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları ortalama ± standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Veriler Minitab yazılımı (versiyon 19.2.0) kullanılarak tek yönlü ANOVA’ya tabi tutulmuş ve numuneler arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey testi uygulanmıştır (p<0.05).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada, ülkemizde geleneksel olarak üretimi yapılan ürünleri de içeren bazı siyah üzüm ve nar ürünlerinin TFEM, TFLM ve TMA miktarları ile 3 farklı metot (DPPH, ABTS, CUPRAC) kullanılarak ölçülen TAK değerlerini içeren antioksidan özellikleri belirlenmiş ve, aynı meyve grubu içerisinde, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Siyah üzüm ürünleri ve nar ürünleri için elde edilen bulgular, sırasıyla, Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir. Sonuçlar, ürünlerin tüketildikleri haliyle gösterdikleri antioksidatif fonksiyonun değerlendirilmesi amacıyla, yaş madde bazında ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra, ürünler arasındaki farklılıkların daha doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için SÇKM miktarları da göz önünde bulundurulmuştur.

3.1. Siyah Üzüm Ürünlerinin Antioksidan Özellikleri

Çalışma kapsamında analizlenen siyah üzüm ürünlerinden üzüm suyu, koruk suyu ve hardaliye için belirlenen TFEM, TFLM, TMA miktarları ile TAK değerleri, değişen sıralamalarda, en yüksek değerleri almış; bu ürünleri, tüm analizlerde, sırasıyla, üzüm pekmezi ve üzüm sirkesi ürünleri izlemiştir (Tablo 1).

Üzüm suyu, koruk suyu ve hardaliye ürünlerinin TFEM miktarları kendi aralarında karşılaştırıldığında, koruk suyu ve hardaliye için belirlenen TFEM miktarları (sırasıyla, 136.7±2.6 ve 147.5±16.0 mg GAE/100 mL) üzüm suyu için belirlenen TFEM miktarından (102.8±14.6 mg GAE/100 mL) yüksek çıkmıştır ve fark önemlidir ($p<0.05$). Üzümün olgunluk derecesinin artışıyla TFEM miktarının azalış gösterdiği farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda ortaya konmuş (Cangi ve ark., 2011; Doshi ve ark., 2006; Jin ve ark., 2009; Navarro ve ark., 2008; Otağ, 2015); ve bu durum, kısmen, erken olgunlaşma dönemlerinde TFEM miktarına direkt etki eden yüksek tanen miktarının olgunlaşmaya bağlı olarak azalması ve özellikle meyve kabuğu ile çekirdekte yüksek miktarlarda bulunan fenolik bileşiklerin hasat yaklaştıkça yüzey-hacim oranının azalmasına bağlı olarak düşüş göstermesi ile ilişkilendirilmiştir (Otağ, 2015). Öte yandan, bu çalışmada test edilen üzüm suyu ve koruk suyu örnekleri arasında, şeker konsantrasyonunu belirlemek amacıyla ölçülen ve meyvenin olgunluk derecesinin bir göstergesi olarak kabul edilen (Otağ, 2015; Shakir ve Salih Rashid, 2019), suda çözünabilir kuru madde miktarı (SÇKM) ($^{\circ}$ Briks) açısından istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 1). Koruk suyu için ölçülen $^{\circ}$ Briks değeri (14.93±0.12) farklı çalışmalarda siyah/kırmızı üzüm çeşitlerinden elde edilen koruk sularında ölçülen $^{\circ}$ Briks değerlerinden (4.09-4.91 (Eddine ve ark. (2020); 4.5-7.5 (Hayoğlu ve ark. (2009); 3.87-5.15 (Otağ, 2015); 5.1-5.4 (Öncül ve Karabıyıklı (2015); 5 (Shakir ve Salih Rashid, 2019) daha yüksektir. Otağ (2015) siyah üzüm çeşitleri için koruk ile tam olgunluk arasındaki olgunlaşma aşaması olan “ben düşme” olgunlaşma aşamasındaki $^{\circ}$ Briks değerlerini 8.60-12.98 aralığında ölçmüştür. Bu çalışmada koruk suyu için ölçülen $^{\circ}$ Briks değerleri ben düşme olgunlaşma aşamasındaki siyah üzüm çeşitleri için belirlenen $^{\circ}$ Briks aralığı ile yakınlık göstermektedir. Benzer şekilde, siyah bir üzüm çeşidinin antioksidan özelliklerinin incelendiği başka bir çalışmada, ben düşme olgunlaşma aşamasındaki üzümler ile çalışılmış ve bu çalışmada koruk suyu için ölçülen SÇKM miktarı ile paralel olarak, şeker içeriği 143 g/L olarak belirlenmiştir (Fia ve ark., 2020). Buna ek olarak, Otağ (2015)’in çalışmasında, koruk aşamasında yeşil renkte olan siyah üzümlerin ben düşme aşamasında renk almaya başladığı gösterilmiştir. Ben düşme aşaması siyah üzümlerde kabukta antosiyanin birikimi nedeniyle renk dönüşümü olarak tanımlanmaktadır (Mateus ve ark., 2002). Bununla uyumlu olarak, bu çalışmada analizlenen koruk suyu da kırmızı renktedir. Buna karşın, üzüm suyu için ölçülen $^{\circ}$ Briks değeri (13.77±0.06) ise farklı çalışmalarda tam olgunluk derecesindeki siyah üzümlerin suyunda ölçülen $^{\circ}$ Briks değerlerinin (22.20-22.30 (Cangi ve ark., 2011); 20.87-22.16 $^{\circ}$ Briks (Otağ, 2015)) altındadır, ve yine Otağ (2015) tarafından ben düşme aşamasındaki siyah üzüm çeşitleri için belirlenen $^{\circ}$ Briks aralığı (8.60-12.98) ile yakınlık göstermektedir. Ancak, üzümün SÇKM miktarını da içeren fizikokimyasal özellikleri, olgunlaşma derecesinin yanı sıra, asmanın genotipi, üzüm çeşidi, farklı çeşitlerin yetiştirme

koşullarına değişen düzeyde hassasiyet göstermesi, hasat yılı, çevresel stres gibi pek çok faktörden etkilenmektedir (Eddine ve ark., 2020; Cangi ve ark., 2011; Öncül ve Karabıyıklı, 2015). Türkmen Özen (2015) değişik yörelerden sağlanan 12 farklı siyah üzüm çeşidinin suyunda iki farklı yılda yapılan ölçümlerde $^{\circ}$ Briks değerlerini ilk ölçüm yılı için 18.41-31.13 aralığında, diğer ölçüm yılı için ise 11.10-26.91 aralığında tespit etmiştir. Bu durumda, bu çalışmada üzüm suyu ve koruk suyu için ölçülen $^{\circ}$ Briks değerleri, Türkmen Özen (2015)’in çalışmasında ilk ölçüm yılı için belirtilen değerler dikkate alındığında erken olgunlaşma dönemine denk gelirken; diğer ölçüm yılı için belirtilen değerler dikkate alındığında ise tam olgunluk dönemine denk gelmektedir. Bununla birlikte, koruk suyu doğal ekşi tadı ve düşük pH değeri ile tanımlanan (Eddine ve ark., 2020; Ergezer ve ark., 2018; Öncül ve Karabıyıklı, 2015; Shakir ve Salih Rashid, 2019) ve bu özelliği ile üzüm suyundan ayrılan bir üründür. Organik asit miktarı, olgunlaşmamış üzümlerin direkt tüketime sunulması veya ekşi tadın doğal bir kaynağı olan koruk suyu şeklinde kullanılmasında temel belirleyici özelliktir (Shakir ve Salih Rashid, 2019) ve olgunluğun artmasıyla organik asit miktarı önemli ölçüde azalmaktadır (Cangi ve ark., 2011; Otağ, 2015). Doğal ekşi tadı gereği, bu çalışmada analiz edilen koruk suyu örneğinde de organik asit miktarının üzüm suyuna oranla daha yüksek olması, dolayısıyla, koruk suyu için kullanılan hammaddenin daha erken bir olgunlaşma aşamasında olması beklenmekte ve koruk suyu ve üzüm suyu örneklerinin SÇKM miktarlarının istatistiksel olarak karşılaştırılabilir olmasının farklı üzüm çeşitlerinin kullanımı, farklı hasat dönemlerindeki üzümlerden elde edilmiş olmaları, farklı çevresel etmenlerden etkilenmiş olmaları gibi faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Buna ek olarak, koruk suyu ve üzüm suyu üretimi için kullanılan üzümlerin, ben düşme ile olgunluk aşamaları arasında geçen yaklaşık bir aylık sürenin (Cangi ve ark., 2011; Otağ, 2015), sırasıyla, erken ve geç dönemlerinde toplanmış olma ihtimalleri de göz önünde bulundurularak bu ayrıntının da ürünlerin olgunluk derecesi üzerinde etkili olmuş olabileceği değerlendirilmektedir. Cangi ve ark. (2011) 2 farklı siyah üzüm çeşidi için ben düşme ile hasat dönemi arasındaki 4-5 haftada SÇKM miktarı değişimini haftalık olarak incelemişler ve çeşitlerden biri için bu aralığı 14.90 ile 22.20 $^{\circ}$ Briks, diğer çeşit için ise 11.10 ile 22.30 $^{\circ}$ Briks aralığında tespit etmişlerdir. Bu veriler, koruk suyu üretiminde kullanılan ve daha erken bir olgunlaşma döneminde olduğu öngörülen üzüm çeşidinin, üzüm suyu üretiminde kullanılan ve daha geç bir olgunlaşma döneminde olduğu öngörülen üzüm çeşidi ile benzer SÇKM miktarına sahip olabileceği görüşüyle uyusmaktadır. Koruk suyu ve üzüm suyunun SÇKM miktarları arasında önemli bir fark bulunmazken, koruk suyunda ölçülen yüksek TFEM miktarı üzümün olgunluk derecesinin artışıyla TFEM miktarının azalış gösterdiği bulgusuyla (Doshi ve ark., 2006; Jin ve ark., 2009; Navarro ve ark., 2008; Otağ, 2015) da örtüşmektedir ve yapılan değerlendirmeleri desteklemektedir. Öte yandan, olgun koyu renkli üzümlerden elde edilen bir ürün olan hardaliyenin TFEM miktarının üzüm suyu için ölçülen TFEM miktarından önemli ölçüde yüksek olması ($p<0.05$) farklı şekillerde açıklanabilmektedir. Laktik asit fermantasyonundan elde edilen bir ürün olan hardaliye (Arıcı ve Coşkun, 2001) ile benzer şekilde üzüm suyunun probiyotik laktik asit bakterileri ile fermantasyonu sonucu fenolik madde miktarında artış tespit edilmiş ve bu durum, probiyotik aktivitesi sonucu tanenlerin degradasyonu ve yüksek oranda serbest hidroksil grubu içeren bileşiklerin ortaya çıkması ile

Tablo 1. Siyah Üzüm Ürünlerinin Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM), Toplam Fenolik Madde (TFEM), Toplam Flavonoid Madde (TFLM), Toplam Monomerik Antosiyenin (TMA) ve Toplam Antioksidan Kapasite (TAK) Değerleri

Analiz	Üzüm Suyu	Koruk Suyu	Üzüm Sirkesi	Hardaliye	Üzüm Pekmezi
SÇKM (°Briks)	13.77±0.06 c	14.93±0.12 c	1.83±0.06 d	24.27±0.12 b	60.67±1.15 a
TFEM (mg GAE/100 mL numune)	102.8±14.6 b	136.7±2.6 a	24.6±4.1 c	147.5±16.0 a	87.7±13.9 b
TFLM (mg KE/ 100 mL numune)	119.6±12.7 a	115.1±15.1 a	32.1±4.2 b	101.6±15.0 a	49.4±3.1 b
TMA (µg M3GE/100 mL numune)	7795.3±392.6 a	1121.4±115.5 c	101.3±6.2 d	2534.5±84.3 b	131.1±18.9 d
TAK (mg TE/100 mL numune)					
DPPH	601.6±58.5 a	484.7±40.4 b	75.1±7.8 c	602.3±55.8 a	135.8±6.5 c
ABTS	568.5±9.9 a	479.7±36.2 b	125.3±12.0 e	396.7±12.0 c	206.6±16.6 d
CUPRAC	1575.8±38.7 a	1406.6±38.9 a	221.9±19.5 c	1607.8±268.9 a	994.1±42.5 b

Bu tabloda gösterilen veriler 3 tekrarlı olarak temin edilen numunelerde 3 paralelli olarak yapılan ölçümlerin ortalama±standart sapma değerleridir. Satırlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($p < 0.05$).

ilişkilendirilmiştir (Khanniri ve ark., 2018). Öte yandan, toplam fenolik madde analizi için uygulanan Folin-Ciocalteu metodu sadece fenolik bileşenlere özgü bir test olmayıp, şekerler, askorbik asit, sitrik asit ve diğer organik asitler, aromatik aminler, sülfür dioksit gibi indirgen bileşenleri de ölçerek, TFEM miktarının olduğundan daha yüksek çıkmasına neden olabilmektedir (Capanoglu ve ark., 2018). Hardaliyenin SÇKM miktarının (24.27 ± 0.12 °Briks), daha yüksek şeker konsantrasyonu ve üzüm suyundan farklı olarak içerdiği laktik asit ile ilişkili olarak, üzüm suyunun SÇKM miktarından (13.77 ± 0.06 °Briks) istatistiksel olarak daha yüksek olması ($p < 0.05$) (Tablo 1), bu bileşenlerin hardaliyede TFEM miktarının olduğundan daha yüksek ölçülmesine katkıda bulunmuş olabilecekleri ile ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte, ürünlerin üretiminde kullanılan farklı üzüm çeşitlerinin de ölçülen TFEM miktarları üzerinde doğrudan etkili olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Cangi ve ark., 2011; Coşkun ve ark., 2018; Faikoğlu, 2014; Otağ, 2015).

Üzüm suyu, koruk suyu ve hardaliyenin TMA miktarları karşılaştırıldığında, üzüm suyunun en yüksek değeri aldığı (7795.3 ± 392.6 µg M3GE/100 mL) ve onu, sırasıyla, hardaliye ve koruk suyunun (sırasıyla, 2534.5 ± 84.3 ve 1121.4 ± 115.5 µg M3GE/100 mL) izlediği tespit edilmiş ve ürünler arasındaki farkın önemli olduğu hesaplanmıştır ($p < 0.05$). Koyu renkli üzüm çeşitlerinde ben düşme olgunlaşma aşamasında başlayan antosiyenin birikimi tam olgunluk aşamasına kadar artarak devam etmektedir (Cangi ve ark., 2011; Otağ, 2015). Üzüm suyu ile koruk suyunun TMA miktarları arasında yaklaşık 7 kat oranında bir fark belirlenmiştir. Benzer şekilde, Cangi ve ark. (2011), analizledikleri siyah bir üzüm çeşidinde ben düşme olgunlaşma aşamasından tam olgunlaşmaya kadar geçen sürede toplam antosiyenin miktarında yaklaşık 4 katlık bir artış gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada da koruk suyu ile üzüm suyunun TMA miktarları arasındaki farkın, koruk suyu üretiminde ben düşme olgunlaşma aşamasının daha erken evrelerindeki üzümlerin kullanılmış olması ve üzüm çeşitlerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna karşın, üzümün son olgunluk aşamasında antosiyenin birikimi stabil hale gelmekte ve aşırı olgunlukla birlikte antosiyenin miktarı azalmaktadır (Mateus ve ark., 2002). Antosiyenin stabilitesinin ürünün pH değeri, şeker içeriği, başlangıç antosiyenin konsantrasyonu, prosesi sırasında uygulanan parametreler ve depolama koşullarından (sıcaklık, oksijen, ışık, vb.) önemli derecede etkilendiği bilinmektedir (Rein, 2005). Bu bilgiler ışığında, üzüm suyunun TMA miktarının hardaliye için ölçülen TMA miktarından önemli

derecede yüksek olması ($p < 0.05$) üretimde kullanılan üzüm çeşidi, üzümlerin olgunluk derecesi, ürün prosesi ve farklı depolama koşullarının uygulanması gibi pek çok faktör ile ilişkilendirilebilir (Aşkın, 2019; Coşkun ve ark., 2018; Türkmen Özen, 2015).

Toplam antioksidan kapasite ölçümü için uygulanan DPPH, ABTS ve CUPRAC analiz metodlarının tümünde en yüksek TAK değerleri, TFEM, TFLM ve TMA miktarı için elde edilen verilerle de uyumlu olarak, üzüm suyu, koruk suyu ve hardaliye ürünlerinde tespit edilmiştir. Bu üç ürünün uygulanan farklı antioksidan kapasite ölçüm metodları için farklı sıralamalar vermesi metod prensiplerinin farklılığı ile ilişkilendirilebilir.

Üzüm sirkesinin tüm analizlerde en düşük değeri vermesi, birincil olarak, antioksidan bileşenlerin de içinde olduğu, SÇKM miktarının çok düşük olması (1.83 ± 0.06) (Tablo 1) ile ilişkilendirilmektedir. Bu çalışmada analizlenen üzüm sirkesinin hammaddesi olan koruk için, Otağ (2015) yaptığı çalışmada, takip eden olgunlaşma aşamalarına göre daha yüksek TFEM miktarı belirlemiştir. Cangi ve ark. (2011) olgunlaşma ile toplam fenol ve antioksidan miktarının azaldığını tespit etmişlerdir. Bakır ve ark. (2016) konsantre üzüm suyundan alkol ve asetik asit fermantasyonu ile elde edilen üzüm sirkesinde, TFEM, TFLM, TAK'de kuru madde bazında bir azalma tespit etmemişlerdir. Buna karşın, üzüm pekmezi, analiz edilen üzüm ürünleri arasında en yüksek SÇKM miktarına (60.67 ± 1.15) ($p < 0.05$) (Tablo 1) sahip olmasına rağmen, üzüm sirkesinden sonra en düşük değerleri vermiştir. Üzüm suyu için ölçülen TMA miktarı ve TAK değerleri üzüm pekmezi için ölçülen değerlerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksektir ($p < 0.05$). Geleneksel yöntemlere göre yapılan pekmez üretiminde şıranın açık kazanlarda yüksek sıcaklıkta ($100-110^\circ\text{C}$) kaynatılmasını içeren evaporasyon işlemi uygulanmaktadır (Batu, 2020). Siyah üzümde öne çıkan antioksidan madde grubu olan antosiyenin oksijen varlığı ve yüksek proses sıcaklıklarında önemli ölçüde kayba uğradığı daha önce de rapor edilmiştir (Jackman ve ark., 1987). Türkmen Özen (2015), pekmez üretimi ile benzer basamakların (durultma, filtrasyon, evaporasyon) uygulandığı siyah üzüm suyunun konsantreye işlenmesi sırasında da monomerik antosiyenin miktarı ve TAK değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir azalış tespit etmiştir.

3.2. Nar Ürünlerinin Antioksidan Özellikleri

Çalışma kapsamında analiz edilen nar ürünleri arasında, sırasıyla, nar pekmezi, nar ekşisi ve fermente nar ekşisi en yüksek SÇKM miktarına (sırasıyla, 71.33±3.21 °Briks, 63.67±2.31 °Briks ve 63.00±5.57 °Briks) sahip olmaları ile uyumlu olarak, daha düşük SÇKM miktarına sahip olan nar suyu (15.73±0.12 °Briks) ve nar sirkesine (2.97±0.06 °Briks) oranla daha yüksek antioksidan madde miktarı ve antioksidan aktivite göstermişlerdir (Tablo 2).

En yüksek antioksidan değerlerin ölçüldüğü nar ekşisi, fermente nar ekşisi ve nar pekmezi ürünleri kendi aralarında karşılaştırıldığında; fermente nar ekşisi, TFEM (1101.4±68.3 mg GAE/100 mL), TFLM (147.5±1.9 mg KE/100 mL), TMA (2514.1±409.3 µg C3GE/100 mL) ve TAK ölçümü için uygulanan ABTS (2115.2±141.4 mg TE/100 mL) ve CUPRAC (6076.2±629.8 mg TE/100 mL) metotlarının hepsinde en yüksek değeri almıştır ve CUPRAC metodu hariç, diğer sayılan metotlarda, onu izleyen nar ürünü ile arasındaki fark önemlidir (p<0.05). Öte yandan, nar ekşisinin TFEM (402.9±8.4 mg GAE/100 mL) ve TMA (1415.7±240.7 µg C3GE/100 mL) miktarları nar pekmezi için ölçülenlerden (sırasıyla, 349.4±8.4 mg GAE/100 mL ve 1412.0±238.9 µg C3GE/100 mL) daha yüksek olmakla birlikte, fark istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır (p>0.05). ABTS ve CUPRAC ile belirlenen TAK sonuçlarına bakıldığında ise, nar ekşisinin (sırasıyla, 1574.9±80.3 ve 5361.1±172.7 mg TE/100 mL) nar pekmezinden (sırasıyla, 1136.9±49.4 ve 3413.9±324.4 mg TE/100 mL) daha yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir ve aradaki fark önemlidir (p<0.05). Diğer metotlardan farklı olarak, DPPH metodunda en yüksek TAK değeri nar pekmezi (1961.5±15.0 mg TE/100 mL) için belirlenmiştir. Aynı metotta ikinci en yüksek değeri alan fermente nar ekşisi (1925.2±19.1 mg TE/100mL) ile nar pekmezi arasında önemli bir fark belirlenmezken (p>0.05); nar ekşisi diğer ikisinden daha düşük bir değer (1618.3±22.9 mg TE/100mL) vermiştir (p<0.05). DPPH metodu ile sadece lipofilik yapıdaki antioksidanlar belirlenebilirken, ABTS ve CUPRAC metotları ile hem lipofilik hem de hidrofilik yapıdaki antioksidanlar belirlenebilmektedir (Apak ve ark., 2007). DPPH metodunun diğer metotlardan ayrılması, kısmen, çalışma prensibindeki farklılıklar ile ilişkilendirilebilir.

Aynı yerel üreticiden temin edilen nar ekşisi ve fermente nar ekşisi ürünleri aynı üretim basamaklarına tabi tutulmuş; farklı olarak, fermente nar ekşisi 1 yıl süre ile fermantasyona bırakılmıştır (Şekil 2). Uygulanan bu fermantasyon basamağı, nar ekşisi ile karşılaştırıldığında, fermente nar ekşisinin TFEM, TFLM, TMA miktarı ve TAK (DPPH ve ABTS metotları) değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir artış (sırasıyla, %173, %34, %78, %19 ve %34 artış) olmasına katkı sağlamıştır (p<0.05). Buna karşın, başka bir çalışmada, Mousavi ve ark. (2013), nar suyu konsantresinin laktik asit bakterileriyle fermantasyonu sonucu, nar suyundaki temel fenolikler olan antosiyanin grubu bileşenler ile elajik asit miktarlarında önemli bir düşüş olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, aynı çalışmada, laktik asit fermantasyonu ile nar suyunun antioksidan kapasitesinde artış gözlenmiştir. Bu durum, laktik asit bakterilerinin antosiyanin yapısındaki şeker kısmını kendi metabolizmaları için karbonhidrat kaynağı olarak kullanmaları sonucu aglikon formdaki antosiyaninlerin açığa çıkması ile hem antosiyanin miktarında düşüş hem de aglikonların (ve muhtemel metabolitlerinin) daha yüksek

antioksidan aktivite göstermesi sonucu antioksidan kapasitede artış sağlamış olabileceği şeklinde yorumlanmıştır (Mousavi ve ark., 2013). Bu konudaki farklı bulguların daha doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için daha fazla sayıda çalışma yapılması ve antioksidan bileşenlerdeki değişimin bireysel olarak incelenmesi gereklidir. Yine benzer proses aşamalarından geçen nar ekşisi ve nar pekmezi ürünleri arasındaki fark, üretimde hammadde olarak ekşi veya tatlı nar genotiplerine ait meyvelerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Eroğul ve ark. (2017) ekşi ve tatlı nar genotiplerine ait meyvelerin TFEM miktarı ve TAK değerlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında ekşi nar genotipinin her iki ölçüm için de daha yüksek sonuçlar verdiğini tespit etmiş, ve bu durumu, genotip özelliği ile ilişkilendirmişlerdir. Başka bir çalışmada, benzer şekilde, ekşi nar genotipine ait meyvelerin toplam fenolik ve toplam antosiyanin miktarları ile toplam antioksidan kapasitelerinin tatlı nar genotiplerine ait meyvelerden daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Sepulveda ve ark., 2010). Bu çalışmada da, nar ekşisinin nar pekmezinden daha yüksek TFEM (p>0.05), TMA (p>0.05) ve TAK (ABTS (p<0.05) ve CUPRAC (p<0.05)) değerlerini vermesi direkt olarak hammaddenin kendisi ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca, ürünlerin temin edildiği üreticilerden edinilen bilgiler doğrultusunda, nar pekmezi üretiminde kaynatma işlemi uygulanmış; buna karşın, nar ekşisi üretiminde kaynatma olmadan, daha düşük sıcaklıkta, buharlaştırma yapılmıştır. Nar pekmezi üretiminde daha yüksek sıcaklıklara çıkılmış olmasının antioksidan madde miktarı ve antioksidan aktivitede daha yüksek kayıplara neden olmuş olabileceği de değerlendirilmektedir.

Nar pekmezi ve nar ekşisi için ölçülen antioksidan analiz değerleri nar suyu için ölçülen değerlerden yüksek olmakla birlikte, aradaki fark, her iki ürün için, TMA miktarı ve, sadece nar pekmezi için, ABTS ve CUPRAC metotları ile belirlenen TAK değerleri için önemli çıkmamıştır (p>0.05). Nar suyu üretiminde mayhoş (ekşi-tatlı) nar genotipine ait meyveler kullanılmaktadır (Baysal ve Taştan, 2018). Eroğul ve ark. (2017) mayhoş nar genotipine ait meyvelerin TFEM miktarı ve TAK değerlerinin ekşi nar genotipine ait meyvelerinkinden daha düşük, tatlı nar genotipine ait meyvelerinkinden ise daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada, ekşi nar genotipine ait meyvelerden elde edilen nar sularındaki TMA miktarları, genel olarak, ekşi-tatlı (mayhoş) nar genotipine ait meyvelerden elde edilen nar sularındaki TMA miktarlarından daha yüksek bulunmuştur (Türkyılmaz, 2013). Bununla birlikte, nar ekşisi ve nar pekmezi için ölçülen SÇKM miktarlarının nar suyundaki SÇKM miktarından önemli derecede yüksek olduğu (p<0.05) da göz önünde bulundurulduğunda pekmez/ekşi üretiminin özellikle antosiyanin madde miktarında düşüşe neden olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durum, üzüm pekmezi üretiminde de olduğu gibi, proses sırasında antosiyaninlerin yüksek sıcaklık ve oksidasyona bağlı olarak kayba uğraması ve narda başlıca antioksidan grubu olan antosiyaninlerdeki bu kaybın TAK değerinde de düşüşle sonuçlanması şeklinde yorumlanmaktadır. Aradaki farkın üzüm pekmezindeki kadar dramatik olmaması, meyve çeşitlerinin farklılığı ile ilişkilendirilebilir. Pekmezden farklı olarak, nar ekşisinin TAK (ABTS ve CUPRAC metotları) değerlerinin nar suyundan istatistiksel olarak yüksek (p<0.05) olması ise, nar ekşisinin, yukarıda açıklandığı üzere, hammadde ve üretim koşullarındaki farklılıklardan dolayı, pekmeze oranla, daha yüksek antioksidan madde miktarı ve antioksidan kapasiteye sahip

Tablo 2. Nar Ürünlerinin Suda Çözünürlük Kuru Madde (SÇKM), Toplam Fenolik Madde (TFEM), Toplam Flavonoid Madde (TFLM), Toplam Monomerik Antosiyanin (TMA) ve Toplam Antioksidan Kapasite (TAK) Değerleri

Analiz	Nar Suyu	Nar Ekşisi	Fermente Nar Ekşisi	Nar Sirkesi	Nar Pekmezi
SÇKM (°Briks)	15.73±0.12 c	63.67±2.31 ab	63.00±5.57 b	2.97±0.06 d	71.33±3.21 a
TFEM (mg GAE/100 mL numune)	192.1±13.8 c	402.9±8.4 b	1101.4±68.3 a	75.6±6.8 d	349.4±8.4 b
TFLM (mg KE/ 100 mL numune)	69.2±4.9 c	110.0±1.7 b	147.5±1.9 a	25.2±1.0 d	115.9±1.7 b
TMA (µg C3GE/100 mL numune)	820.1±75.6 bc	1415.7±240.7 b	2514.1±409.3 a	393.4±55.8 c	1412.0±238.9 b
TAK (mg TE/100 mL numune)					
DPPH	1257.1±38.7 c	1618.3±22.9 b	1925.2±19.1 a	160.8±7.4 d	1961.5±15.0 a
ABTS	915.9±112.5 c	1574.9±80.3 b	2115.2±141.4 a	192.7±4.1 d	1136.9±49.4 c
CUPRAC	3060.5±79.4 b	5361.1±172.7 a	6076.7±629.8 a	397.6±62.4 c	3413.9±324.4 b

Bu tabloda gösterilen veriler 3 tekrarlı olarak temin edilen numunelerde 3 paralelli olarak yapılan ölçümlerin ortalama±standart sapma değerleridir. Satırlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir (p< 0.05).

olmasıyla ilişkilendirilebilir. Bu çalışma ile uyumlu olarak, Orak (2009), nar suyu ile geleneksel yöntemle üretilen nar ekşisinin TFEM ve TMA miktarı ile antioksidan aktivitelerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, nar ekşisinin nar suyundan daha yüksek TFEM miktarı ve antioksidan aktiviteye sahip olduğunu tespit etmişler; buna karşın, nar ekşisinde TMA miktarını ölçememişlerdir. Bu durum, geleneksel nar ekşisi yapımında yüksek sıcaklıkta uzun süreli olarak gerçekleştirilen ısı işlem uygulamasının antosiyaninlerin degradasyonuna sebep olduğu şeklinde yorumlanmıştır (Orak, 2009).

Nar sirkesinin diğer nar ürünlerine göre daha düşük değerler vermesi öncelikle daha düşük SÇKM miktarına (p<0.05) sahip olması ile ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte, nar suyunun fermantasyonu sonucu özellikle antosiyanin ve tanen miktarındaki azalmalar ile birlikte antioksidan aktivitenin azaldığı belirtilmiştir (Mena ve ark., 2012; Zhuang ve ark., 2011). Benzer şekilde, Ordoudi ve ark. (2014) nar suyu ile nar sirkesinin antioksidan aktivitelerini karşılaştırdıkları çalışmalarında nar sirkesinde daha düşük antioksidan aktivite tespit etmişlerdir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, ülkemizde geleneksel olarak üretimi yapılan ürünleri de içeren bazı siyah üzüm ve nar ürünlerinin, tüketildikleri haliyle (yaş madde bazında), sağladıkları antioksidan madde miktarı ve gösterdikleri antioksidan aktivite, aynı meyve grubu bazında, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler, üzüm ürünleri arasından, üzüm suyu, koruk suyu ve hardaliyenin; nar ürünleri arasından ise fermente nar ekşisi, nar ekşisi ve nar pekmezinin birbirleriyle daha yakın ve daha yüksek değerler verdiklerini göstermiştir. Üzüm suyu, koruk suyu ve hardaliye ürünlerinin birbirleri içinde gösterdikleri farklılıkların, öncelikli olarak, üretimlerinde kullanılan üzüm çeşitlerinin farklı olması ve/veya farklı olgunlaşma aşamasındaki üzümlerden üretilmiş olmalarından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Benzer şekilde nar ekşisi ve nar pekmezi ürünleri arasındaki farklılıklar da, kısmen, geleneksel üretim koşullarında farklı nar genotiplerine ait meyvelerin kullanılması ile ilişkilendirilmiştir. Meyve çeşidi/genotipi, olgunlaşma aşaması ve SÇKM miktarları arasındaki farklılıklar/benzerlikler göz önünde bulundurularak, hardaliye üretiminde fermantasyon aşamasının analizlenen antioksidan özellikler üzerine önemli bir etkisinin olmadığı; buna karşın fermente nar ekşisi üretiminde uygulanan

fermantasyon basamağının ise, nar ekşisine oranla, antioksidan madde miktarı ve antioksidan aktivitede önemli bir artış olmasına katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, nar ürünleri için ölçülen değerler SÇKM miktarları ile de paralellik gösterirken; üzüm ürünleri arasında, en yüksek SÇKM miktarına (p<0.05) sahip olan üzüm pekmezinin, en düşük SÇKM miktarına (p<0.05) sahip olan üzüm sirkesinden sonra en düşük değerleri vermesi, geleneksel pekmez üretim aşamalarının, üzümde başta antosiyanin grubu bileşenler olmak üzere, antioksidan madde miktarı ve dolayısıyla, antioksidan kapasitede önemli bir düşüşe neden olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Her iki meyve grubu için sirke ürünlerinin en düşük antioksidan değerlerini vermesi, birincil olarak, en düşük SÇKM miktarlarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu durum, ürünlerin tüketildikleri haliyle gösterdikleri antioksidatif fonksiyonda belirleyici olmaktadır. Bu çalışmada analizlenen ürünler arasında her ne kadar hammadde (meyve çeşidi/genotipi) farklılıkları olsa da, elde edilen veriler ışığında yapılan karşılaştırmalar, bu konudaki literatür bilgileri ile uyumluluk göstermektedir ve bu ürün gruplarının birlikte karşılaştırıldığı bilinen başka bir çalışma olmaması nedeniyle, bundan sonra yapılacak çalışmalar için de öncülük edeceği düşünülmektedir. Ancak, gelecekte yapılacak çalışmalarda, analizi yapılan bu ürünlerin, hammadde farklılıklarının ortadan kaldırıldığı ve kontrollü proses koşullarının uygulandığı şartlarda üretilmesi, daha doğru karşılaştırmalar yapılabilmesi için gereklilik teşkil etmektedir. Ayrıca, gelecekte yapılacak çalışmalarda bu ürünlerdeki antioksidan bileşenlerin biyoyararlılıklarının karşılaştırılması, siyah üzüm ve nar meyvelerindeki antioksidan bileşenlerin biyoyararlılığı üzerine farklı proses koşullarının ve farklı proses aşamaları sonucu elde edilen farklı gıda matrislerinin etkisinin ortaya konması ve konuyla ilgili literatüre sağlayacağı katkı açısından önemlidir.

Kaynakça

- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S.E., Bektaşoğlu, B., Berker, K.I., & Özyurt, D. (2007). Comparative Evaluation of Various Total Antioxidant Capacity Assays Applied to Phenolic Compounds with the CUPRAC Assay. *Molecules*, 12(7), 1496-1547.
- Apak, R., Guclu, K., Ozyurek, M., Karademir, S. E., & Ercag, E. (2006). The Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity and Polyphenolic Content of Some Herbal Teas. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57, 292-304.

- Arıcı, M., & Coşkun, F. (2001). Hardaliye: Fermented Grape Juice As A Traditional Turkish Beverage. *Food Microbiology*, 18, 417-421.
- Aşkın, B. (2019). Farklı Sıcaklıkların Hardaliyenin Depolama Stabilitesi Üzerine Etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(1), 13-21.
- Aydoğdu, H., Yıldırım, S., Halkman, A., & Durgun, T. (2014). A Study on Production and Quality Criteria of Hardaliye; A Traditional Drink from Thrace Region of Turkey. *Gıda*, 39(3), 139-145.
- Bakır, S., Toydemir, G., Boyacıoğlu, D., Beekwilder, J., & Çapanoğlu E. (2016). Fruit Antioxidants during Vinegar Processing: Changes in Content and in vitro Bio-Availability. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10), 1658. <https://doi.org/10.3390/ijms17101658>
- Batu, A. (2020). Gastronomi ve Moleküler Gastronomi Açısından Üzüm Pekmezi. *Aydın Gastronomi*, 4(1), 35-44.
- Baysal, T., & Taştan, Ö. (2018). Nar Ürünleri ve Üretimi. In *Nar Sağlıkta Yıldız*, E. Akçiçek, H. Kayalar, & S. Ötleş, Editors., Türkiye: Gece Yayınları.
- Cangi, R., Saraçoğlu, O., Uluocak, E., Kılıç, D., & Şen, A. (2011). Kazova (Tokat) Yöresinde Yetiştirilen Bazı Şaraplık Üzüm Çeşitlerinde Olgunlaşma Sırasında Meydana Gelen Kimyasal Değişmeler. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1(3), 9-14.
- Cantos, E., Espin, J. C., & Tomas-Barberan F. A. (2002). Varietal differences among the polyphenol profiles of seven table grape cultivars studied by LC-DAD-MS-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5691-5696.
- Cemeroğlu, B. (2007). *Gıda Analizleri*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara.
- Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018). The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Frontiers in Nutrition*, 5, 87. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087>.
- Coşkun, F., Arıcı, M., Gülcü, M., Çelikyurt, G., & Mirik, M. (2018). Physicochemical, Functional and Microbiological Properties of Hardaliye Beverages Produced from Different Grapes and Collected from Different Households. *Journal of Agricultural Sciences*, 24(2), 278-285.
- Çapanoğlu, E., Kamiloğlu, S., Özkan, G., & Apak, R. (2018). Evaluation of Antioxidant Activity/Capacity Measurement Methods for Food Products. In *Measurement of Antioxidant Activity and Capacity: Recent Trends and Applications*, R. Apak, E. Capanoğlu, & F. Shahidi, Editors., Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd., p. 273-286.
- Doshi, P., Adsule, P., & Banerjee, K. (2006). Phenolic Composition and Antioxidant Activity in Grapevine Parts and Berries (*Vitis vinifera* L.) cv. Kishmish Chorny (Sharad Seedless) During Maturation. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(Supplement 1), 1-9.
- Eddine, N. S., Tlais, S., Alkhatib, A., & Hamdan, R. (2020). Effect of Four Grape Varieties on the Physicochemical and Sensory Properties of Unripe Grape Verjuice. *International Journal of Food Science*, 2020, <https://doi.org/10.1155/2020/6457982>.
- Ergezer, H., Gökçe, R., & Akcan, T. (2018). Koruk Sularının Bazı Kalite Karakteristikleri Üzerine Pastörizasyon ve Potasyum Sorbat İlavesinin Etkisi. *Akademik Gıda*, 16(3), 287-292.
- Eroğul, D., Oğuz, H., & Şen, F. (2017). Ekşi, Mayhoş ve Tatlı Nar Genotiplerine Ait Meyvelerin Depolama Süresince Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Meyve Bilimi*, 1, 34-39.
- Faikoğlu, F. (2014). Adakarası, Papazkarası, Kalcikkarası Üzüm Çeşitleri Kullanılarak Üretilen Hardaliyelerin Kalitesinin ve Duyusal Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 73s.
- Fia, G., Bucalossi, G., Gori, C., Borghini, F., & Zaroni, B. (2020). Recovery of Bioactive Compounds from Unripe Red Grapes (cv. Sangiovese) through a Green Extraction. *Foods*, 9(5), 566. <https://doi.org/10.3390/foods9050566>
- Hayoğlu, I., Kola, O., Kaya, C., Özer, S., Türkoğlu, H. (2009). Chemical and Sensory Properties of Verjuice, A Traditional Turkish Non-Fermented Beverage From Kabarcik and Yediveren Grapes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 252-263.
- Hidalgo, G. I., & Almajano, M. P. (2017). Red Fruits: Extraction of Antioxidants, Phenolic Content, and Radical Scavenging Determination: A Review. *Antioxidants*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.3390/antiox6010007>.
- Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M., & Kader, A. A. (2000). Antioxidant Activity of Pomegranate Juice and Its Relationship with Phenolic Composition and Processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4581-4589.
- Hoca, G. (2019). Bursa İlinde Tüketime Sunulan Nar Ekşisi ve Nar Ekşili Soslarda Sorbik Asit ve Benzoik Asit Miktarlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 57s.
- Jackman, R. L., Yada, R. Y., Tung, M. A., & Speers, R. A. (1987). Anthocyanins and Food Colorants – A Review. *Journal of Food Biochemistry*, 11, 201-247.
- Jin, Z. M., He, J. J., Bi, H. Q., Cui, X. Y., & Duan, C. Q. (2009). Phenolic Compound Profiles in Berry Skins from Nine Red Wine Grape Cultivars in Northwest China. *Molecules*, 14(12), 4922-4935.
- Kalaycıoğlu, Z., & Bedia Erim, F. (2016). Total Phenolic Contents, Antioxidant Activities, and Bioactive Ingredients of Juices from Pomegranate Cultivars Worldwide. *Food Chemistry*, 221, 496-507.
- Kamiloğlu, S., & Çapanoğlu, E. (2014). *In Vitro* Gastrointestinal Digestion of Polyphenols from Different Molasses (Pekmez) and Leather (Pestil) Varieties. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 1027-1039.
- Khanniri, E., Sohravandi, S., Mortazavian, A. M., Khorshidian, N., & Malganji, S. (2018). Effect of Fermentation, Cold storage and Carbonation on the Antioxidant activity of Probiotic Grape Beverage. *Current Nutrition & Food Science*, 14, 335. <https://doi.org/10.2174/1573401313666170614100418>
- Kumaran, A., & Karunakaran, R. J. (2006). Antioxidant and Free Radical Scavenging Activity of an Aqueous Extract of *Coleus aromaticus*. *Food Chemistry*, 97(1), 109-114.
- Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R. E. (2005). Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 88(5), 1269-1278.
- Liu, Q., Tang, G. Y., Zhao, C. N., Feng, X. L., Xu, X. Y., Cao, S. Y., Meng, X., Li, S., Gan, R. Y., & Li, H. B. (2018).

- Comparison of Antioxidant Activities of Different Grape Varieties. *Molecules*, 23(10), 2432. <https://doi.org/10.3390/molecules23102432>.
- Mateus, N., Machado, J. M. & Freitas, V. (2002). Development Changes of Anthocyanins in *Vitis Vinifera* Grapes Grown in the Douro Valley and Concentration in Respective Wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1689-1695.
- Mena, P., Girones-Vilaplana, A., Marti, N., & Garcia-Viguera, C. (2012). Pomegranate Varietal Wines: Phytochemical Composition and Quality Parameters. *Food Chemistry*, 133, 108-115.
- Miller, N. J., & Rice-Evans, C. (1997). Factors Influencing the Antioxidant Activity Determined By the ABTS•+ Radical Cation Assay. *Free Radical Research*, 26(6), 195-199.
- Mousavi, Z. E., Mousavi, S. E., Razavi, S. H., Hadinejad, M., Emam-Djomeh, Z., & Mirzapour, M. (2013). Effect of Fermentation of Pomegranate Juice by *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus acidophilus* on the Antioxidant Activity and Metabolism of Sugars, Organic Acids and Phenolic Compounds. *Food Biotechnology*, 27(1), 1-13.
- Navarro, S., Leon, M., Roca-Perez, L., Boluda, R., Garcia-Ferriz, L., Perez-Bermudez, P., & Gavidia, I. (2008). Characterisation of Bobal and Crujidera Grape Cultivars, In Comparison with Tempranillo and Cabernet Sauvignon: Evolution of leaf macronutrients and berry composition during grape ripening. *Food Chemistry*, 108, 182-190.
- Orak, H. H. (2009). Evaluation of Antioxidant Activity, Colour and Some Nutritional Characteristics of Pomegranate (*Punica granatum L.*) Juice and Its Sour Concentrate Processed By Conventional Evaporation. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 60(1), 1-11.
- Ordoudi, S. A., Mantzouridou, F., Daftsiou, E., Malo, C., Hatzidimitriou, E., Nenadis, N., & Tsimidou, M. Z. (2014). Pomegranate Juice Functional Constituents After Alcoholic and Acetic Acid Fermentation. *Journal of Functional Foods*, 8, 161-168.
- Otağ, M. R. (2015). Denizli Çal Yöresinde Yetişen Bazı Üzüm Çeşitlerinin Farklı Olgunlaşma Evreleri ve Kurutulması Sonrasında Bazı Özellikleri İle Resveratrol İçeriğinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 148s.
- Öncül, N., & Karabıyıklı, Ş. (2015). Factors Affecting the Quality Attributes of Unripe Grape Functional Food Products. *Journal of Food Biochemistry*, 39, 689-695.
- Özmert Ergin, S. (2020). Investigation of the Physicochemical, Nutritional Properties and Antioxidant Activities of Commercial and Traditional Pomegranate Molasses Samples. *Food and Health*, 6(3), 177-185.
- Özmert Ergin, S. (2019). Nar Meyvesi (*Punica granatum L.*) ile Farklı Nar Ürünlerinin Antioksidan Özellikleri. *Akademik Gıda*, 17(2), 243-251.
- Rababah, T. M., Al-Mahasneh, M. A., Kilani, I., Yang, W., Almamad, M. N., Ereifej, K., & Al-U'datt, M. (2013). Effect of Jam Processing and Storage on Total Phenolics, Antioxidant Activity, and Anthocyanins of Different Fruits. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 91(6), 1096-1102.
- Rein, M. (2005). Copigmentation Reactions and Color Stability of Berry Anthocyanins. PhD Thesis, University of Helsinki.
- Sepulveda, E., Saenz, C., Pena, A., Robert, P., Bartolome B, & Gomez-Cordoves C. (2010). Influence of the Genotype on the Anthocyanin Composition, Antioxidant Capacity and Color Of Chilean Pomegranate [*Punica granatum L.*] Juices. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1), 50-57.
- Shakir, B. K., & Salih Rashid, R. (2019). Physicochemical and Phytochemical Profile of Unripe Black Grape Juice (Verjuice). *Annals of Tropical Medicine and Public Health*, 22, 48-61.
- Tezcan F., Gültekin-Özğüven M., Diken T., Özçelik B., & Erim F. B. (2009). Antioxidant Activity and Total Phenolic, Organic Acid and Sugar Content in Commercial Pomegranate Juices. *Food Chemistry*, 115, 873-877.
- Türkmen Özen, İ. (2015). Siyah Üzüm Suyunda Antosiyanin Dağılımı ve İşleme ve Depolama Sırasında Değişimi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 116s.
- Türkyılmaz, M. (2013). Anthocyanin and Organic Acid Profiles of Pomegranate (*Punica granatum L.*) Juices from Registered Varieties in Turkey. *International Journal of Food Science & Technology*, 48, 2086-2095.
- Tüzün, S., Baş, İ., Karakavuk, E., Karaca Sanyürek, N., & Benzer, F. (2020). Çeşitli Pekmez Türlerinde Farklı Yöntemlerle Tespit Edilen Antioksidan Aktivitelerin Karşılaştırılması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(2), 323-330.
- Vatansever, A. (2018). Nar ve Ürünlerinin Fizikokimyasal ve Biyokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 81s.
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., Prior, R. L. (2006). Concentrations of Anthocyanins in Common Foods in The United States and Estimation of Normal Consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 4069-4075.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The Determination of Flavonoid Contents in Mulberry and Their Scavenging Effects on Superoxide Radicals. *Food Chemistry*, 64, 555-559.
- Zhuang, H., Du, J., & Wang, Y. (2011). Antioxidant Capacity Changes of 3 Cultivar Chinese Pomegranate (*Punica granatum L.*) Juices and Corresponding Wines. *Journal of Food Science*, 76, 606-611.



İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik Kapsamında İşverenin Yükümlülüğü

Mustafa Kağan İzmirli¹, Zeynep Feride Olcay^{2*}, Ahmet Ebrar Sakallı³

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü., Özel Hukuk Anabilim Dalı (Doktora Öğrencisi), İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5849-4697), mustafa.izmirli@stu.aydin.edu.tr

^{2*} İstanbul Aydın Üniversitesi, Anadolu Bil MYO., İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5720-7350), zeynepolcay@aydin.edu.tr

³ İstanbul Aydın Üniversitesi, Anadolu Bil MYO., İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, İstanbul, Turkey, (ORCID:0000-0003-0445-0722), ahmetsakalli@aydin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 1 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 24 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902275)

ATIF/REFERENCE: İzmirli, M.K., Olcay, Z.F. & Sakallı, A.E. (2021). İş sağlığı ve güvenliği kanunu ve işyerlerinde acil durumlar hakkında yönetmelik kapsamında işverenin yükümlülüğü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 810-816.

Öz

İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve bu kanuna bağlı olarak çıkarılan “İşyerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik”, işverenlere acil durumlarla ilgili olumsuz etkilerden çalışanları ve işyerini korumak için bir takım düzenlemeler yapmasını zorunlu kılmıştır. Acil durumlarla ilgili araştırmalarda mesleki uygulamanın nasıl geliştirilmesi gerektiği ile ilgili odaklanan çalışmalar oldukça azdır. Bu çalışmada, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında işverenlerin genel yükümlülükleri ile işyerinde ilgili mevzuat bünyesinde gerçekleşen acil durumlar ile ilgili yükümlülükleri ve acil durumlar kapsamında yapılması zorunlu olan ve önemli bir yere sahip olan acil durum eylem planının nasıl hazırlanması gerektiği irdelenmiştir. Bunun yanında dünyada acil durumlarla ilgili güncel yaklaşımlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği, İşverenin Yükümlülüğü, Acil Durum Yönetimi, Acil Durum Planı.

Employer's Liability within the Scope of Occupational Health and Safety Law and Regulation on Emergency Situations in Workplaces

Abstract

The Occupational Health and Safety Law and the regulation on workplace emergencies issued in depending this law obliges employers to make some regulations to protect employees and the workplace from negative effects related to emergencies.

There are very few studies that focus on how professional practice should be improved in research on emergencies. In this study, it is examined the general obligations of employers within the scope of occupational health and safety law no. 6331, their obligations regarding emergencies that occur within the relevant legislation in the workplace and how to prepare the emergency action plan, which has an important place. In addition, current approaches to emergencies around the world are given.

Keywords: Law of Occupational Health and Safety numbered 6331, Worker's Health and Work Safety, obligation of the employer, Emergency Management, Emergency Plan.

1. Giriş

İşyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin (İSG) oluşturulması ve hali hazırda uygulanmakta olan güvenlik ve sağlık önlemlerinin sürekli geliştirilmesi için hem işverenler, hem de çalışanların görevleri, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerinin düzenlenmesi amacıyla 2012 yılında yayımlanmış olan 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'yla (İSGK) ülkemizde İSG konusunda yeni bir dönem başlatıldığı söylenebilir.

Elbette 6331 sayılı Kanun'dan önce de ülkemizde işyerlerinde İSG ile ilgili düzenlemeler mevcuttu. Ancak bu kurallar, oldukça dağınıktı; diğer yandan, bu kuralları harekete geçirecek, uygulanmasını sağlayacak, bakanlıklar, belediyeler, sosyal güvenlik kurumu gibi kamu kurum ve kuruluşları da dağınık ve birbiri ile ilişkisizdi (Süzek, 1985; 62). İSG, çalışma hayatında karmaşık bir olgudur (Ozay ve Coskun, 2017: 375). Bu karmaşıklıklardan bir tanesi de işyerindeki acil durumlardır.

Avrupa Birliği'nin (AB) uzun yıllardır İSG konusuna ve İSG konusunun temel sorunsalı olan iş kazalarına büyük önem vermesi ve AB üye ülkelerinin konuya özgü kanunlarının bulunmasından dolayı, AB uyum süreci için gerekli görülen münferit bir İSGK'nın yürürlüğe girmesi zorunlu olmuştur. Sadece AB uyum süreci için değil aynı zamanda ülkemizde yaşanan ölümlü ve yaralanmalı iş kazalarının sayılarındaki artış, dünyada ölümlü iş kazalarında üçüncü sırada, Avrupa'da ise birinci sırada bulunmamız da müstakil İSGK çıkarılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur.

Çalışma hayatını düzenlemek amacıyla ülkemizde ilk kez 1936 yılında çıkarılmış olan 3008 sayılı İş Kanununun (İK) 54.maddesinden 62.maddesine kadar İSG ile ilgili hükümler bulunmaktadır (3008 Sayılı İK, 1936). 3008 sayılı İK'dan sonra çıkarılmış olan 931 sayılı İK'da da İş Sağlığı ve güvenliğiyle ilgili hükümler yer almaktadır (931 Sayılı İK, 1968). 931 Sayılı İK'nın Anayasa Mahkemesi tarafından iptali ve sonrasında yürürlükten kaldırılmasının ardından çıkarılan 1475 Sayılı yeni İK'da, 931 Sayılı İK madde sayıları değiştirilmemiştir, sadece birkaç noktada değişiklik yapılmıştır.(Tunçomağ, 1972: 244). 1475 Sayılı İK'da , kanuna bağlı çıkarılmış tüzük ve yönetmeliklerle İSG konusu daha geniş perspektiften değerlendirilmiştir (1475 Sayılı İK, 1971).

1475 Sayılı İK'dan sonra çıkarılan 4857 Sayılı İK'nın beşinci bölümünde İş Sağlığı ve Güvenliği başlığı altında 77.maddeden, 90.maddeye kadar İSG ile ilgili hükümler yer almaktaydı (4857 Sayılı İK, 2003). Halen yürürlükte olan 4857 sayılı Kanun ile İSG konusu hukuki düzenleme bağlamında ilk kez önleyici bir yaklaşımla ele alınmıştır (Özdemir, 2014: 1).

4857 sayılı İK ve buna uygun hazırlanan Yönetmelikler 6331 sayılı İSGK'nın kabul edildiği tarihe kadar değişikliklerle "işçi"ler hakkında uygulanmıştır. 20 Haziran 2012 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak kademesi olarak yürürlüğe giren 6331 sayılı İSGK ise Anayasamızın 49. maddesinde de olduğu gibi "çalışanların" hukukunu güvence almaktadır (Özdemir, 2014: 1).

4857 sayılı İK'nın İSG ile ilgili hükümlerinde ileri düzeyde gelişmeler olsa dahi, 2012 yılında yayımlanan müstakil İSGK ile ayrı bir düzenlemeye kavuşturulan İSG hükümleri 4857 Sayılı İK'dan çıkartılmıştır (İSGK, 2012). 6331 sayılı İSGK, iş kazaları ve meslek hastalıkları yaşanmadan, tehlikelerin kaynağında yok edilmesini amaçlayan önleyici bir yaklaşıma sahip olarak düzenlenmiştir (Korkmaz ve Avşallı, 2012; 153).

AB ve Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) normlarına uyumlu olarak hazırlanan 6331 sayılı İSGK'nın getirdiği en önemli değişiklik; kamu ve özel sektör fark etmeksizin, faaliyet konularına, çalışan sayısı göz önünde bulundurulmaksızın, çıraklar ve stajyerler olanlar da dahil olacak şekilde tüm çalışanları kapsamı içine almasıdır. AB direktifleri ve ILO sözleşmelerinde, bazı istisnai durumların kapsam bakımından dışarıda bırakılması konusunda taraf/üye devletlere esnek hareket etme imkanı tanınmıştır. İSGK'da da, kendi adına bağımsız olarak çalışanlar ve bazı faaliyet alanları kapsam dışında bırakılmıştır.

Doktrinde, İSG mevzuatının katı hukuk metinleri halinde dondurulmaması, ayrıntılı kurallar yerine genel kurallarla yetinilmesi gerektiği ileri sürülmektedir (Süzek, 1985; 63). Bu görüşü savunanlara göre; teknolojiadaki hızlı değişim ve gelişim, yeni iş alanları ve bunlara bağlı olarak yeni mesleki risklerin ortaya çıkması, mevzuatta da gerekli değişiklik ve yeniliklerin yapılmasını zorunlu kılmakta; bu durum, yasa boşlukları nedeniyle İSG önlemlerinin gereği gibi yerine getirilmesinde zaafiyete sebebiyet vermektedir. Bu nedenle, uygulama esnekliğini sağlayabilmek için, özellikle teknik iş güvenliği önlemlerine ilişkin kuralların yasaların çizdiği genel çerçevede dikkate alınarak idari işlemlerle düzenlenmesinin uygun olacağı görüşü de ileri sürülmüştür

Ancak, işveren ve çalışanlarda iş sağlığı ve güvenliği bilincinin yeterince gelişmediği ülkelerde, sadece genel nitelikte düzenlemelerle yetinip, konuyu idari düzenlemelere bırakmak sakıncalı bir yöntem olur (Süzek, 1985: 64). Bu ülkelerde, genel çerçeveyi belirleyen Kanun yanında, tarafların hak ve yükümlülüklerini açık, net, ayrıntılı ı şekilde ortaya koyacak hukuk normlarına da ihtiyaç vardır. Nitekim, hukukumuzda da, iş sağlığı ve güvenliğini sağlayıcı genel kanun yanında, pek çok, tüzük ve yönetmelik ile yapılan işin özelliklerine göre, teknik ayrıntıları açıkça ortaya koyan daha özel hükümler öngörülmüştür.

İşverenin, İSG önlemlerini alma konusundaki yükümlülüklerini belirleme bakımından da aynı durumu görmekteyiz. İş ilişkisinin genel hükümlerini oluşturan Türk Borçlar Kanunu'nda (TBK) işverenin İSG önlemlerini alma zorunluluğu, "İşveren, işyerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması için gerekli her türlü önlemi almak, araç ve gereçleri noksansız bulundurmak; işçiler de iş sağlığı ve güvenliği konusunda alınan her türlü önleme uymakla yükümlüdür." şeklinde düzenlenmiştir (TBK md. 417/2).

6331 sayılı İSGK'da ise çalışanların sağlık ve güvenlik yönünden korunması için işverenin sorumluluğunun sınırları daha geniş tutulmuştur (Kalkış, 2013; 22). Kanunun "işverenin genel yükümlülüğü" kenar başlıklı 4. maddesinde işverenin çalışanların işleriyle ilgili İSG şartlarını sağlama konusunda yükümlülüğü olduğu belirtilmiş, 1. fıkrada bu konudaki yükümlülükleri sıralanmış, 2-4 fıkralarda ise işverenin sorumluluğunu ortadan kaldırama veya sınırlamaya yönelik durumlar bakımından kısıtlar öngörülmüştür. Keza kanunun aşağıda üzerinde durulan hükümlerinde de işverenin özel durum veya risklere ilişkin yükümlülükleri gösterilmiştir. 6331 Sayılı Kanun'da işverenin İSG önlemleri alma yükümlülüğünün sınırları büyük ölçüde genişletilmiş ise de özellik arz eden pek çok iş kolu veya risk alanlarına ilişkin işveren yükümlülükleri ayrıca çıkarılan yönetmelik ve tebliğlerle açıklığa kavuşturulmuştur.

2. 6331 Sayılı Kanun'a Göre İşverenin Yükümlülükleri

6331 sayılı Kanunun işverenin genel yükümlülüğünü düzenleyen 4. maddesi dışında öngörülen işveren yükümlülükleri aşağıda özetle ele alınmıştır.

İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri için gerekli ve yeterli eleman bulundurma yükümlülüğü: İşverenin tüm işyerlerinde iş güvenliği uzmanı, işyeri hekimi ile on ve ondan daha çok çalışanın bulunduğu, çok tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde diğer sağlık personeli çalıştırma yükümlülüğü bulunmaktadır. Bahsi geçen hizmeti, uygun şartları sağladığı takdirde kendi çalışanları tarafından ya da Ortak Sağlık ve Güvenlik Biriminden (OSGB) hizmet olarak gerçekleştirilebilir (İSGK, md.6/1, a).

Risk değerlendirmesi, kontrol, ölçüm ve araştırma yükümlülüğü: Yeni İSG yaklaşımının temelini oluşturan, iş kazaları meydana gelmemesi ve meslek hastalıklarının oluşmaması için önleyici yaklaşım anlayışı, işverene risk değerlendirmesi yapmak ya da yaptırmak yükümlülüğünü de getirmiştir (İSGK, md. 10/1). İSGK md. 10/4'e göre, "İşveren iş sağlığı ve güvenliği yönünden çalışma ortamına ve çalışanların bu ortamda maruz kaldığı risklerin belirlenmesine yönelik gerekli kontrol, ölçüm inceleme ve araştırmaların yapılmasına imkan sağlar".

Acil Durum Planları hazırlama, Yangınla Mücadele ve İlk Yardım önlemleri alma yükümlülüğü: İşveren risk değerlendirmesi çalışmaları ve tehlikelere karşı aldığı önlemlere rağmen çıkması olası yangın, ilkyardım gerektirecek olaylar gibi acil durumları belirlemekle yükümlüdür. Aynı zamanda belirlemiş olduğu meydana gelmesi muhtemel ve mümkün acil durumları önlemek veya zararlarını azaltmak yönünde gerekli çalışmaları yapmak ve işyeri acil durum planını hazırlaması zorunludur (İSGK, md. 11/1, a, b).

İş kazası ve meslek hastalıklarının kayıt ve bildirim yükümlülüğü: İSGK 14.maddesine göre işveren çalışanlarıyla ilgili tüm iş kazası ve meslek hastalıklarına dair kayıtları tutmalıdır. Ayrıca, kendisine bildirim yapılan meslek hastalıkları için işveren öğrendiği tarihten itibaren 3 iş günü içinde, işyerinde yaşanan iş kazalarını da yine kazadan sonraki üç iş günü içinde Sosyal Güvenlik Kurumuna bildirme zorunluluğu bulunmaktadır (İSGK md. 14/1, 2, a).

Sağlık gözetimi yükümlülüğü: İşveren, çalışma ortamında maruz kalacakları İSG risklerine göre çalışanların sağlık kontrolü ve gözetimi yapılmalarını sağlar (İSGK, md. 15/1, a) . Bu bağlamda, işveren, çalışanların işe girişlerinde, iş değişikliği yaptıklarında, iş kazası ya da meslek hastalığı söz konusu olduğunda veya sağlık nedeniyle işyerinden bir süre ayrı kaldıklarında işe döndükleri zaman talep etmeleri durumunda ve işyerinin tehlike sınıfına göre Bakanlık tarafından belirlenmiş olan düzenli aralıklarla sağlık kontrollerini yaptırmak ve buna ilişkin tüm maliyetleri karşılamakla yükümlüdür (İSGK, md. 15/1, b).

Çalışanların bilgilendirilmesi yükümlülüğü: İşveren, işyerinde İSG'nin sağlanması, geliştirilmesi ve sürdürülebilir olması amacıyla, çalışma ortamında ortaya çıkabilecek tehlike ve riskler, koruyucu ve önleyici tedbirler, acil durumlarla ilgili yapılacaklar ile kendi yasal hak ve sorumlulukları konusunda çalışanları bilgilendirmelidir (İSGK, md. 16/1).

Çalışanların eğitimi yükümlülüğü: İlgili Kanun'un 17.maddesi uyarınca çalışanlara işe başlamadan önce, işte bir değişiklik olduğunda, kullanılan ekipmanlarda yahut teknolojide bir farklılık olması durumunda iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin verilmesi de işverenin yerine getirmesi gereken yükümlülük ve sorumlulukları arasındadır (İSGK, md. 17/1).

Çalışanların görüşlerinin alınması ve katılımlarının sağlanması yükümlülüğü: İlgili Kanunun 18.maddesine göre işyerinde çalışanlar, çalışan temsilcileri ve destek elemanlarının İSG ile ilgili konularda fikirlerini beyan etmeleri, yapılan çalışmalara aktif olarak katılmaları için işverenin imkan sağlama zorunluluğu bulunmaktadır (İSGK, md. 18/1). Bu yükümlülük 6331 sayılı Kanunun 18. maddesi yanında, İSG konusunda çıkarılmış birçok yönetmelikte de özel olarak yer almaktadır.

Çalışan Temsilcisi Görevlendirme Yükümlülüğü: İSGK 20.maddesinde işverenin çalışanlar arasında, risklerin azaltılması hususunda işverene önerilerde bulunma, gereken tedbirler varsa bunların yapılmasını isteme ve İSG çalışmalarına katılma konusunda çalışanları temsil edecek çalışan temsilcisi görevlendirme yükümlülüğü düzenlenmiştir. Çalışan temsilcisi atamasının seçim yoluyla yapılması esastır. Seçim yoluyla yapılmıyorsa işveren tarafından atama yoluyla belirlenebilme imkanı bulunmaktadır (İSGK, md. 20/1).

İSG Kurulu Oluşturma Yükümlülüğü: Elli ve daha çok sayıda çalışanın olduğu ve altı aydan daha uzun süren işlerin yapıldığı işyerinde işverenin, İSG konularının görüşüleceği, çalışmaların yapılacağı bir kurul oluşturmakla ilgili yükümlülüğü bulunmaktadır. İSG Kurulunca alınan mevzuata uygun kararların işveren tarafından uygulaması zorunludur (İSGK, md. 22/1).

6331 Sayılı İSGK'da yer alan yükümlülüklerini yerine getirilmemesi işverenin hukuki idari ve cezai sorumluluklarla karşı karşıya kalmasına neden olur. İşveren her bir yükümlülüğü yerine getirmiş olsa dahi, özellikle İSGK'da önemli bir yere sahip olan proaktif yaklaşımın temellerini oluşturan risk değerlendirmesi ve risk değerlendirmesinin bir çıktısı olan acil durum yönetimi konusundaki sorumluluklarında zaafiyet göstermesi iş kazalarının doğmasına ve sonuçlarının ağırlaşmasına neden olabilir. Bu nedenle işveren bu konuda gerekli hassasiyeti göstermeli, risk değerlendirmesi ve acil durum prosedürlerini oluşturulup, dokümanate ederek, gerekli görülenlerin bilgilendirmelerini evleviyetle yapmalıdır.

Bu bağlamda, işyerinde acil durum planını hazırlama esasları, önleyici, koruyucu tedbirler, tahliye, yangın, ilk yardım ve benzeri acil durum konularında yapılması gerekenler ile acil durumların güvenli bir şekilde yönetilebilmesi ve görevlendirilecek çalışanların belirlenmesi ile ilgili usul ve esasları düzenlemek amacıyla, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından, İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik (İADHK) çıkarılmıştır

3. Acil Durum Kavramı

İADHY'ye göre acil durum, "İşyerinin tamamında veya bir kısmında meydana gelebilecek yangın, patlama, tehlikeli kimyasal maddelerden kaynaklanan yayılım, doğal afet gibi acil müdahale, mücadele, ilkyardım veya tahliye gerektiren olayları" ifade etmektedir (İADHK, 2013). Bir işyerinde acil durum meydana geldiğinde ve meydana gelen olay tipik olarak zaman baskısı ve bilgi eksikliği ile bütünleştiğinde, ciddi sonuçlara yol açan olayın neden olduğu mülk ve can kayıplarını azaltan en

önemli süreç “doğru karar vermek”tir (Levy ve Taji, 2007: 906-907).

Acil durum müdahalesini uygun ve etkili kılmak için, karar verme sürecinden sorumlu karar vericilerin acil durumla hemen başa çıkabilmek için makul kararlar almaları gerekmektedir (Zhang, Wang ve Wang, 2018: 407). Alınan kararların makul ve etkili olabilmesi için çalışanlara verilen eğitim büyük önem arz etmektedir.

Son yıllarda yapılan acil durumlarda ilgili çalışmalar prosedürel "nasıl yapıldığını bil" değil, önermeye dayalı "bunu bil" üzerinedir. Afete müdahale yönetimini iyileştirmek için çeşitli önlemleri uygularken prosedür bilgisi gereklidir, ancak bu tür önlemleri uygulamak için öncelikle bunların işe yarayacağı sonucuna varmamız gerekir. Bunun için önerme bilgisi esastır. Burada önerme bilgisinden kasıt "haklı inançlar" ifadesidir (Frykmer vd., 2021: 3). Haklı inançlar işin sosyal boyutu olarak ele alınmaktadır.

Karar vericilerin psikolojik davranışları, stratejik manipülasyon davranışları, uzmanların işbirlikçi olmayan davranışları (Dong vd., 2016: 12) gibi farklı davranışlar acil durumlardaki karar verme sürecinde önemli roller oynamaktadır (Zhang, Wang ve Wang, 2018: 407). Karar vericilerin davranışları acil durumlarda doğru olduğuna karşı “haklı inançlar” olarak düşünülmektedirler ancak kişisel olarak algılanan haklı inançların örgüt içerisinde doğru olup olmadığını irdelemek için bir grup olarak önceden acil durumlarda ve senaryolarla ilgili çalışmaların yapılması gerekir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar bu noktaya parmak basmaktadır. Örneğin yapılan bir çalışmada acil durum ve afet müdahale yönetiminde müdahalelerin etkilerini veya "neyin işe yarayıp yaramadığını" inceleyerek sorunu analiz edilerek ve sahada iyileştirmeler önerebilecek tasarım bilgisinin geliştirilmesini destekleyen bir yaklaşımı savunmaktadır (Frykmer vd., 2021: 2).

Acil durumlarda baş edebilmenin bir başka sorunu ise çoklu ekip sistemlerinin acil durumların karmaşıklıklarını etkili bir şekilde yönetebilen çok yönlü sistemler olması gerekmektedir (Luciano, DeChurch ve Mathieu, 2015: 1080; Fleştea vd., 2017: 44).

İşverenin, işyerindeki acil durumlara ilişkin yükümlülükleri 18.06.2013 tarihli 28681 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan İADHY’de detaylı olarak yer almaktadır.

3.1. Acil durumlarda işverenin yükümlülükleri

Çalışma ortamında acil durum planının oluşturulması, önleyici, koruyucu faaliyetler, yangınla mücadele ve tahliye yöntemleri ile ilk yardım ve diğer acil durumlarda müdahalede yapılması gerekenler ile bu sürecin sorunsuz yürütülmesi ve destek elemanlarının belirlenmesi ile ilgili usul ve esasları düzenlemek amacıyla çıkarılmış olan İADHY, İSGK’nın 11, 12 ve 30 uncu maddelerine dayanılarak hazırlanmıştır (İADHY, 2013).

İADHY’de işverenin yükümlülükleri başlığı altında yer alan yükümlülükler şu şekilde sıralanmaktadır;

-Çalışma şartları, kullanılan ekipmanlar, çevre koşulları değerlendirilerek olası acil durumları belirlemek

-Acil durumların etkilerinden çalışanları, işyeri ve çevresini korumak için önleyici ve sınırlandırıcı önlemler almak

-İşyerinde gerekli ölçüm yapmak ve değerlendirmelerde bulunmak

-Acil durum planı hazırlanması ve düzenli tatbikatların yapılmasını sağlamak

-Yeterli sayıda destek elemanını görevlendirmek ve muhtemel acil durumlara karşı hazırda bulundurmak

-Acil durumlarla ilgili işyeri dışından destek verebilecek kuruluşlarla irtibatta olabilecek düzenlemeler yapmak

-Enerji kaynakları ve acil durumlarda harici risk yaratabilecek sistemlerin devre dışı olmasıyla ilgili düzenlemeler yapmak

-Alt işveren, tedarikçiler, ziyaretçiler, geçici olarak görevlendirilen çalışanları acil durumlar hakkında bilgilendirmek.

6331 Sayılı İSGK’da acil durumlara karşı hazırlıklı olması zorunluluğu bulunan işverenin hazırlamakla yükümlü olduğu acil durum planının aşamaları İADHY’de belirlenmiştir.

3.2. Acil durum planı hazırlama aşamaları

İADHY’ye göre, acil durum planı, “İşyerlerinde meydana gelebilecek acil durumlarda yapılacak iş ve işlemler dahil bilgilerin ve uygulamaya yönelik eylemlerin yer aldığı plan”dır (İADHY, md. 3/1-b).

Doktrinde Acil durum planı “işyeri dışındaki ilgili kuruluşların ekipleri işyerine intikal edene kadar geçen sürede durumun kontrol altına alınması, dışarıdan müdahale ve mücadele için gelen ekiplere yardımcı olunması, tüm işyeri çalışanları ve işyeri ile çevrenin güvenliğinin sağlanabilmesi için acil durum planları faaliyet koluna bakılmaksızın her işverenin hazırda bulundurması zorunlu olan bir plandır” şeklinde tanımlanmaktadır (Ravi K., vd., 2014: 263).

Acil durum planı, faaliyet alanına bakılmaksızın tüm işyerleri için tasarım ya da kuruluş sırasından itibaren acil durumların belirlenmesi, acil durumların olumsuz etkilerini önleyici ve sınırlandırıcı tedbirlerin alınması, görevlendirilecek destek elemanlarının belirlenmesi, acil durum müdahale ve tahliye yöntemlerinin oluşturulması, dokümantasyon, tatbikat ve acil durum planının yenilenmesi aşamalarına uygun olarak hazırlanır (İADHY, md. 7/1).

1-Acil durumların belirlenmesi: İADHY’de işverenin yükümlülükleriyle ilgili olarak acil durum planının hazırlanması aşamalarında ilk sırada “çalışma şartları, kullanılan makine ve teçhizatlar ile çevre koşulları göz önünde bulundurularak oluşabilecek ve çalışanlar ile çalışma ortamını ve çevresini olumsuz etkileyecek acil durumlar hususunda önceden bir değerlendirme yaparak, olası acil durumları belirleme” zorunluluğu yer almaktadır (İADHY, md. 5/1, a). Acil durumlarla mücadelede en etkin çözüm yolu, acil durum henüz oluşmadan işyeri olarak gerekli önlemleri alıp hazırlıklı olabilmektir. Acil durumlara karşı hazırlıklı olabilmek ve acil durumların vereceği zararları en az seviyeye ulaşabilmesi için yönetmelikte de işverenin birinci yükümlülüğü olan muhtemel acil durumları belirlerken, referans olarak alınabilecek hazırlanmış olan risk değerlendirmesi çalışması, doğal afetlerin meydana gelme ihtimali, tehlikeli kimyasal faktörler, yangın ve patlama riski ile ilkyardım ve tahliye yapılmasına gerek duyulacak durumların değerlendirilmesi gerekmektedir.

2-Önleyici ve sınırlandırıcı tedbirler: Acil durumlar belirlendikten sonra, toplu korunma önlemlerine kişisel

koruyuculara göre öncelik verecek şekilde, acil durumların oluşmasını önlemek ve olumsuz etkilerini sınırlandırmak için alınacak önlemler belirlenerek acil durum planının hazırlanması aşamalarına devam edilmelidir (İADHY, md. 9).

3-Acil durum müdahale ve tahliye yöntemleri: İşyerinde herhangi bir acil durum söz konusu olduğunda İADHY 10. maddesine göre yapılacakların önceden planlı olması açısından, kargaşaya sebebiyet vermemek için, nasıl müdahale edilmesi gerektiğiyle ilgili yöntemlerin oluşturulması önem arz etmektedir. Belirlenen her bir acil durum için ayrı ayrı olmak üzere müdahale yöntemleri belirlenerek, oluşturulan prosedürler yazılı hale getirilmelidir. Ayrıca çalışanların acil durum sırasında güvenli yer olarak belirlenmiş olan alanda toplanabilmeleri için gerekli tahliye düzenlemelerinin de acil durum planında belirtilmesi gerekmektedir. Acil durumlarda yapılan müdahale ve tahliye prosedürleri "Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik" hükümleri göz önünde bulundurularak belirlenmelidir (İADHY, md. 10/1, 3, 5).

4-Görevlendirilecek çalışanların belirlenmesi: İşveren, acil durumlara müdahale ve acil durumlarla mücadele için üç farklı ekip görevlendirmelidir. Yönetmeliğe göre;

- Arama, kurtarma ve tahliye,
- Yangınla mücadele,
- İlk yardım gibi alanlarda, uygun donanıma sahip ve bu konularda eğitilmiş yeterli sayıda çalışandan oluşan ekipler oluşturulması gerekmektedir.

Oluşturulan ekipler arasındaki uyumun bulunması, gerektiğinde ortak eğitim ve tatbikatlar yapılması büyük önem taşır. Gerçekten, eşgüdümün sağlanmasının önemine vurgu yapan çoklu ekip sistemlerinde, öngörülemeyen tehlike durumlarında ve hızlı değişen şartlarda, esnek ancak hızlı karar almanın, iş sağlığı ve güvenliği açısından önemine özel olarak değinilmektedir (Mathieu, Marks ve Zaccaro 2001: 357-358).

İADY'nde oluşturulan acil durum ekipleri arasında eşgüdümün sağlanmasına ilişkin açık bir düzenleme bulunmamakta, ancak tebliğde belirtilmiş tehlike sınıflarına göre görevlendirilecek acil durum çalışanlarının sayısını belirlemektedir. Yönetmeliğin, 11. maddesine göre, çok tehlikeli sınıfta 30, tehlikeli sınıfta 40 ve az tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde 50 çalışan için ; arama, kurtarma ve tahliye ile yangınla mücadelede görevlendirmek üzere birer destek elemanı belirlenmesi gerekmektedir (İADHY, md. 11/1). Diğer yandan İlk Yardım Yönetmeliği uyarınca; çok tehlikeli sınıftaki işyerlerinde 10, tehlikeli sınıf için 15, az tehlikeli sınıf için de 20 kişiye en az bir ilkyardımcı belgesine sahip destek elemanı görevlendirilmesi zorunluluğu bulunmaktadır (İlkyardım Yönetmeliği, md. 19/1).

İşyerinde bu sayıları aşan çalışanların bulunması durumunda, tehlike sınıfına göre verilen sayıların her bir katlarında birer tane daha destek elemanı görevlendirir. İADHY'nin 11/3. maddesinde, belirtilen her bir konu için tehlike sınıfı ve çalışan sayısına göre birden çok çalışanın görevlendirilmesi gereken durumlarda, destek elemanlarından oluşan ekiplerin koordinasyon içinde görev yapmaları gerektiği belirtilmiş ve her ekipte bir ekip başının bulunması öngörülmüştür. Buna karşılık, 10 kişiden daha az çalışan kişinin bulunduğu az tehlikeli sınıftaki işyerleri için, tüm ekipler adına yeterli donanıma ve belgeye sahip olan bir kişi görevlendirilmesi yeterlidir.

5-Dokümantasyon: Acil durumlar konusunda yapılan tüm çalışmaların yazılı hale getirilmesi önemli olduğu gibi, acil durum planının dokümantasyonunun da mevzuata uygunluğu ile hazırlanan krokinin işyerinde herkes tarafından rahatça fark edilebilecek şekilde bulundurulması ayrı bir önem arz etmektedir.

-İşyerinin adı, unvan ve adresi.

-Hazırlayan kişilerin isim, soy isim ve unvanları.

-Planın oluşturulduğu tarih ile geçerlilik tarihi.

-İşyerine özgü belirlenmiş olan acil durumlar.

-Her bir acil durumda alınacak önleyici ve sınırlandırıcı önlemler.

-Her bir acil durumda yapılacak müdahale ve tahliye prosedürleri

-Yangınla mücadele ve ilkyardım ekipmanlarının bulunduğu yerler, acil çıkış yolları, kapıları, merdivenleri vs, toplanma alanı, uyarı sistemlerinin gösterildiği yerler ile destek elemanları varsa yedeklerinin isim, soy isim, unvan, görev ve iletişim bilgileriyle beraber acil durumlarda irtibat sağlanacak işyeri dışındaki kuruluşların numaralarının bulunduğu bir krokinin dokümantasyon olarak bulundurulması gerekmektedir. Hazırlanan acil durum planının sayfalarına numara verilip; hazırlayan kişiler tarafından her sayfası paraflanıp, son sayfası imzalanır ve acil durumlarda müdahale ve mücadelede görevli ekiplerin kolaylıkla ulaşabilecekleri bir şekilde işyerinde saklanır (İADHY, md. 12/1, 2, 3).

6- Tatbikat; Hazırlanan acil durum planının her bir aşamasının gerçekte uygulanabilir olup olmadığının kontrolü ve acil durum planında bir hata veya eksikliğin tespit edilebilmesi için işyerinin tehlike sınıfına bakılmaksızın, tüm işyerlerinde yılda en az bir defa olmak üzere tatbikatlar düzenlenir. Tatbikat sonrasında gerekli görülmesi durumunda düzeltici ve önleyici faaliyetler uygulanır, gerekli düzeltmeler yapılır. Tatbikatın tarihi, süresi, görülen eksikliklerin yer aldığı tatbikat raporu formu hazırlanır (İADHY, md. 13/1).

7-Acil Durum Planının Yenilenmesi; İşyerinin tehlike ve risklerine özgü belirlenmiş olan acil durumlar ya da öngörülemeyen acil durumlara sebep olabilecek değişikliklerin meydana gelmesi durumunda acil durum planı tamamı veya bir bölümü yeniden hazırlanır. Hazırlanan acil durum planına aykırı herhangi bir durum ya da değişiklik söz konusu olmadığında ise, çok tehlikeli sınıfta 2 yılda bir, tehlikeli sınıfta 4 yılda bir ve az tehlikeli sınıfta 6 yılda bir planın yenilenmesi gerektiği ifade edilmiştir ((İADHY, md. 14/1, 2).

4. Sonuç

Olası acil durumlara karşı her daim hazır olunması, zararlarının etkin bir şekilde sınırlandırılması öngörülebilir tehlikelerin önüne geçilmesi için önlemlerin alınması amacıyla planlama yapılması iş sağlığı ve güvenliğinin önleyici yaklaşımının bir gereğidir. Bu planlamayı işverenin inisiyatifine bırakmak, çoğu zaman çalışanların işyeri tehlikelerine karşı korumasız kalması sonucunu doğurur. Nitekim, acil durum planlarını hazırlama yükümlülüğü, İş Kanunu kapsamına giren tüm işyerleri için mevzuatımızda yer almaktaydı. Fakat 6331 Sayılı İSGK'dan önce acil durum planının hazırlanmamış olması herhangi bir müeyyideye bağlanmamıştı ve bu nedenle de işveren, çoğu zaman bu yükümlülüğünü yerine getirme ihtiyacı duymamaktaydı.

6331 Sayılı İSGK'nın kabulü ile birlikte acil durum planı yükümlülüğünün kapsamı daha da genişletilmiş; bu

yükümlülüğün yerine getirilmemesi yaptırıma bağlanmıştır. Böylece, İSGK kapsamına girmeyen iş ve işyerleri hariç tutularak, faaliyet alanına bakılmadan özel sektör ve kamuya ait olan bütün işyerlerine acil durum planı hazırlama yükümlülüğü getirilmiştir. Bu yükümlülüğün düzenlendiği Kanunun 11. maddesi uyarınca işverenler, iş sağlığı ve güvenliği yönünden acil durum planı hazırlamakla yükümlüdür.

İşyerlerinde 6331 Sayılı İSGK hükümlerinin uygulanıp uygulanmadığının ya da ne seviyede uygulandığının izlenmesi ve denetlenmesi, İSG konusunda denetim yetkisi bulunan Bakanlık iş müfettişleri tarafından gerçekleştirilir (İSGK, md.24).

Şekil 1’de gösterilen 2021 yılı acil durumlarla ilgili konularda eksik çalışmaları bulunan işverenlere uygulanacak olan idari para cezalarına yer verilmiştir Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı (AÇSŞB), 2021). İSGK madde 11’e göre işverenin acil durumlarını belirlememesi, acil durum planı hazırlanmaması, acil durumlarla ilgili tedbir almaması, acil durum ekipmanlarını bulundurmaması, destek elemanı görevlendirmemesi veya işyeri dışındaki kuruluşlarla işbirliği

yaşamaması durumunda 10 kişiden az çalışanı olan çok tehlikeli sınıfta bir işyeri her ay için 3832 TL, 10-49 arasında çalışan sayısı bulunan çok tehlikeli sınıfta bir işyeri 5110 TL, 50 ve üzerinde

çalışanı olan çok tehlikeli sınıfta bir işyeri ise 7665 TL idari para cezası ödemek zorundadır. Aykırılığın devam ettiği her ay için ise cezalar katlanarak artırılmaktadır (AÇSŞB, 2021). İşveren Kkanununun 12.maddesini oluşturan tahliye ile ilgili her bir aykırı durum için aynı şekilde idari para cezası ödemekle yükümlüdür.

Sadece Acil durum yönetiminin oluşturulması ve acil durum planının hazırlanmış olması işverenin sorumluluklarını ortadan kaldırmamaktadır. İşverenlerin İSGK’ya göre öngörülen idari para cezalarının haricinde, hazırlanan acil durum planlarının uygulanabilir olması, işyerinde olası acil durumlara karşı gerçek anlamda hazırlıklı olması büyük önem arz etmektedir. Acil durum planları yalnızca dökümantasyon olarak bulundurulma amaçlı değil de, risk değerlendirmesinin bir çıktısı olarak kabul edilen acil durum planlarındaki önleyici ve sınırlandırıcı tedbirlerin alınması acil durumların yaşanması veya zararının azaltılması konusunda etkin olacaktır ve böylece olası istenmeyen durumlar ve kayıpların önüne geçilebilecektir. İstenmeyen durumlarda kusurlu olarak görülebilecek işverenlerin hukuki ve cezai sorumlulukları kapsamında da acil durum yönetimi konusunda bilinçli olmaları, bu konuya hassasiyet göstermeleri gerekmektedir.

Kanun Maddesi	Ceza Mad.	Kanun Maddesinde Sözü Edilen Fiil	2021 Yılında Uygulanacak Ceza Miktarı (TL) (Yeniden Değerleme Oranı %9,11)									Açıklamalar
			10 dan Az Çalışanı Olan İşyerleri			10-49 Çalışanı Olan İşyerleri			50+ Çalışanı Olan İşyerleri			
			AZ TEHLİKELİ (Aynı miktarda)	TEHLİKELİ (%25 artırılarak)	ÇOK TEHLİKELİ (%50 artırılarak)	AZ TEHLİKELİ (Aynı miktarda)	TEHLİKELİ (%50 artırılarak)	ÇOK TEHLİKELİ (%100 artırılarak)	AZ TEHLİKELİ (%50 artırılarak)	TEHLİKELİ (%100 artırılarak)	ÇOK TEHLİKELİ (%200 artırılarak)	
MADDE 11 - Acil durum planları, yangınla mücadele ve ilk yardım	26/1-d	Acil durumları belirlememek, acil durumlar için tedbir almamak, acil durum planlarını hazırlamamak, destek elemanı görevlendirmemek, araç gereç sağlamamak, acil durumlarda işyeri dışındaki kuruluşla irtibatı sağlayacak düzenlemeyi yapmamak.	2.555	3.193	3.832	2.555	3.832	5.110	3.832	5.110	7.665	Her bir yükümlülük için TL/ Aykırılığın devamı halinde her ay
MADDE 12 - Tahliye	26/1-d	Ciddi ve yakın tehlike durumunda; çalışanların işi bırakarak güvenli yere gitmelerini sağlamamak. Zorunluluk olmadıkça, gerekli donanımına sahip ve özel olarak görevlendirilenler dışındaki çalışanlardan işlerine devam etmelerini istemek. Müdahalede bulunan çalışanları yaptıkları müdahaleden dolayı sorumlu tutmak.	2.555	3.193	3.832	2.555	3.832	5.110	3.832	5.110	7.665	Her bir yükümlülük için TL/ Aykırılığın devamı halinde her ay

Şekil 1: 2021 yılında acil durumlarla ilgili işverenlere uygulanacak idari para cezaları.

Kaynakça

- 1475 Sayılı İş Kanunu, Resmi Gazete, S: 13943, 25.08.1971.
- 1965-1967 İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Faaliyetlerini Geliştirme Planı, Çalışma Bakanlığı İşçi Sağlığı Genel Müdürlüğü, Ankara 1965
- 3008 Sayılı İş Kanunu, Resmi Gazete, S: 3330, 15.06.1936.
- 4857 Sayılı İş Kanunu, Resmi Gazete, S: 25134, 10.06.2003.
- 6098 Sayılı Türk Borçlar Kanunu, Resmi Gazete, S: 27836, 04.02.1011.
- 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Resmi Gazete, S: 28339, 30.06.2012.
- 931 Sayılı İş Kanunu, Resmi Gazete, S: 12953, 18.07.1968.
- Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, (AÇSHB), (2021), 6331 Sayılı İSG Kanununa Göre 2021 Yılında Uygulanacak İdari Para Cezaları <https://www.ailevecalisma.gov.tr/isggm/hizmetlerimiz/idari-para-cezalari/> (Erişim tarihi: 21.03.2021).
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, S: 26735, 19.12.2007.
- Dong, Y., Zhang, H., & Herrera-Viedma, E. (2016). Integrating experts' weights generated dynamically into the consensus reaching process and its applications in managing non-cooperative behaviors. *Decision Support Systems*, 84, 1-15.
- Fleştea, A. M., Fodor, O. C., Curşeu, P. L., & Miclea, M. (2017). 'We didn't know anything, it was a mess!' Emergent structures and the effectiveness of a rescue operation multi-team system. *Ergonomics*, 60(1), 44-58.
- Frykmer, T., Tehler, H., Uhr, C., & Wester, M. (2021). Advancing the Field of Disaster Response Management: Toward a Design Science Approach. *International Journal of Disaster Risk Science*, 1-12.
- İlkyardım Yönetmeliği, Resmi Gazete, S: 29429, 29.07.2015.
- İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, S: 28681, 18.06.2013.
- Kılış, İ. (2013). İş sağlığı ve güvenliğinde yeni dönem: 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK). *İş, Güç Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi*, 15(1), 17-41.
- Korkmaz, A., Avsallı, H., (2012), Çalışma Hayatında Yeni Bir Dönem:6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası, SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi, *Sosyal Bilimler Dergisi*, 26, 153- 167.
- Levy, J.K., & K. Taji. (2007). Group decision support for hazards planning and emergency management: A Group Analytic Network Process (GANP) approach. *Mathematical and Computer Modelling* 46(7): 906-917.
- Luciano, M. M., DeChurch, L. A., & Mathieu, J. E. (2018). Multiteam systems: A structural framework and meso-theory of system functioning. *Journal of Management*, 44(3), 1065-1096.
- Marks, M. A., Mathieu, J. E., & Zaccaro, S. J. (2001). A temporally based framework and taxonomy of team processes. *Academy of management review*, 26(3), 356-376.
- Ozay, M. E., & Coskun, S. (2017). Analysis Of Occupational Health And Safety Data Between 2003-2015 In Turkey. *Journal Of Business Economics And Finance*, 6(4), 375-385.
- Özdemir, E.: İş Sağlığı ve Güvenliği Hukuku, İstanbul 2014
- Ravi K., Bholra R., Akshay V., Satish R., Santosh P., & Rajat A., (2014). Automation Of Emergency Response For Petroleum Oil Storage Terminals. *Safety Science*, Sayı: 72, Sayfa: 263.
- Süzek, Sarper, İş Güvenliği Hukuku, Ankara 1985
- Tunçomağ, K., (1972). Türk İş Hukukunda Son Gelişmeler, İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi Mecmuası, Cilt: 37, Sayı: 1-4, 243-261.
- Zhang, Z. X., Wang, L., & Wang, Y. M. (2018). An emergency decision making method based on prospect theory for different emergency situations. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9(3), 407-420.



Bazalt/PANI Kompozitlerinin Dielektrik Özelliklerinin Tahmini için Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırılması

Önder Eyecioğlu^{1*}

^{1*} Nişantaşı Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9735-5697), oeveci@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 8 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 27 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.876423)

ATIF/REFERENCE: Eyecioğlu, Ö. (2021). Bazalt/PANI Kompozitlerinin Dielektrik Özelliklerinin Tahmini için Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 817-826.

Öz

İletken polimer kompozit malzemeler, süper kapasitörler, varistörler veya sensörler gibi birçok teknolojik uygulamada kullanılır. Teknolojik uygulamalar için çok önemli olan bu malzemelerin dielektrik geçirgenlik gibi elektronik özellikleri, katkı oranı ve sıcaklık gibi temel parametrelere bağlı olarak doğrusal olmayan davranış göstermektedir. Olası parametre konfigürasyonlarının fazlalığından dolayı bu özelliklerin istenen değerleri sağlanması için tüm uygun parametrelere setlerinin deneysel olarak belirlenmesi zahmetli ve maliyetlidir. Bu amaç için pratik bir yöntem önermek çok önemlidir. Bu çalışmada, CM1 ve KYZ13 bazalt katkılı PANI polimer kompozitlerinin kompleks dielektrik fonksiyonlarının gerçek (ϵ') ve sanal bileşenlerinin (ϵ''), açılmal frekansa (ω) ve PANI konsantrasyonuna (w) (%10, %25 ve %50) bağlı doğrusal olmayan değişimlerinin tahmini için üç farklı makine öğrenmesi algoritması uygulanmıştır. Bu algoritmalar, Doğrusal Regresyon (LR), k- En yakın komşu regresyonu (k-NN), Karar ağacı regresyonu (DT-R) makine öğrenmesi algoritmalarıdır. Bu algoritmaların eğitim süreçleri için gerekli olan veri seti, deneysel dielektrik ölçümleri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu deneysel veriler, oda sıcaklığında 100 Hz ile 17.5 MHz arasında değişen frekans aralığında empedans analizör kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmada lineer regresyon, k-en yakın komşu regresyon ve karar ağacı regresyon algoritmalarının tahmin performansı ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, istatistiksel fit, belirleme katsayısı (R^2), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) istatistiksel performans metriklerinin karşılaştırılması ile belirlenmiştir. Tahmin sonuçlarının performans karşılaştırması ile Lineer Regresyon algoritmasının uygun kararlı bir tahmin performansı göstermemesine karşın, karar ağacı regresyonu modelinin, hem gerçek (ϵ') hem de sanal bileşenlerinin (ϵ'') hesaplanmasında daha uygun model olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bazalt/PANI polimer kompozitleri, kompleks dielektrik fonksiyonları, Makine Öğrenmesi Doğrusal Regresyon, k- En yakın komşu regresyonu, Karar ağacı regresyonu.

Comparison of Machine Learning Models for Estimation of Dielectric Properties of Basalt / PANI Composites

Abstract

Conductive polymer composite materials are used in many technological applications such as supercapacitors, varistors or sensors. Electronic properties of these materials such as dielectric permeability, which are very important for technological applications, show nonlinear behavior depending on basic parameters such as additive rate and temperature. Due to the abundance of possible parameter configurations, it is cumbersome and costly to experimentally determine all the appropriate sets of parameters to achieve the desired values of these properties. It is very important to propose a practical method for determining the required parameter configurations in order for these properties to provide the desired values. In this study, three different machine learning algorithms have been applied for the prediction of real (ϵ') and imaginary components (ϵ'') of nonlinear, complex dielectric functions dependent on frequency and PANI concentration (10%, 25% and 50%) of CM1 and KYZ13 basalt doped PANI polymer composites. These algorithms are Linear Regression, k- Nearest neighbor regression, Decision tree regression machine learning algorithms. The data set required for the training processes of these algorithms was created using experimental dielectric measurements. These experimental data were obtained using an impedance analyzer in the frequency range ranging from 100 Hz to 17.5 MHz at room temperature. In this study,

* Sorumlu Yazar: oeveci@gmail.com

the prediction performance of linear regression, k-nearest neighbor regression and decision tree regression algorithms are compared in detail. The comparison was determined by using statistical fit, coefficient of determination (R²), mean square error (MSE) and mean absolute error (MAE). Although the Linear Regression algorithm did not show a stable prediction performance with the performance comparison of the prediction results, Decision tree regression model has been found to be a more suitable model for computing both real (ϵ') and virtual components (ϵ'').

Keywords: Basalt / PANI polymer composites, complex dielectric functions, Machine Learning, Linear Regression, k- Nearest neighbor regression, Decision tree regression.

1. Giriş

Polimerler ve kompozitleri, teknolojik uygulamalarda kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak elektriksel ve mekanik özellikleri ve bu özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Özellikle polimer kompozitlerin dielektrik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekicidir (Kılıç, 2020; Kılıç, Özdemir, Karabul, Karataş, & Çataltepe, 2020; Moez A. A., 2012). İletken bir polimer olan Polyaniline (PANI), kolay sentezi, yüksek çevresel kararlılığı, yüksek elektrik iletkenliği ve nispeten düşük maliyeti hafif, esnek ve kolay işlenebilir olması gibi üretim avantajlarının yansira, ayarlanabilir elektriksel ve elektrokimyasal özellikleri ile teknolojik uygulamalarda kullanım açısından ön plana çıkmaktadır (Bhadra, Khastgir, Singha, & Lee, 2009; Boeva Z. A., 2014; H.S., 1997). PANI, varistörler (Bidadi, Olad, Parhizkar, Mohammadi Aref, & Ghafouri, 2013), süper kapasitörler (Boeva Z. A., 2014; H. Tang, 2014) ve sensörler (Ates, 2013) gibi devre bileşenlerini içeren özel uygulamaların özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. PANI' nin dikkat çekici ayarlanabilir elektriksel özelliklerine rağmen mekanik dayanıklılığı zayıftır. Hem bu elektriksel özellikleri sağlayan hem de ısısal ve mekanik olarak dayanıklı polimer içerikli kompozit malzemeler üzerine yoğun bir şekilde çalışılmaktadır (Alkan, Kılıç, Karabul, & Güven, 2020; Narayanankutty & Engineering, 2011; Sukitpaneent, Thanpitcha, Sirivat, Weder, & Rujiravanit, 2007; Wen-Zhi et al., 2006). Bu çalışmalarda temel zorluklardan birisi de, polimer kompozitlerin çok sayıdaki olası kombinasyonlarının numunelerinin hazırlanması ve elektriksel ve mekanik özelliklerin, katkı bileşenleri, katkı konsantrasyonu, sıcaklık gibi bir çok parametreye doğrusal olmayan şekilde bağlı değişimlerinin deneysel olarak test edilmesidir. Bu durum, deneysel çalışmalar için süre ve maliyet problemleri ortaya çıkarmaktadır.

Saf ve katkılı polimerlerin elektriksel özelliklerinin, farklı iç ve dış koşullar (katkı türü, katkı miktarları, sıcaklık vb.) altındaki değişimleri daha önceden elde edilmiş malzeme parametreleri ve deneysel verilere bağlı olarak, olası farklı içi ve dış parametrelerin kombinasyonları için olası ve güvenilir sonuçlar üretebilen nümerik veya simülasyon yöntemleri, deneysel çalışmaların problemlerine çözüm olabilir. Fakat, bu tür metodların kullanılabilmesi için ilgili yapı iyi tanımlanmalı sonuç üretecek fonksiyonlar, ilgili parametreler ile ilişkisi analitik olarak çözümlenebilmelidir. Diğer bir pratik, hızlı ve güvenilir yöntem ise, problem ile parametreler arasındaki matematiksel ilişkilerin açık formülasyonuna ihtiyaç duymayan makine öğrenmesi veya derin öğrenme gibi yapay zekâ algoritmalarının kullanılmasıdır. Scott ve arkadaşları, seramik malzemelerin dielektrik özelliklerini, en çok kullanılan yapay zekâ algoritmalarından olan yapay sinir ağları ile çeşitli uygulamalarda kullanılabilecek doğrulukta tahmin etmişlerdir (Scott, Coveney, Kilner, Rossiny, & Alford, 2007). Mannodi-

Kanakkithodi vd. yaptıkları çalışmada, ilk prensipler yöntemi ile elde ettikleri polimerlerin elektronik ve dielektrik özelliklerinin veri setini kullanarak istenilen özelliklere sahip polimer malzemelerin tasarımı için makine öğrenmesi algoritmalarını önermişlerdir (Mannodi-Kanakkithodi, Pilania, Huan, Lookman, & Ramprasad, 2016). Diğer bir yaptıkları çalışmada ise, polimer malzemelerin ilk prensipler yöntem ile elde edilmiş veri seti kullanarak regresyon temelli makine öğrenmesi algoritmalarının performans karşılaştırmasını yapmışlardır (Mannodi-Kanakkithodi, Pilania, & Ramprasad, 2016). Başka bir çalışmada, polimer malzemelerin frekans bağımlı dielektrik sabiti (ϵ') tahmininde Gauss süreci regresyon algoritması (GPR) kullanılmış ve makine öğrenmesi algoritmalarının spesifik uygulamalar için belirli özelliklere sahip polimerlerin keşfinde kullanılabileceğini önerilmiştir (Chen et al., 2020). Shen vd., 2019 yılında yaptıkları çalışmada, simülasyon verilerini kullanarak oluşturdukları makine öğrenmesi modelini, polimer bazlı nanokompozitlerin dielektrik parçalanma mekanizmalarını yarı kantitatif tahmini için kullanmışlardır (Shen et al., 2019).

Önceki çalışmalarımızda, PANI içerikli polimer kompozitlerin dielektrik özelliklerinin tahmini için yapay zekâ algoritmaları başarı ile kullanılmıştır. 2016 yılında yapılan çalışmada, bazalt katkılı PANI kompozitlerinin gerçek ve sanal dielektrik geçirgenlik katsayılarının, katkı konsantrasyonuna ve frekansa bağlı değişimlerinin tahmini yapay sinir ağları modeli ile gerçekleştirilmiştir (Eyecioglu, Karabul, Alkan, Kilic, & Icelli, 2016). Bu çalışma sonucunda, kütütlece değişik oranlarda PP ve PANI içeren kompozitlerin dielektrik parametreleri yüksek doğrulukla tahmin edilebilmiştir. Ayrıca, Polipropilen/Polianilin Kompozit Filmlerin dielektrik parametrelerinin frekansa bağlı kompleks dielektrik fonksiyonlarının gerçek ve sanal bileşenleri yapay sinir ağları modeli ile tahmin edilmiştir (Eyecioglu, Kılıç, & Özdemir, 2018). Çalışmada, ileri beslemeli sinir ağları (MLFF) eğitim modeli kullanılmıştır. 2019 yılında yaptığımız çalışmada ise, saf DYPE (düşük yoğunluklu polietilen) ve PANI katkılı (kütütlece %0,7; %0,1; %3,0 oranlarında) DYPE kompozit filmlerin kompleks dielektrik fonksiyonlarının gerçek ve sanal bileşenlerinin tahmini, olasılıksal bir sinir ağları tekniği olan Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağları (GRNN) metodu ile yapılmıştır (Kılıç, Eyecioglu, Özdemir, & Alkan, 2019).

Bu çalışmada, CM1 ve KYZ13 olarak kodlanmış olan iki farklı bazalt türü ile katkılanmış Polianilin (PANI) polimer kompozitlerinin frekansa bağlı kompleks dielektrik fonksiyonlarının gerçek (ϵ') ve sanal bileşenleri (ϵ'') üç farklı regresyon tabanlı makine öğrenmesi algoritması (doğrusal regresyon, k-en yakın komşu regresyon ve karar ağacı regresyonu) kullanılarak tahmin edilmiştir. Bazalt katkısı, PANI polimerinin mekanik dayanıklılığını arttırmak için gerçekleştirilmiştir. Girdi verisi olarak saf, %10, %25 ve %50 katkılı Bazalt/PANI kompozitlerinin, deneysel empedans spektroskopisi metodu ile 100Hz ile 17,5MHz frekans aralığında elde edilmiş deney verileri kullanılmıştır (Eyecioglu vd., 2016). Algoritmaların performans karşılaştırılmaları, ortalama mutlak

hata (OMH) ve belirleme katsayısı (R^2) ölçümleri kullanılarak yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler ve Temel Dielektrik Parametrelerin Deneysel Ölçümleri

Çalışmada, CM1 ve KYZ13 olarak kodlanmış olan iki farklı bazalt türü ile katkılanmış Polinailin (PANI) polimer kompozitleri kullanılmıştır. Bu bazalt numunelerini kimyasal çözümülemesi Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Bazalt numunelerinin kimyasal bileşimi

Örnek Bileşen	CM-1	KYZ-13
SiO ₂	41.668	47.790
TiO ₂	2.0800	1.3950
Al ₂ O ₃	13.106	16.918
Fe ₂ O ₃	13.823	10.878
MnO	0.1920	0.1630
MgO	9.7540	7.6190
CaO	10.602	11.357
Na ₂ O	5.2610	3.1370
K ₂ O	1.7370	0.5190
P ₂ O ₅	1.7770	0.2240

Katkısız, %10, %25 ve %50 bazalt (CM1 ve KYZ13) katkılı PANI kompozitleri, bazalt numunelerinin PANI ile karıştırılmasıyla ve oda sıcaklığında soğuk bir preste sıkıştırılarak kalıplanması ile hazırlanmıştır. Dielektrik ölçümler, oda sıcaklığında 100 Hz-15 MHz frekans aralığında Empedans Analizörü kullanılarak Dielektrik spektroskopisi ölçüm yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem ile ilgili malzemenin alternatif akıma verdiği tepki ile kompleks dielektrik (Denklem 2.1) fonksiyonunun gerçek ($\epsilon'(\omega)$) ve sanal ($\epsilon''(\omega)$) bileşenleri, frekans ve sıcaklığın fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Dielektrik geçirgenlik, mikrodalga ve radyo frekans işleme sırasında elektromanyetik enerjinin bağlanmasını ve dağılımını belirleyen temel bir parametredir.

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon'(\omega) + i\epsilon''(\omega) \quad (1)$$

2.2. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Makine öğrenmesi yaklaşımları, belirli bir girdi verisi ile çıktı verisi arasındaki ilişkiyi verebilen esnek bir model oluşturabilmek için bir öğrenme süreci yürüten yaklaşımlardır. Bu öğrenme süreci, girdi ve çıktı arasındaki parametrelerin doğrusal olmayan fonksiyonel davranışını bulmak yerine, modelin hiperparametrelerini, tipik olarak bağımsız bir doğrulama veri kümesindeki tahmin hatasını en aza indirecek şekilde ayarlaması ile gerçekleştirilir.

PANI polimer kompozitlerinin frekansa bağlı kompleks dielektrik fonksiyonlarının gerçek (ϵ') ve sanal bileşenlerinin (ϵ'') tahmini için kullanılabilir, üç farklı denetimli makine öğrenmesi regresyon algoritmasının (Doğrusal regresyon (LR), k-En yakın komşu regresyonu (k-NN) ve Karar Ağacı regresyonu (DT-R)) başarımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Algoritmalar, üç farklı modelleme yaklaşımını (doğrudan regresyon, parametrik olmayan örüntü tanıma ve karar grafları) içerek şekilde seçilmiştir.

2.2.1. Doğrusal regresyon (LR)

Doğrusal Regresyon, denetimli öğrenmeye dayalı bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Doğrusal regresyonda, N adet hedef değere (t) karşılık N adet gözlem içeren $\{x_n\}$ bir eğitim verisi verildiğinde, uygun bir doğrusal $y(x)$ fonksiyonunun $\{x_n\}$ ile $\{t_n\}$ arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak tanımladığı varsayılır. Daha genel olarak Doğrusal Regresyon algoritması, yeni girdi verilerine karşılık gelen hedef değerleri bulabilecek, $p(x|t)$ olasılık dağılımını modellemeyi hedefler (Bishop, 2006).

En temel doğrusal regresyon modeli, girdi değişkenlerinin basit lineer kombinasyonu ile oluşturulan modeldir.

$$y(\mathbf{x}) = b_i + \sum w_i \phi_i(\mathbf{x}), \quad i = \{1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

Burada, b_i , lineer fonksiyon parametreleridir. Bu parametreler modelin anahtar özellikleridir. $\phi(\mathbf{x})$ ise, modelin baz fonksiyonlarıdır. Farklı baz fonksiyonları tanımlanabilir. Çalışmada, en küçük kareler yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda $\phi_i(\mathbf{x}) = x_i$ olarak alınır ve $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ katsayıları, veri setinde gözlemlenen hedefler ile doğrusal yaklaşımla tahmin edilen hedefler arasındaki kalan karelerin toplamını en aza indirecek şekilde seçilir.

$$\min_b \|\mathbf{x}b - \mathbf{t}\|^2 \quad (3)$$

Doğrusal modeller, örüntü tanıma için pratik teknikler olarak önemli sınırlamalara sahip olsalar da özellikle yüksek boyutlardaki girdi uzaylarını içeren problemler için, güzel analitik özelliklere sahiptirler ve sonraki bölümlerde tartışılacak daha karmaşık modellerin temelini oluştururlar.

2.2.2 k-En yakın komşu regresyonu (k-NN)

k-En yakın komşu algoritması, hem sınıflandırma hem de regresyon için kullanılabilen parametrik olmayan bir örüntü tanıma yöntemine dayanan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. En yakın komşu yöntemlerinin arkasındaki ilke, yeni noktaya en yakın mesafede önceden tanımlanmış sayıda eğitim örneği bulmak ve bunlardan etiketi tahmin etmektir. Örnek (komşu) sayısı, kullanıcı tanımlı bir sabittir (k-en yakın komşu öğrenme).

K-en yakın komşu regresyonunda, sürekli değişkenlerin tahmin edilmesine izin verilir. İşlem adımları aşağıda verilmiştir:

1. Seçilen bir numune ile diğer numuneler arasındaki mesafe hesaplanır.
2. Hesaplanan mesafeleri göz önünde bulundurarak numune sıralaması yapılır.
3. Hesaplanan kök ortalama kare hatasına dayanarak, çapraz doğrulama kullanarak en yakın k komşu komşu sayısını bulunur.
4. k-en yakın komşuları kullanarak ters mesafe ağırlıklı ortalama değeri bulunur.

Algoritmanın başarısı, belirli bir veri noktası için mesafe değerlerinin hesaplanmasına ve en yakın komşuların (k) belirlenmesine bağlıdır (Bishop, 2006). Bu çalışmada hesaplamalarda k değeri 5 olarak alınmıştır. Mesafe değerlerinin hesaplanması için geçerli olan temel üç mesafe ölçüm fonksiyonu vardır. Bu fonksiyonlar, Euclid, Manhattan ve Minkowski mesafe fonksiyonlarıdır. Çalışmada, Minkowski mesafe fonksiyonu seçilmiştir.

$$d = (\sum (|x_i - y_i|)^q)^{\frac{1}{q}} \quad (4)$$

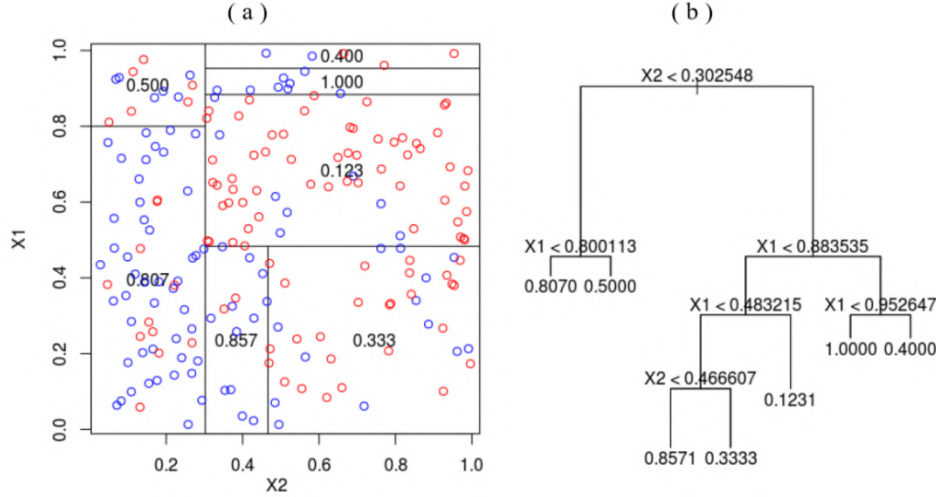
2.2.3 Karar Ağacı regresyonu (DT-R)

Genel olarak, bir karar ağacı, denetimli öğrenmeye yönelik hiyerarşik bir böl ve yönet yöntemini uygulayan bir veri yapısı (graf) olarak tanımlanabilir. Bir karar ağacı, dahili karar düğümlerinden ve terminal yapraklarından oluşur (Şekil 1). Bu yöntem aynı zamanda hem regresyon hem de sınıflandırma için kullanılacak verimli bir parametrik olmayan yaklaşımdır. Karar ağaçları, genellikle eğitim örnekleri kümesini açıklayıcı değişkenler için örneklerin değerlerine göre alt gruplara tekrar

tekrar bölerek öğrenilir. Her karar düğümü m , dalları etiketleyen farklı sonuçlara sahip bir test fonksiyonu $f_m(x)$ uygular. Bir girdi verildiğinde, her düğümde bir test uygulanır ve sonuca bağlı olarak dallardan biri alınır. Bu süreç kökte başlar ve bir yaprak düğümüne ulaşılan kadar yinelemeli olarak tekrarlanır, bu noktada yaprakta yazılan değer çıktıyı oluşturur (Alpaydın, 2014).

$$f_m(x) = \begin{cases} 1, & x \in X_m \\ 0, & \end{cases} \quad (5)$$

m düğümü için X_m , m düğümüne ulaşan X 'in bir alt kümesidir.



Şekil 1. Veri seti (a) ve (b) ilişkili karar ağacı örneği.

2.3 Hata Ölçümleri

Bu çalışmada, PANI polimer kompozitlerinin frekansa bağlı kompleks dielektrik fonksiyonlarının tahmini için kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının başarımlarının karşılaştırılmasında ortalama mutlak hata (OMH), Ortalama karesel hata (OKH) ve belirleme katsayısı (R^2) ölçümleri kullanılmıştır.

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (6)$$

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (8)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Polianilin (PANI), senörler, varistörler gibi birçok uygulama alanında kullanılan iletken bir polimer malzemedir. PANI'nin bu teknolojik uygulamalar için önemli olan dielektrik ve mekanik özelliklerinin ayarlanması önemlidir. Bu özellikler, sıcaklık, frekans gibi dış etkiler altında katkı malzemeleri ile ayarlanabilmektedir. Fakat istenilen dielektrik özelliklere sahip malzemeyi üretebilecek uygun kombinasyonların bulunması çok yoğun deneysel çabaya ihtiyaç duymaktadır (Alkan et al., 2020; Kılıç, 2020; Kılıç, Ergin, Karabul, & Özdemir, 2019). Yoğun zaman ve maliyet gerektiren bu süreçleri Makine öğrenmesi gibi Yapay zekâ modeller kullanarak optimize etmek mümkündür

(Eyecioglu, Karabul, Alkan, Kilic, & Icelli, 2016; Eyecioglu, Kılıç, & Özdemir, 2018; Kılıç, Eyecioglu, Özdemir, & Alkan, 2019). Makine öğrenmesi algoritmaları, bir veri setinin yorumlanmasına, ondan bir anlam çıkarılmasına ve daha sonra çözülmesi gereken problemde ortaya çıkan bilgiyi kullanılmasına izin veren bir bilgisayar bilimi alanıdır. Diğer bir deyişle, makine öğrenimi, örnek bir veri kümesi veya deneyim kullanarak herhangi bir performans kriterini optimize etmek için kullanılabilir pratik ve etkili matematik araçlardır. Fakat çok sayıda farklı Makine öğrenmesi model mevcuttur. Uygun modelin tespiti için modeller arasında kıyaslama çalışması yapmak uygun olacaktır. Kullanılan veri setinin sürekli değişkenlerden oluşmasından dolayı ve hedef değişkenin sürekli ve sayısal bir değer olarak (Eyecioglu et al., 2016) tahmin edilmesi gerektiğinden, çalışmada denetimli regresyon algoritmaları seçilmiştir. CM1 ve KYZ13 olarak kodlanmış olan iki farklı bazalt türü ile katkılanmış PANI polimer kompozitlerinin frekansa bağlı kompleks dielektrik fonksiyonlarının gerçek (ϵ') ve sanal bileşenlerinin (ϵ'') tahmini için doğrusal regresyon (LR), k-en yakın komşu regresyonu (k-NN) ve karar ağacı regresyonu (DT-R) makine öğrenmesi algoritmaları karşılaştırılmıştır.

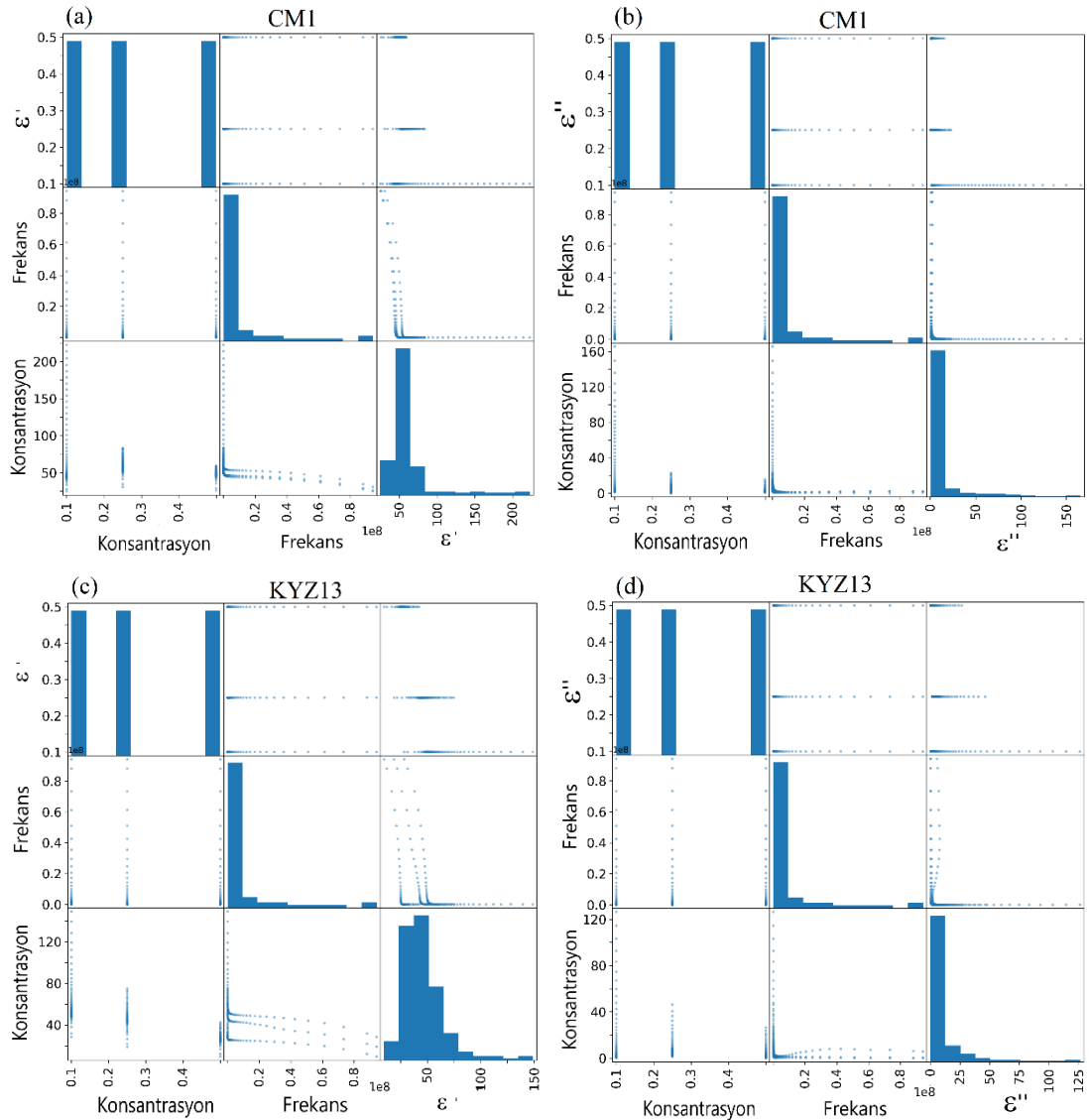
Makine öğrenmesi algoritmalarında, açılmal frekans ($w(Hz)$), katkı konsantrasyonu oranı ($w(\%)$), ve kompleks dielektrik fonksiyonlarının gerçek (ϵ') ve sanal bileşenlerini (ϵ'') içeren 201 veri örneği kullanılmıştır. Çalışmada katkı konsantrasyonları %10, %25 ve %50 olarak alınmıştır. Bu veri setinin temel istatistik özellikleri Tablo 2' de verilmiştir. Bu veri setinin %80'i eğitim verisi olarak, %20'si ise test verisi olarak kullanılmıştır. Eğitim ve test verileri rastgele olarak seçilmiştir.

Tablo 2. Toplam Veri Kümesinin İstatistiksel Özellikleri

Özellik	Kompozit		CM1		KYZ13	
	Konsantrasyon (wt. %)	Frekans (w(Hz))	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''
Sayı	201	201	201	201	201	201
Ortalama	0,283	$9,30 \times 10^6$	61,493	13,440	45,805	10,294
Standart Sapma	0,165	$2,07 \times 10^7$	32,627	27,726	21,307	19,539
Minimum Değer	0,1	$6,28 \times 10^2$	24,767	0,01361	9,490	0
Maksimum Değer	0,5	$9,42 \times 10^7$	222,560	165,740	148,940	126,250

Veri setinde tanımlı, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin her kombinasyonu için aralarındaki ilişki, dağılım grafiği matrisi ile verilmiştir. Matrisin, köşegen ve köşegen olmayan bileşenleri, değişkenlerin sırası ile varyans ve kovaryansını vermektedir. Şekil 2'de, CM1 ve KYZ13 bazalt katkıları için dielektrik fonksiyonlarının gerçek (ϵ') ve sanal bileşenlerini (ϵ'') için açısal frekans ($w(Hz)$), katkı konsantrasyonu oranı (wt. %) bağlı

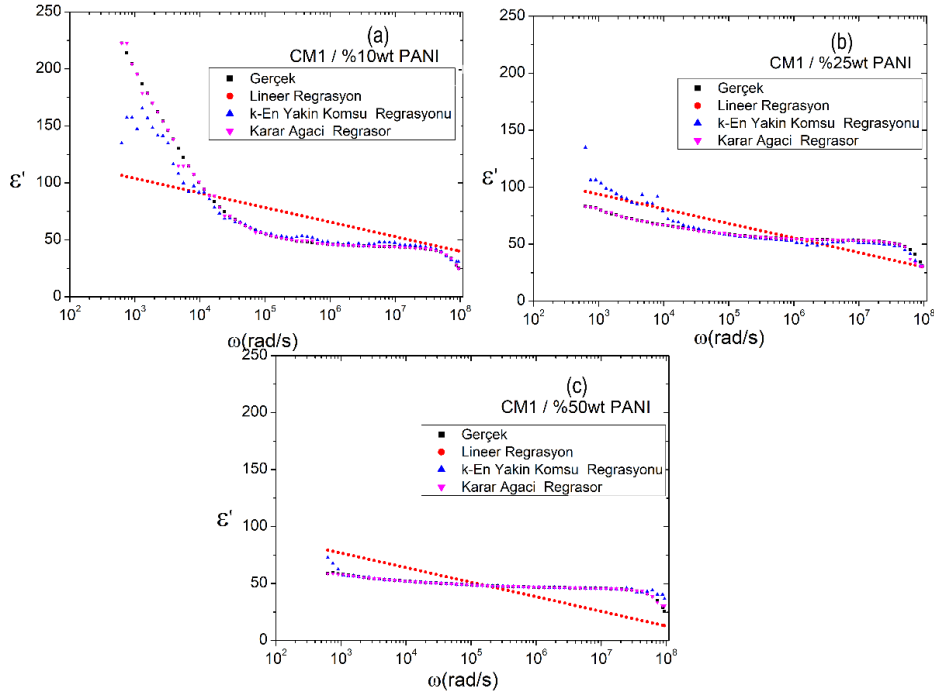
dağılım grafiği matrisi verilmiştir. Bu dağılım grafiklerinde, dielektrik fonksiyonlarının gerçek (ϵ') ve sanal bileşenlerinin (ϵ''), diğer bağımsız parametrelere fonksiyonel bağımlı olduğu açıkça görülmektedir.



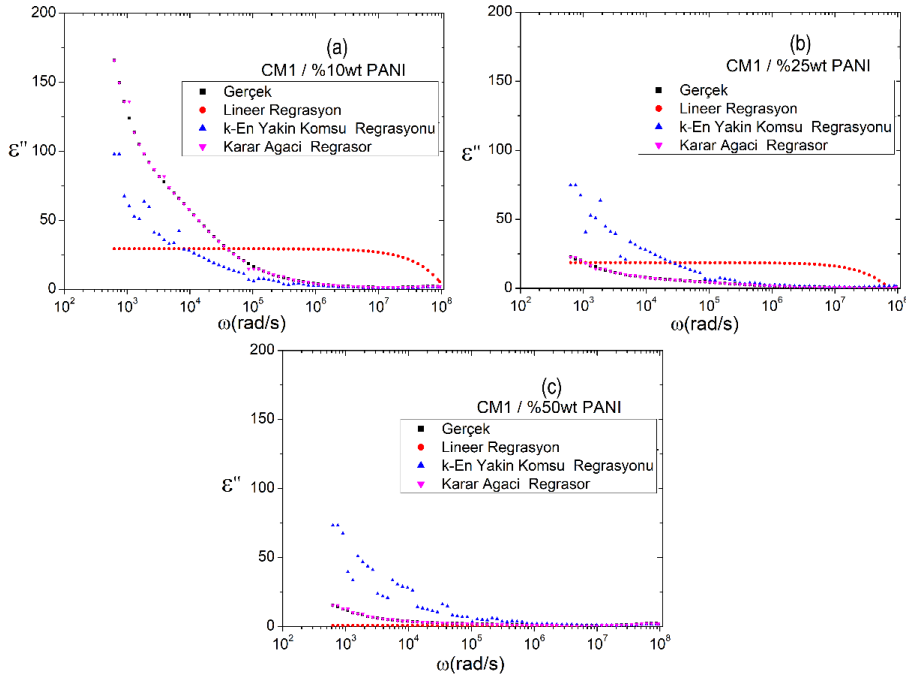
Şekil 2. (a) CM1 bazalt katkısı için gerçek dielektrik bileşeni (ϵ'), (b) CM1 bazalt katkısı için sanal dielektrik bileşeni, (ϵ''), (c) KYZ13 bazalt katkısı için gerçek dielektrik bileşeni, (d) KYZ13 bazalt katkısı için sanal dielektrik bileşeni, (ϵ'') için toplam veri kümesindeki tüm özelliklerin dağılım grafiği.

CM1 Bazalt katkılı PANI kompozitlerinin, dielektrik fonksiyonlarının gerçek (ϵ') sanal (ϵ'') bileşenlerinin değerlerinin üç farklı makine öğrenmesi algoritması ile tahmin sonuçları

sırası ile Şekil 3'de ve Şekil 4'de verilmiş ve bu sonuçların gerçek deneysel veriler ile karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 3. (a) %10, (b) %25 ve (c) %50 Konsantrasyonlardaki CM1 bazalt katkısı için gerçek dielektrik bileşenlerinin (ϵ'), frekansa bağlı değerlerinin doğrusal regresyon (LR), k-en yakın komşu regresyonu (k-NN) ve karar ağacı regresyonu (DT-R) makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmin sonuçları



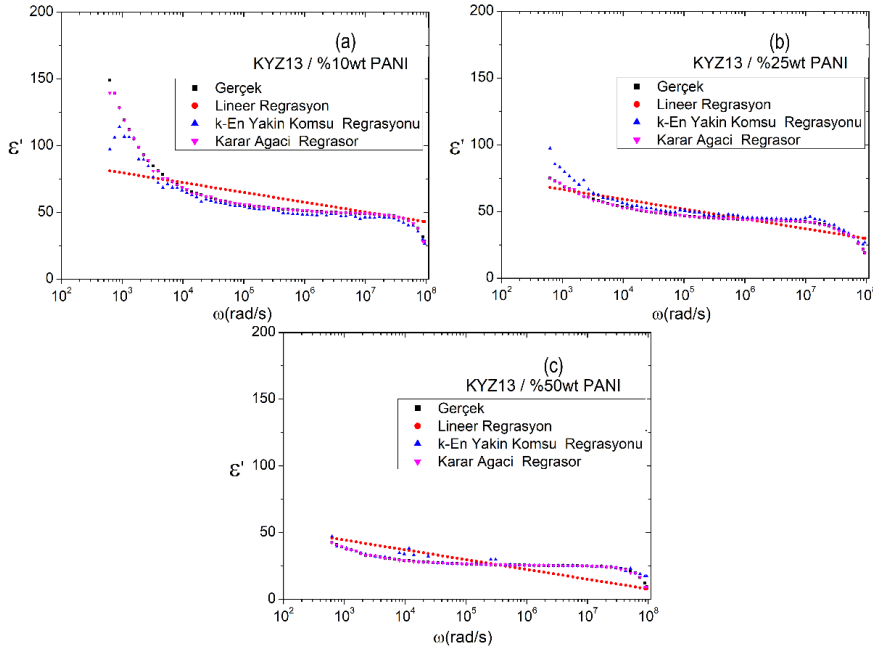
Şekil 4. (a) %10, (b) %25 ve (c) %50 Konsantrasyonlardaki CM1 bazalt katkısı için sanal dielektrik bileşenlerinin (ϵ''), frekansa bağlı değerlerinin doğrusal regresyon (LR), k-en yakın komşu regresyonu (k-NN) ve karar ağacı regresyonu (DT-R) makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmin sonuçları

Her iki grafikten de görüldüğü üzere, tüm katkı konsantrasyonları için hem ϵ' , hem de ϵ'' değerlerinin frekansa bağlı değişimlerinin k-en yakın komşu regresyonu (k-NN) ve karar ağacı regresyonu (DT-R) makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmin sonuçları, deneysel sonuçlar ile büyük bir uygunluk içerisinde olduğu görülmektedir. k-NN ve DT-R tahmin *e-ISSN: 2148-2683*

sonuçlarının frekansa (ω) bağlı fonksiyonel davranışı, gerçek deneysel ölçüm değerlerinin fonksiyonel davranışı ile aynıdır. Fakat bu uyumluluk, doğrusal regresyon (LR) tahmin sonuçlarında ortaya çıkmamaktadır. LR sonuçlarında hem fonksiyonel davranışlarında hem de özellikle uç değerlerde tutarsızlık vardır.

PANI polimerlerine CM1 katkısının değişik konsantrasyonlardaki katkısının, ϵ' ve ϵ'' değerleri üzerindeki frekansa bağlı etkisi Şekil 3 ve Şekil 4 de gösterilmiştir. Katkı türünün etkisinin incelenmesi amacı ile benzer hesaplamalar

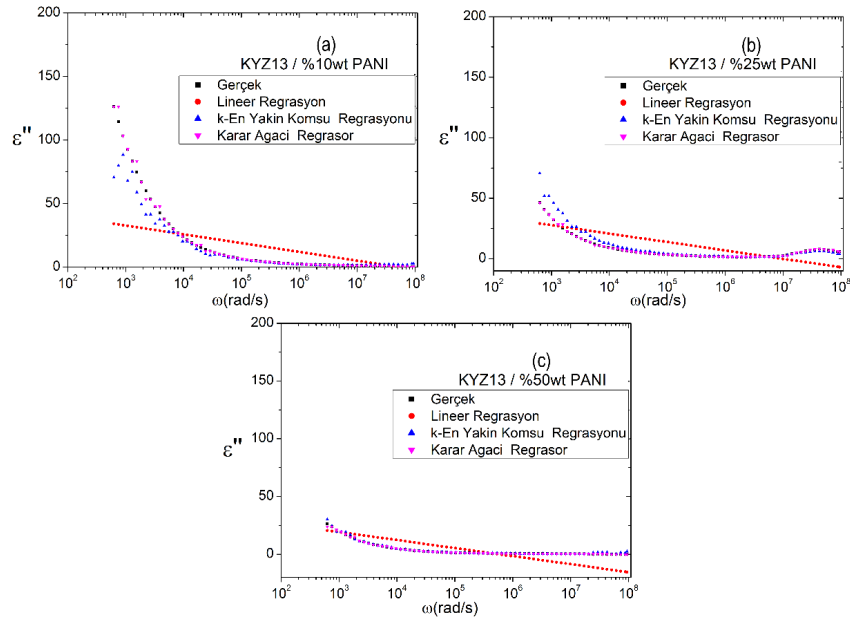
KYZ13 bazalt katkısı için de gerçekleştirilmiştir. Değişik konsantrasyonlardaki KYZ13 katkısında, frekansa bağlı olarak ϵ' ve ϵ'' değerleri makine öğrenmesi algoritmalarının tahmin sonuçları sırası ile Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 5. (a) %10, (b) %25 ve (c) %50 Konsantrasyonlardaki KYZ13 bazalt katkısı için s gerçekte dielektrik bileşenlerinin (ϵ'), frekansa bağlı değerlerinin doğrusal regresyon (LR), k-en yakın komşu regresyonu (k-NN) ve karar ağacı regresyonu (DT-R) makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmin sonuçları

Şekil 5 ve Şekil 6 dan açıkça görüldüğü üzere, CM1 katkısında PANI polimerlerinin dielektrik özelliklerinin sonuçlarına benzer olarak sonuçlar elde edilmiştir. PANI iletken polimerlerine, KYZ13 katkısında, frekansa (ω) bağlı dielektrik özelliklerinin tahmin sonuçlarının doğrusal regresyon (LR), k-en yakın komşu regresyonu (k-NN) ve karar ağacı regresyonu (DT-R) makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmin sonuçlarının

değerleri ve fonksiyonel davranışları incelenmiştir. Bu sonuçlardan k-en yakın komşu regresyonu (k-NN) ve karar ağacı regresyonu (DT-R) makine öğrenmesi algoritmaları sonuçlarının, gerçekte deneysel ölçüm sonuçları ile büyük uyumluluk içerisinde olduğu görülmüştür. Fakat, doğrusal regresyon (LR) makine öğrenmesi sonuçları deneysel ölçüm sonuçlarından farklı olarak lineer azalan tahmin sonuçları vermektedir.



Şekil 6. (a) %10, (b) %25 ve (c) %50 Konsantrasyonlardaki KYZ13 bazalt katkısı için sanal dielektrik bileşenlerinin (ϵ''), frekansa bağlı değerlerinin doğrusal regresyon (LR), k-en yakın komşu regresyonu (k-NN) ve karar ağacı regresyonu (DT-R) makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmin sonuçları

Bahsedilen makine öğrenme algoritmalarının doğruluk doğrulamaları, k-kat çapraz doğrulama prosedürü ile tahmin edilmiştir. Çalışmada, k değeri, 10 olarak seçilmiştir. Bu prosedürde, girdi veri seti, eğitim verisi ve test verisi olarak iki kısma ayrılmıştır. Tüm veri setinin %80'i eğitim veri seti olarak, %20'si ise test veri seti olarak kullanılmıştır ve test veri seti rastgele seçilmiştir. Her bir doğrulama durumu açısından bağımlı değişken olan katkılı PANI polimerlerinin dielektrik fonksiyonlarının doğruluk değerleri, kullanılan üç makine

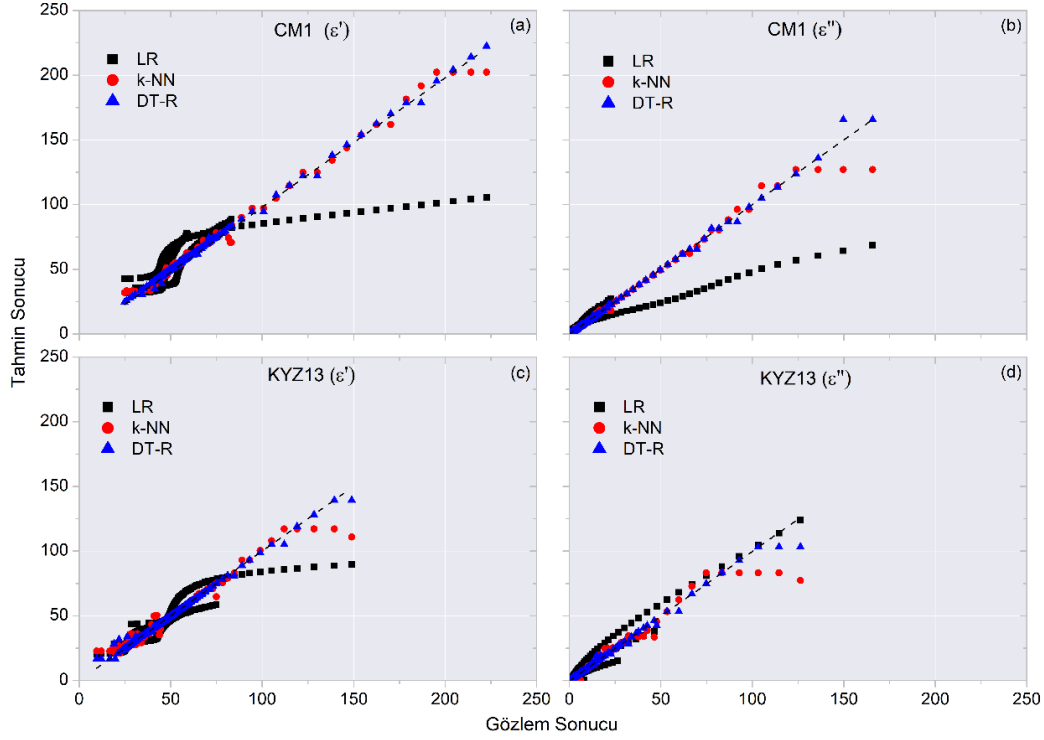
öğrenmesi algoritması için Tablo 3'de sunulmuştur. DT-R modeli, CM1 katkısı için ϵ' hesaplamalarında ortalama 0.974 doğruluk değeri, ϵ'' hesaplamalarında ise ortalama 0.912 doğruluk değeri vermiştir. Yine DT-R modeli KYZ13 katkısı için ϵ' hesaplamalarında ortalama 0.981 doğruluk değeri, ϵ'' hesaplamalarında ise ortalama 0.962 doğruluk değeri vermiştir. Bu değerler ile DT-R modeli, bütün tahmin prosedürlerinde diğer modellere göre en yüksek doğruluk değerini vermiştir.

Tablo 3. k-Fold Çapraz Doğrulama Yönteminin Doğruluk Değerleri (k=10)

k	CM1					
	ϵ'			ϵ''		
	LR	k-KNNR	DT-R	LR	k-KNNR	DT-R
1	0.657	0.821	0.992	0.823	0.936	0.997
2	0.056	0.892	0.942	0.578	0.624	0.853
3	0.665	0.848	0.982	0.863	0.930	0.995
4	0.595	0.696	0.991	0.715	0.889	0.995
5	0.459	0.665	0.997	0.876	0.833	0.994
6	0.628	0.832	0.973	0.883	0.903	0.996
7	0.100	0.656	0.950	0.867	0.862	0.547
8	0.639	0.594	0.984	0.564	0.739	0.768
9	0.643	0.884	0.954	0.730	0.738	0.974
10	0.647	0.915	0.970	0.810	0.935	0.996
k	KYZ13					
	ϵ'			ϵ''		
	LR	k-KNNR	DT-R	LR	k-KNNR	DT-R
1	0.911	0.960	0.997	0.647	0.900	0.997
2	0.811	0.822	0.963	0.684	0.629	0.907
3	0.714	0.926	0.928	0.594	0.820	0.994
4	0.872	0.858	0.989	0.490	0.858	0.995
5	0.881	0.856	0.990	0.921	0.930	0.989
6	0.931	0.862	0.994	0.519	0.827	0.758
7	0.893	0.879	0.965	0.582	0.819	0.998
8	0.917	0.957	0.996	0.700	0.961	0.995
9	0.893	0.935	0.988	0.539	0.834	0.994
10	0.908	0.967	0.998	0.793	0.933	0.991

CM1 ve KYZ13 bazalt katkılı PANI iletken polimerlerinin dielektrik gerçek ve sanal fonksiyonlarının tahmini için kullanılan makine öğrenmesi modellerinin performansının istatistiksel değerlendirilmesi için Şekil 7 de, test veri seti

performans grafikleri verilmiştir. Grafikler, test verisinin gerçek değerleri ile tahmin sonuçlarının istatistiksel fit karşılaştırmaları ile oluşturulmuştur.



Şekil 7 Test verisi için Makine öğrenmesi algoritmalarının performans grafikleri.

LR modelinin, CM1 ve KYZ13 katkısında hem gerçek hem de sanal dielektrik fonksiyonları için iyi bir tahmin sonucu elde

edemediği görülmüştür. DT-R modelinin, bütün test süreçlerinde en iyi tahmin performansını sağladığı görülmüştür.

Tablo 4. Makine öğrenmesi modellerinin performans metrikleri

Model	CM1					
	ε'			ε''		
	R ²	OKH	OMH	R ²	OKH	OMH
LR	0.623	7,03 × 10 ⁻³	6,74 × 10 ⁻²	0.940	2,42 × 10 ⁻²	1,29 × 10 ⁻¹
k-NN	0.986	2,61 × 10 ⁻⁴	9,47 × 10 ⁻³	0.992	3,19 × 10 ⁻³	3,69 × 10 ⁻²
DT-R	0.979	3,85 × 10 ⁻⁴	1,06 × 10 ⁻²	0.994	2,30 × 10 ⁻³	3,39 × 10 ⁻²
Model	KYZ13					
	ε'			ε''		
	R ²	OKH	OMH	R ²	OKH	OMH
LR	0.812	9,33 × 10 ⁻³	7,01 × 10 ⁻²	0.605	5,01 × 10 ⁻¹	2,92 × 10 ⁻¹
k-NN	0.849	7,48 × 10 ⁻³	4,48 × 10 ⁻²	0.938	7,99 × 10 ⁻²	1,35 × 10 ⁻¹
DT-R	0.921	3,94 × 10 ⁻³	2,87 × 10 ⁻²	0.956	5,67 × 10 ⁻²	9,29 × 10 ⁻²

Ayrıca, kullanılan üç makine öğrenmesinin tahmin performanslarının sayısal ve istatistiki değerlendirmesinin yapılabilmesi için denklem 2.6, 2.7 ve 2.8 kullanılarak mutlak hata (OMH), Ortalama karesel hata (OKH) ve belirleme katsayısı (R²) performans metrikleri hesaplanmış ve Tablo 4 de verilmiştir. CM1 katkısı için ε' hesaplamalarında, DT-R modelinin R², OMH ve OKH değerleri sırası ile 0,979, 3,85 × 10⁻⁴ ve 1,06 × 10⁻² olarak ε'' hesaplamalarında ise 0,994, 2,30 × 10⁻³ ve 3,39 × 10⁻² olarak hesaplanmıştır. KYZ13 katkısı için ise ε' ve ε'' hesaplamalarında bu değerler sırası ile 0,921, 3,94 × 10⁻³ ve 2,87 × 10⁻² ve 0,956, 5,67 × 10⁻² ve 9,29 × 10⁻² olarak hesaplanmıştır. DT-R modeli bütün metrikler için en iyi tahmin sonuçlarını vermiştir.

4. Sonuç

Çalışmada iki farklı bazalt katkılı (CM1 ve KYZ13) PANI iletken polimerlerinin gerçek (ε') ve sanal (ε'') dielektrik fonksiyonlarının, açılmal frekansa (w(Hz)), katkı konsantrasyonu oranına (wt. %) bağlı değerlerinin, üç farklı makine öğrenmesi algoritması (LR, k-NN ve DT-R) ile tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu üç makine öğrenmesi algoritmalarının tahmin performansları, mutlak hata (OMH), Ortalama karesel hata (OKH) ve belirleme katsayısı (R²) istatistiksel performans metrikleri ile karşılaştırılmış ve bilinmeyen değerlerin tahmini için en uygun modelin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Hem tahmin sonuçlarının gerçek değerlerin grafikler ile karşılaştırılması hem de Tablo 3 ve 4' de verilen istatistiksel

performans metrik sonuçlarının karşılaştırılması ile açıkça görüldüğü üzere, tüm testlerde, karar ağacı regresyonu (DT-R) modeli en iyi tahmin performansını göstermiştir. k-NN Modelinin de uygun tahmin performansı gösterebilmiş olmasına rağmen, LR modelinin iyi bir performans sağlayamadığı görülmüştür. Bunun nedeninin ise, Şekil 2’de verilen dağılım matrisi grafiğinin kovaryans bileşenlerinden de görüldüğü üzere, hedef değişkenlerin (ϵ' ve ϵ''), girdi değişkenlerine (w , wt) fonksiyonel bağımlılıklarının non-lineer özellik göstermesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Kaynakça

- Alkan, Ü., Kılıç, M., Karabul, Y., & Güven, Z. (2020). Mechanical and dielectric behavior of LDPE/Bi-1212 films. *Materials Testing*, 62(9), 913-920. doi:10.3139/120.111556
- Alpaydin, E. (2014). *Introduction to Machine Learning Third Edition*: MIT Press.
- Ates, M. (2013). A review study of (bio)sensor systems based on conducting polymers. *Materials Science and Engineering: C*, 33(4), 1853-1859. doi:https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.035
- Bhadra, S., Khastgir, D., Singha, N. K., & Lee, J. H. (2009). Progress in preparation, processing and applications of polyaniline. *Progress in Polymer Science*, 34, 783–810.
- Bidadi, H., Olad, A., Parhizkar, M., Mohammadi Aref, S., & Ghafouri, M. (2013). Nonlinear properties of ZnO-polymer composites prepared by solution-casting method. *Vacuum*, 87, 50-54. doi:https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2012.07.003
- Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition And Machine Learning*: Springer Science+Business Media.
- Boeva Z. A., S. V. G. (2014). *Polyaniline: Synthesis, Properties, and Application*. *Polymer Science Series C*, 56 (1), 144–153.
- Chen, L., Kim, C., Batra, R., Lightstone, J. P., Wu, C., Li, Z., . . . Vashishta, P. J. n. C. M. (2020). Frequency-dependent dielectric constant prediction of polymers using machine learning. 6(1), 1-9.
- Eyecioglu, O., Karabul, Y., Alkan, U., Kilic, M., & Icelli, O. (2016). Artificial Neural Networks Study on Prediction of Dielectric Permittivity of Basalt/PANI Composites. *International Journal of Engineering Technologies*, 2 42-48. doi:10.19072/ijet.27769
- Eyecioglu, Ö., Kılıç, M., & Özdemir, Z. G. (2018). Polipropilen/Polianilin Kompozit Filmlerin Dielektrik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Modeli İle Tahmini Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 6(4), 787-802. doi:10.29109/gujsc.398275
- H. Tang, Y. D., C. Zang, J. Gu, Q. Shen and J. Kan. (2014). Effect of Temperature on Electrochemical Degradation of Polyaniline. *Int. J. Electrochem. Sci*, 9, 7252–7239.
- H.S., N. (1997). *Handbook of Organic Conductive Molecules and Polymers*: New York: Wiley.
- Kılıç, M. (2020). Natural additive material for desirable dielectric properties of polypyrrole: Limestone. *Synthetic Metals*, 260, 116297. doi:https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2020.116297
- Kılıç, M., Ergin, Y., Karabul, Y., & Özdemir, Z. G. (2019). Experimental Comparison of PbO and BaO Addition Effect on Gamma Ray Shielding Performance of Epoxy Polymer. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 256-266. doi:10.31590/ejosat.553952
- Kılıç, M., Eyecioglu, O., Özdemir, Z. G., & Alkan, Ü. (2019). DYPE/PANI kompozit filmlerin sıcaklığa ve PANI katkı konsantrasyonuna bağlı olarak dielektrik parametrelerinin GRSA ile tahmini Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35 (2), 1077-1088. doi:10.17341/gazimmfd.422448
- Kılıç, M., Özdemir, Z. G., Karabul, Y., Karataş, Ö., & Çataltepe, Ö. A. (2020). Negative real permittivity in (Bi0.3Eu0.7)Sr2CaCu2O6.5 ceramic. *Physica B: Condensed Matter*, 584, 412080. doi:https://doi.org/10.1016/j.physb.2020.412080
- Mannodi-Kanakthodi, A., Pilia, G., Huan, T. D., Lookman, T., & Ramprasad, R. J. S. r. (2016). Machine learning strategy for accelerated design of polymer dielectrics. 6, 20952.
- Mannodi-Kanakthodi, A., Pilia, G., & Ramprasad, R. (2016). Critical assessment of regression-based machine learning methods for polymer dielectrics. *Computational Materials Science*, 125, 123-135. doi:https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2016.08.039
- Moez A. A., A. S. S., Elshaer Y.H. (2012). Effect of gamma radiation on low density polyethylene (LDPE) films: Optical, dielectric and FTIR studies. *Spectrochimica Acta Part A*, 93, 203–207.
- Narayanankutty, S. J. P.-P. T., & Engineering. (2011). Polyaniline-coated short nylon fiber/natural rubber conducting composite. 50(5), 443-452.
- Scott, D. J., Coveney, P. V., Kilner, J. A., Rossiny, J. C. H., & Alford, N. M. N. (2007). Prediction of the functional properties of ceramic materials from composition using artificial neural networks. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(16), 4425-4435. doi:https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.02.212
- Shen, Z.-H., Wang, J.-J., Jiang, J.-Y., Huang, S. X., Lin, Y.-H., Nan, C.-W., . . . Shen, Y. J. N. c. (2019). Phase-field modeling and machine learning of electric-thermal-mechanical breakdown of polymer-based dielectrics. 10(1), 1-10.
- Sukitpaneent, P., Thanpitcha, T., Sirivat, A., Weder, C., & Rujiravanit, R. (2007). Electrical conductivity and mechanical properties of polyaniline/natural rubber composite fibers. 106(6), 4038-4046. doi:https://doi.org/10.1002/app.27101
- Wen-Zhi, Z., Xian-Wen, K., Shou-Feng, J., Jin-Gao, S., Dong-Sheng, Y., & Bin, F. (2006). Electrochemical characteristics and catalytic activity of polyaniline doped with ferrocene perchlorate. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(6), 5633-5639. doi:https://doi.org/10.1002/app.24961



Somut ve Somut Olmayan Kültürel Miras Değerleriyle Çankırı Kenti ve Turizme Katkısı

Betül Tülek^{1*}

^{1*} Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Çankırı, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6584-041X), betultulek@karatekin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 28 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.889708)

ATIF/REFERENCE: Tülek, B. (2021). Somut ve Somut Olmayan Kültürel Miras Değerleriyle Çankırı Kenti ve Turizme Katkısı. European Journal of Science and Technology, (23), 827-836.

Öz

Kültürel miraslar nesiller boyunca uzanan toplumların kültür, değer ve gelenekleridir. Kültürel mirasın korunması ve bu mirasın gelecek nesillere aktarılması, geçmişten günümüze gelen ulusal ve uluslararası anlaşmalar, yasalar ve yönetmeliklerle dünya politikası haline gelmiştir. Kentler toplumların kültürel, sosyal ve ekonomik yapısının mekândaki ifadesi olarak tanımlanmakta ve kimliğini tarihi gelişiminden almaktadır. Özellikle birbirine benzeyen yapıların çoğunlukta olduğu bugünün kentlerinde, kentlere kimlik kazandıran ve kentlilerin kendilerini kentle özdeşleştirebileceği en önemli öğeler kültürel miraslarıdır. Kültürel mirasların korunması, yönetilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasında en etkin yollardan birisi turizmdir. Turizmin etkileri içinde yerel halkın yaşam seviyesinin yükseltilmesi, yeni iş olanaklarının yaratılması gibi ekonomik ve sosyo-kültürel gelişmeler de yer almaktadır.

Çankırı Kenti tarihsel gelişim süreçleri Prehistorik dönem, Antik dönem, Hititler dönemi, Karanlık dönem, Makedonyalılar dönemi, Paflagonyalılar dönemi, Galatlar dönemi, Roma dönemi, Bizans dönemi, Selçuklu dönemi, Kurtuluş Savaşı dönemlerinden oluşmaktadır. Bu dönemlere ait çok sayıda somut ve somut olmayan kültürel miras değeri bulunmaktadır. Bu araştırma kapsamında Çankırı kent merkezi ve yakın çevresinde bulunan ve somut kültürel miraslar kapsamına giren Taş Mescit, Çankırı Kalesi ve Emir Karatekin Bey Türbesi, Büyük Cami, Saat Kulesi, Buğday Pazarı Medresesi, Çivitçioğlu Medresesi, Çankırı Tarihi Çamaşırhanesi, İnandık Vazosu, Taş Mektep, İstiklal Yolu, Çankırı tuz mağarası ile somut olmayan kültürel miraslar kapsamına giren Yaran Kültürü, Takım Yemeğinden oluşan Çankırı'nın geleneksel kültürünün en tipik örnekleri değerlendirilmiştir. Araştırmada, kültürel miras ile turizm ilişkisi üzerine odaklanılmış ve kültürel miras değerlerinin Çankırı kent turizmine olan katkıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kültür, Kültürel Miras, Turizm, Kent Turizmi, Çankırı.

Çankırı City with Tangible and Intangible Cultural Heritage Values and Their Contribution to Tourism

Abstract

Cultural heritage is the culture, value and traditions of the societies that go through for generations. Preservation and transfer to future generations of this heritage has become a world policy with national and international agreements, laws and regulations from past to present. Cities are defined as the spatial expression of the cultural, social and economic structure of societies and take their identity from historical development. Especially in today's cities, where the most of the buildings resemble each other, the most important elements are their cultural heritage that give identity to cities and which the citizens can identify themselves with the city. One of the most effective ways to protect, manage and sustain cultural heritage is tourism. Tourism effects include economic and socio-cultural developments such as raising the life quality level of the local population and creating new business opportunity.

Historical development processes of Çankırı city consist of Period of Prehistoric, Period of Ancient, Period of Hittites, Period of Dark, Period of Macedonians, Period of Paflagonians, Period of Galatians, Period of Roman, Period of Byzantine, Period of Seljuk, Period of Independence War. There are a great number of tangible and intangible cultural heritage values belonging to these periods. Within this study, Stone Masjid, Çankırı Castle and Emir Karatekin Bey Tomb, Grand Mosque, Clock Tower, Buğday Pazarı Madrasah, Çivitçioğlu Madrasah, Çankırı Historical Laundry, İnandık Vase, Stone School, İstiklal Way, Çankırı Salt Cave were evaluated as tangible cultural heritage and Çankırı Yaran Culture, Team Dinner were evaluated as intangible cultural heritage; which are the most typical examples of the Çankırı traditional culture in Çankırı city center and its vicinity. The study focused on the relationship between cultural heritage and tourism and the contribution of cultural heritage values to Çankırı city tourism was examined.

Keywords: Culture, Cultural Heritage, Tourism, Urban Tourism, Çankırı.

* Sorumlu Yazar: Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Çankırı, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6584-041X, betultulek@karatekin.edu.tr

1. Giriş

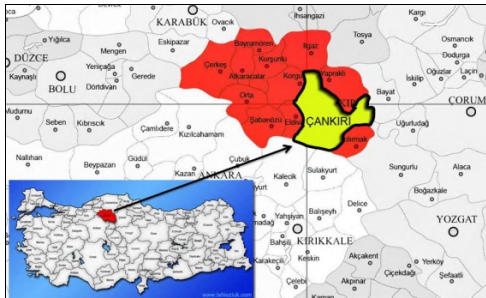
İnsanın kültürel, sosyal ve ekonomik yapısının mekândaki ifadesi olarak tanımlanan kent, kimliğini tanımlayan özelliklerini tarihi gelişiminden almaktadır. Özellikle birbirine benzeyen yapıların çoğunlukta olduğu bugünün kentlerinde, kentlere kimlik kazandıran ve kentlilerin kendilerini kentle özdeşleştirebileceği en önemli öğelerden biri kültürel, sosyal, ekonomik, arkeolojik ve estetik değerlere sahip olan kültürel miraslarıdır. Kültür turizmi ise kentlerin kimliklerini oluşturan doğal ve tarihsel kültür varlıklarını, kültürel etkinlikleri ve güncel sanat eserlerini, kültür sanayilerinin sonuçlarını, bazı sosyo-ekonomik olguları turistik bir ürün biçiminde hizmete sunan bir turizm anlayışıdır. Bu bağlamda araştırma alanı olan Çankırı kenti ve yakın çevresindeki somut ve somut olmayan kültürel mirasları, kent kimliğini oluşturan ve bu açıdan kent tanıtımına katkı sağlayan ve kültür turizmi imkanı kazandıran unsurlar olmaları sebebiyle Çankırı kenti için önemli birer unsurdur. Bu araştırma kapsamında İç Anadolu Bölgesinde bulunan Çankırı kenti, tarihsel gelişim süreçleri içerisinde, bu süreçlerle ilişkili çok sayıda somut ve somut olmayan kültürel miras özellikleri ile incelenmiş, bu özelliklerinin kent ve kültür turizmine olan katkıları tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Araştırmanın ana materyalini Çankırı kenti oluşturmaktadır. Çankırı kentinin büyük bir bölümü İç Anadolu Bölgesinde, bazı bölümleri de Karadeniz Bölgesinde yer almakta olup, İç Anadolu ile Batı Karadeniz Bölgesi geçiş alanındadır. İl batıda Bolu, kuzeybatıda Karabük, kuzeyde Kastamonu, doğuda Çorum ve güneyde Ankara ve Kırıkkale ile sınırlanmıştır. İlin kuzey sınırındaki dağlar, aynı zamanda en yüksek kesimini oluşturmaktadır (Çankırı Ticaret ve Sanayi Odası, 2019).

Çankırı ili nüfusu 2020 yılsonu itibariyle 192.428 olarak belirlenmiş, bu nüfusun %73,8'i şehirlerde yaşadığı belirtilmiştir. İlin yüzölçümü 7.542 km²'dir. İlde km² başına 26 kişi düşmektedir. Nüfus artış oranı en yüksek ve en düşük ilçeler ise sırasıyla Çerkeş (% 0,08) ve Atkaracalar (% -11,38) olarak belirtilmektedir. Çankırı'da TÜİK verilerine göre merkez ilçeyle beraber 12 İlçe, 15 belediye, bu belediyelerde 96 mahalle ve ayrıca 371 köy vardır (TÜİK, 2021). Çankırı merkez ilçe, köy ve kasabalarında Türk Milli Kültürü yaşatılmaktadır ve genel olarak *kapalı toplum* özelliği görülmektedir. Çankırı köyleri bugün hala köy odalarına sahiptir ve misafirperverlikler yaşatılmaktadır. Düğün, bayram gibi özel günlerde de halkın birbirine, gelenek ve göreneklere bağlılıkları gözlenebilmektedir (Çankırı Belediyesi, 2019a) (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma alanı konumu

2.2. Metot

Kültürel mirasların kent turizmindeki yeri ve önemi açısından potansiyel taşıyan alanlarda öncelikle kültür envanteri çıkartmak, etüt yapmak, turizm için gerekli şartların tespit edilmesi bakımından önemlidir. Araştırmanın temel amacı; Çankırı kent merkezi ve yakın çevresinde yer alan önemli kültür varlıklarının tespiti, analizi ve turizm potansiyellerinin belirlenmesidir.

Bu çalışmada, Çankırı kentindeki kültürel miras ve kültür turizmi ilişkisi ortaya konmuş ve kültürel miraslara ilişkin elde edilen veriler ile Çankırı kenti somut ve somut olmayan kültürel miras değerlerinin kent turizmine deneyimsel, sosyal ve ekonomik katkıları Teo ve Yeoh (1997), Bachlaitner ve Zins (1999), MacDonald ve Joliffe (2003), Bahçe (2009), Altuntaş ve Tülek (2012) çalışmaları dikkate alınarak incelenmiştir. Araştırma yönteminin *birinci aşamasında*, alana ilişkin kültür envanteri çıkarılmış, turizm ve kültür kavramları ve Çankırı kentine ait sözlü, yazılı, görsel ve sayısal materyaller toplanmıştır. *İkinci aşamada* veriler analiz edilerek Çankırı kent merkezi ve yakın çevresindeki doğal, beşeri ve ekonomik özellikleri ile ilçenin somut ve somut olmayan kültürel mirasları tek tek ele alınmıştır. Araştırmanın *son aşamasında* ise ilçenin kültür turizmi potansiyelini oluşturan miras alanlarının turizmine olan katkıları incelenerek, sorunlar ve çözüm önerilerine yer verilmiştir. Araştırma, Çankırı Belediyesi, Çankırı Valiliği, Çankırı İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü verileri ile de desteklenmiştir. Araştırma sonucunda, kentin kültür turizmi ile kalkınması ve sahip olunan zengin kültürel mirasın korunması, yaşatılması, kültür varlıklarının hak ettikleri değeri kazanması ve bilime katkı sağlanması beklenmektedir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Kültür ve Kültürel Miras Kavramı

Kültür sözcüğü 'Cultura' veya 'Colere' sözcüklerinden türetilmiştir. Latince karşılığı olarak, 'bakmak' 'yetiştirmek' olarak belirtilmektedir (Meydan Uygur ve Baykan, 2006). Pek çok turist farklı toplumlarla ilgili bilgi sahibi olmak için seyahatlerde bulunmaktadır. Burada kültür kavramının da etkinliği büyüktür. Turistler farklı ulusların kültürlerini tanımak için seyahat etmekte ve konaklamakta olup, bu turizm şekli kültür turizmi olarak adlandırılmaktadır (Arıncı, 2002).

Kültürel miras kavramı bir miras değeri olarak geçmişten gelen ve geleceğe aktarılmak istenen, sosyal, kültürel, estetik açıdan toplumların sahip olduğu tüm unsur ve eserlerin bütünüdür (Can, 2009). Kültürel miras insanlığın binlerce yıllık yaşam deneyiminin, aklının ve yaratıcılığının günümüze ulaşmış somut ve somut olmayan değerleridir. 17 Ekim 2003 tarihinde UNESCO tarafından kabul edilen ve Türkiye'nin de 27 Mart 2006 tarihinde taraf olduğu Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi mirasların korunması kapsamında önemli amaçlara sahiptir. Bu amaçlardan biri somut olmayan kültürel mirasların önemi konusunda yerel, ulusal ve uluslararası düzeyde duyarlılığı ve farkındalığı artırmaktır. Küreselleşen dünyanın getirdiği "tek tip"leştirici etkilerle yok edilmekte olan kültürel çeşitliliği ve kültürel mirası korumaya, çalışan Somut Olmayan Kültürel Miras (SOKÜM) Sözleşmesi'nin "Somut Olmayan Kültür" kavramı tanımlayan yaklaşımı, koruma, yaşatma ve geliştirme amacı altında önemli olanaklar sağlamaktadır (Yıldırım Saçılık ve Toptaş, 2017).

3.1.1. Somut kültürel miras

Türkiye'nin somut kültürel mirasları Kültür ve Turizm Bakanlığı'na göre kazılar ve araştırmalar, müzecilik faaliyeti, dünya miras alanları ve antik kentler, sanal müzeler ve diğer mekanlar olarak farklı kategorilere ayrılmaktadır (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2019). Türkiye kültür ve tabiat varlıkları açısından son derece önemlidir ve zengin bir kültürel potansiyele sahiptir. Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğu altında yürüttüğü çalışmalar neticesinde bugüne kadar UNESCO Dünya Miras Listesi'ne 18 adet varlığın alınmasını sağlanmıştır (UNESCO, 2021a) (Tablo 1).

Tablo 1. UNESCO Dünya Mirasları Listesi (UNESCO, 2021a)

Yıl	Miras İsimleri	Yeri
1985	Divriği Ulu Camii ve Darüşşifası	Sivas
1985	İstanbul'un Tarihi Alanları	İstanbul
1985	Göreme Millî Parkı ve Kapadokya(Karma Miras Alanı)	Göreme
1986	Hattuşa: Hitit Başkenti	Çorum - Sungurlu
1987	Nemrut Dağı	Adıyaman -Kahta
1988	Hieropolis-Pamukkale (Karma Miras Alanı)	Denizli
1988	Xanthos-Letoon	Antalya - Muğla
1994	Safranbolu Şehri	Karabük
1998	Truva Arkeolojik Alanı	Çanakkale
2011	Edirne Selimiye Camii ve Külliyesi	Edirne
2012	Çatalhöyük Neolitik Alanı	Konya
2014	Bursa ve Cumalıkızık: Osmanlı İmparatorluğunun Doğuşu	Bursa
2014	Bergama Çok Katmanlı Kültürel Peyzaj Alanı	İzmir
2015	Diyarbakır Kalesi ve Hevsel Bahçeleri Kültürel Peyzajı	Diyarbakır
2015	Efes	İzmir
2016	Ani Arkeolojik Alanı	Kars
2017	Aphrodisias	Aydın
2018	Göbekli Tepe	Şanlıurfa

3.1.2 Somut olmayan kültürel miras

Somut Olmayan Kültürel Miras kavramı UNESCO (2003) tarafından; toplulukların, grupların ve kimi durumlarda bireylerin, kültürel miraslarının bir parçası olarak tanımladıkları uygulamalar, temsiller, anlatımlar, bilgiler, beceriler ve bunlara ilişkin araçlar, gereçler ve kültürel mekânlar biçiminde açıklanır. Gelecek nesillere aktarılan bu miras, toplulukların ve grupların çevreleriyle, doğayla ve tarihleriyle etkileşimlerine bağlı olarak, sürekli biçimde yeniden yaratılmakta ve bu onlara kimlik ve devamlılık duygusu vermekte; böylelikle kültürel çeşitliliğe ve insan yaratıcılığına duyulan saygıyı arttırmaktadır (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2019).

Gelecek nesillerin kültürel çeşitliliği görmesi ve paylaşması oldukça önemlidir ve önlemler alınması gerekmektedir. UNESCO tarafından bu amaçla 1999 yılında düzenlenen konferansta somut olmayan kültürel miraslar için bir program oluşturulmasına karar verilmiştir. Somut olmayan kültürel mirasın korunması UNESCO Genel Kurulunda 17/10/2003 tarihinde sözleşmeye bağlanmıştır. Somut Olmayan Kültürel Miraslar 5 kategoride toplanmaktadır (Can, 2009):

- Sözlü gelenek ve anlatımlar, dil
- Gösteri sanatları

- Toplumsal uygulamalar, ritüeller, şöenler, festivaller
- Doğa ve evrenle ilgili bilgi ve uygulamalar
- El sanatlarıdır.

Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesinin birinci amacı somut olmayan kültürel mirası korumaktır ve koruma “yaşayabilirliğini garanti altına almak” anlamına gelmektedir. Sözleşmenin diğer amaçları ise şöyle sıralanabilir (Anonim, 2011); İlgili toplulukların, grupların ve bireylerin somut olmayan kültürel mirasına saygı göstermek, Somut olmayan kültürel mirasın önemi konusunda yerel, ulusal ve uluslararası düzeyde duyarlılığı arttırmak ve karşılıklı değerliliği sağlamak, Uluslararası işbirliği ve yardımlaşmayı sağlamak. Türkiye 27 Mart 2006 tarihinde sözleşmeye resmen taraf olmuştur. Türkiye'nin ilk yazımları Hükümetler arası Komite'nin 2008 yılında İstanbul'da gerçekleşen Üçüncü Olağan Toplantısı'nda daha önce ilan edilen Başyapıtların 16. Madde kapsamındaki Somut Olmayan Kültürel Miras Temsili Listesine alınmasıyla gerçekleşmiş ve 2020 yılı itibariyle bu listedeki miras sayısı 20 olmuştur (UNESCO, 2021b) (Tablo 2).

Tablo 2. UNESCO İnsanlığın Somut Olmayan Kültürel Mirası Temsili Listesi (UNESCO, 2021b)

Yıl	Somut Olmayan Kültürel Miraslar
2008	Meddahlık
2008	Mevlevi Sema Töreni
2009	Aşılık Geleneği
2009	Nevruz (Çokuluslu)
2009	Karagöz
2010	Geleneksel Sohbet Toplantıları
2010	Kırkpınar Yağlı Güreş Festivali
2010	Alevi - Bektaşî Ritüeli Semah
2011	Tören Keşkeği Geleneği
2012	Mesir Macunu Festivali
2013	Türk Kahvesi Kültürü ve Geleneği
2014	Ebru : Türk Kağıt Süsleme Sanatı
2016	Geleneksel Çini Ustalığı
2016	İnce Ekmek Yapma ve Paylaşma Kültürü: Lavaş, Katırma, Jupka, Yufka (Çokuluslu)
2017	Bahar Kutlaması: Hıdrellez (Çokuluslu)
2017	Islık Dili (UNESCO Acil Koruma Gerektiren Somut Olmayan Kültürel Miras Listesi)
2018	Dede Qorqud/Korkyt Ata/Dede Korkut Mirası: Destan Kültürü, Halk Masalları ve Müzik (Çokuluslu)
2019	Geleneksel Türk Okçuluğu
2020	Minyatür Sanatı (Azerbaycan, İran ve Özbekistan ile Ortak Dosya)
2020	Geleneksel zekâ ve strateji oyunu: Togyzqumalaq, Toguz Korgool, Mangala / Göçürme (Kazakistan ve Kırgızistan ile Ortak Dosya)

3.2. Turizm ve Kültür Turizmi Kavramı

Turizm kavramı, dinlenme, eğlenme, görme, tanıma vb. amaçlar ile yapılan gezi; bir ülkeye veya bir bölgeye turist çekmek için alınan ekonomik, kültürel, teknik önlemlerin, yapılan çalışmaların tümü olarak tanımlanmaktadır (TDK, 2019). Birleşmiş Milletler Dünya Turizm Örgütü (UNWTO) tarafından turizm, insanların yaşadıkları yerler dışında iş, sağlık, spor, tatil, eğlenme, kültür veya aile ziyaretleri, kongreler ve seminerlere katılmak gibi sebeplerle, tek başına veya grup olarak

yaptıkları seyahatler ve gidilen yerde 24 saatten fazla veya bir ülkenin herhangi bir konaklama tesisinde en az 1 gece konaklamalarından ortaya çıkan hareketler olarak tanımlanmaktadır (Bıçkı ve ark., 2013).

Kültür turizmini, “bir bölgede yaşayan bir insan grubuna özgü somut ve somut olmayan özelliklerinin, ziyaretçinin ilgi ve amacına göre gerçek ortamında deneyimlenmesi için yapılan seyahat” olarak tanımlamak mümkündür (Bahçe, 2009).

3.3.Kültürel Mirasların Turizm Üzerindeki Etkileri

Dünyadaki kültür mirası ürünlerinin, insanlar tarafından görülmesine yönelik talep artışı ve bunların insanlığın beğenisine sunulmak isteğinin neticesinde kültürel miras zenginliği olan mekânlar, kültür turizminin gelişme yerleri olarak görülmüştür. Söz konusu mekânların, turizme kazandırılması çalışmaları günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. Kültür turizminin geliştirilmesine yönelik çabalar, özellikle kültürel miras bakımından belirli bir potansiyeli barındıran alanlarda yoğunlaşmaktadır. Kültür turizmi, daha çok özgünlüğünü koruyan ve nispeten daha az bozulmuş kültürlerin bulunduğu alanlarda daha iyi bir gelişme trendi yakalamaktadır (Sezer, 2017).

Kültürel varlıkların turizm üzerindeki olumlu etkilerinden en önemlisi, yerel halkın yaşam seviyesini yükseltmesi ve yeni iş olanakları yaratması gibi ekonomik etkileridir. Ekonomik gelişme, sosyo-kültürel gelişmeyi de beraberinde getirmektedir. Yerel halkın toplum bilincinin yükselmesi, korumaya yönelik yatırımların da artmasını sağlamaktadır. Kültür turizm ile elde edilen ekonomik kazanç, kültürel mirasın korunması için gerekli finansal desteği de sağlamaktadır. Çevreyi ve kültürel mirası koruma adına yapılan harcamalar, uzun dönemde ekonomik açıdan olumlu bir gelişmeye sebep olmaktadır. Bu nedenle kültür turizmi ve kültürel miras, sürdürülebilirlik ve ekonomik gelişme açısından birbirlerine gereksinim duyan iki olgudur (Akgül, 2003).

3.4.Çankırı Kentinde Turizm ve Kültürel Miras Potansiyeli

Birleşmiş Milletler Dünya Turizm Örgütü (UNWTO) verilerine göre dünya genelinde seyahat eden kişi sayısı 2017 yılında % 7'lik artışla 1.322 milyon seviyesine ulaşmıştır. Bu oran 2010 yılından bu yana son 7 yılda elde edilen en yüksek büyüme rakamıdır. Türkiye'ye 2017 yılında gelen ziyaretçi sayısı bir önceki yıla göre % 28 artarak 32 milyon 410 bin 34'e çıkmış ve turizm geliri de % 19 artışla 26,3 milyar dolara yükselmiştir. Türkiye'nin pazardan aldığı bu payın artırılması için 2023 Türkiye Turizm Stratejisi gerekli tedbirler içermektedir. Stratejide 2023 yılında 63 milyon turist, 86 milyar Amerikan Doları dış turizm gelirine ulaşılması hedeflenmektedir (UNWTO, 2019).

T.C. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı tarafından İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırılması (İBBS) yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre Türkiye, birinci düzeyde 12 bölgeye, ikinci düzeyde 26 alt bölgeye ve üçüncü düzeyde ise 81 ile ayrılmıştır. Buna göre TR82 Alt Bölgesi Kastamonu, Çankırı ve Sinop'tan oluşmaktadır. Bu bağlamda TR82 Alt Bölgesi'nin turizm potansiyelinin etkin biçimde kullanılması ayrı bir önem taşımaktadır (Kuzka, 2013). Çankırı için tüm belediye ve işletme belgeli tesislere gelen yerli yabancı turist sayısı 2020 yılı için

8.996, geceleme sayısı 15.066 olarak tespit edilmiştir. Bu sayı içerisinde yabancı turistlerin payı oldukça düşüktür (Tablo 3) (Çankırı Belediyesi, 2021a).

Tablo 3. Turizm İşletmesi Belgeli Tesisler (Çankırı Belediyesi, 2021a).

Yıl	Tesis Adedi	Yatak Kapasitesi	Müşteri	Giriş	Geceleme
2009	2	177	Yerli	22147	26153
			Yabancı	51	93
2010	2	202	Yerli	22814	27030
			Yabancı	40	105
2011	2	202	Yerli	26718	33903
			Yabancı	319	1501
2012	2	202	Yerli	25320	32225
			Yabancı	402	1917
2013	2	202	Yerli	24914	32211
			Yabancı	216	1034
2014	2	202	Yerli	22492	29399
			Yabancı	257	1200
2015	4	202	Yerli	17731	27423
			Yabancı	1488	1807
2016	4	202	Yerli	15971	25616
			Yabancı	243	1268
2017	7	519	Yerli	40716	68299
			Yabancı	913	2769
2018	7	541	Yerli	35745	62755
			Yabancı	856	2074
2019	7	541	Yerli	37068	62442
			Yabancı	1220	3052
2020	7	541	Yerli	8863	14731
			Yabancı	133	335

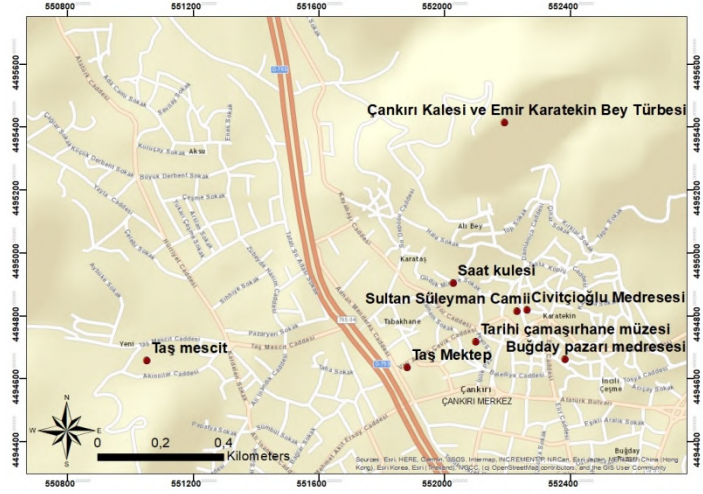
Türkiye birçok medeniyeti barındırmış olan coğrafyasından dolayı kültürel açıdan son derece zengindir. Son yıllarda turizm aktiviteleri ve turist tercihleri dikkate alındığında bu kültürel zenginliğin ve dolayısıyla kültürel mirasların önemi de giderek artmaktadır. Yapılan birçok çalışma artık yerli ve yabancı turistlerin kültürel ve kültürel miraslara ilgisinin arttığını ortaya çıkarmaktadır (Altuntaş ve Tülek, 2012).

Son yıllarda kültürel miraslara artan bu ilgi ve Çankırı kenti kapsamında artan oranda yapılan kritik altyapı yatırımları ile birlikte Çankırı'nın yüksek turizm potansiyeli harekete geçmeye başlamıştır. Yakın gelecekte kültür ve tarih ziyareti kapsamında Çankırı'ya gelecek turist sayısının konaklamalı olanlar açısından yaklaşık %10 artacağı, bunun yanında konaklamalı olmayanlar ise tahminen %20 artacağı düşünülmektedir. Bu noktada özellikle kentte yer alan kültürel mirasların payı büyüktür. Çocuklar için okul turları, günü birlik ziyaretçiler, iş için günübirlik gelen tedarikçiler açısından ziyaretçi sayısının 18.000 kişi/yıl olacağı öngörülmektedir (Çankırı Belediyesi, 2019b).

3.4.1. Çankırı Kenti Somut Kültürel Mirasları

Bu araştırma kapsamında Çankırı kent merkezi ve yakın çevresinde bulunan ve somut kültürel miraslar kapsamına giren Taş Mescit, Çankırı Kalesi ve Emir Karatekin Bey Türbesi, Sultan Süleyman Cami, Saat Kulesi, Buğday Pazarı Medresesi, Çivitçioğlu Medresesi, Çankırı Tarihi Çamaşırhanesi, İnandık Vazosu, Taş Mektep, İstiklal Yolu, Çankırı tuz mağarası ile somut olmayan kültürel miraslar kapsamına giren Yaran Kültürü

ve Çankırı Takım Yemeği Çankırı'nın geleneksel kültürünün en tipik örnekleri olarak incelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çankırı kenti somut kültürel miraslarının konumu

Taş mescit

Anadolu Selçuklu Hükümdarı I. Alâeddin Keykubat zamanında Çankırı Atabeyi (Valisi) Cemalettin Ferruh tarafından 1235 yılında yaptırılmıştır. Cemalettin Ferruh şifahaneye ilave olarak 1242 yılında bir Dâr-ül Hâdis inşa ettirmiştir. Anadolu'daki ilk Dâr-ül Hâdis olan eser halk tarafından Taş Mescit olarak isimlendirilmektedir. Mimari özelliğinin yanı sıra yapıya önem kazandıran diğer konu iki plastik sanat eseridir. Biri yapı üzerinde, diğeri heykel görünümünde olan iki adet figürlü taş eserden birbirine dolanmış iki yılanın tasvir edildiği ve günümüzde "Tıp Sembolü" olarak kullanılan birinci parça yapı üzerinde bulunmaktadır. Çankırı Müzesinde sergilenen ikinci parçada ise günümüzde "Eczacılık Sembolü" olarak kullanılan kupaya dolanmış yılan figürü bulunmaktadır. Aynı zamanda bir anıt mezar olan eserde iki adet mezar odası da yer almaktadır. Kuzey cephede yer alan mezar odasında bir sanduka yer almakta, doğu cephesinden girilen iki bölümlü mezar odasında ise beş sanduka bulunmaktadır. Kaditler olarak anılan cesetlerin döneminde mumyalandığı tahmin edilmektedir. Bu mezar odasında ortada yer alan tabutun, eserin banisi Cemalettin Ferruh'a ait olduğu düşünülmekte sandukası mezar odasının üstünde ana mekanda yer almaktadır (Çankırı Valiliği, 2019a) (Şekil 3).



Şekil 3. Taşmescitten birgörünüş(Türkiye Kültür Portalı, 2021a)

Çankırı Kalesi ve Emir Karatekin Bey Türbesi

Romalılar, Bizanslılar, Danişmentliler, Selçuklular ve Osmanlılar dönemlerinde sağlamlığıyla ünlü yapıdan günümüze birkaç sur kalıntısı kalmıştır. Dörtgen planlı olan kalenin surları moloz taş ve tuğla karışımıdır. Yüksekliği 150 m. kadardır. Kale içinde Roma Dönemi'nden kalma kaya mezarı, iskan kalıntıları ve pişmiş toprak kap parçaları bulunmaktadır. Kalede Çankırı Fatih Emir Karatekin Bey'in türbesi de bulunmaktadır. Kale bugün, ziyaretgâh ve mesire yeri olarak kullanılmaktadır (Türkiye Kültür Portalı, 2019) (Şekil 4).



Şekil 4. Çankırı kalesi (Türkiye Kültür Portalı, 2021b)

Sultan Süleyman Camii (Büyük camii / Ulu camii)

Osmanlı Sultanı Kanuni Sultan Süleyman'ın emriyle Mimar Sinan'ın yetiştirdiği Sadık Kalfa tarafından yapılan cami, 1558 yılında ibadete açılmıştır. Merkez ilçede bulunan ve kare planlı olan Cami'nin üzerinde, ortada büyük tam kubbe ile bu kubbenin dört tarafında yarım kubbeler bulunmaktadır. Duvarları ve minaresi kesme taş, kubbe üstleri kurşun kaplıdır (Çankırı Valiliği, 2019b) (Şekil 5).



Şekil 5. Sultan Süleyman Camii (Türkiye Kültür Portalı, 2021c)

Çan saati (Saat kulesi)

II. Abdülhamit Döneminden kalma yalın bir yapı olan saat kulesi için İsviçre'de üretilen saat 1866 yılında İnebolu yolu üzerinden Çankırı'ya getirilmiştir. Kare planlı ve dikdörtgen gövdeli olan saat kulesi bir platform üzerine oturtulmuştur. Şehre hakim bir noktada bulunan saat kulesinin yüksekliği 15 metredir. Üst kısmında balkon ve dört yönünde saat kadranlı bulunmaktadır (Çankırı Valiliği, 2019c) (Şekil 6).



Şekil 6. Saat Kulesi (Çankırı İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2019c)

Çivitçioğlu medresesi

Çankırı'nın en önemli tarihi mekânlarından olan Çivitçioğlu Medresesi Çankırı Belediyesinin yaptığı tadilat ve tefriş düzenlemeleri sonunda kültür merkezi olarak hizmet vermektedir. Ebru kursları, hat ve rölyef kursları verilen medresenin özgün atmosferinde ney dinlemek de mümkündür (Çankırı Valiliği, 2019d) (Şekil 7).



Şekil 7.Çivitçioğlu medresesinden görünüş (Çankırı Belediyesi, 2021b)

Buğday pazarı medresesi

Buğday Pazarı (Hazimiye) Medresesi hakkındaki kayıtlarda Sofizade Mustafa Hazım Efendi tarafından 18. yy'da inşa ettirildiği ve 19 yetişkin öğrencinin eğitim gördüğü bilgisi yer almaktadır. Buğday pazarı medresesi günümüzde kültürel amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Kaybolmaya yüz tutmuş el sanatlarının yanı sıra Çankırı'nın son yıllarda öne çıkan kaya tuzu hediyeelik eşyalarının üretildiği ve tuz odasının oluşturulduğu Buğday Pazarı Medresesinde kentin geçmişini yansıtan somut olmayan kültürün yaşatıldığı odalar, yaran kültürünün tüm unsurları ve yöresel kıyafetler de sergilenmektedir. Medrese, Çankırı'ya gelenlerin en fazla ziyaret ettiği mekânlardan biridir (Çankırı Valiliği, 2019e) (Şekil 8).



Şekil 8. Buğday pazarı medresesi (Anonim, 2015)

Tarihi çamaşırhane müzesi

Cumhuriyet Mahallesi'nde halkın ortak çamaşır yıkama yeri olması amacıyla yapılmış bir çamaşırhanedir. Çankırı Belediyesi tarafından restorasyonu yapılmış ve dönemin kültürünün yaşatıldığı bir müze haline getirilmiştir.. Aslına uygun şekilde düzenlenen çamaşırhane; çamaşır yıkanan bölümler, çeşmeler, kazanlarda suların kaynatıldığı ocaklar, çamaşır dövülen taş sekiler, oluk, suların atıldığı açık kanallar, araç gereçler, heykeller, müze malzemelerinin sergilendiği vitrinler, hediyeelik eşya satış birimi ve sunum panoları ile eski zaman çamaşırhane adetleri yaşatılmaktadır. Müze müzikle uğraşan gençlerin de uğrak yeridir. Çankırı Belediyesi Çivitçioğlu Medresesi Sanat Merkezi bünyesinde devam eden ney kursu öğrencileri ve def, bağlama ve saksafon çalan müzisyenler müzede bir araya gelmektedir (Çankırı Belediyesi, 2019b) (Şekil 9).



Şekil 9.Tarihi çamaşırhane müzesi (Çankırı Belediyesi, 2021c)

İnandık vazosu

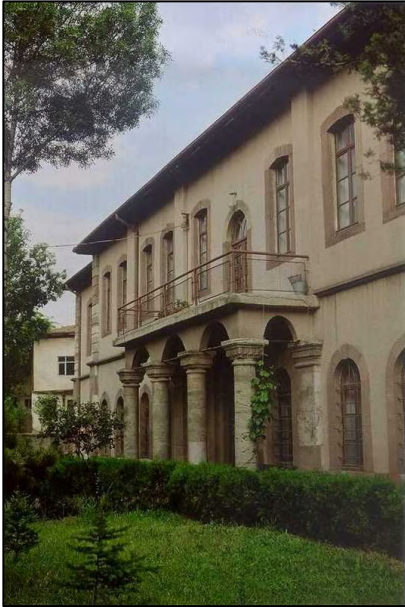
İnandık Vazosu, Ankara ile Çankırı arasında İnandık Tepesi'nin üst kısmındaki Hitit tapınağında bulunmuştur. Eski Hitit döneminden (MÖ 1650-1450) kalma, pişmiş toprak bir vazodur (Anonim, 2019a) (Şekil 10). Kabartmalı motiflerin frizler halinde üzerine yerleştirildiği İnandık Vazosu, İnandık Höyüğü'ndeki yerleşmenin tarihini ve halkının yaşantısını aydınlatmasını sağlayan önemli bir buluntudur.



Şekil 10. İnandık vazosu (Anonim, 2009)

Taş mektep

Yapımına 1886 yılında başlanmış olan Taş mektep, 1893 yılında İdadi Mektebi adıyla açılmıştır. Merkez ilçede bulunan bina iki katlıdır ve kesme taştır. Bugün hala Güzel Sanatlar Lisesi olarak kullanılmaktadır. Yapının başka bir özelliği ise Atatürk'ün, 31 Ağustos 1925 gecesi Şapka İnkılabı nedeniyle çıktığı yurt gezisi sırasında bu binadaki bir dershanede ağırlandığıdır. İnkânlar doğrultusunda tefriş edilen dersane, günümüzde "Atatürk Odası" olarak dönüştürülmüştür (Çankırı Valiliği, 2019f) (Şekil 11).



Şekil 11. Taş mektep (Türkiye Kültür Portalı, 2021d)

İstiklal yolu

İstiklal yolu 344 km uzunluğunda, coğrafi açıdan zorlu bir güzergâhtır. İnebolu, Kastamonu, Ilgaz, Çankırı, Kalecik, Ankara hattı olan bu güzergah; İstiklal Savaşı'nda cephe gerisinin önemli bir lojistik yoludur (Şekil 12). Bu yoldan çok sayıda silah ve cephane taşınmıştır. Savaşın kaderinin belirlenmesinde etkili olan bu güzergah için Başkumandan

Mustafa Kemal, "Gözüm Sakarya'da, Dumlupınar'da; Kulağım İnebolu'da" şeklinde bahsetmiştir (İstiklal Yolu Derneği, 2019a).



Şekil 12. İstiklal yolu yürüyüşü (İstiklal Yolu Derneği, 2019b)

Tuz mağarası

Merkez ilçeye 19 km. mesafede bulunan ve Hititler Döneminden beri işletildiği tahmin edilen tuz yatakları Türkiye'nin en büyük kaya tuzu rezervine sahiptir (Anonim, 2019b). Tuz elde etmek için açılan oyuklardan oluşan ve içerisinde kamyonların dolaştığı mağara oldukça görkemlidir. Bazı bölümlerinde tuz sarkıt ve diktilerinin bulunduğu mağarada üretilen kaya tuzu Çankırı'da bulunan tuz fabrikalarında işlenmekte ve ülke genelinde sofraya ve sanayi tuzu olarak pazarlanmaktadır. Bugün hala özel sektör tarafından mağaradan tuz üretimi yapılmaktadır. Üretim faaliyeti tamamlanmış galerilerin turizme kazandırılması amacıyla galerilerin bir bölümü Çankırı Valiliğine devredilmiştir ve "Çankırı Kaya Tuzu Mağarasının Turizme Kazandırılması Projesi" hazırlanmıştır. Proje kapsamında mağarada heykel ve rölyeflerin yer alacağı galeriler, yaran kültürü tanıtım galerisi, restoran, kafeterya, çok fonksiyonlu toplantı salonu, çocuk oyun alanı, fosil müzesi, mescit, mağara içi ışık sistemleri, dekoratif tuz havuzu, spor aktivite alanı ile astım, bronşit gibi akciğer rahatsızlıklarının tedavisine yönelik tuz terapi odalarının hazırlanması planlanmıştır. Böylece mağara sağlık turizmi açısından da önem taşıyacak bir alan haline gelecektir (Çankırı Valiliği, 2019g) (Şekil 13).



Şekil 13. Çankırı Tuz mağarasından bir görüntü (Orijinal, 2013)

3.5.2. Çankırı Kenti Somut Olmayan Kültürel Mirasları

Araştırma alanı içerisinde geçmişten günümüze yapılan somut olmayan kültürel miras çalışmaları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Araştırma Alanı Somut Olmayan Kültürel Miras Çalışmaları (Çankırı İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2019a)

2008	SÖKÜM komisyonu kurulmuştur.
2009	27-28 Şubat 2009 tarihlerinde Çankırı ilinde “ Yaran Kültürünü Koruma Eylem Planı Çalıştayı ” gerçekleştirilmiştir. Eldivan’da yaşatılmakta olan Seymen geleneği ile ilçelerin çoğunluğunda yaşatılan Keşkek geleneğinin de Çankırı ili Somut Olmayan Kültürel Miras listesinde yer alması teklifi yapılmıştır.
2010	Yaran geleneği 2010 yılında UNESCO tarafından Somut Olmayan Kültürel Mirasın Temsili Listesine alınmıştır.
2011	UNESCO tarafından Somut Olmayan Kültürel Mirasın Temsili Listesine alınan Yaran Kültürünü Çankırı ilinde yaşatan grup ve kişilerle ilgili bilgilerin güncellenmesi yapılmıştır.
2014	Çankırı ilindeki El kuklası oynatma geleneğinin tek temsilcisi olan Mehmet GÜMÜŞ adına bakanlığa “Somut Olmayan Kültürel Miras Taşıyıcıları Tespit ve Kayıt İşlemleri Yönergesi” kapsamında müracaatta bulunmuş ve sanatçı kaydı yaptırılmıştır.2009 yılında yapılan teklif üzerine 2014 yılında toplanan Komisyonca Yaran, Kazanda Keşkek ve Seymen Geleneği Somut Olmayan Kültürel Miras İl ve Ulusal Envanterine kayıt edilmesine karar verilmiştir.

Bu gelişmeler ışığında Çankırı kenti somut olmayan kültürel mirasları Yaran Kültürü ve Takım yemeği kapsamında incelenmiştir.

Yaran kültürü

Yaran; Türk örf, adet ve gelenekleri ile İslam, ahlak ve faziletinin bütünleşmesi sonucu meydana gelen ve ahilğin temel prensipleri olan kaliteli üretim, hilesiz satış felsefesi bağlamında esnaf yetiştiren ve Oğuzlardan günümüze kadar yaşatılan milli kültür mirasıdır. Kış döneminde yakılan ocaklarla varlığını sürdüren Yaran geleneği gönüllülük esasına dayanmaktadır. Kendine özgü olarak örgütlenmiş, üyelerinin kendi dilekleri ile katıldığı sürekli bir topluluktur. Yüz yüze, kendi ihtiyaçlarını giderici, geleneğin yaşatılması için çabalayan yaran elemanları ilgi birliği, toplumsallaşma ve inançların pekiştirilmesi özelliklerinin gelişmesine katkıda bulunmaktadır (Çankırı Valiliği, 2019h) (Şekil 14).



Şekil 14. Yaran Meclisi (Anonim, 2014)

Takım Yemeği

Çankırı ve yöresinde iftar davetleri dışında evlenecek olan genç kız ve arkadaşları yakın akrabaları tarafından akşam yemeklerine davet edilmektedir. Ayrıca yeni evlenen gençler de yakın akrabaları tarafından sıra ile akşam yemeklerine davet edilmektedirler. Askere gidecek delikanlılar da yakın akrabaları tarafından akşam yemeklerine davet edilirler. Bazı köy ve kasabalarda askere gidecek o dönem delikanlılarının hepsi yakın akrabaları tarafından hep birlikte davet edilir. Bu davetlerde menüsüne göre 6 farklı özel menü hazırlanmaktadır (Çankırı İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2019b).

4. Sonuç

Çevreyi oluşturan doğal ve kültürel kaynaklar ile turizmin ilişkisi, bu kaynakların korunması ve değer kazanmaları açısından araç ve amaç birlikteliği oluşturmaktadır. Bu kaynak değerleri yerinde geliştirildiği zaman değer kazanmaktadır.

Bir bölgenin kültür turizmini önemli kılan kültürel değerleri resim, müzik, dans, endüstri, el sanatları, iş, tarım, eğitim, edebiyat, dil, bilim, yönetim, din, mutfak ve tarih özelliklerinin yanı sıra, bölgenin mimari dokusu ve eserleri ile bölge halkı oluşturmaktadır (Çetin, 2010).

Ziyaretçiler gittikleri bölgelerin kültürlerini, geleneklerini, folklorlerini, doğal özelliklerini ve tarihini deneyimlemek; bunların yanında doğa ve macera sporları yapıp, festivaller, el sanatları gibi etkinliklere katılarak da kültür turizmi aktivitelerini gerçekleştirmek isterler (MacDonald ve Joliffe, 2003). Bu noktada unutulmaması gereken, ziyaret edilen yöre veya bölgenin kültür turizmi olarak gelişebilmesi için, ziyaretçilere sunulan tüm ürün ve hizmetlerin o yöreye ait, özgün olması ve kültürel bir yönetim ve yaşam tarzını sergilemesidir (Bachlaitner ve Zins, 1999).

Çankırı ili için kültür turizmi açısından kentte bulunan kültürel mirasların önemi büyüktür. Araştırmada ele alınan ve somut kültürel miras kapsamına giren unsurların, kültürel ve tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi amacı ile kamu kurumları tarafından korunmaya alınması yönünde önemli çalışmalar yürütülmüştür. Özellikle Çankırı Belediyesi ve Vakıflar Genel Müdürlüğü restorasyon çalışmaları yürüterek, bu unsurların turizm alt yapısını güçlendirmişlerdir. Somut olmayan kültürel mirasların nesilden nesile aktarılabilmesi için de yaran dernekleri düzenli çalışmalar yürütmektedir. Yaran Kültürü’nün sürdürülebilirliğinin sağlanması için hala belirli zamanlarda yaran geceleri düzenlenerek bu kültür yaşatılmakta ve takım yemeği ikramı geleneği devam ettirilmektedir.

Çankırı kent merkezi ve yakın çevresinde bulunan kültürel mirasların Çankırı turizmine ivme kazandırdığı özellikle son yıllardaki turizm verilerinden anlaşılmaktadır. Ancak turizm açısından talebin artırılması için bu kültürel ve tarihi değerlerin ulusal ve uluslararası platformlarda tanıtım çalışmaları yürüterek kültür turizmine ilgisi olan kişilerde farkındalık oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca Çankırı ili, Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı’nın bölge turizmi ile ilgili yapmış olduğu araştırmalarda herhangi bir turizm rotasında bulunmadığı sonucu ortaya çıkarılmıştır. Çankırı’da turizmin canlandırılması ve turizm gelirlerinin artması için sahip olduğu kültürel mirasların tanıtımının yapılarak hem şehir içi rota planlaması hem de şehirlerarası turizm rotası oluşturulması yolunda çalışmalar

yürütülmesi gerekmektedir. Çankırı Belediyesi'nden alınan bilgiler doğrultusunda Çankırı kent merkezine gelen turistler için konaklama tesislerinin sayısı 2020 yılı itibarıyla 7'dir. Çankırı ili için 2019 yılında kente gelen yerli ve yabancı turist sayısı 38.288; geceleme sayısı 65.494 olarak tespit edilirken; bu sayı 2020 yılı için 8.996, geceleme sayısı ise 15.066 olarak belirlenmiştir. Kentteki konaklama tesislerinin sayısı ve yatak kapasitesi artırılmalıdır. Ayrıca görüldüğü üzere yabancı turistlerin payı çok düşüktür. Bu kapsamda 2020 yılındaki turist sayısının azalmasında COVID 19 salgınının etkisi de oldukça fazladır (Çankırı Belediyesi, 2021) (Tülek ve Atik, 2020).

Çankırı kenti somut olmayan kültürel miraslarından olan takım yemeği kültürü ise Çankırı halkı tarafından evlerinde sürdürülmektedir. Şehir merkezinde sadece bir lokanta bu konuda hizmet vermektedir. Çankırı somut olmayan kültürel miras listesinde olan geleneksel lezzetlerin yer aldığı takım yemeğinin yerli ve yabancı turistlere ulaşması ve daha fazla işletmede hizmet verilmesi açısından girişimciler teşvik edilmelidir. Yapılacak tüm bu çalışmalarla Çankırı'ya ait somut ve somut olmayan kültürel mirasların tanıtılması, korunması ve turizme kazandırılmaları konularında katkı sağlanmış olacaktır.

Kaynakça

- Akgül, O., (2003). Turistik Ürün Çeşitlendirmesi Kapsamında Kültür Turizmi, Aphrodisias-Geyre Örneği, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Turizm Anabilim Dalı yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
- Altuntaş, A., Tülek, B., (2012). Kültürel Peyzajların Turizme Etkileri: Antalya Örneği, II. Disiplinlerarası Turizm Araştırmaları Kongresi: 444-458, 12 - 15 Nisan 2012, Antalya
- Anonim, (2009). İnandık Vazosu. Web Sitesi: <https://www.deviantart.com/fiyonk14/art/inandik-vazosu-118897040>, Erişim Tarihi: 25.02.2021.
- Anonim, (2011). Soyut Kültürel Miras, Web Sitesi: <http://www.turkiyekulturportali.gov.tr/Sayfalar/KulturelMiras/Soyut%20K%C3%BCl%20t%C3%BCrel%20Miras/Somut%20Olmayan%20K%C3%BCl%20t%C3%BCrel%20Miras.aspx?isp=1>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Anonim, (2014). Yaranlar Diyarı - Kaya Tuzunun Başkenti ÇANKIRI, Web Sitesi: <http://yaranlardiyari.blogspot.com/2014/04/cankiri-ve-cevresine-ozgu-yaran-kulturu.html>, Erişim Tarihi: 25.02.2021.
- Anonim, (2015). Çankırı'nın iki medresesi. Web Sitesi: <https://www.dunyabulteni.net/dunyanin-bir-ucu/cankirinin-iki-medresesi-h322282.html>, Erişim Tarihi: 25.02.2021.
- Anonim, (2019a). İnandık Vazosu. Web Sitesi: <https://derstarih.com/inandik-vazosu/>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Anonim, (2019b). Tuz Mağarası. Web Sitesi: <https://www.tuzlamba.com/blog/tuz-magarasi>. Erişim Tarihi: 09.04.2019
- Arıncı, P. C., (2002). Selçuk'ta Kültür Turizmi, İzmir: Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler
- Bachlaitner, R., Zins, A. H., (1999). "Cultural Tourism in Rural Communities: The Residents' Perspective", Journal of Business Research, 44: 199-209.
- Bahçe, A. S., (2009). Kırsal Gelişimde Kültür (Mirası) Turizmi Modeli. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 25, 1-13
- Bıçkı, D., Ak, D., Özgökçeler S., (2013). Avrupa'da ve Türkiye'de Sosyal Turizm. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 31, 49-73
- Can, M., (2009). Kültürel Miras ve Müzecilik. Turizm ve Kültür Bakanlığı, Çalışma Raporu, Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi)
- Çankırı Belediyesi, (2019a). Kent Rehberi / Kültür. Web Sitesi: <http://www.cankiri.bel.tr/sayfa-13/kultur.php>. Erişim Tarihi: 01.04.2019.
- Çankırı Belediyesi, (2019b). Tarihi Çamaşırhane. Web Sitesi: <http://www.cankiri.bel.tr/sayfa-89/tarihi-camasirhane-muzesi.php>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Çankırı Belediyesi, (2021a). TR82 Bölgesi Çankırı İlinin Turizm Potansiyeli Çalışması.
- Çankırı Belediyesi, (2021b). Çivitçioglu Medresesi Web Sitesi: <https://www.cankiri.bel.tr/civitcioglu-medresesi,7,1065,1>, Erişim Tarihi: 25.02.2021.
- Çankırı Belediyesi, (2021c). Tarihi Çamaşırhane Müzesi, Web Sitesi: <https://www.cankiri.bel.tr/tarihi-camasirhane-muzesi,7,89,1>, Erişim Tarihi: 25.02.2021.
- Çankırı İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, (2019a). Araştırma Alanı Somut Olmayan Kültürel Miras Çalışmaları
- Çankırı İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, (2019b). Takım Yemeği
- Çankırı İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, (2019c). Saat Kulesi ve Taş Mektep Fotoğrafları
- Çankırı Ticaret ve Sanayi Odası, (2019). Çankırı Özellikleri. Web Sitesi: <http://www.catso.org.tr/%C3%87ank%C4%B1r%C4%B1/%C3%87ank%C4%B1r%C4%B1Tarih%C3%A7e/tabid/1512/0/Default.aspx>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Çankırı Valiliği, (2019a). Taşmescit. Web Sitesi: <http://www.cankiri.gov.tr/tas-mescit-cemaleddin-ferruh-drulhadi>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Çankırı Valiliği, (2019b). Sultan Süleyman Camii (Büyük camii/ Ulu camii). Web Sitesi: <http://www.cankiri.gov.tr/ulu-cami-sultan-suleyman-cami>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Çankırı Valiliği, (2019c). Çan Saati (Saat Kulesi). Web Sitesi: <http://www.cankiri.gov.tr/can-saati-saat-kulesi>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Çankırı Valiliği, (2019d). Çivitçioglu Medresesi. Web Sitesi: <http://www.cankiri.gov.tr/civitcioglu-medresesi>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Çankırı Valiliği, (2019e). Buğday Pazarı Medresesi. Web Sitesi: <http://www.cankiri.gov.tr/bugday-pazari-medresesi>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Çankırı Valiliği, (2019f). Taş Mektep. Web Sitesi: <http://www.cankiri.gov.tr/tas-mektep>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Çankırı Valiliği, (2019g). Tuz Mağarası. Web Sitesi: <http://www.cankiri.gov.tr/tuz-magarasi>. Erişim Tarihi: 02.04.2019
- Çankırı Valiliği, (2019h). Yaran Kültürü. Web Sitesi: <http://www.cankiri.gov.tr/yaran> Erişim Tarihi: 02.04.2019
- Çetin, T., (2010). Cumalıkızık Köyü'nde Kültürel Miras ve Turizm Algısı, Milli Folklor Üç Aylık Uluslararası Kültür Araştırmaları Dergisi, 22(87): 181-190.
- İstiklal Yolu Derneği, (2019a). İstiklal Yolu. Web Sitesi: <http://www.istiklalyolu.com/iyluhakkinda/Genel-Bilgiler.html>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- İstiklal Yolu Derneği, (2019b). İstiklal Yolu. Web Sitesi: <http://www.istiklalyolu.com/FotografKategori/Cephe-Gerisi.html> Erişim Tarihi: 01.04.2019

- Kuzka, (2013). Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı, Çankırı. Web Sitesi: <https://www.kuzka.gov.tr/bolgemiz.asp?B=17&Bolgemiz=cankiri>. Erişim Tarihi: 17.04.2019.
- Macdonald, R., Joliffe, L., (2003). "Cultural Rural Tourism Evidence from Canada", *Annals of Tourism Research*, 30-2:308.
- Meydan Uygur, S., Baykan, E., (2006). Kültür Turizmi Ve Turizmin Kültürel Varlıklar Üzerindeki Etkileri. *Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2, 30-49.
- Sezer, İ., (2017). Kültürel Mirasın Turizm Açısından Değerlendirilmesi: Taşköprü İlçesi Örneği. *Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 175-198.
- T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, (2019). Somut Olmayan Kültürel Miras. Web Sitesi: <http://aregem.kulturturizm.gov.tr/TR-46095/somut-olmayan-kulturel-miras.html>. Erişim Tarihi: 21.03.2019
- TDK, (2019). Türk Dil Kurumu, Turizm Kavramı. Web Sitesi: http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5cb055ff426832.58072918. Erişim Tarihi: 24.03.2019.
- Teo, P., Yeoh, B. S. A., (1997). "Remaking Local Heritage For Tourism", *Annals of Tourism Research*, 24-1:192-21.
- TÜİK, 2021. Nüfus Kayıt Sistemi, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, Erişim Tarihi: 23.02.2021.
- Tülek, B., Atik, M., (2021). Çankırı Kalesi'nin Tarihi Kentsel Peyzaj Yaklaşımı (HUL) ile Değerlendirilmesi . *Artium* , 9 (1) , 21-27 . DOI: 10.51664/artium.796315.
- Türkiye Kültür Portalı, (2019). Çankırı Kalesi ve Emir Karatekin Bey Türbesi. Web Sitesi: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/cankiri/gezilecekyer/cankiri-kalesi-ve-karatekin-bey-turbesi>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- Türkiye Kültür Portalı, (2021a). Taş Mescit - Çankırı. Web Sitesi: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/cankiri/gezilecekyer/tas-mescit-cemalddin-ferruh-dar-ul-hadis> Erişim Tarihi: 25.02.2021
- Türkiye Kültür Portalı, (2021b). Çankırı Kalesi, Web Sitesi: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/cankiri/gezilecekyer/cankiri-kalesi-ve-karatekin-bey-turbesi> Erişim Tarihi: 25.02.2021
- Türkiye Kültür Portalı, (2021c). Sultan Süleyman Cami – Çankırı, Web Sitesi: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/cankiri/gezilecekyer/sultan-suleyman-cami-buyuk-cami>, Erişim Tarihi: 25.02.2021.
- Türkiye Kültür Portalı, (2021d). Taş Mektep – Çankırı. Web Sitesi: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/cankiri/gezilecekyer/tas-mektep>, Erişim Tarihi: 25.02.2021.
- UNESCO, (2021a). Dünya Miras Listesi. Web Sitesi: <http://www.unesco.org.tr/Pages/125/122/UNESCO-D%C3%BCnya-Miras%C4%B1-Listesi> Erişim Tarihi: 20.02.2021
- UNESCO, (2021b). UNESCO İnsanlığın Somut Olmayan Kültürel Mirası Temsili Listesi <http://www.unesco.org.tr/Pages/126/123/UNESCO%C4%B0nsanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1n-Somut-Olmayan-K%C3%BClt%C3%BCrel-Miras%C4%B1-Temsili-Listesi>, Erişim Tarihi: 20.02.2021
- UNWTO, (2019). Türkiye Turizm Stratejisi 2023 Eylem Planı, Web Sitesi: <http://www.kultur.gov.tr/Eklenti/906.ttstratejisi2023pdf.pdf?0>. Erişim Tarihi: 24.03.2019
- Yıldırım Saçılık, M., Toptaş A., (2017). Kültür Turizmi ve Etkileri Konusunda Turizm Öğrencilerinin Algılarının Belirlenmesi. *Turizm Akademik Dergisi*, 4(2), 107-119.



Characterization of E-glass/Epoxy Composite Modified with Recycled Carbon-Based Material and Multi-walled Carbon Nanotubes

Ali Balbay^{1*}, Şenay Balbay², Yasin Yılmaz³

^{1*}OSTİM Technical University, Vocational School, Department of Mechanical, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6517-1201), ali.balbay@ostimteknik.edu.tr

²Bilecik Seyh Edebali University, Vocational School, Department of Waste Management, Bilecik, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0016-7973), senay.balbay@bilecik.edu.tr

³Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Denizli, Turkey, (0000-0001-6897-511X), yilmaz@pau.edu.tr

(First received 28 December 2020 and in final form 23 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.848319)

ATIF/REFERENCE: Balbay, A., Balbay, S. & Yılmaz, Y. (2021). Characterization of E-glass/Epoxy Composite Modified with Recycled Carbon-Based Material and Multi-walled Carbon Nanotubes. *European Journal of Science and Technology*, (23), 837-843.

Abstract

This study was investigated the effects of additives of Multi-Walled Carbon Nanotubes(MWCNTs) and recycled carbon-based material (rCBM) obtained by chemical degradation of waste tires (ELTs) on the quality of glass-fibre reinforced epoxy composite materials. The chemical degradation method was the novel method. This novel method that has been discovered was more advantageous than other methods (pyrolysis and devulcanization). The mechanical and characteristic properties of the composite materials were determined using rCBM and MWCNT additives of 0.1 to 2.0%. The study consisted of two phases, being the production of the composite materials and the determination of mechanical, morphological and functional properties of the materials produced. As a result, both the additives increased the strength of the composite material. It was demonstrated via SEM and FT-IR analyses that carbon-based additives obtained by degradation of waste tires failed to bond to epoxy resin in the production of the composite material.

Keywords: Composites, Epoxy, Recycled carbon-based material, Mechanical properties.

Gerı Dönüştürülmüş Karbon Bazlı Malzeme ve Çoğul Duvarlı Karbon Nanotüpler ile Modifiye Edilmiş E-Cam/Epoksi Kompozitin Karakterizasyonu

Öz

Bu çalışmada, atık lastiklerin kimyasal bozundurulması sonucu elde edilen geri dönüştürülmüş karbon bazlı malzeme (gKBM) ve Karbon nanotüp (CNT) katkı maddelerinin cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin kalitesine etkileri araştırılmıştır. Kimyasal bozunma yöntemi yeni bir yöntemdir ve bu yeni yöntem, diğer yöntemlerden (piroliz ve devulkanizasyon) daha avantajlıdır. Kompozit malzemelerin mekanik ve karakteristik özellikleri, % 0.1 - 2.0 arasında gKBM ve MWCNT katkıları kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma, kompozit malzemelerin üretimi ve üretilen malzemelerin mekanik, morfolojik ve fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak her iki katkı maddesi kompozit malzemenin mukavemetini arttırmıştır. Kompozit malzeme üretiminde atık lastiklerin bozunması ile elde edilen karbon bazlı malzemenin epoksi reçineye bağlanmadığı SEM ve FT-IR analizleri ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozitler, Epoksi, Geri dönüştürülmüş karbon bazlı malzeme, Mekanik özellikler.

* Corresponding Author: ali.balbay@ostimteknik.edu.tr

1. Introduction

Polymer-based composite materials thanks to the advantages provided by stiffness, hardness and strength-weight ratio today their use is widespread in many sectors such as aviation, automotive and medicine (Zhao et al. 2018). Epoxy resins are used as the matrix in composite materials formed by a mixture of two or more components. Epoxy resins are widely preferred in the production of composite materials due to their ease of processing, low cost and environmental advantages, as well as increasing engineering applications in recent years. However, since matrix-related properties often limit the application areas of composites, these materials must be enhanced with reinforcing elements (Soğancıoğlu et al. 2017). The superior mechanical properties of composites are provided by the transfer of loads from polymers to reinforcement materials with higher strength.

The geometric organization of the polymer matrix due to the homogeneous distribution of Carbon NanoTube (CNT) throughout the polymer is a key factor controlling the transfer of stress from the CNT to the polymer matrix (Zhao et al. 2018). The homogeneous distribution of CNTs throughout the polymer plays an important role in the charge transfer between the polymer matrix and the reinforcement element (Zhao et al. 2018). The reactions formed by CNTs with polymers at the molecular level are promising for charge transfer and improvement of mechanical properties (Pramanik et al. 2018). The use of CNTs in polymers is of great interest due to their excellent thermal, mechanical, structural and electrical properties. In particular, CNTs are described to have an excellent modulus of elasticity, thermal and electrical conductivity (Tarfaoui et al. 2016). The fracture toughness of CNTs reinforced composite plates increased by 8 to 11% (Seyhan vd. 2008). The addition of small volume CNT to the matrix of glass fiber reinforced composites significantly reduced the propagation rates of delamination cracks (Grimmer and Dharan 2010). Adding 0.5% CNT to the matrix of e-glass/epoxy composites increased the glass transition temperature (Warrier et al. 2010).

One of the types of CNTs is MWCNTs. The effect of MWCNTs on mechanical properties in layered composite materials was investigated. It was observed that MWCNTs positively affect the tensile strength of the composite material (Dindar and Bektas 2018). Sandwich structures were formed with MWCNTs modified composites and some metal sheets. Researchers investigated the effect of fiber orientation angles of MWCNTs modified composites of buckling. The amount of axially oriented fibers directly affected the buckling strength of the composite (Dindar and Bektas 2019). The low interlayer mechanical properties encountered in out-of-plane loading situations are known to be one of the major defects of glass fiber reinforced composites (GFRP) (Yildiz et al. 2019).

Material recovery methods of waste tires are pyrolysis, chemical degradation and devulcanization methods. Pyrolysis is the evaporation of waste tires (or other polymeric wastes) by heating at temperatures above 400 °C in an oxygen-free, inert or atmospheric environment. Pyrolysis char is obtained by applying activation and carbonization processes to the solid product obtained at the end of the pyrolysis method (Martínez et al. 2013). The chemical degradation method is a new waste tire recovery method that is more advantageous than the pyrolysis method since the chemical degradation method is carried out using chemical materials (H₂SO₄, NaOH, CH₃OH, HCl, NaCl),
e-ISSN: 2148-2683

which are inexpensive and easy to find in the market, at a gelling time of 20 minutes in 140 °C ambient temperature under atmospheric pressure and a degradation time of 15 minutes under room conditions (Balbay, 2017; Balbay and Acikgoz, 2019).

Soğancıoğlu et al. (2017) produced epoxy composites by pyrolysis method using the pyrolysed carbon-based material (pCBM) they obtained from high density polyethylene (HDPE) and low-density polyethylene (LDPE) wastes. pCBMs obtained at different pyrolysis temperatures were mixed with 10-50% epoxy resin and determined the mechanical properties, tensile strength, surface hardness and electrical properties of the composite material. Epoxy composite materials produced with the addition of HDPE pCBM obtained at 300 °C (ER300) demonstrated the most ideal behaviour in terms of elongation in breaking and tensile strength. The breaking elongation and the tensile strength of the composites generally reduced at increased pyrolysis temperature and pCBM amounts. The hardness of the additive-free epoxy composite materials was determined as 79.8 Shore D, and the hardness of the composites produced with the addition of LDPE and HDPE chars were 86.3 Shore D and 87 Shore D, respectively. The study offers a new improvement approach for plastic wastes of HDPE and LDPE type. Composite materials produced as having some useful properties, such as electrical conductivity, hardness, tensile strength and flame retardation, will be made available in various fields and types (Soğancıoğlu et al. 2017a). In their other studies, the authors produced epoxy composite materials using pCBM they had obtained from PET plastic wastes washed by pyrolysis method at 300-700 °C. The electrical conductivity, tensile strength and surface hardness values increased as the amount of composite materials produced with the char sample obtained for all temperatures of the washed PET increased. It was observed that the epoxy composite material produced by PET and pCBM obtained at 700 °C, had the highest tensile strength and surface hardness. Therefore, it has been concluded that waste and washed PET plastics can be used as an additive in epoxy composites to obtain semi-conductor, high-strength and hard materials (Soğancıoğlu et al. 2017b).

Information in the literature on the use of pCBM obtained from polymeric waste by the pyrolysis method for production of composite materials is limited (Soğancıoğlu et al. 2017a). Moreover, information on the production of composite materials using rCBM obtained by chemical degradation (the novel method) that has been discovered is not available in the literature. This study was investigated the effects of MWCNTs and recycled carbon-based materials (rCBM) obtained by chemical degradation of waste tires on the quality of glass-fibre reinforced epoxy composite materials. Mechanical, functional and morphological properties of reinforced glass-fibre reinforced composite materials, containing MWCNTs at 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0% and reinforced with the addition of rCBM additive obtained by degradation of waste tires at 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0%, were determined in the study.

2. Material and Method

2.1 Material

The reinforcement elements used in this study were unidirectional (UD) glass fabrics (E-glass) weighing 300 g/m². The epoxy resin formed matrix of the composite and curing agent was epikote 828 and epikure 825 purchased from Hexion Company, respectively. Recycled carbon-based material (rCBM=RP) were

produced by chemical degradation method (Balbay, 2017; Balbay and Acikgoz, 2019). Multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) with 99% purity and outer diameter 10-20 nm, inner diameter 5-10 nm and length 0.5-2 μm , were supplied from Switzerland.

2.2. Fabrication Process

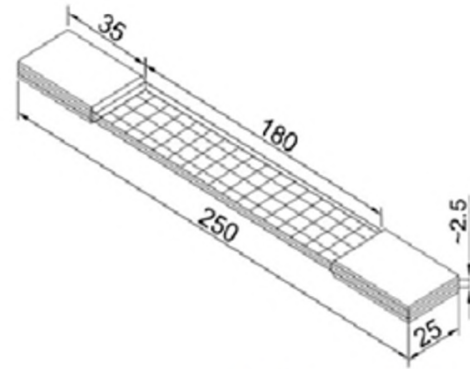
60% E-glass and 40% matrix were used in the production of the plates by weight. The production of the composite plates was carried out by İzoreel Kompozit İzole Malz. San. ve Tic. Ltd. Sti., which produces composite materials in İzmir-Turkey. Preparation phases of the plates included the preparation of E-glass, preparation of epoxy, preparation of composite layers, hot pressing of composite plates and cutting by water jet.

Composite plates were produced by hand lay-up method. This method was two stages. In the first stage, rCBM or MWCNT were weighed in the ratio of 0.1-0.2-0.3-0.5-1-2 %. Then, a mixture of resin/hardener (80-20%) recommended ratio by the company was prepared. The mixture was homogenized for 25 minutes by applying sound waves with a Hielscher UP400S ultrasonic mixing device. In the second stage, this mixture was applied on 30x30cm fabrics by lay-up technique. The fabrics were stacked in nine layers at [+90,-90] orientation angles and cured under 8 Bar pressure at 180 °C for 2 hours as shown in Fig. 1.



Fig. 1. Hot molding of composite plates.

All samples used in the experiments were cut from composite plates with a water jet of 25x250mm. Composite parts (tab) of 25x35mm were attached to the samples (Fig. 2). By making the cutting method with water jet, the cutting error that may occur in the samples and the amount of heat released were eliminated and an ideal cutting was achieved. At least three samples were tested and averaged in each test parameter. Devices used for preparing the composite plates were UP400S ultrasonic mixer of Hielscher brand, refrigerator of Laba brand, hot press designed and manufactured in İzoreel Company, and CNC water jet of ÜSJ 1220 model.



All dimensions are in mm.

Fig. 2. Technical drawing of test sample.

2.3 Mechanical Tests

The mechanical properties of the plates, prepared with rCBM and MWCNT additives, and of the additive-free plates were determined by tensile and buckling tests. The hardness measurements of composites, prepared with no additives and with optimum rCBM and MWCNT additives according to the results of the tensile and buckling tests, were determined by Tronic Hildebrand Shore D hardness measuring instrument.

The tests were performed in an Instron 8081 tension/compression testing machine of 50 kN capacity at Pamukkale University, Department of Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanics, and the elongation of the samples was measured by a video extensometer. The tensile speed was taken as 1 mm/sec. As a result of these measurements, the longitudinal elastic modulus (E1) and longitudinal tensile strength (Xt) parameters were automatically recorded and plotted by computer.

The samples with tensile tests completed were subjected to buckling tests in an Instron 8081 tension/compression testing machine of 50 kN capacity at Pamukkale University, Department of Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanics. The test samples were placed in the testing machine in sizes of 180 mm.

2.4 Characterization studies

The functional groups and micro-structure of the plates, prepared with no additives, with optimum rCBM and MWCNT additives according to the results of the tensile and buckling tests, were determined in the characterization studies. Functional group analyses of the samples were performed by a Perkin Elmer Spectrum 100 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) at Bilecik Seyh Edebali University, Central Research and Application Laboratory. The analyses were performed at a wavelength scan interval of 400-4000 cm^{-1} . The morphological structure of the samples was determined by SEM-ZEISS Supra 40VP scanning electron microscope at Bilecik Seyh Edebali University, Central Research and Application Laboratory.

3. Results and Discussion

3.1. Mechanical Properties

First of all, the mechanical properties of the samples were determined by performing tensile tests. The stress-strain graph obtained from the tensile device for the 0.5% MWCNT added

sample was given in Fig. 3. Fig 3 was given as an example for the data used in the preparation of Fig.4.

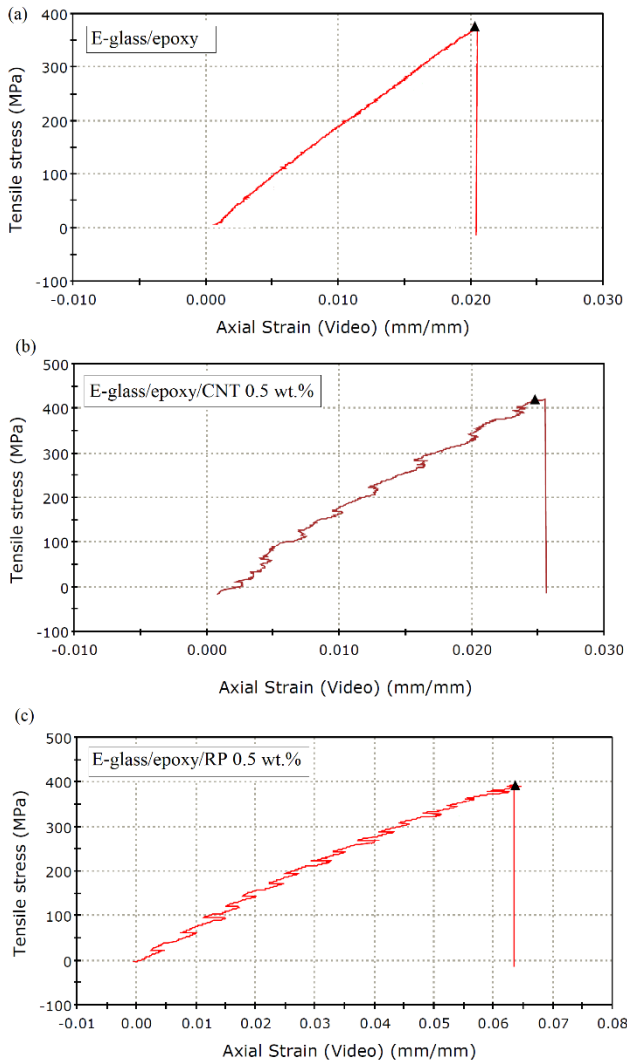


Fig. 3. Tensiles tress-strain curves of some samples; E-glass/epoxy (a), E-glass/epoxy/CNT 0.5 % wt. (b), E-glass/epoxy/rCBM 0.5 %wt. (c).

Tensile strength of composite materials according to their additive rates was given in Fig. 4. The tensile stress average of the additive-free sample was 347.28 MPa. The highest tensile-stress averages of the rCBM additive were found in samples with the values of 417.27 MPa and 412.16 MPa with the ratios of 0.2% and 2% by weight, respectively. The highest tensile-stress mean value of the CNT additive was 413 MPa for an additive ratio of 0.5% by weight.

It was considered based on the tensile test results that the CNT in the epoxy was created a negative effect because it reached saturation at 0.5% by weight and failed to bond after 0.5%. Moreover, it was been reported in the literature that CNT-additive epoxy composite materials can bond with epoxy resin to the saturation point, but cannot bond after the saturation point (Allaoui et al., 2002). These results supported the reports given in the literature.

The tensile test results of the waste tire-additive samples were not similar to the tensile test results of the CNT-additive samples, because the statically charged rCBM particles were not homogeneously distributed in the epoxy resin since they pushed

each other. Furthermore, the CNT particles in the epoxy were homogeneously distributed in the matrix. It was also believed that carbon develops in different physical properties during the chemical degradation of the waste tire and as a result, it was predicted that it was demonstrated a notch effect during the tensile test.

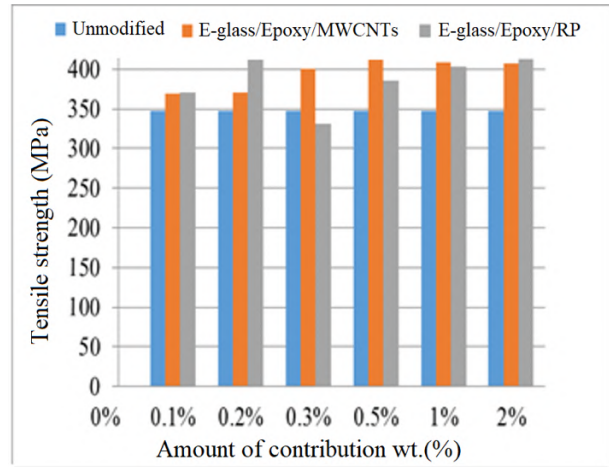


Fig. 4. Tensile strength of composites.

3.2. Buckling Behaviours

Fig. 5 showed the force-displacement graph of the E-glass/epoxy/0.5 MWCNTs additive sample. Fig 5 was given as an example for the data used in the preparation of Fig.6.

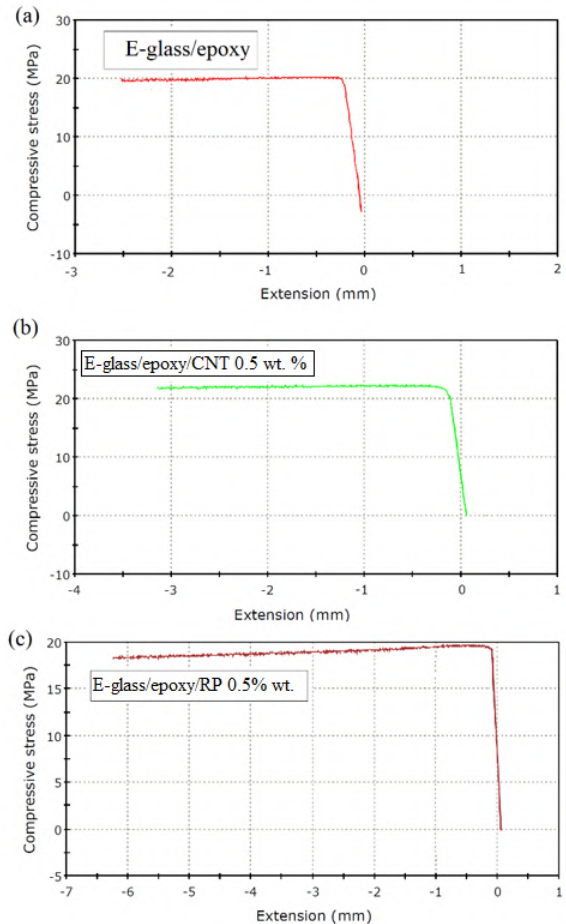


Fig. 5. Compressive sress-extension of some samples; E-glass/epoxy (a), E-glass/epoxy/CNT 0.5% wt. (b), E-glass/epoxy/rCBM 0.5 % wt. (c).

The critical buckling force (P_{cr}) graph of the additive-free, CNT-additive and rCBM-additive plates were given in Figure 6. The breaking load for the additive-free samples was 1213.59 N. The highest critical buckling force value of the rCBM-additive was 1330.5 N for additive ratio of 2%. Furthermore, the values of 1269.1 N and 1251.71N, respectively, were found for rCBM-additive ratios of 1% and 0.2% and approximate critical buckling force values for these ratios. The highest critical buckling force value for CNT additive was 1828.7 N for additive ratio of 0.3%.

The critical buckling tensile value for the additive-free sample was 19.01 MPa. The highest critical buckling force value for waste tire additive was 22.91 MPa for additive ratio of 2%. Furthermore, the values of 20.71 MPa and 20.33 MPa, respectively, were found for CBM-additive ratios of 1% and 0.2% and approximate critical buckling stress values for these ratios. The highest critical buckling stress value for CNT additive was 27.79 MPa for additive ratio of 0.3%.

Cho and Daniel (2008) determined in their study that additives should be equally and evenly distributed into the resin serving as a matrix in the production of composite plates in order to strengthen the composite plates(Cho and Daniel, 2008). Appropriate surface adhesion between polymer and matrix directly affected the strength of the composite material. In the light of the results of the buckling test supporting this data, it was considered that the rCBM was not homogeneously distributed in the epoxy resin as in the results of the tensile tests and therefore, no bonding was achieved between the epoxy resin and the rCBM.

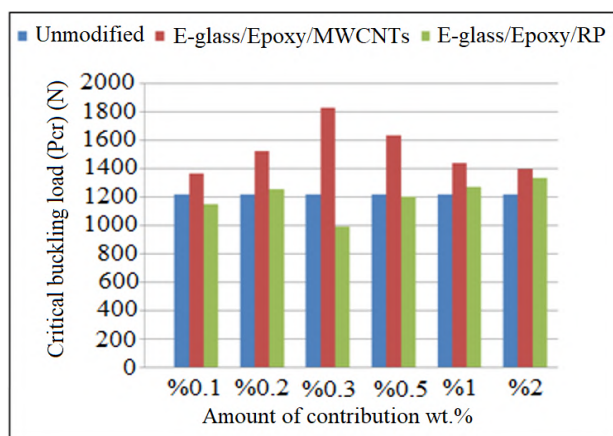


Fig. 6. Critical buckling strength of composites.

The additive ratio of 0.2% was determined as the optimum ratio for rCBM based on the tensile and buckling test results, and

the additive ratio of 0.3% for CNT based on the buckling test results. Samples with the optimum additive ratios determine were subjected to hardness, FT-IR and SEM analyses.

The hardness of the additive-free epoxy composite material was 82 Shore D, and the hardness of the CNT-additive composite material were 86 Shore D and 85 Shore D, respectively. The hardness value of the char-additive composite material was the same as the hardness values (HDPE-87 Shore D and LDPE-86,3 Shore D) of the epoxy composite material produced by Sogancioğlu et al. (2017) using the pCBM obtained from HDPE and LDPE by pyrolysis method(Sogancioğlu et al. 2017a; Sogancioğlu et al. 2017b).

3.3. Fourier-transform Infrared Spectroscopy

The FT-IR graph of the functional groups of unmodified, 0.3% MWCNTs and 0.2% rCBM modified composite plates was given in Fig 7. Peaks of $\sim 2300\text{ cm}^{-1}$ C-O (Li et al. 2002), $\sim 2100\text{ cm}^{-1}$ C=C (McMurry, 2011) were determined in unmodified samples. E-glass/epoxy/RP modified samples peak points were $3000\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ C-H (Hornback, 2005), $\sim 1700\text{ cm}^{-1}$ C=O vibration peak (McMurry, 2011), $\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ C=C (McMurry, 2011), $1500\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ C-H (Ning Y-C, 2011), $1300\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ C-O (McMurry, 2011) $1200\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ C-C (Sharma 1981), $900\text{-}700\text{ cm}^{-1}$ C-H (McMurry, 2011) $\sim 500\text{ cm}^{-1}$ C-C (Bergeron, 2012).

Peaks of E-glass/epoxy/MWCNTs in samples were $3000\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ C-H (Derrick 2000), $\sim 1700\text{ cm}^{-1}$ C-O (McMurry 2011), $\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ C=C (McMurry 2011), $1500\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ C-H (Ning Y-C 2011), $1300\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ C-O (Ning Y-C 2011), $1200\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ C-C (Sharma 1981), $900\text{-}700\text{ cm}^{-1}$ C-H (McMurry 2011), $\sim 500\text{ cm}^{-1}$ C-C (Bergeron 2012). These results indicated that the MWCNT managed to bond to the epoxy resin in MWCNT-additive plate, but no bonding occurred between the rCBM and the epoxy resin.

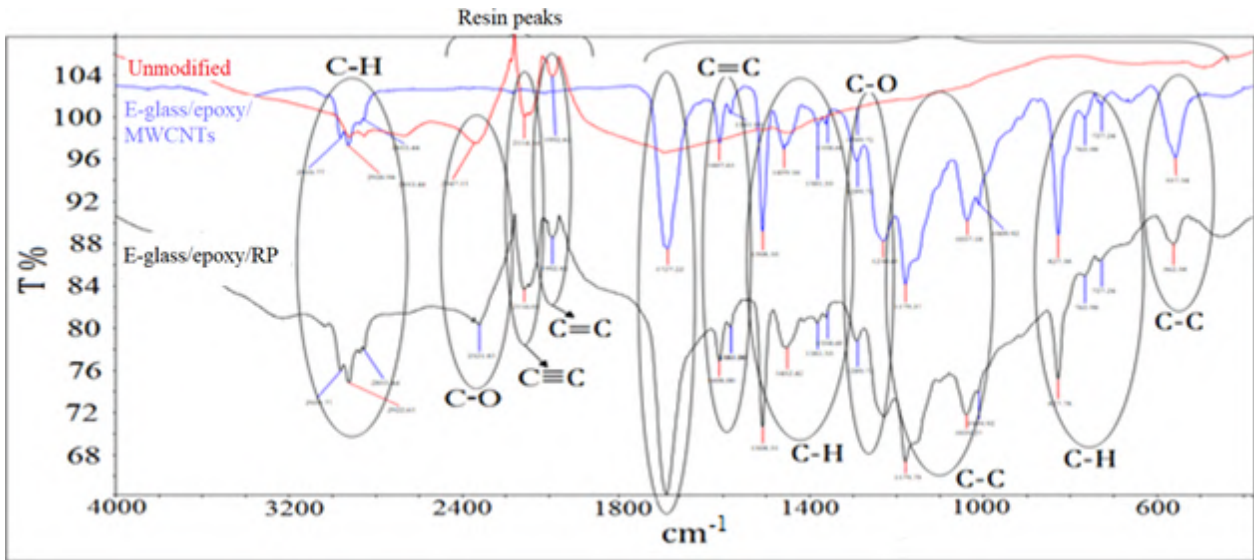


Fig.7. The FT-IR spectrum of the functional groups of unmodified, 0.3% MWCNTs and 0.2% rCBM modified composite plates

3.4. SEM analysis

The morphological structure of the E-glass/epoxy/MWCNT 0.5% plate was given Fig. 8. SEM analysis showed that the MWCTs were distributed homogeneously. MWCNTs acted as a bridge between fiber/epoxy strengthening the interface bonds.

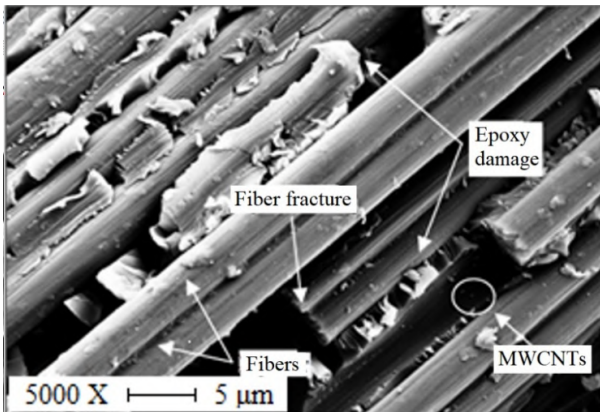


Fig. 8. SEM image of E-glass/epoxy/MWCNT 0.5%.

4. Conclusions and Recommendations

In recent years, studies on composite materials have increased due to the increased usage areas of composite materials. However, due to the high cost of materials used in composites, studies have accelerated to find new materials that have similar to these materials or better mechanical properties. This study examined the effects of the rCBM, obtained by chemical degradation of waste tires, which are of lower cost, on the mechanical, functional and morphological properties of the composite materials in order to serve as an alternative to MWCNT composites which are of high cost. Additive-free, MWCNT-additive and rCBM-additive in composite materials were compared in the tests performed. It was observed that the strength of the plates with additive was generally higher than the plates without additive. Furthermore, although they were both carbon-based, MWCNT managed to

bond to the epoxy resin, but no bonding occurred between the rCBM and the epoxy resin.

Accordingly, it has been determined that rCBM can be mixed with MWCNT at a maximum ratio of 0.2% in the production of epoxy composite materials. Moreover, it is thought that rCBM may be an alternative to MWCNT composites through changes in its internal structure by subjecting it to a series of chemical and physical processes.

5. Acknowledge

The authors would like to acknowledge Professor Dr. İbrahim Callıoğlu, Pamukkale University, for their kind help and assistance. This work was derived from Ali Balbay's master thesis.

References

- Allaoui, A., Bai, S., Cheng, HM., Bai, JB., (2002) Mechanical and electrical properties of a MWNT / epoxy composite, *Comp. Sci. and tech.* 62(15), 1993-1998. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(02\)00129-X](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(02)00129-X)
- Balbay, S., (2017) Chemical Degradation of Waste Tires and Evaluation of the Obtained Products, Bilecik Seyh Edebali University, Institute of Science, PhD Thesis, Bilecik-Turkey.
- Balbay S, Acikgoz C., (2019) Devulcanization of waste tires with a cheap and economic method and evaluation as raw materials. Patent no: 2015/13034
- Bergeron, C., Perrier, E., Potier, A., Delmas, G.,(2012) A Study of the Deformation, Network, and Aging of Polyethylene Oxide Films by Infrared Spectroscopy and Calorimetric Measurements, *Inter. J. of Spectroscop.* Article ID 432046, 13 pages.
- Cho, J., Daniel, IM. (2008) Reinforcement of carbon/epoxy composites with multi-wall CNTs and dispersion enhancing block copolymers, *Scripta Mater.* 58(7), 533-536. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2007.11.011>
- Dindar, B. and Bektaş, N.B., (2018) Experimental Investigation of Fatigue and Mechanical Properties of Unidirectional Composite Plates Filled Nanoparticles, *Acta Physica Polonica A*, 134, 285-288.
- Dindar, B. and Bektaş, N.B., (2019) Experimental

- Investigation of Buckling Loads of Glass Epoxy Composites Modified with Nanoparticles, *Acta Physica Polonica A*, 135(4) 749-751.
- Grimmer, CS., Dharan, C.K.H., (2010) Enhancement of delamination fatigue resistance in CNT reinforced glass fiber/polymer composites, *Comp. Sci. and Tech.* 70(6), 901-908.
- Hornback, J.M., (2005) Organic Chemistry, Cengage Learning, USA, 1219 Pages
- Martínez, JD., Puy, N., Murillo, R., Garcí'a, T., Navarro, MV., Mastral, AM., (2013) Waste tyre pyrolysis – A review, *Renew. and Sust. Ener. Rev.* 23,179-213. DOI: 10.1016/j.rser.2013.02.038
- McMurry, J.E., (2011) Study Guide with Student Solutions Manual for McMurry's Organic Chemistry, *Cengage Learning*, USA, page 855 -865
- Ning, Y-C., (2011) Interpretation of Organic Spectra, *John Wiley & Sons*, Singapore, pages 354-356
- Sharma, B.K., (1981) Spectroscopy, *Krishna Prakashan Media*, India, pages 264-269
- Sharma, Y.R., (2007) Elementary Organic Spectroscopy, *S. Chand Publishing*, India, pages 289-293
- Sogancioglu, M., Yel, E., Yucel, A., Ahmetli, G., (2017a) Production of Epoxy Composite from the Pyrolysis Char of Washed PET waste. *Energy Procedia*. 118, 216-220.
- Pramanik, C., Nepal, D., Nathanson, M., Gissinger J.R, Garley, A., Berry, R.J., Davijani, A., Kumar, S., Heinz, H., (2018) Molecular engineering of interphases in polymer/CNT composites to reach the limits of mechanical performance, *Compos. Sci. and Tech.* 166, 86-94.
- Li, T., Yamane,, H. Arakawa, T., Narhi, O.L., Philo, J., (2002) Effect of intermolecular disulfide bond on the conformation and stability of glial cell line-derived neurotrophic factor, *Protein Engin.* 15(1), 59-64.
- Tarfaoui, M., Lafdi, K., Moumen, A.E., (2016) Mechanical properties of CNTs based polymer composites. *Comp. Part B.* 103:113-121.
- Seyhan, T., Tanoglu, M., Schulte, K., (2008) Mode I and mode II fracture toughness of E-glass non-crimp fabric/CNT (CNT) modified polymer based composites, *Engin. Fracture Mech.* 75(18), 5151-5162.
- Sogancioglu, M., Yel, E., Ahmetli, G., (2017) Pyrolysis of waste high density polyethylene (HDPE) and low density polyethylene (LDPE) plastics and production of epoxy composites with their pyrolysis chars. *J. of Clean. Prod.* 165: 369-381.
- Warrier, A. Godara, A. Rochez, O. Mezzo, L. Luizi, F. Gorbatikh, L. Lomov, S.V. Van Vuure, A.W. Verpoest, I (2010) The effect of adding CNTs to glass/epoxy composites in the fibre sizing and/or the matrix, *Comp.: Part A.* 41(4), 532-538.
- Yıldız, K , Gürkan, İ , Turgut, F , Cebeci, H . (2019). Improving Fracture Toughness of KNT-Glass Fiber Reinforced Composites with a Unified Reinforcement Strategy. *European Journal of Science and Technology*, (17) , 1325-1333 . DOI: 10.31590/ejosat.661648
- Zhao, W., Li, T., Li, Y., O., Brien, D.J., Terrones, M., Wei, B., Suhr, J., Lu, XL., (2018) Mechanical properties of nanocomposites reinforced by CNT sponges. *J. of Materiomics.* 4(2), 157-164.



Samsun ve Bafra Yağış Verilerinin Trend Analizi

Büşra Korkmaz¹, Bahtiyar Efe^{1*}

¹ Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6666-987X), busrakorkmaz930@gmail.com

^{1*} Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5604-7068), bahtiyar.efesamsun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 20 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 20 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.883770)

ATIF/REFERENCE: Korkmaz, B. & Efe, B. (2021). Samsun ve Bafra Yağış Verilerinin Trend Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 844-850.

Öz

Ülkemizin iklim değişikliğinden kısa veya uzun vadede etkilenebileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada iklim değişikliği için çok önemli bir değişken olan toplam yağış miktarı yıllık, mevsimlik ve aylık olarak incelenmiştir. Çalışma alanı Samsun İli olarak seçilmiş, Samsun ve Bafra meteoroloji istasyonlarının 1990-2019 yılları arasındaki verileri kullanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, yağışın trendindeki değişimi Mann-Kendall (MK) Testi ve Şen Yenilikçi Trend Testi (ŞYTT) ile analiz etmektir. Uygulanan testler sonucunda Samsun İstasyonu'nda yıllık toplam yağışta istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir artış görülürken, Bafra İstasyonunda azalma görülmektedir. Mevsimlik toplam yağışta ise kış mevsiminde Samsun İstasyonu'nda $\alpha=0.05$ seviyesinde, Bafra İstasyonu'nda $\alpha=0.1$ seviyesinde azalan bir trend olduğu görülmektedir. Samsun İstasyonu'nda diğer mevsimlerde artış görülürken, Bafra İstasyonu'nda yalnızca yaz mevsiminde artış görülmektedir. Aylık toplam yağışlarda ise Samsun İstasyonu'nda Ocak, Mart, Haziran, Temmuz ve Aralık aylarında artan; diğer aylarda azalan trend vardır. Bafra İstasyonu'nda ise Mart, Temmuz, Ağustos ve Aralık aylarında artan; diğer aylarda azalan bir trend vardır.

Anahtar Kelimeler: Mann-Kendall Testi (MK), Şen Yenilikçi Trend Testi (ŞYTT), Samsun, Yağış.

Trend Analysis of Samsun and Bafra Precipitation Data

Abstract

It is thought that our country may be affected by climate change in the short or long term. In this study, the total amount of precipitation, which is a very important variable for climate change, has been examined monthly, seasonally and annually. The study area was chosen as Samsun province, and data of Samsun and Bafra stations between 1990-2019 were used. The main purpose of the study is to analyze the change in the trend of precipitation and two trend tests were used for this: Mann-Kendall (MK) test and Şen Innovative Trend Test (ŞYTT). As a result of the tests applied, a statistically insignificant increase was observed in the annual total precipitation at Samsun Station, while a decrease was observed at Bafra Station. It is observed that there is a decreasing trend in total seasonal precipitation at the level of $\alpha = 0.05$ at Samsun station and $\alpha = 0.1$ at the Bafra Station in winter. While there is an increase in Samsun Station in other seasons, at Bafra station it is seen only in summer season. Monthly total precipitation increased in Samsun Station in January, March, June, July and December; there is a decreasing trend in other months. At Bafra Station, on the other hand, it increased in March, July, August and December; there is a decreasing trend in other months.

Keywords: Mann - Kendall Test, Şen Innovative Trend Test, Samsun, Precipitation.

* Sorumlu Yazar: bahtiyar.efesamsun.edu.tr

1. Giriş

Yağış canlı yaşamı ve meteoroloji açısından oldukça önemli bir değişkendir. Ayrıca yağışın miktarı ve rejimindeki değişim iklim değişikliğine yol açabilmektedir. Bu çalışmada, sınırlı bir alan için (Samsun İli) ve tek bir meteorolojik değişken (yağış) üzerinden iklim değişikliğine dair bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Eksik ve/veya düzensiz yağış, kuraklık ve/veya taşkınlara neden olabilmektedir.

Türkeş, Koç ve Sarış (2007) Türkiye geneli için yaptıkları bir çalışmada 111 istasyonun 40 ila 73 yıl arasında değişen yağış verilerini kullanmışlardır. Çalışmalarında Mann-Kendall (M-K) sıra ilişkisi katsayısı yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada hem toplam yağışı hem de yağış yoğunluğunu mevsimlik ve yıllık olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda 0.05 anlamlılık düzeyinde sonuçlar elde etmişlerdir. Kış mevsimi yağış sonuçlarına göre 27 istasyonda anlamlı azalma yaşanırken yalnızca 1 istasyonda anlamlı artış yaşanmıştır. Kış mevsimi yağış yoğunluğu sonuçlarına göre ise 38 istasyonda anlamlı azalma yaşanırken yalnızca 5 istasyonda anlamlı artış yaşanmıştır. İlkbahar mevsimi yağışlarında anlamlı bir artış görülmekle birlikte yağış yoğunluğunda kuvvetli olmayan bir azalma meydana geldiği sonucuna varmışlardır. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde ise yağışlarda artış, yağış yoğunluğunda azalma eğilimi olduğunu belirtmişlerdir. Yıllık değerlendirme sonucunda ise yağışta ve yağış yoğunluğunda genel olarak bir azalma eğilimi olduğu ancak bu azalmanın yağış yoğunluğunda daha fazla olduğunu dile getirmişlerdir.

Sütgibi (2015) yapmış olduğu bir çalışmada Büyük Menderes Havzası'nda bulunan illerin uzun yıllar toplam yağışındaki değişimi incelemiştir. Bu çalışmayı yaparken Afyon, Aydın, Denizli ve Uşak İl merkezlerinde bulunan meteoroloji istasyonlarından aldıkları verileri kullanmıştır. Afyon İli için 83 yıllık (1930-2012), diğer iller için 53 yıllık (1960-2012) meteoroloji verileri kullanmıştır. Çalışmasında yıllar ve mevsimler arası toplam yağıştaki değişiklikleri ve bu değişikliklerin eğilimini, yağışlı gün sayılarını ve yağış anomalilerini incelemiştir. Çalışmasında Mann-Kendall sıra ilişkisi katsayısını kullanmıştır. Çalışma sonucunda Afyon ilindeki yağışlarda yıllar içerisinde bir azalma; Aydın, Denizli ve Uşak İllerinde ise kuvvetli olmayan bir artış olduğunu söylemiştir. Bu azalış veya artışların istatistiksel olarak anlamlı olmadığını da dile getirmiştir. Yağışlı gün sayılarında ise Aydın, Denizli ve Uşak illerinde azalma; Afyon ilinde ise artış olduğunu ve yine istatistiksel olarak anlamlı olmadığını dile getirmiştir. Yine mevsimler için de artış veya azalışları söylemiş ve istatistiksel olarak anlamlı olmadığını söylemiştir.

Coşkun (2020) Van Gölü kapalı havzasının yağış analizini yapmıştır. Çalışmasında bu havzada bulunan Van-Bölge, Muradiye, Erciş, Gevaş, Özalp, Tatvan ve Ahlat İstasyonlarının 1964-2017 yılları arasındaki meteorolojik verilerini kullanmıştır. Çalışmasını yaparken Mann-Kendall, Spearman Rho ve Şen testlerini kullanmıştır. Mann-Kendall ve Spearman Rho eğilim testlerinin sonuçlarına göre Ahlat ve Gevaş İstasyonlarında negatif eğilim olduğunu bu sonuçların istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu bulmuştur. Erciş, Özalp, Tatvan ve Muradiye İstasyonlarında negatif, Van-Bölge İstasyonu'nda pozitif eğilim olduğunu ancak bu sonuçların istatistiksel açıdan anlamlı olmadığını bulmuştur. Yaptığı bu çalışma 0.05 anlamlılık düzeyindedir. Ayrıca Şen trend analizi testini uyguladığı Ahlat ve Gevaş istasyonlarında anlamlı bir azalma olduğunu söylemiştir.

Diğer istasyonlardaki artış veya azalışlarında anlamlı olmadığını söylemiştir.

Daha önce ülkemizde il ve havza bazında veya Türkiye genelinde çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır: Türkeş, Koç ve Sarış (2007); Karabulut ve Cosun (2009); Sütgibi (2015); Zeybekoğlu ve Karahan (2017); Demir ve ark (2017); Polat ve Sunkar (2017); Soydan ve ark. (2016); Coşkun (2020).

Bu çalışmanın temel amacı Mann-Kendall (MK) ve Şen Yenilikçi Trend Testi (ŞYTT) kullanılarak Samsun İli'nde yer alan ve uzun yıllara ait gözlem verisi olan gözlem istasyonlarında toplam yağışın trendini incelemektir. Bunun için Samsun İli'nde bulunan Samsun ve Bafra İstasyonu'ndan alınan veriler ile 1990-2019 yılları arasındaki aylık, mevsimlik, yıllık toplam yağışın trend analizini yapmaktır.

Çalışmanın devamında sırasıyla materyal ve yöntem, trend analizi ve sonuç kısımları bulunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada Samsun ve Bafra istasyonunda 1990 – 2019 yıllarına ait günlük toplam yağış verileri kullanılarak, aylık, mevsimlik ve yıllık toplam yağışların trend analizi yapılacaktır.

2.1. Materyal

Samsun İli Orta Karadeniz'in kıyı şeridinde Kızılırmak (Bafra) ve Yeşilirmak (Çarşamba) nehirlerinin oluşturduğu deltaların arasında yer alır. Samsun İli 9.579 km²'lik bir yüz ölçümüne sahiptir. Coğrafi konum olarak 40°50'-41°51' kuzey enlemleri, 37°08' ve 34°25' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Samsun İli'nin kuzeyinde Karadeniz bulunurken; doğusunda Ordu, batısında Sinop, güneyinde ise Tokat, Amasya ve Çorum illeri vardır (Tarım ve Orman Bölge Müdürlüğü Çalışma Raporu, 2019).



Şekil 1 Çalışma Alanı (Kaynak: Google Earth, 2021).

Samsun İli'nin yağış verisini noktasal ve zamansal incelemek için Samsun İli'nde bulunan 2 meteoroloji istasyonundaki (Samsun Bölge ve Bafra meteoroloji istasyonları) yağış verileri kullanılmıştır ve bu veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den temin edilmiştir. Bundan sonra Samsun Bölge Meteoroloji İstasyonu yerine, Samsun İstasyonu; Bafra Meteoroloji İstasyonu yerine Bafra İstasyonu ifadesi kullanılacaktır. Yapılan çalışmada Samsun ve Bafra İstasyonu'nda 1990 – 2019 yıllarına ait günlük toplam yağış verileri kullanıldı.

2.2. Metot

2.2.1. Mann-Kendall Testi

Mann-Kendall testi (Mann, 1945; Kendall, 1975) Kendall's Tau testinin özel bir uygulamasıdır ve parametrik olmayan bir testtir. Bu test verilerde trend bulmak için kullanılır. Bu yöntemde verilerin değerlerinden çok sıra numaraları önemlidir. Zamana göre sıralanmış (x_1, x_2, \dots, x_n) serileri H_0 hipotezine göre zamandan bağımsız ve benzer dağılım gösteren rastgele değişkenlerdir. H_1 alternatif hipotezine göre ise $(k \neq j)$ ve $n \geq k, j$ (n , veri kayıt uzunluğu) olmak üzere seride x_k ve x_j ardışık data değerlerinin dağılımı benzer değildir. Yani seride lineer bir trend vardır.

Mann-Kendall testinin S istatistiği aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2.1)$$

$$\text{Sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{Eğer } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

Normal bir dağılıma sahip olan ve ortalaması sıfır olan test istatistiği S'nin varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (2.3)$$

Eğer verilerde benzer değerler varsa varyans hesabı aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (2.4)$$

Daha sonra standart normal değişkeni z aşağıdaki gibi hesaplanır ve kritik z değeri ile karşılaştırılır. İfadede yer alan l

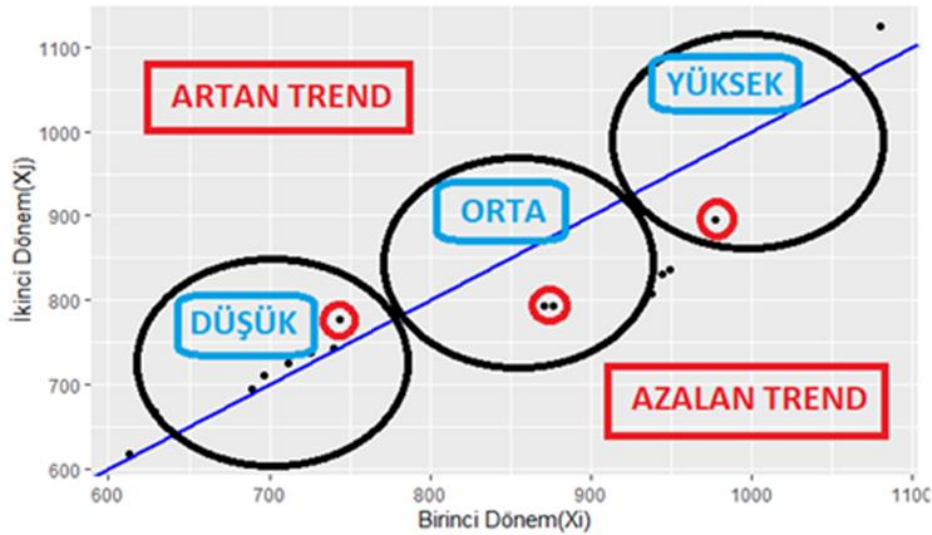
$$\text{sayıları süreklilik düzeltme birimleridir. } z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Daha sonra standart normal dağılım tablolarından bulduğumuz z değerine karşılık gelen değer bulunur ve bu değer 2 ile çarpılır. Hesaplanan değer belirlenen α anlamlılık seviyesinden ($\alpha=0.01$, $\alpha=0.05$ ve $\alpha=0.1$) küçük ve eşit ise H_0 hipotezi kabul edilmekte yani trend var denilmektedir, aksi halde reddedilmektedir. Mann-Kendall test istatistiği S değeri negatif ise azalan, pozitif ise artan bir trendin varlığını gösterir.

2.2.2. Şen Yenilikçi Trend Testi

Elimizde bulunan tarihlerine göre sıralanmış veri serisi ortadan ikiye olacak şekilde ayrılır. Daha sonra her iki alt seri de kendi içerisinde küçükten büyüğe doğru sıralanır. İlk alt seride (x_i) bulunan veriler x eksenine, ikinci alt seride (x_j) bulunan veriler y eksenine yerleştirilir (Şekil 2). Veriler 1:1 doğrusu üzerinde ise trend yok demektir. Veriler üst üçgende toplanmış ise artan bir trend, alt üçgende toplanmış ise azalan bir trend olduğu sonucuna varılır. Değer 1:1 doğrusundan yani trendsizlik eğrisinden ne kadar uzaklaşırsa şiddeti de o kadar artar (Şen, 2012). Bizim çalışmamızda X ekseninde 1990 – 2004 yılları arası toplam yağış değerleri, Y ekseninde ise 2005 – 2019 yılları arası toplam yağış değerleri bulunmaktadır.

Çalışmada yapılan hesaplamalar temel R (R Core team, 2018) paketleri, tidyverse (Wickham, 2017) paketi kullanılarak yapılmıştır. ŞYTT grafikleri ise ggplot (Wickham, 2016) paketi kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 2 Şen Yenilikçi Trend Testi Örneği.

3. Araştırma Sonuçları ve Trend Analizi

Bu kısımda Samsun ve Bafra İstasyonlarının 1990 – 2019 yılları arasındaki yağış verilerindeki trend detaylı olarak anlatılacaktır.

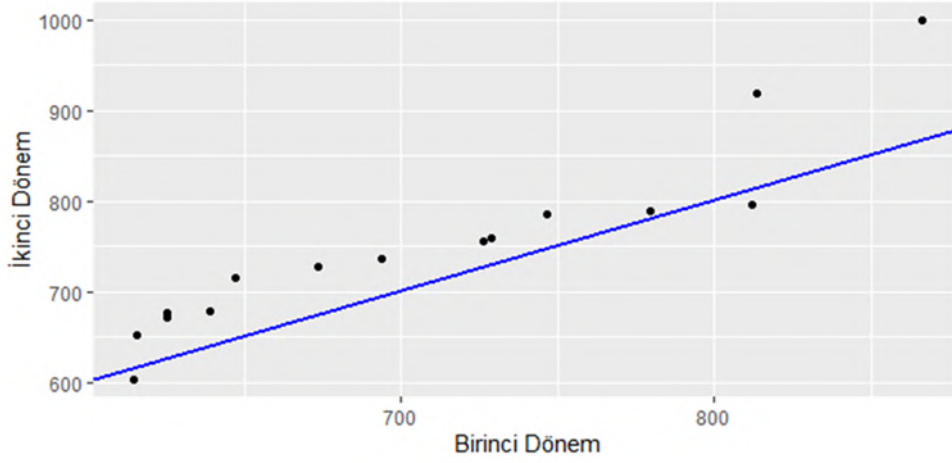
3.1. Samsun İstasyonu

3.1.1. Samsun İstasyonu Yıllık Trend Analizi

Samsun İstasyonu'na ait 1990-2019 yılları arasında yıllık toplam yağışların ortalaması 729 mm'dir. 2014 yılı 603.7 mm ile

toplam yağışın en düşük olduğu yıl olurken, 2012 yılı 999.1 mm ile toplam yağışın en yüksek olduğu yıl olmuştur. MK uygulandığında p değeri 0.239 olup, istatistiksel olarak anlamlı olmayan artan bir trend vardır. ŞYTT sonuçlarına bakıldığı zaman, düşük değerler azalan trend bölgesinde başlamış, sonra

artan trend bölgesine geçmiştir. Orta değerler tamamen artan trend bölgesindedir. Yüksek değerler ise artan trend bölgesinde başlamış, daha sonra azalan trend bölgesine geçmiş daha sonra tekrar artan trend bölgesine geçmiştir.

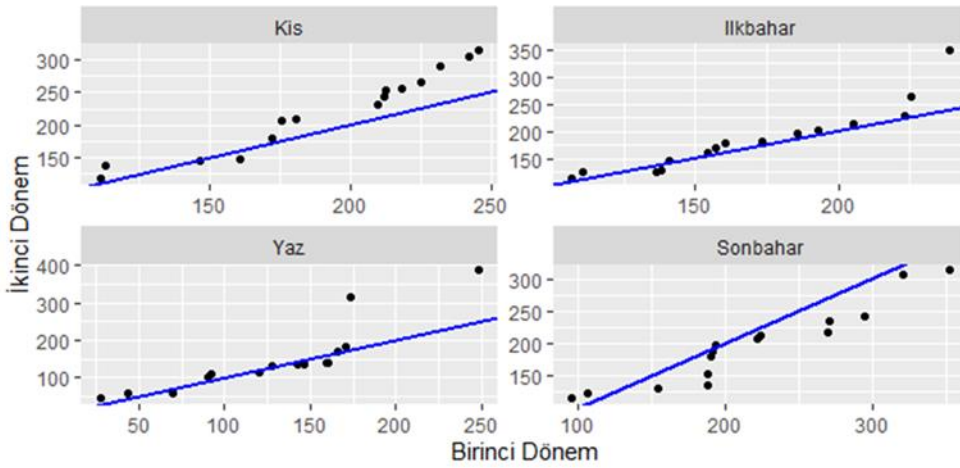


Şekil 3 Samsun İstasyonu 1990 – 2019 yılları arası yıllık toplam yağış ŞYTT grafiği..

3.1.2 Samsun İstasyonu Mevsimlik Trend Analizi

Mevsimlik toplam yağışta kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde MK testine göre artan bir trend vardır. Bunlardan yalnızca kış mevsimi $\alpha=0.05$ seviyesinde anlamlıdır. Aynı mevsimlerin ŞYTT sonuçlarına bakıldığı zaman kış mevsimindeki artış aynı şekilde görülmektedir. Düşük değerlerin bir kısmı azalan trend bölgesinde iken, orta ve yüksek değerlerin tamamı artan trend

bölgesindedir. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde ise küçük ve orta değerler trendsizlik çizgisinin etrafında dağılım gösterirken, en büyük yüksek değerlerin artan trend bölgesinde olduğu görülmektedir. Sonbahar mevsiminde her iki trend testine göre de azalma vardır. Bu azalma MK testine göre istatistiksel olarak anlamlı değildir. Şen testine göre en küçük iki değer hariç diğer değerlerin hepsi ya azalan trend bölgesindedir ya da trendsizlik çizgisi üzerindedir.

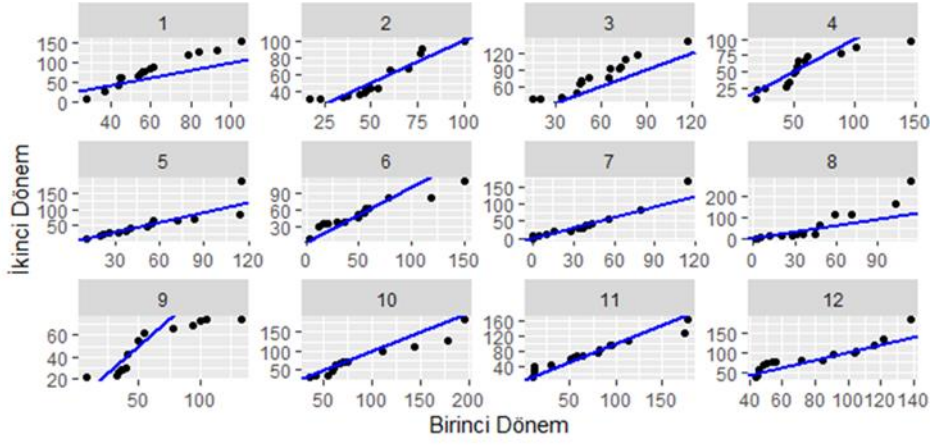


Şekil 4 Samsun İstasyonu 1990 – 2019 yılları arası mevsimlik toplam yağış ŞYTT grafiği.

3.1.3 Samsun İstasyonu Aylık Trend Analizi

Aylık toplam yağışta MK trend testine göre Ocak ($\alpha=0.05$) ve Mart ($\alpha=0.1$) aylarında istatistik olarak anlamlı artan trend vardır. Haziran, Temmuz ve Aralık aylarında artan; diğer aylarda azalan trend vardır. Bunlardan yalnızca Ocak ayı $\alpha=0.05$ ve Mart ayı $\alpha=0.1$ seviyesinde anlamlıdır. Ocak ayında ŞYTT incelendiğinde, düşük değerler azalan trend bölgesinde başlamış, sonra artan trend

bölgesine geçmiştir. Orta ve yüksek değerler ise, tamamen artan trend bölgesindedir. Mart ayında ise, düşük değerler artan trend bölgesinde başlamış sonra trendsizlik çizgisine yaklaşmış sonra tekrar artan trend bölgesine geçmiştir. Orta değerlerden bir tanesi trendsizlik çizgisine yakın iken diğerleri artan trend bölgesindedir. Yüksek değerlerin ise tamamı artan trend bölgesindedir. Mayıs ve Temmuz aylarında neredeyse tüm veriler trendsizlik doğrusu üzerindedir. Diğer aylarda ŞYTT değerlerinde belirli bir örüntü yoktur.



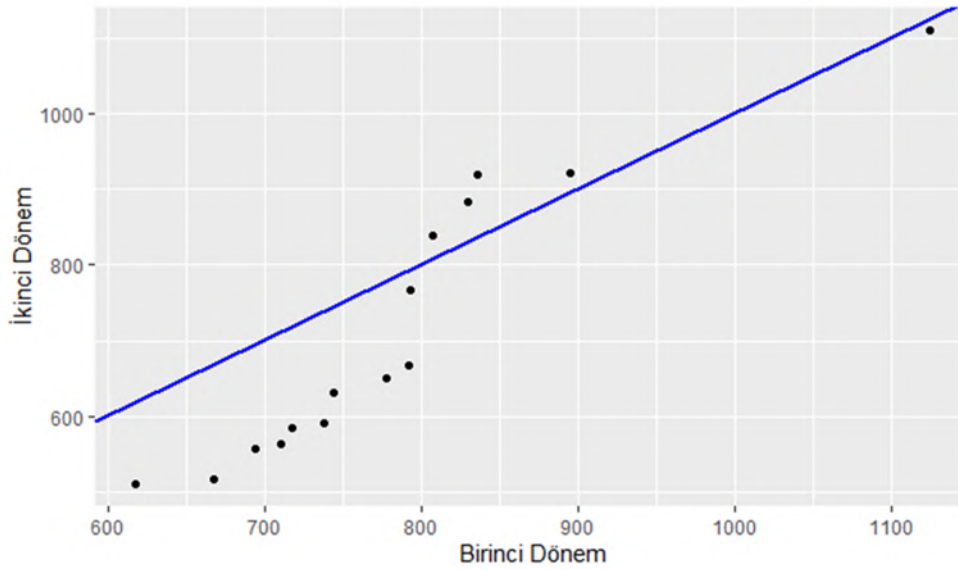
Şekil 4 Samsun İstasyonu 1990 – 2019 yılları arası aylık toplam yağış ŞYTT grafiği.

3.2. Bafra İstasyonu

3.2.1 Bafra İstasyonu Yıllık Trend Analizi

Bafra İstasyonu'na ait 1990-2019 yılları arasında yıllık toplam yağışların ortalaması 749 mm'dir. 2014 yılı 511.6 mm ile toplam yağışın en düşük olduğu yıl olurken, 2004 yılı 1124.7 mm

ile toplam yağışın en yüksek olduğu yıl olmuştur. MK testi uygulandığında yıllık toplam yağışta istatistiksel olarak anlamlı olmayan azalan bir trend olduğu görülmektedir. ŞYTT sonuçlarına bakıldığında, düşük ve orta değerlerin azalan trend bölgesinde olduğu görülmektedir. Yüksek değerlerin ise azalan trend bölgesinde başlayıp, en büyük değer azalan trend bölgesindedir.

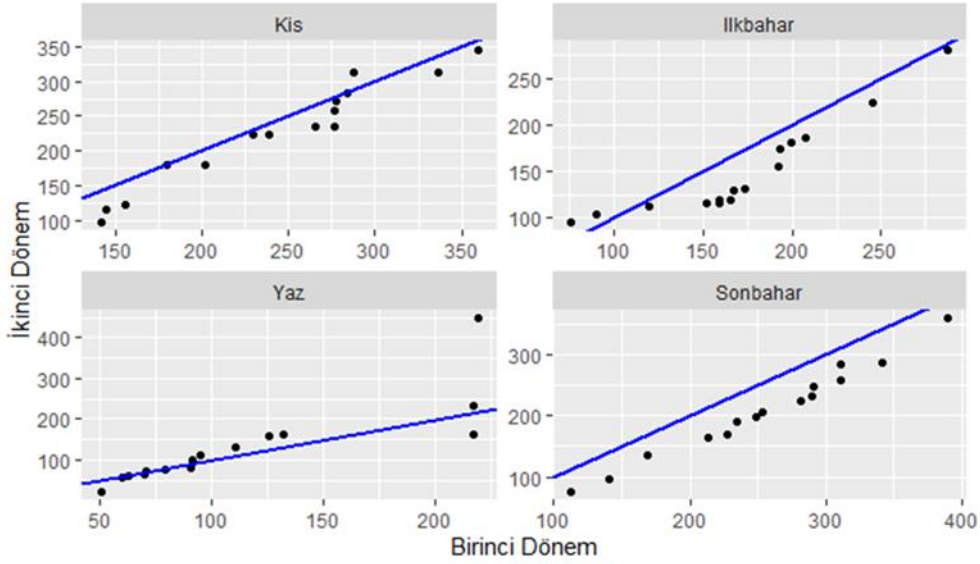


Şekil 5 Bafra İstasyonu 1990 – 2019 yılları arası yıllık toplam yağış ŞYTT grafiği.

3.2.2 Bafra İstasyonu Mevsimlik Trend Analizi

Mevsimlik toplam yağışta MK ya göre, sonbahar mevsiminde $\alpha=0.1$ anlamlılık seviyesinde azalan trend vardır. Diğer mevsimlerde anlamlı bir artış ya da azalış yoktur. ŞYTT'ye göre sonbaharda bütün değerler azalan trend bölgesindedir. Kış mevsiminde, yüksek değerlerdeki tek bir değer artan trend bölgesinde diğer değerler ise ya trendsizlik doğrusu üzerinde ya

da azalan trend bölgesindedir. İlkbahar mevsiminde, ilk iki değer artan trend bölgesinde diğerleri azalan trend bölgesindedir. Yaz mevsiminde, düşük değerler azalan trend bölgesinde başlamış, sonra trendsizlik doğrusu üzerinde devam etmiştir. Orta değerler artan trend bölgesindedir. Yüksek değerlerden ise sadece bir tanesi azalan trend bölgesinde olup diğerleri artan trend bölgesindedir.

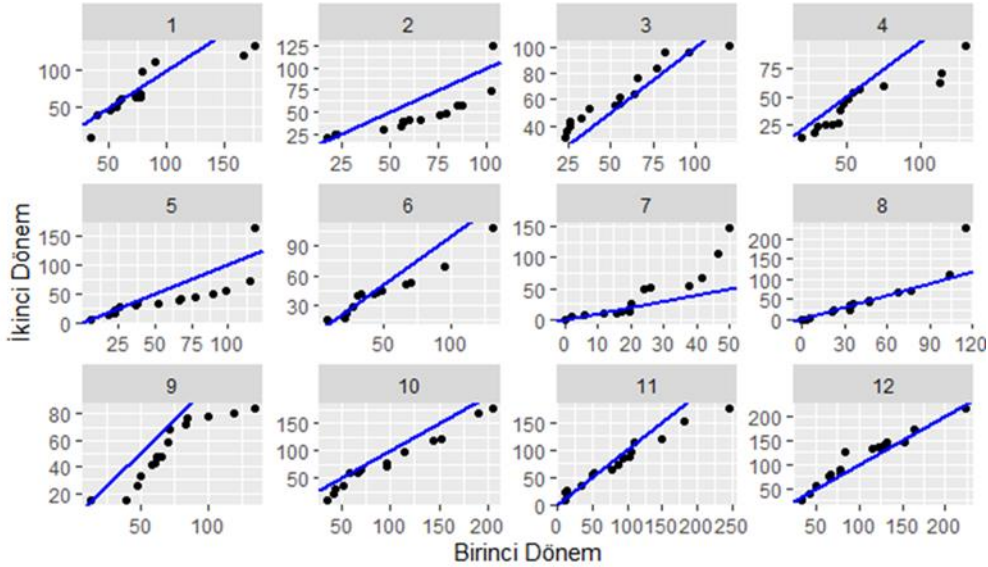


Şekil 6 Bafra İstasyonu 1990 – 2019 yılları arası mevsimlik toplam yağış ŞYTT grafiği.

3.2.3 Bafra İstasyonu Aylık Trend Analizi

Aylık toplam yağışta MK trend testine göre de Mart, Temmuz, Ağustos ve Aralık aylarında artan; diğer aylarda azalan bir trend vardır. Bu trendler MK testine göre istatistiksel olarak anlamlı değildir. ŞYTT 'ye göre Şubat ayında en düşük iki değer ve en yüksek değer hariç diğer tüm değerler azalan trend bölgesindedir. Nisan ayında orta değerler trendsizlik çizgisine

yakın olarak azalan trend bölgesinde, diğer değerler ise azalan trend bölgesindedir. Temmuz ayında düşük değerler ve orta değerlerin küçük olanları trendsizlik doğrusu etrafında salınırken, diğer değerler artan trend bölgesindedir. Ağustos ayında sadece en yüksek değer hariç diğerleri trendsizlik çizgisi etrafında salınmaktadır. Eylül ayında ise, en düşük değer trendsizlik çizgisi üzerinde yer almakta olup, diğer değerlerin hepsi azalan trend bölgesindedir.



Şekil 7 Bafra İstasyonu 1990 – 2019 yılları arası aylık toplam yağış ŞYTT grafiği.

4. Sonuç

Çalışmada Samsun İli'nde bulunan Samsun Bölge ve Bafra istasyonlarından alınan, 1990 - 2019 yıllarına ait günlük toplam yağış verileri kullanılmıştır. Daha sonra bu veriler üzerinde Mann-Kendall (MK) ve Şen Yenilikçi Trend Testi (ŞYTT) kullanılarak trend analizi yapılmıştır.

Samsun İstasyonu incelenen dönemde yıllık toplam yağışta her iki trend testi sonucuna göre de istatistiksel olarak anlamlı olmayan artan bir trend olduğu görülmektedir. Mevsimlik toplam yağışta her iki trend testine göre de kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde artan, sonbahar mevsiminde azalan bir trend vardır. Bunlardan yalnızca kış mevsimi $\alpha=0.05$ seviyesinde anlamlıdır. Aylık toplam yağışta MK trend testine göre Ocak, Mart, Haziran, Temmuz ve Aralık aylarında artan; diğer aylarda azalan trend vardır. Bunlardan yalnızca Ocak ayı $\alpha=0.05$ ve Mart ayı $\alpha=0.1$

seviyesinde anlamlıdır. ŞYTT sonuçları MK testi sonuçlarını doğrulamamaktadır. Sürekli artan veya sürekli azalan aylar çok azdır.

Bafra İstasyonu incelenen dönemde yıllık toplam yağışta MK testi sonucuna göre istatistiksel olarak anlamlı olmayan azalan bir trend olduğu görülmektedir. ŞYTT sonuçlarına bakıldığında ise yüksek değerlerin daha çok artma trendinde olduğu görülmektedir. Mevsimlik toplam yağışta her iki trend testine göre de kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde azalan; yaz mevsiminde artan bir trend vardır. Bunlardan yalnızca sonbahar mevsimi $\alpha=0.1$ seviyesinde anlamlıdır. Aylık toplam yağışta ise her iki trend testine göre de Mart, Temmuz, Ağustos ve Aralık aylarında artan; diğer aylarda azalan istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir trend vardır.

5. Teşekkür

Yazarlar, makalede kullanılan veriler için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

Kaynakça

- Coşkun, S. (2020). Van Gölü Kapalı Havzasında Yağışların Trend Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 521-532.
- Demir, A. D., Demir, Y., Şahin, Ü. ve Meral, R. (2017). Bingöl İli'nde Sıcaklık ve Yağışların Trend Analizi ve Tarıma Etkisi, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4, 284-291.
- Google Earth V 7.3.3.7786 (2021). Çalışmada kullanılan istasyonların yerleri. Basarsoft 2012. <http://www.earth.google.com> , 10 Şubat 2021 tarihinde alındı.
- Karabulut, M. ve Cosun, F. (2009). Kahramanmaraş İlinde Yağışların Trend Analizi, Coğrafi Bilimler Dergisi, 7, 65-83.
- Kendall, M.G., (1975). Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.
- Mann, H. B., (1945) Non-parametric Test Against Trend, Econometrika, 13, 245-259.
- Polat, P. ve Sunkar, M. (2017). Rize'nin İklim Özellikleri ve Rize Çevresinde Uzun Dönem Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Trend Analizleri, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 24, 1-23.
- R Core Team (2018). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/>. adresinden alındı.
- Soydan, N. G., Gümüş, V., Şimşek, O., Gerger, R. ve Ağun, B. (2016). Seyhan Havzası Aylık Ortalama Akım ve Yağış Verilerinin Trend Analizi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7, 319-328.
- Sütgibi, S. (2015). Büyük Menderes Havzasının Sıcaklık, Yağış ve Akım Değerlerindeki Değişimler ve Eğilimler, Marmara Coğrafya Dergisi, 398-414.
- Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. Journal of Hydrological Engineering, 17 (9): 1042-1046.
- Tarım ve Orman Bölge Müdürlüğü (2019). Tarım ve Orman Bölge Müdürlüğü Çalışma Raporu.
- Türkeş, M., Koç, T. ve Sarış, F. (2007). Türkiye'nin Yağış Toplamı ve Yoğunluğu Dizilerindeki Değişikliklerin ve Eğilimlerin Zamansal ve Alansal Çözümlemesi, Coğrafi Bilimler Dergisi, 5, 57-73.

Wickham H. (2016). ggplot2: elegant graphics for data analysis. Springer, New York <http://ggplot2.org> adresinden alındı.

Wickham H. (2017). tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse'. R package version 1.2.1. <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse> adresinden alındı.

Zeybekoğlu, U. ve Karahan, H. (2018). Standart Süreli Yağış Şiddetlerinin Eğilim Analizi Yöntemleriyle İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24, 974-1004.



Relationship between Reinforcement Diameter and Bond Stress in High Performance Lightweight Concrete

Esra Tuğrul Tunç^{1*}, Kürşat Esat Alyamaç², Ragıp İnce³, Zülfü Çınar Ulucan⁴

^{1*} Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9071-774X), esratugrul@firat.edu.tr

² Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3226-4073), kealyamac@firat.edu.tr

³ Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9837-8284), rinca@firat.edu.tr

⁴ Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3605-9728), zulucan@firat.edu.tr

(First received 21 February 2021 and in final form 17 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.884123)

ATIF/REFERENCE: Tugrul Tunc, E., Alyamac, K.E., Ince, R. & Ulucan, Z.C. (2021). Relationship between Reinforcement Diameter and Bond Stress in High Performance Lightweight Concrete. *European Journal of Science and Technology*, (23), 851-860.

Abstract

High performance lightweight concrete (HPLC) is a new and original research in structural engineering. Due to the high risk of earthquakes, which is one of the biggest disasters today, the need for HPLCs has increased. The purpose of this study is to experimentally research concrete-reinforcement bond for the change parameters such as different reinforcement diameters and different embedded lengths. For this purpose, HPLCs with different mix ratios and different concrete components were prepared by using pumice aggregates. Within this scope, HPLC beam specimens of 100×180×800 mm dimensions were prepared and produced specimens were subjected to the Standard Belgium Hinged Beam (SBHB) test. There are limited studies in the literature on the investigation of the bond properties of HPLC beams with this test. The mentioned study draws attention with this aspect. In the present study, ribbed steel reinforcement bars with different diameters were used. The beam specimens were produced considering the different embedded lengths for each reinforcement diameter. The bond tests were performed. Using the load applied vertically and read with the help of the load cell in the experiment, the bond stress occurring in the reinforcement was calculated with the help of the force in the reinforcement indirectly found. As a result of the experiments, it has been determined that there is a significant relationship between bond stress and reinforcement diameter and embedded length. It has been determined that the bond stress decreases with the increase of reinforcement diameter and embedded length.

Keywords: High Performance Lightweight Concrete (HPLC), Beam, Bond stress, Reinforcement diameter, Embedded length.

Yüksek Performanslı Hafif Betonlarda Donatı Çapı ile Aderans Gerilmesi Arasındaki İlişki

Öz

Yüksek performanslı hafif beton (YPHB), yapı mühendisliğinde yeni ve güncel bir konudur. Kalıcı ve uzun ömürlü yapılar inşa edebilmek için YPHB'lere ihtiyaç vardır. YPHB ile kullanılacak toplam beton miktarı azaltılarak binaların hafiflemesi mümkündür. Günümüzde en büyük afetlerden olan deprem riskinin yüksek olması nedeni ile YPHB'lere olan ihtiyaç artmıştır. Betonarmenin varlığı, aderans olayına bağlıdır. YPHB'lerin aderans gerilmesi birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmanın amacı, farklı donatı çapı ve farklı kenetlenme boyu gibi değişim parametreleri ile YPHB'lerin beton-donatı aderansı arasındaki ilişkinin deneysel olarak belirlenmesidir. Bu amaçla pomza agregaları kullanılarak farklı karışım oranları ve farklı beton bileşenlerine sahip

* Corresponding Author: esratugrul@firat.edu.tr

YPHB'ler hazırlanmıştır. Bu kapsamda 100×180×800 mm boyutlarında YPHB kiriş numuneler hazırlanmış ve üretilen numuneler Standart Belçika Mafsallı Kiriş (BMK) deneyine tabi tutulmuştur. YPHB kirişlerin aderans özelliklerinin Standart Belçika Mafsallı Kiriş deneyi ile araştırılması konusunda literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Söz konusu çalışma bu yönü ile dikkat çekmektedir. Mevcut çalışmada Ø8 ve Ø10 çaplarında nervürlü çelik donatı çubukları kullanılmış ve her bir donatı çapı için 10Ø ve 20Ø kenetlenme boyları dikkate alınarak BMK numuneleri üretilmiş ve aderans deneyleri yapılmıştır. Deneyde düşey olarak uygulanan ve yük hücresi yardımı ile okunan P yükü kullanılarak dolaylı olarak bulunan donatıdaki F kuvvetinin yardımı ile donatı meydana gelen aderans gerilmesi hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aderans gerilmesi ile donatı çapı ve kenetlenme boyu arasında önemli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Aderans gerilmesinin beton basınç dayanımının artmasıyla arttığı, donatı çapı ve kenetlenme boyunun artması ile azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Performanslı Hafif Beton, Belçika Mafsallı Kiriş, Aderans Gerilmesi, Donatı Çapı, Kenetlenme Boyu.

1. Introduction

The bond between aggregate and matrix is stronger in the concretes with lightweight aggregate than in the concretes with normal aggregate. Cement paste is injected into the aggregate from the hollow structure of the light aggregate, causing a strong bond between aggregate and matrix. Thus, the formation of a weak point between the aggregate and the matrix is prevented and then a concrete with high durability is formed (Al-Khaiat and Haque, 1998; Hossain, 2004). Since the aggregates make up 70% - 80% of the concrete volume, the main way to produce lightweight concrete is to use aggregate with lower unit weight (Neville, 1995 and Aitcin, 1998). It is a fact that it has a significant effect on the mechanical properties and the other properties of concrete due to the high ratio of use of aggregates in the concrete composition (Ince and Çetin, 2019; Tunc and Alyamac, 2019). ASTM, ACI, TSE and European Concrete Standards define lightweight concrete with high strength as concrete with a dry unit weight of 1200 to 2000 kg/m³ and a compressive strength of 50MPa or higher. The first use of lightweight concrete dates back to 3000 years ago. Romans in Europe built their temples and sculptures using lightweight concrete (Ulus, 2007). After it was seen that lightweight concrete produced using lightweight aggregates at that time could be used safely, the use of lightweight concrete has become widespread in the past years and has continued to exist until today (El Zareef, 2010). For example; lightweight concrete was used in the bridge built in Italy between Sinigo and Avelengo cities with high traffic loads (Figure 1).



Figure 1. Historical buildings produced with lightweight concrete: The bridge in Italy (El Zareef, 2010).

It was produced high strength lightweight concrete with a unit volume weight of 2000 kg/m³ and a compressive strength varying between 50 MPa and 60 MPa in the Hoff (1990)'s study. Wasserman and Bentur (1996) stated that the unit weight and water absorption values of the light aggregates used and the compressive strength of lightweight concrete produced using these aggregates are very important and that high strength lightweight concrete cannot be produced with every lightweight aggregate. In recent years, it has been observed that concrete can be produced in desired color, unit weight and strength. Unit weight of the concrete varies between 300 kg/m³ and 3000 kg/m³. While the thermal insulation of these concretes varies between 0.1 and 3 W/mk, their compressive strength varies between 1 and 100 MPa (Chandra and Berntsson 2003). Lightweight concretes are a versatile material due to their technical, economic and environmental advantages (Haque et al., 2004). It is extremely important to use high performance lightweight concrete (HPLC) as a bearing element. For this, it is necessary to know the properties of bearing systems such as beam, column, shear wall (Poon et al., 2004). Recently, statistical studies have increased to determine the most suitable lightweight concrete mix recipes. Tunç et al. (2018) conducted a detailed literature review on HPLCs containing pumice and obtained a formula that determines the compressive strength of HPLCs with high accuracy. Then, numerical research continued for lightweight concretes containing different lightweight aggregates. For this purpose; developed numerical methods with high accuracy that determines the compressive strength of lightweight concrete containing LECA aggregates and perlite aggregates (Saglam et al., 2019; Tunc et al., 2019). Finally, it was aimed to determine both the pre-concrete mix design and the tensile strength of lightweight concretes without testing. For this purpose, a numerical model was developed by using the tensile strength test results of structural lightweight concrete containing LECA aggregate belonging to previous studies (Tunc et al., 2020).

Since reinforced concrete is a composite material where concrete and reinforcement are combined, the bond between concrete and reinforcement must be strong, especially. To achieve this, deformed reinforcement should be used instead of plain reinforcement. The shear stresses that arise in deformed reinforcement are called bond stress. Bond stress is one of the most important features of reinforced concrete (Bingöl and Rüstem, 2009). Concrete-reinforcement bond is affected by many variables such as tensile strength of concrete, yield strength of steel, surface geometry of the bar, diameter of reinforcement, embedded length, thickness of concrete cover around the reinforcement (concrete cover), type of aggregate, and the additives (Ersoy, 1985). When the studies in the literature are utilized, the effect of these variables on the concrete-reinforcement bond has been investigated by many researchers from past to present. Diederichs and Schneider

(1981) examined reinforced concrete buildings using straight-deformed reinforcement to see the effect of surface geometry of reinforcement on concrete-reinforcement bond. Xiao and König (2004) found that the bond stress of straight reinforcements is less than that of deformed reinforcements, and rusty-rustless reinforcements exhibit a different bond behavior. Tanyıldızı and Yazıcıoğlu (2006) produced mineral-added concretes in order to examine the effect of straight-deformed reinforcements on concrete-reinforcement bond strength. Baena et al., (2009) investigated the effect of different types of reinforcements, including carbon fiber, glass fiber and steel fiber, on concrete-reinforcement bond stress, and new formulas were found depending on the diameter of the reinforcement. Arslan and Arslan, (2018) conducted the Belgium Hinged Beam test using different reinforcement diameters and different embedded lengths for each diameter in concretes produced with fixed cement content, and the concrete-reinforcement bond stress was examined experimentally under bending.

The way to minimize the building load without reducing the strength properties of buildings is to provide HPLC production by using lightweight aggregates. Pumice, a lightweight aggregate, can be preferred in HPLC production due to the abundant reserves in Turkey. The purpose of the present study; to examine the effect of different reinforcement diameter and different embedded length on the concrete-reinforcement bond of HPLC produced using pumice aggregates. The reason for choosing the mentioned change parameters is that they are the most important parameters affecting the concrete-reinforcement bond. For this purpose, Standard Belgium Hinged Beam (SBHB) samples for different mix ratios were produced and subjected to bond stress test. Different reinforcement diameters (Ø8 and Ø10) and different embedded lengths (10Ø and 20Ø) for each diameter were used in the produced BHBs. As a result of the experiments, higher stress values have been achieved in low diameter reinforcement for the same embedded length. In addition, it was determined that as the embedded length increased, the bond stress also increased.

2. Bond Stress

Various test methods are used to determine the bond stress and embedded length of concrete-reinforcement bond. The experiments conducted in this context are generally; it can be classified as pull-out and various beam tests. Usually; it was investigated related bond stress properties (embedded, lap joint, boundary stress) with pull-out experiments, it was investigated cracking properties with beam tests (Durmuş et al., 2006; Karatas et al., 2010; Tuğrul Tunç, 2020). There are also push-out experiments that have been investigated in fewer studies than others (Ersoy and Özcebe 2001; Beycioğlu et al., 2015).

2.1. Pull-Out Test

The pull-out test, which is simple to apply among bond stress tests, is the most preferred type of experiment in this respect. In this test, the reinforcements embedded in the cubic or cylinder concrete sample are pulled out by axial tensile force. Thus, the debonding of the reinforcement from the concrete is measured (Figure 2). Bond stress is based on the bond stress corresponding to the load where the debonding value is 0.25 mm for safety (Ersoy and Özcebe, 2001; Beycioğlu et al., 2015).

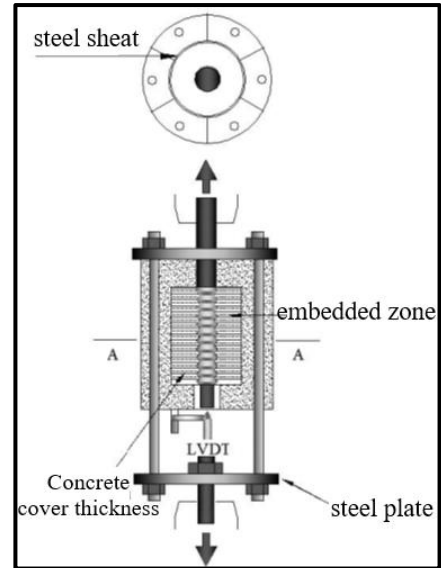


Figure 2. Center pull-out test (Tuğrul Tunç, 2020).

Using the pull-out load obtained in this experiment, the bond stress between concrete and reinforcement is calculated with Equation (1).

$$\tau_b = \frac{P}{\pi \phi l} \quad (1)$$

in which; τ_b is the bond stress (MPa), P is the force required to pull out the reinforcement (N), ϕ is the diameter of the reinforcement (mm), and l is the length of the reinforcement embedded in the concrete (mm).

2.2. Beam tests

In the previous studies, it is seen that alternative beam tests have been developed since the pull-out test cannot clearly the concrete-reinforcement bond trying to bend (Ersoy and Özcebe, 2001). Current major beam tests developed; Bureau of Standards test, Texas test, Standard Belgium Hinged Beam test and Beam Cracking test (Durmuş et al., 2006; Beycioğlu et al., 2015; Tuğrul Tunç, 2020). It has been observed that the beam cracking test is generally applied to large sized reinforced concrete beams.

Bureau of standards test; it is a test used to determine the bond strength in bending (Figure 3a). This test is used to determine the bond behavior in bending. For this purpose, in this test, the use of stirrups has been increased to prevent shear fractures. Since the stirrups used will affect the bond strength, this test makes it difficult to determine the embedded length accurately. For this reason, it is difficult to obtain realistic results (Benli et al., 2008). The fact that the reinforcement is embedded in a very large concrete in the Texas Beam test increases the disadvantages of this experiment (Figure 3b). In this beam test setup; it is important to avoid the local compressive stresses applied by the bearing that can scrape the reinforcement from the concrete. Otherwise, splitting of the reinforced concrete mass may occur (Beycioğlu et al., 2015).

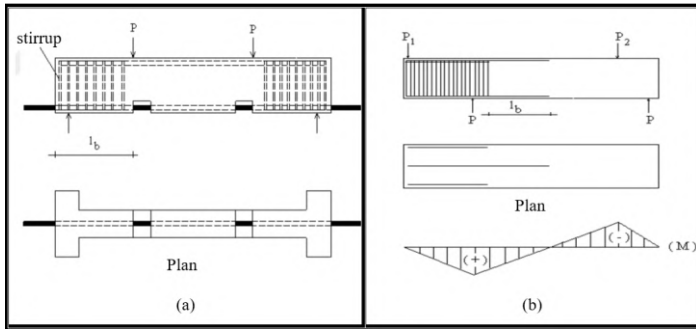


Figure 3. Beam test setups: a) Bureau of Standards test, b) Texas Beam test (Tuğrul Tunç, 2020).

2.3. Standard Belgium Hinged Beam test (SBHB)

The standard Belgium Hinged Beam test is defined in BS 4449:2005+A2:2009 standard. This beam test is a test to examine concrete-reinforcement bond under bending. TS EN 12390-5 and ASTM C 293 describe the test method in which the concrete beam is loaded from the middle point ($L/2$ distance) of the distance between the supports. In this test, the vertical load applied to the specimen is recorded through the load cell. Based on the principle that the moment is zero at the joint point, the force "F" formed in the reinforcement is calculated by writing the isostatic equilibrium equations. The debonding values corresponding to the determined "F" forces are recorded with potentiometric scales placed at the beam ends.

The sketch of the Standard Belgium Hinged Beam test setup is presented in Figure 4(a). As can be seen in the free-body diagram, half of this test element is similar to the eccentric extraction test (Figure 4). However, the experiments conducted at Middle East Technical University in Turkey have shown that the results obtained from these two types of experimental elements are quite different. Since the difference in displacement with the support and load applied in the Belgium Hinged Beam test is too much compared to the eccentric pull-out test, the only difference between the two test types, the observed strength difference is connected to this test. In the beam cracking test, this reinforced concrete test beam, which is generally taken as a rectangular section, is placed on two supports at a certain "L" opening. Loading is done by means of two single loads that are vertical, symmetrical and within a certain range. The ability to measure mid-opening deflection during loading gives this test type a special importance. In this type of test, it is important that the test sample is large in size and therefore give more realistic results.

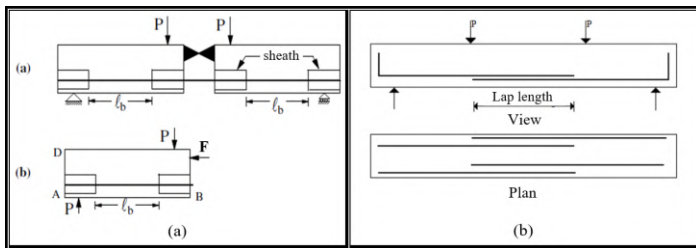


Figure 4. The beam test setups: a) Standard Belgium Hinged Beam test setup, b) Beam Cracking test setup (Tuğrul Tunç, 2020).

It is also supported by the literature that the standard Belgium Hinged Beam test is more accurate than the pull-out

test. De Larrard et al. (1993) conducted Belgium type bond tests for concretes with different strengths and examined the effect of the diameter of the bond reinforcement. Arslan and Durmus (2011) investigated the bond effect of steel reinforcement bars of different diameters in lightweight concrete beams with the Standard Belgium Hinged Beam test. Hosseini et al., (2015) prepared 12 Standard Belgium Hinged Beam test samples in order to determine the effect of stirrup density and number on concrete-reinforcement bond. Beycioğlu et al. (2015) experimentally investigated the relevant bond properties using $\varnothing 10$ reinforcement bars in lightweight concretes containing pumice aggregate using the Standard Belgium Hinged Beam test method.

By using the "P" load applied vertically in the test and read with the help of the load cell, the indirectly found "F" force in the reinforcement and the corresponding loss of bond to this force can be determined. With these "F" forces, the bond stress (τ_b) that will occur in the reinforcement is calculated with the Equation (2).

$$\tau_b = (\sigma_s \times \varnothing) / 4l_b \quad (2)$$

in which; σ_s is the stresses in reinforcement (MPa), τ_b is the bond stress (MPa), \varnothing is the diameter of reinforcement (mm), and l_b is the embedded length (mm).

3. Materials and Methods

3.1. Material Properties

In the present study, pumice aggregates brought from Organized Industry in Elazig in Turkey were used as lightweight aggregate for HPLC production. Pumice aggregates with $D_{max}=8$ mm were laid to dry in the area in front of the Construction and Building Materials Laboratory of Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering (Figure 5). The granulometry of the dried the mixture pumice aggregates with maximum compactness in accordance with TS 802 was determined according to the Fuller parabola. The saturated dry surface specific gravity of the said mixture aggregates was 1.35 g/cm^3 , the water absorption ratio was 20.8% and the Los Angeles abrasion loss value was 40%. In this respect, the usability of pumice aggregates in HPLC production is suitable.



Figure 5. Pumice aggregates to be used in HPLC production: a) Drying of pumice aggregates for sieve analysis, b) Pumice aggregates remaining on each sieve in accordance with TS EN 933-1.

CEM I 42.5R Portland cement was used in this experimental study. All kinds of physical-mechanical tests and chemical analysis results related to this cement are presented in

accordance with TS EN 197-1. The features of the cement type in question are given in Table 1 in detail.

Table 1. Physical, chemical and mechanical properties of Cem I 42.5R cement

Chemical properties	Percent by mass (%)	Physical properties	
SiO ₂	21.4	Specific gravity (g/cm ³)	3.12
Al ₂ O ₃	3.95	Initial set (min.)	168
Fe ₂ O ₃	3.60	Final set (dk)	200
CaO	62.4	Fineness module (cm ² /g)	349 0
MgO	3.80	Mechanical properties	
SO ₃	2.98	Compressive strength (MPa)	
Ignition loss	1.00	2-day	29.5
K ₂ O+Na ₂ O	0.80	7-day	38.1
Insoluble matter	0.58	28-day	61.5
Free Cao	1.20		

When the previous studies in recent years are utilized, it is seen that the fine aggregate ratio should be 50% or more for HPLC production (Neville, 1995 and Aitcin, 1998). In this study, marble powder obtained from the waste of cherry marble extracted in Elazig province in Turkey, which has the feature of filling the gap, was used. Silica fume (SF) is an important component of high performance concretes. It has properties such as increasing workability, bond, strength and durability in concrete. For this reason, silica fume was used as a mineral additive in the study. In the study in question, a new generation polycarboxylate supported super plasticizer was used to ensure workability and prevent segregation due to low water-to-cement ratios (*w/c*). It is known that chemical additive content increases concrete strength (Tugrul Tunc, 2019). The physical/chemical properties of the waste marble powder and silica fume used in this study and the characteristic properties of the chemical additive are presented in Table 2.

Table 2. Properties of waste marble powder, silica fume and chemical additive used in this study

Waste marble powder	Silica fume	Chemical additive
Density (g/cm ³)=2.70	Density (g/cm ³)=2.50	Appearance =liquid
Specific surface area (cm ² /g)=3924	Blaine surface (cm ² /g)=296000	Colour=brown
SiO ₂ (%)=28.35	Ignition loss (%)=1.68	Density (g/cm ³)=1.075
Fe ₂ O ₃ (%)=9.70	SiO ₂ (%)=91.92	pH=4.00 ± 1
CaCO ₃ (%)=60.48	MgO (%)=3.69	Chloride content<% 0.1

In this experimental study, two different deformed reinforcement bars with 8 mm and 10 mm diameter were used to determine the bond stress of concrete-reinforcement. The mechanical properties of the reinforced concrete reinforcements in question were determined as the yield strength 530 MPa, tensile strength 565 MPa and rupture elongation rate 24% for Ø8-S420. Also, it was determined yield strength 515 MPa, *e-ISSN: 2148-2683*

tensile strength 575 MPa and rupture elongation rate 22% for Ø10-S420.

3.2. Production of High Performance Lightweight Concrete

In this study, 4 concrete mix recipes were prepared to obtain a set of Belgium Hinged Beam (BHB) samples with a cement content of 600 kg/m³ and a water-to-cement ratio of 0.30 using different sized pumice aggregates. In this study, 8% silica fume and 16% waste marble powder were added to cement in order to increase the amount of fine powder material. Later, a new generation super plasticizer additive 1.2% of cement weight was added (Table 3). In this study, in order to understand the effect of change parameters such as different reinforcement diameter and different embedded length on the concrete-reinforcement bond, the amount of aggregate, silica fume and marble powder ratios entering the mixture were kept constant. Pumice aggregates in the mixture were saturated with water one day before due to its lightness.

Table 3. Concrete mixture prescriptions for HPLC beams using Ø8 and Ø10 diameter steel reinforcement

Samples	<i>w/c</i>	Cement content (kg/m ³)	Silica fume ratio (%)	Marble powder ratio (%)	Chemical additive ratio (%)	Air content (%)	Aggregate content (kg)					Diameter of reinforcement	Embedded length
							0 – 1 mm	1 – 2 mm	2 – 4 mm	4 – 8 mm	8 – 16 mm		
BMK-1	0.30	600	8	16	1.2	2	216.5	156.8	112.0	74.6	186.6	Ø8	10Ø
BMK-2	0.30	600	8	16	1.2	2	216.5	156.8	112.0	74.6	186.6	Ø8	20Ø
BMK-3	0.30	600	8	16	1.2	2	216.5	156.8	112.0	74.6	186.6	Ø10	10Ø
BMK-4	0.30	600	8	16	1.2	2	216.5	156.8	112.0	74.6	186.6	Ø10	20Ø

A 125 dm³ capacity and horizontal axis laboratory type mixer (Figure 6a) was used to obtain the BHB samples whose mixture content is given in Table 3. First, coarse and fine aggregates were put into the mixer and mixed, then cement and silica fume and marble powder were added and mixed. Then, two-thirds of the mixing water was added to the mixture while the mixer was running. Finally, the remaining water was mixed with the super plasticizer and put into the mixer, and the mixer was stopped after ensuring sufficient homogeneity. For BHB production, 100×180×800 mm beam samples were prepared by using 5mm thick steel molds. Plastic sheats are used in the reinforcement to limit the embedded lengths. The ends of the sheats are sealed with silicone to prevent concrete from entering into them. Care has been taken to ensure that the molds are properly filled. The concrete mixes were poured in two layers and subjected to vibration in the shaking table. After all the beams produced were kept in the mold for 24 hours, the molds were removed. BHB samples removed from the mold were cured for 28-days in the laboratory using wet sacks (Figure 6b).



Figure 6. Production of high performance lightweight concrete: a) Concrete mixer, b) Curing application of Belgium Hinged Beam test samples.

3.3. Standard Belgium Hinged Beam test

In order to determine the concrete-reinforcement bond properties of the produced BHB samples, the Standard Belgium Hinged Beam test setup has been designed in accordance with BS 4449:2005+A2:2009 standard. Vertical load was applied to BHB samples through a 2500 kN capacity concrete test press operating with the hydraulic loading principle and the beams were forced to bending. BHB samples are placed on two supports, one fixed and the other movable. Loading was applied from the midpoint. The vertical loads applied to the beams were read with the help of the load cell. Potentiometric scales were used to measure the stripping amount of the reinforcement from the concrete at both ends of the beam sample subjected to experimental loading. The loads applied vertically and their corresponding debonding values were recorded simultaneously with the help of the data collection unit. A steel hinge is placed in the middle of the beam in order to reset the moment and calculate the loads on the reinforcement (Figure 7).

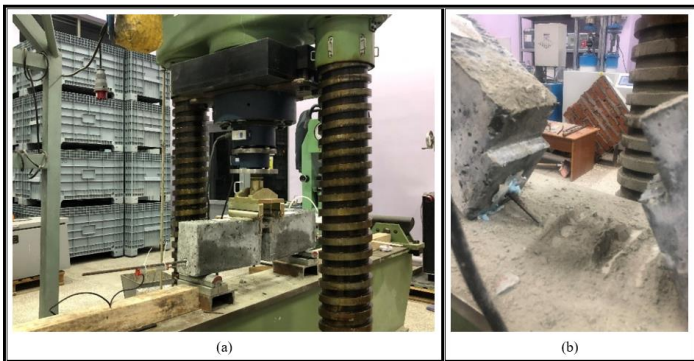


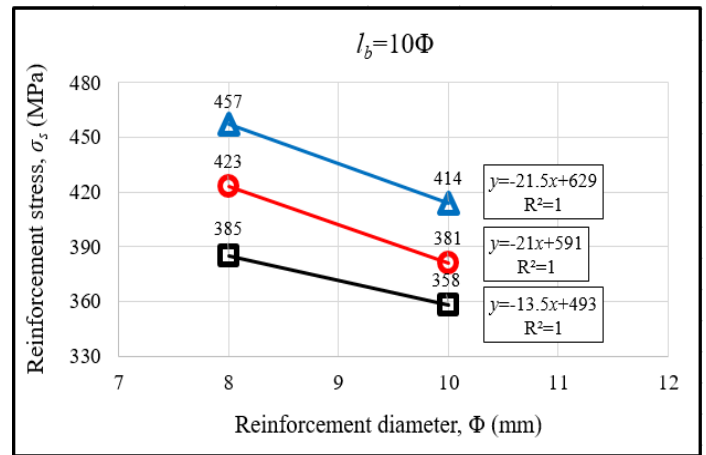
Figure 7. Standard Belgium Hinged Beam test: a) placing the reinforced concrete beam sample on the test loading device, b) rupture of the reinforcement as a result of the bond test.

4. Experimental Results and Discussion

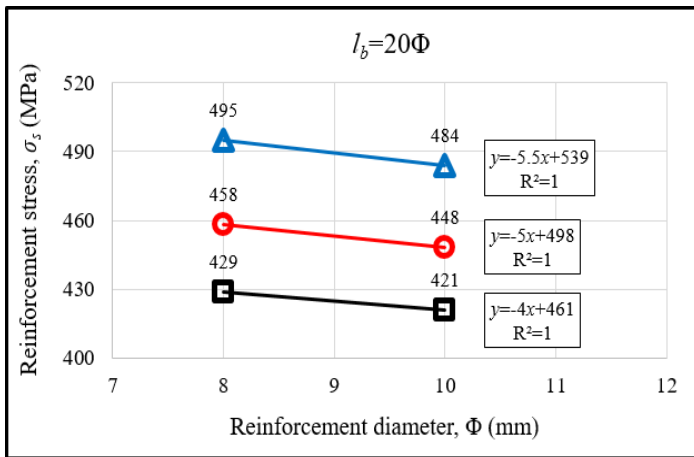
In the present study, the concrete-reinforcement bond of the BHB samples exposed to loading in accordance with the BHB test was investigated. Here, reinforcement bar diameters of Ø8 and Ø10 and embedded lengths of 10Ø and 20Ø are tested. It was observed that the experimental error margin was low in the beam tests performed for three control samples in each series. In addition, it can be said that the effect of reinforcement diameter and embedded length on both the bond stress and the stress in the reinforcement is great. It has been observed that both the bond stress and the stress in the reinforcement decrease as the diameter of the reinforcement increases. It has been observed

that with the increase in the embedded length, both the bond stress and the stress in the reinforcement increase. From here, it was concluded that the diameter of the reinforcement changes inversely with both the bond stress and the stress in the reinforcement, and the embedded length changes in direct proportion to both the bond stress and the stress in the reinforcement. Considering that the bond stress is calculated by Equation (1), it can be said that it is directly related to the stress in the reinforcement.

In Figure 8(a), it was determined that by increasing the diameter of the reinforcement from 8 mm to 10 mm, the stress in the reinforcement decreased from approximately 421.7 MPa to 384.3 MPa. In Figure 8(a), by increasing the reinforcement diameter from 8 mm to 10 mm, a decrease of approximately 9.4%, 10% and 7% was observed in the stress values in the reinforcement for the BHB samples, respectively. This situation is the same for only changing embedded length $l_b=20\phi$ in Figure 8(b). However, the ratio of decrease in the stress values in the reinforcement is lower than in Figure 8(a). In Figure 8(b), it has been determined that by increasing the diameter of the reinforcement from 8 mm to 10 mm, the stress values in the reinforcement decreased from approximately 460.7 MPa to 451.0 MPa. In Figure 8(b), by increasing the diameter of the reinforcement from 8 mm to 10 mm, a decrease of approximately 2.2%, 2.2% and 1.9% was observed in the stress values in the reinforcement for the BHB samples, respectively. This situation shows that as the diameter of the reinforcement increases, the stress in the reinforcement decreases. This decrease ratio was determined to be lower for higher embedded length.

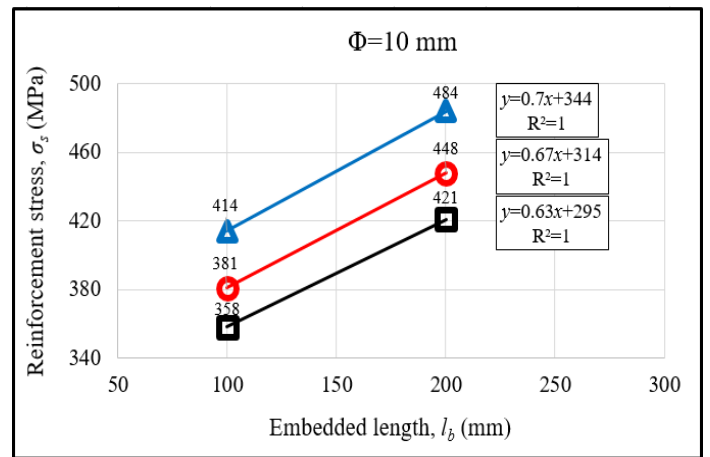


(a)



(b)

Figure 8. Change of stress in reinforcement with reinforcement bar diameter: a) for $l_b=10\Phi$, b) for $l_b=20\Phi$.

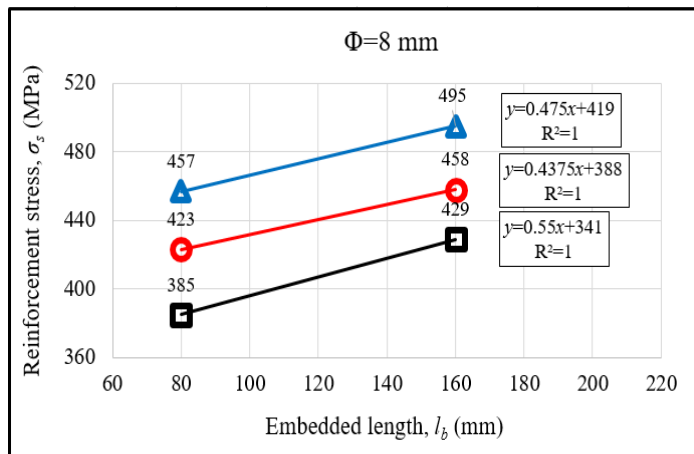


(b)

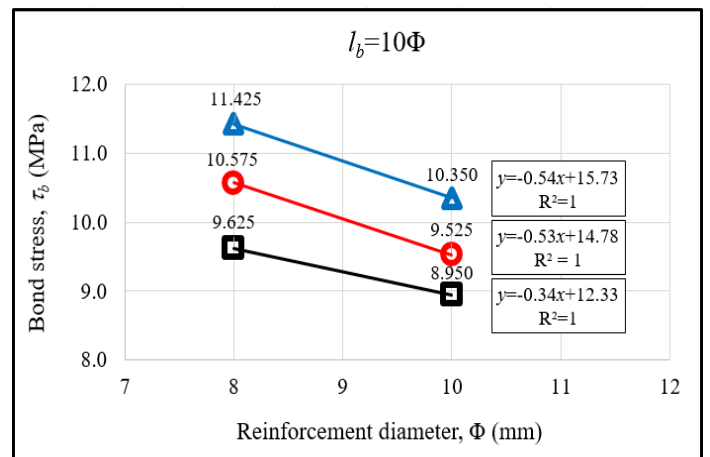
Figure 9. Change of stress in reinforcement with embedded length: a) for $\Phi=8$ mm, b) for $\Phi=10$ mm.

In Figure 9(a), it was determined that by increasing the embedded length from $10\Phi=80$ mm to $20\Phi=160$ mm, the stress values in the reinforcement increased from approximately 421.7 MPa to 460.7 MPa. In Figure 9(a), by increasing the embedded length from $10\Phi=80$ mm to $20\Phi=160$ mm, an increase of approximately 8.3%, 8.3% and 11.4% was observed in the stress values in the reinforcement for the BHB samples, respectively. This situation is the same for only changing reinforcement bar diameter $\Phi=10$ mm in Figure 9(b). However, the ratio of increase in the stress values in the reinforcement is higher than in Figure 9 (a). In Figure 9(b), it was determined that by increasing the clamping length from $10\Phi=80$ mm to $20\Phi=160$ mm, the stress values in the reinforcement increased from approximately 384.3 MPa to 451.0 MPa. In Figure 9(b), by increasing the clamping length from $10\Phi=80$ mm to $20\Phi=160$ mm, an increase of approximately 16.9%, 17.6% and 17.6% was observed in the stress values in the reinforcement for the BHB samples, respectively. This situation shows that the stress in the reinforcement increases as the diameter of the reinforcement bar increases. This increase ratio has been determined to be higher for high reinforcement bar diameter.

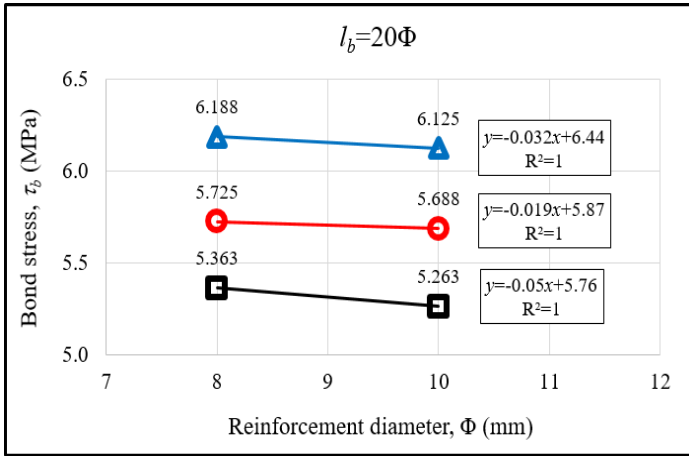
In Figure 10(a), it was determined that by increasing the reinforcement bar diameter from 8 mm to 10 mm, the bond stress values decreased from approximately 10.54 MPa to 9.61 MPa. In Figure 10(b), it was determined that by increasing the reinforcement bar diameter from 8 mm to 10 mm, the bond stress values decreased from approximately 5.76 MPa to 5.69 MPa. The change ratios of the bond stress values in Figure 10 are very close to the change ratios of the stress values in the reinforcement in Figure 8. This situation indicates that the stress in the reinforcement and the bond stress is directly related. It is observed that the bond stress decreases as the diameter of the reinforcement bar increases. This decrease ratio was determined to be lower for higher embedded length. It was concluded that the bond stress increases with the increase in the diameter of the reinforcement bar.



(a)



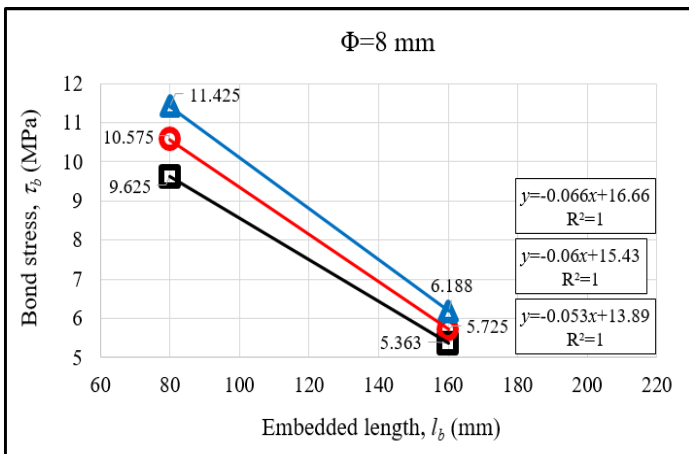
(a)



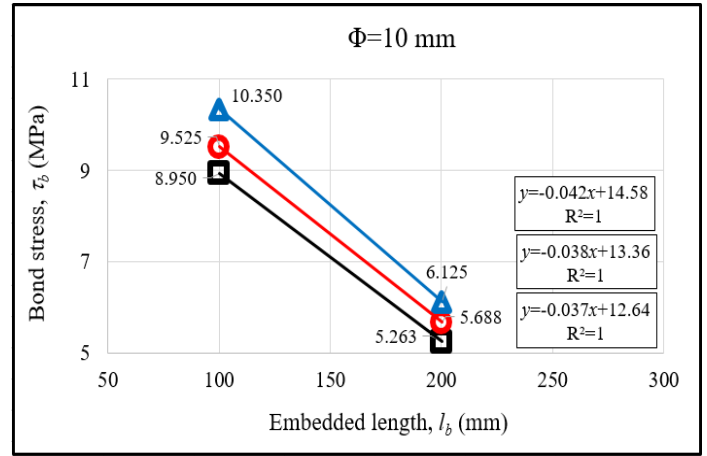
(b)

Figure 10. Change of the bond stress with reinforcement bar diameter: a) for $l_b=10\Phi$, b) for $l_b=20\Phi$.

In Figure 11(a), it was determined that by increasing the reinforcement bar diameter from 8 mm to 10 mm, the bond stress values decreased from approximately 10.54 MPa to 5.76 MPa. In other words, approximately 45.4% decrease in the bond stress was determined. In Figure 11(b), it was determined that by increasing the reinforcement bar diameter from 8 mm to 10 mm, the bond stress values decreased from approximately 9.61 MPa to 5.69 MPa. In other words, approximately 40.8% decrease in the bond stress was determined. The change ratios of the bond stress values in Figure 11(a) are very close to the change ratios of the stress values in the reinforcement in Figure 11(b). This indicates that the bond stress is inversely proportional to the embedded length and there is a similar decreasing trend for higher reinforcement bar diameter. As a result, it was observed that the bond stress decreased significantly with the increase in the embedded length. This decrease ratio was determined close to each other for high reinforcement bar diameter.



(a)



(b)

Figure 11. Change of the bond stress with embedded length: a) for $\Phi=8$ mm, b) for $\Phi=10$ mm.

5. Conclusions and Recommendations

In the present study, the Belgium Hinged Beam test, which is a present test for the investigation of concrete-reinforcement bond properties under bending, has been experimentally investigated for the effect of reinforcement bar diameter and embedded length on both bond stress and stress in the reinforcement. The results of this study are summarized below:

- Since it is aimed to build an earthquake-resistant structure with the production of HPLC, it is thought that this study will benefit the sustainable environment and the national economy.
- In this study, using pumice aggregate in the production of HPLC will contribute to the economy in terms of Turkey having high pumice reserves.
- The stress values in the reinforcement determined in the BHB tests were obtained by breaking the reinforcement bar. This is due to testing relatively low reinforcement bar diameters ($\Phi=8$ and 10 mm).
- In the performed experiments, the maximum value of the stress in the reinforcement was determined as 495 MPa and the minimum value of the stress in the reinforcement as 358 MPa. The maximum value of the bond stress was determined as 11.425 MPa, and the minimum value of the bond stress was determined as 5.263 MPa.
- It has been observed of the stress value in the reinforcement that it decreases with increasing reinforcement bar diameter and increases with increasing embedded length.
- It has been observed of the value of bond stress that it decreases with the increase of both reinforcement bar diameter and embedded length.
- It is recommended that HPLC specimens are subjected to relevant tests for different mix ratios.
- It is recommended to test different embedded lengths and different reinforcement diameters.

Especially in recent times considerably occurrence of damage in the structures because of the severe earthquake in Turkey shows that earthquake-resistant the production of HPLC should be given more importance.

Acknowledge

This study was carried out within the scope of the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK). We gratefully acknowledge the financial support provided by TUBITAK to the Research Project 120M104.

References

- Aitcin, P. C. (1998). High performance concrete. CRC press.
- Al-Khaiat, H and Haque, M. N. (1998). Effect of initial curing on early strength and physical properties of a lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*, 28(6), 859-866.
- Arslan, M. E. and Arslan, T. (2018). Investigation of Development Length and Rebar Diameter Effects on Bond Strength by Using Hinged Beam Test. *Science and Engineering Journal of Firat University*, 30(2), 1-11. (in Turkish).
- Arslan, M. E. and Durmus, A. (2011). Investigation of bond behavior between lightweight aggregate concrete and steel rebar using bending test. *Computers and Concrete*, 8(4), 465-472.
- ASTM C 293, 1994. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading), Annual Book of ASTM Standards.
- Baena, M., Torres, L., Turon, A. and Barris, C. (2009). Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test. *Composites Part B: Engineering*, 40(8), 784-797.
- Benli, A., Türk, K. and Calayır, Y. (2008). Numerical and Experimental Investigation of Bond Strength of Beams Produced from Self-Compacting Concrete. *Science and Engineering Journal of Firat University*, 20(4), 599-607. (in Turkish).
- Beycioğlu, A., Arslan, M. E., Bideci, O. S., Bideci, A., Emiroglu, M. 2015. "Bond behavior of lightweight concretes containing coated pumice aggregate: Hinged beam approach" *Computers and Concrete*, 16(6), 911-920.
- Bingöl, A. and Gül, R. (2009). A Reassessment on the Bond Strength Between Reinforcement and Concrete and the Effect of High Temperatures on the Concrete and on the Bond Between Concrete and Reinforcement. *Turkish Science-Research Foundation*, 2(2), 211-230. (in Turkish).
- BS 4449:2005+A2:2009. Steel for the reinforcement of concrete—Weldable reinforcing steel—Bar, coil and decoiled product.
- Chandra, S. and Berntsson, L. (2003). *Lightweight Aggregate Concrete*. Noyes Publications, USA, 1-430.
- De Larrard, F., Shaller, I. and Fuchs, J. (1993). Effect of the bar diameter on the bond strength of passive reinforcement in high-performance concrete. *Materials Journal*, 90(4), 333-339.
- Diederichs, U. and Schneider, U. (1981). Bond strength at high temperatures. *Magazine of Concrete Research*, 33(115), 75-84.
- Durmuş, A., Dahil, H. and Arslan, M. E. (2006). Comparative Investigation of High Performance Concrete-Reinforcement Adherence. *Turkey Engineering News*, 441. (in Turkish).
- El Zareef, M. (2010). Conceptual and Structural Design of Buildings Made of Lightweight And Infra-Lightweight Concrete. Master of Science. Von der Fakultät VI – Planen Bauen Umwelt der Technischen Universität Berlin.
- Ersoy, U. and Özcebe, G. (2001). Reinforced concrete: basic principles. Calculation According to TS500 and Turkish Earthquake Code. Ankara. (in Turkish).
- Ersoy, U., 1985. Reinforced concrete. Evrim Publishing. (in Turkish).
- Haque, M. N., Al-Khaiat, H. and Kayali, O. (2004). Strength and durability of lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 26(4), 307-314.
- Hoff, G.C., 1990. High-Strength Lightweight Aggregate Concrete. ACI SP(121), 619- 644 p.
- Hossain, K. M. A. (2004). Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. *Cement and concrete research*, 34(2), 283-291.
- Hosseini, S. J. A., Rahman, A. B. A., Osman, M. H., Saim, A. and Adnan, A. (2015). Bond behavior of spirally confined splice of deformed bars in grout. *Construction and Building Materials*, 80, 180-194.
- Ince, R. and Çetin, S. Y. (2019). Effect of grading type of aggregate on fracture parameters of concrete. *Magazine of Concrete Research*, 71(16), 860-868.
- Karatas, M., Turk, K. and Ulucan, Z. C. (2010). Investigation of bond between lap-spliced steel bar and self-compacting concrete: the role of silica fume. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(3), 420-428.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete* (Vol. 4). London: Longman.
- Poon, C. S., Shui, Z. H. and Lam, L. (2004). Compressive behavior of fiber reinforced high-performance concrete subjected to elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 34(12), 2215-2222.
- Saglam, R.N., Tunc, E. T., Demir, T., Ulucan, M. and Alyamac, K.E. (2019). Structural Lightweight Concrete Produced With Perlite Aggregate – A Preliminary Mix Design. *International Civil Engineering and Architecture Conference (ICEARC 2019)*.
- Tanyıldızı, H. and Yazıcıoğlu, S. (2006). Effect of Mineral Admixtures on Bond Strength of Concrete and Reinforcement. *Science and Engineering Journal of Firat University*, 18(3), 351-357. (in Turkish).
- TS 802, 2016. Concrete Mix Calculation Principles. Turkish Standardization Institute (in Turkish).
- TS EN 12390-5, 2002. Hardened Concrete Tests, Chapter 5: Determination of Flexural Strength of Test Samples, Turkish Standards Institute, Ankara. (in Turkish).
- TS EN 197-1, 2002. General cements-Composition, properties and suitability criteria. Turkish Standards Institute, Ankara. (in Turkish).
- TS EN 933-1: 2012. Experiments for the geometric properties of aggregates part 1: Determination of grain size distribution-Sieving method. Turkish Standards Institute, Ankara. (in Turkish).
- Tugrul Tunc, E. (2019). "An Experimental Study Based on the Strength Properties of Concrete Containing Chemical Admixture." *European Journal of Science and Technology*, 17, 901-908.
- Tugrul Tunc, E. (2020). "Determination of Bond Properties in High Performance Lightweight Concrete." Ph. D. thesis, Firat University, Elazığ. (in Turkish).
- Tugrul Tunc, E. and Alyamac, K. E. (2019). "A preliminary estimation method of Los Angeles abrasion value of concrete aggregates." *Construction and Building Materials*, 222, 437-446.

- Tugrul Tunc, E., Alyamaç, K. E. and Ulucan, Z. C. (2020). "A Numerical Approach to Estimate the Tensile Strength of Structural Lightweight Concrete." *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(2), 690-699.
- Tugrul Tunc, E. Alyamac, K. E., Ince, R. and Ulucan, Z. C. (2018). "Investigation of mechanical properties of high-performance lightweight concrete with pumice aggregate." *Engineering Sciences*, 13(4), 344-353.
- Tugrul Tunc, E., Saglam, R. N., Ulucan, M., Demir, T., Ulucan, Z. C. and Alyamac, K. E. (2019). "A Preliminary Mix Design For Structural Lightweight Concrete Produced With LECA." *International Civil Engineering and Architecture Conference (ICEARC 2019)*
- Ulusu, İ., 2007. "Investigation to production of high strength light weight concrete with using raw perlite aggregate." Ph. D. thesis, Atatürk University, Erzurum. (in Turkish).
- Wasserman, R. and Bentur, A. (1996). Interfacial interactions in lightweight aggregate concretes and their influence on the concrete strength. *Cement and Concrete Composites*, 18(1), 67-76.
- Xiao, J. and König, G. (2004). Study on concrete at high temperature in China—an overview. *Fire safety journal*, 39(1), 89-103.



COVID-19 Tracking Applications: A Human-Centric Analysis

Merih Angin¹, Pelin Angin^{2*}

¹ Koc University, Department of International Relations, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0739-798X), mangin@ku.edu.tr

^{2*} Middle East Technical University, Department of Computer Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6419-2043), pangin@ceng.metu.edu.tr

(First received 8 December 2020 and in final form 27 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.837359)

ATIF/REFERENCE: Angin, M., & Angin, P. (2021). COVID-19 Tracking Applications: A Human-Centric Analysis. *European Journal of Science and Technology*, (23), 861-867.

Abstract

The year 2020 will always be remembered with the imprints left by COVID-19 on our lives. While the pandemic has had many undesirable effects for the whole world, one of its biggest side effects has been the fast digital transformation that has taken place, which was already in progress with the Industry 4.0 era. The readily available technology and wireless communications infrastructures paved the way for a myriad of digital technologies for the containment of the disease using mobile contact tracing applications developed by health authority organizations in many countries. The mounting privacy concerns especially with Bluetooth-enabled proximity tracing and centralized tracking technologies used by these applications have given rise to the development of new privacy-preserving contact tracing protocols. Although these new protocols have alleviated the privacy concerns of citizens to a certain extent, widespread adoption is still far from being the reality. In this paper, we analyze existing contact tracing technologies from a human-centric standpoint by focusing on their privacy implications. Based on our comprehensive dataset consisting of the contact tracing application usage information in 94 countries, and the corresponding World Bank's World Governance Indicators (WGI) data on political conditions, as well as World Values Survey (WVS) and European Values Study (EVS) data on confidence in government, we analyze our survey conducted on MTurk: the results demonstrate that privacy concerns are still the leading deterrent for people when deciding whether to use these applications. Nevertheless, it is a globally accepted argument that the most effective and fastest method for contact tracking will be digital technologies free from human errors and manual procedures. Accordingly, it is concluded that a policy of developing decentralized tracking solutions based entirely on user privacy should be followed, in which independent trusted third parties assume the role of authority in the system architecture, if absolutely necessary, in order to effectively combat the pandemic worldwide. An important feature of the systems to be developed to pave the way for widespread use is to provide the users the right to be forgotten.

Keywords: COVID-19, contact tracing, privacy.

COVID-19 Takip Uygulamaları: İnsan Odaklı Bir Analiz

Öz

2020 yılı, COVID-19'un hayatımızda bıraktığı izlerle her zaman hatırlanacaktır. Pandeminin tüm dünyada istenmeyen birçok etkisi olurken, en büyük yan etkilerinden biri Endüstri 4.0 çağıyla birlikte halihazırda devam eden dijital dönüşümün hızlanması olmuştur. Kullanıma hazır teknoloji ve kablosuz iletişim altyapıları, birçok ülkede sağlık otoritesi kuruluşları tarafından geliştirilen mobil temaslı takip uygulamalarını kullanarak hastalığın kontrol altına alınması için sayısız dijital teknolojinin önünü açmıştır. Özellikle Bluetooth tabanlı yakınlık takibi ve temaslı takip uygulamaları tarafından kullanılan merkezi izleme teknolojileri nedeniyle artan mahremiyet endişeleri, gizliliği koruyan yeni temaslı takip protokollerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu yeni protokoller, vatandaşların mahremiyet kaygılarını bir dereceye kadar hafifletmiş olsa da, yaygın olarak benimsenmeleri hala gerçeklik olmaktan

* Corresponding Author: pangin@ceng.metu.edu.tr

uzaktır. Bu çalışma, mevcut temaslı takip teknolojilerini, gizlilik etkilerine odaklanarak insan merkezli bir bakış açısından analiz etmektedir. 94 ülkedeki temas izleme uygulaması kullanım bilgileri ve ilgili Dünya Bankası'nın siyasi koşullara ilişkin World Governance Indicators (WGI) verilerinin yanı sıra World Values Survey (WVS) ve European Values Study'nin (EVS) hükümete güven üzerine verilerinden oluşan kapsamlı veri setimize dayanarak MTürk'te yaptığımız anketi analiz etmekte; sonuçlar gizlilik endişelerinin, bu uygulamaları kullanıp kullanmamaya karar verirken insanlar için hala önde gelen caydırıcı unsur olduğunu göstermektedir. Bununla beraber, temaslı takibi için en etkin ve hızlı yöntemin yine insan hatalarından ve manuel prosedürlerden uzak dijital teknolojiler olacağı dünya genelinde kabul gören bir argümandır. Bu bağlamda tüm dünyada pandemiyle etkin mücadele için mutlaka gerekliyse bağımsız güvenilir üçüncü tarafların sistem mimarisinde yetkili rolünü üstlendiği, tamamen kullanıcı gizliliği üzerine dayalı, merkezi olmayan takip çözümlerinin geliştirilmesi politikası izlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Yaygın kullanımın önünü açmak için geliştirilecek sistemlerin sahip olması gereken önemli bir özellik de, kullanıcılara sistem tarafından unutulma hakkını sağlaması olacaktır.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, temaslı takibi, mahremiyet.

1. Introduction

2020 will undoubtedly go down in history as the year when one of the world's fiercest epidemics erupted. If there is one clear lesson the COVID-19 pandemic has taught the humankind, that must be the significance of information sharing. The epidemic that started spreading from China could have been eradicated had there been more transparency both at the domestic and international level. As the virus continued to spread fast, the stringency of the precautions also intensified: many countries closed their borders, stopped domestic and international flights and declared a state of emergency. Although computer models for estimating the spread of the pandemic were successful (Sevli and Başer, 2020), countries were not as successful in their fight against the pandemic. A common measure taken by more than a hundred countries was the release of digital COVID-19 tracking applications. While COVID-19 tracking applications can focus on a variety of tasks, their most popular use is in the field of contact tracing, which is a surveillance strategy utilized to prevent the spread of an infectious disease (Osman et al., 2020).

At a high level, contact tracing applications aim to create digital records of the interactions between people who have been in close proximity to each other in order to alert them about potential infection risks and/or retroactively warn them about contact with people who were later diagnosed with the infection. While worldwide digital transformation will continue to create opportunities for more effective contact tracing than humans alone can achieve using manual techniques (Whitelaw et al., 2020), the security and privacy risks associated with the underlying technologies have already caused a divergence between people taking a "privacy-first" vs "data-first" view (Fahey and Hino, 2020; Sabat et al., 2020). Major concerns associated with the applications include privacy violations by eavesdroppers, contacts and authorities (Cho et al., 2020) in addition to other ethical and legal concerns (Gasser et al., 2020), as well as accuracy problems that could lead to many false positives or false negatives (Sweeney, 2020). In actual fact, the concerns regarding ethical governance of the digital transformation extend beyond the pandemic, deterring people from utilizing the contact tracing applications with the fear that the gathered data may be used against them even after the pandemic ends (Taddeo, 2020). This adds to the ethical dilemma between making application download voluntary (Klar and Lanzerath, 2020) vs mandatory for increased efficacy. Adaptive governance will be an important aspect for governments to take

into consideration in order to increase social acceptability of the applications (Blasimme and Vayena, 2020).

The effectiveness of COVID-19 tracking applications will not only depend on the accuracy of proximity estimation and how advanced the utilized technologies are, but also on the social acceptability of the applications (Georgieva et al., 2020). Aware of the fact that utilization rates of digital contact tracing applications will largely depend on people's sentiments regarding these applications, a number of country-level studies have been conducted in various countries including India (Garg et al., 2020), Republic of Ireland (O'Callaghan et al., 2020), Poland (Wnuk et al., 2020), Belgium (Walrave et al., 2020), Australia and Singapore (Wollongong and Michael, 2020; Goggin, 2020). However, with a diverse sample of respondents not limited to a particular region or country, researchers can detect patterns in responses that are not affected by country characteristics.

In this paper we provide a human-centric analysis of COVID-19 tracking applications by first discussing the various underlying proximity tracing technologies they utilize and their privacy issues, followed by a multinational survey on people's sentiments regarding COVID-19 tracking applications. The remainder of this paper is organized as follows: In Section 2, we provide technical background on the different technologies used for COVID-19 proximity tracing, describe our extensive dataset of worldwide pandemic tracking applications and the design of the survey we have conducted regarding people's sentiments about these applications. Section 3 discusses our findings about the acceptance of pandemic tracking applications and Section 4 concludes the paper with recommendations on what the tracking technologies need to focus on for wider adoption.

2. Material and Method

2.1. COVID-19 Tracking Technologies

In this section we provide an overview of the main technologies used in COVID-19 contact tracing applications. Although the used technologies and tracking protocols may have variances in different tracking applications, the general working principle is similar in all. Based on the system architecture, we can categorize the applications as centralized vs decentralized (Ahmed et al., 2020). In a centralized tracking system, users register their devices with a central authorized server, which creates a temporary identifier for the device, encrypted with a secret key generated by the central server and communicated to the device. Users of the application exchange the generated

identifiers when they are within a certain proximity of each other. The users are notified of the risk when they are close to a disease carrier by passing the exchanged identifiers to the central server, which has global knowledge of the infected users. Depending on the laws and regulations in place, the use of the application by infected individuals can be voluntary or mandatory, achieving a more effective global knowledge base in the latter case.

On the other hand, in a decentralized tracking system, the main functionality of the system is moved to user devices rather than a central server. This architecture obviates the need for registration with a central authority and uses randomly generated, timestamped privacy-preserving pseudonyms instead of the real identities of the users, which are exchanged with other devices in close contact. Infected users may also upload their random seeds to a central server, in which case the central server acts like a meeting point that does not know the identities of the infected individuals, but just acts as a relay for other devices to check whether they have been in close proximity of infected users.

The central element of any pandemic tracking application is a module that is capable of tracing the proximity of individuals using the application in order to alert other users and/or the state about the presence of a disease carrier within a certain distance. At a high level, these proximity tracing technologies can be categorized as geolocation/GPS-based technologies vs. Bluetooth-enabled tracking technologies and its variants. While early contact tracing applications relied mainly on GPS-based and simple Bluetooth-based tracking or a combination of the two, mounting privacy concerns during the pandemic led to the development of new privacy-preserving proximity tracing protocols including DP3T (Decentralized Privacy-Preserving Proximity Tracing), PEPP-PT (Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing), Google/Apple Exposure Notification project among others.

2.1.1. Geolocation/GPS

GPS-based tracking has been a popular means of locating individuals in a variety of applications with increasing accuracy in the past decade. While GPS-based tracking enables identifying the whereabouts of an application user within a certain error margin in outdoor locations, its effectiveness is much more limited in indoor locations, making it fail in the highly accurate proximity tracing tasks required by COVID-19 tracking applications. Another major problem with GPS-based tracking in the context of COVID-19 is the privacy concerns arising from the transfer of the absolute geolocation of individuals to a central server in the case of a centralized application architecture.

2.1.2. Bluetooth

The Bluetooth technology has been supported by mobile devices for a long while, dating back to times before the introduction of smartphones. Proximity estimation using Bluetooth on modern mobile devices is achieved by capturing the Received Signal Strength Indicator (RSSI) values (Liu et al., 2014) of wireless signals emitted by the devices, as the attenuation of signals increases with increasing distance enabling approximate distance calculations. As these signals can be greatly affected by the presence of other objects in the environment, Bluetooth-based proximity tracing by itself does not offer a bullet-proof solution and may need to be used in

combination with other technologies like GPS to achieve more accurate results. Most modern devices utilize a low power mode of Bluetooth communication, which is called Bluetooth Low Energy (BLE) to prevent fast battery drainage. In its simplest form, BLE communication is vulnerable to various attacks on privacy. In an effort to alleviate privacy issues, security researchers have created a variety of protocols during the pandemic, relying mainly on BLE, but enhancing the privacy of data exchanges and storage. The most commonly used protocols among these are explained below.

2.1.3. PEPP-PT (Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing)

Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing (PEPP-PT)[†] is an open protocol that uses BLE for discovery of users within the proximity of an application user, reports contact logs to a central server and notifies application users of possible contact with infected individuals. Users are authenticated during registration to the system in order to prevent creation of multiple fake accounts. However, instead of relying on personally identifiable information (PII), the protocol utilizes 128-bit pseudorandom IDs issued by the server, which are activated upon solving a proof-of-work (PoW) puzzle as in many blockchain systems (Aydar and Çetin, 2020) and a CAPTCHA on the application. The communication between user devices within close proximity takes place as follows: Temporary time-sensitive identifiers are created for each device by the central server, which utilizes a global temporary secret key to encrypt the users' pseudorandom IDs. These encrypted identifiers are exchanged between user devices upon close contact.

While the centralized architecture of PEPP-PT has been widely criticized especially by security researchers for privacy compromise, causing the abandonment of the protocol at large, verification by health authorities is an aspect that enhances the reliability of the system.

2.1.4. DP3T (Decentralized Privacy-Preserving Proximity Tracing)

Decentralized Privacy-Preserving Proximity Tracing (DP3T) (Troncoso et al., 2020) is another BLE-based protocol for proximity tracing, which mainly differs from PEPP-PT in that it does not involve processing contact logs at a central server. Instead, infection reports are processed on the user devices themselves, which provides privacy benefits over PEPP-PT. In DP3T, 16-byte Ephemeral IDs that uniquely identify users are exchanged between devices upon encounter and stored in the contact log of each device. Infection cases are reported to a central server and devices collect these reports from the server to check whether the Ephemeral IDs in their contact log appear in the report. By delegating the contact log processing process to user devices, DP3T achieves enhanced privacy when compared to the much-criticized PEPP-PT, at the expense of high battery usage and computation cost on the devices.

2.1.5. Google/Apple Exposure Notification

The Google/Apple Exposure Notification (GAEN) framework is a decentralized contact tracing protocol developed jointly by Apple and Google (Michael and Abbas, 2020), which also relies on BLE, but is implemented at the operating system

[†] <https://github.com/pepp-pt>

level to achieve increased efficiency by running as a background process. Tracking messages exchanged between devices in the framework contain unique IDs that change frequently, encrypted with the daily secret key of the sending device. Messages received by a device are stored for 14 days on the device and upon testing positive, a user can upload their daily encryption keys to a central server, from which they are disseminated to the whole network. GAEN is similar to DP3T in terms of privacy properties, however its availability is limited to countries where the two companies have enabled the API for use.

2.2. COVID-19 Tracking Applications

Since the start of the COVID-19 pandemic, many digital contact tracing applications have been developed worldwide, where most are controlled by states and some by local authorities. Martin et al. (2020) have composed a list of applications that have been deployed in Europe. However, the situation could vary widely in the world due to cultural, political and developmental differences as well as the level of access to

technology. In an effort to provide an extensive resource on the adoption of COVID-19 contact tracing applications in the world, we have created a dataset that provides a detailed account of applications, download numbers, COVID-19 related figures such as COVID caused deaths, number of state-controlled applications and private applications, mobile cellular subscriptions etc. We merged our dataset with the World Bank's World Governance Indicators (WGI) data on political conditions in these countries such as regulatory quality, rule of law, government effectiveness and voice and accountability, as well as World Values Survey (WVS) and European Values Study (EVS) data on confidence in government. To our knowledge, our dataset is the most detailed source available, including information on 94 countries, and it is being updated regularly. Table 1 provides an excerpt from our dataset, with the first 5 rows showing data on countries which have the highest number of COVID-19 application downloads per capita, and the remaining rows showing data on countries which have the lowest number of COVID-19 application downloads per capita.

Table 1. Excerpt from worldwide COVID-19 tracking applications dataset

Country name	App download per capita	# of State Controlled Apps	App download compulsory or not	# of State Controlled App Downloads	# of Private Apps	Mobile cellular subscriptions (per 100 people)	WGI Rule of Law
Qatar	0.359495369	1	yes	1000000	0	141.86	0.73
Brunei Darussalam	0.230794973	1	yes	100000	0	131.93	0.63
Iceland	0.141755098	1	no	100000	0	126.14	1.72
Israel	0.135092538	1	no	1000000	2	127.66	0.99
Bhutan	0.132356256	2	yes	105000	0	93.26	0.55
South Africa	1.73071E-06	1	.	500000	.	159.93	-0.10
Ghana	1.67971E-05	1	.	5000	0	137.52	0.07
Uzbekistan	3.0344E-05	1	No	5000	0	71.52	-1.07
Sri Lanka	4.61467E-05	.	No	10000	1	142.65	0.03
Philippines	4.68815E-05	1	.	100000	1	126.20	-0.48

Procedure:

2.3. Survey on Sentiments Regarding COVID-19 Tracking Technologies

In order to understand the sentiments of people from different countries regarding COVID-19 tracking applications as well as the reasons behind their preferences when using or not using an application, we have conducted a survey study on Amazon's Mechanical Turk[‡] crowdsourcing platform. Below we describe our survey method and measures.

2.3.1. Method

Participants: Survey respondents were recruited through Amazon's Mechanical Turk (MTurk), with no specified restrictions of residency, giving us a global sample. The participant identities are completely anonymous, as MTurk does not provide identity information.

To determine opinions on COVID-19 tracking applications, MTurk respondents interested in the study completed a 7-question survey via Qualtrics. The first 6 questions appeared on the first page, and each of these questions were mandatory to be answered in order to see the next page. For respondents selecting "yes" for question 6 that asked "Have you downloaded the COVID-19 Tracking App(s) available in your country of residence?", the externally-linked survey was programmed to ask "What are the reasons that led you to download the app (Please select all that apply):". Respondents who selected "no" for question 6 received the following question instead: "What are the reasons that led you NOT to download the app (Please select all that apply):".

The estimated time to complete the survey was 2 minutes. Upon successful completion of the survey respondents received \$0.25. We determined this amount according to the minimum hourly wage in the US, which is \$7.25 per hour. Since the reward was well above the average hourly wage for tasks performed on MTurk, our survey was completed fully on the day

[‡] <https://www.mturk.com/>

it was published. This way we are able to control for any exogenous shocks that could affect the responses.

2.3.2. Measures

Demographic questions:

The survey asked participants to give basic demographic information about their age, gender and education level. We expected each of these 3 variables to have some explanatory power on the decision to download the COVID-19 tracking applications.

Living conditions questions:

Next the survey asked the respondents whether they lived alone. For the purposes of this study, it was important to assess the respondents' level of contact with their surroundings, specifically whether they were living alone at the time of the study, which may explain the underlying reason for not downloading COVID-19 tracking applications. In this regard, the following question was asked: "How often have you gone out of your house on average since the beginning of the pandemic?". We expected respondents who go out more often to be more willing to download COVID-19 tracking applications.

Opinions on COVID-19 tracking applications:

The sixth question of the survey asked the respondents to answer whether they downloaded a COVID-19 tracking application or not. For those who said "yes", the following not-mutually-exclusive options were given to explain the reason that led them to download the application:

- Concern about being in close proximity to COVID-19 carriers
- It was enforced by the government
- Out of curiosity
- I carry/carried COVID-19 and wanted to avoid spreading the virus
- Other reasons

To the respondents who said "no", the following not-mutually-exclusive options were given to explain the reason that led them not to download the application:

- I don't trust the government with my personal data
- I don't want to share such personal data due to privacy concerns
- The app might have cyber security vulnerabilities
- The app drains the phone battery
- I carry/carried COVID-19, and didn't want to be spotted in the app
- I don't think it is useful
- I didn't know such an app existed in my country
- Such an awareness would cause stress for me
- Others

3. Results and Discussion

309 respondents submitted their surveys on November 22, 2020, which is also the date of the survey's publication on MTurk. Of these participants, 21.04% were aged between 18-25, e-ISSN: 2148-2683

32.09% were between 26-35, 16.50% were between 36-45, 21.68% were aged between 46-60 and 8.09% were over 61 years old. Like most surveys conducted on MTurk, our respondents mostly had a college/university degree (63.11%). Only 1.94% of the respondents had a middle school degree, while 8.41% had a high school degree.

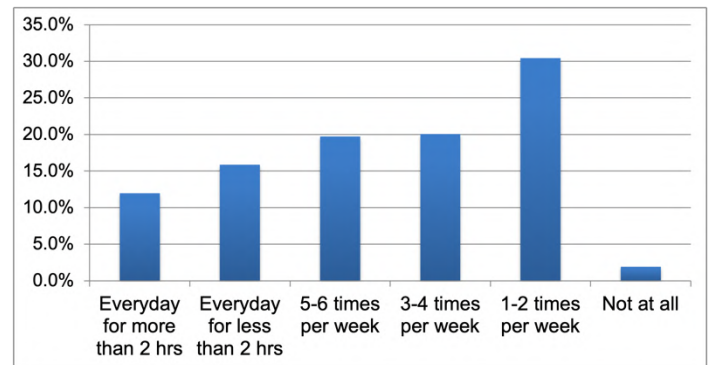


Figure 1. Responses to question 5

For the question asking if the participant lives alone, 48.22% of the respondents said "yes", and 51.78% said "no". Figure 1 graphs the distribution (in percentage) of the participant's response to the question asking: "How often have you gone out of your house on average since the beginning of the pandemic?"

For question 6, asking if the respondent has downloaded the COVID-19 tracking app(s) available in his/her country of residence, 23.30% said "no". Figure 2 shows the distribution (in percentage) of the reasons for downloading the application(s), selected by the respondents who answered "yes".

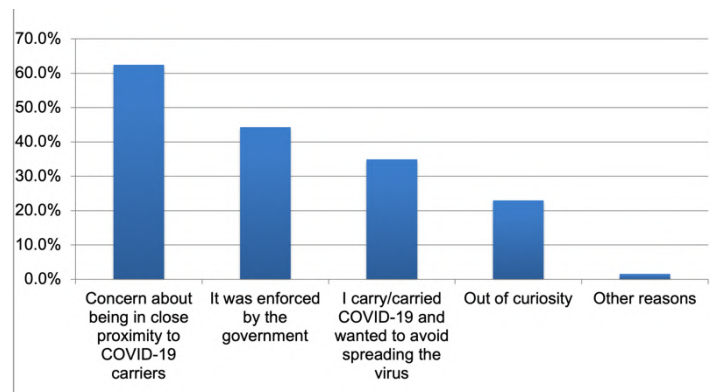


Figure 2. Responses of the participants who said "yes" to question 6

37.55% of the respondents downloaded an application because they were concerned about being in close proximity to COVID-19 carriers, and 26.65% of the respondents downloaded because it was enforced by their government. This is an important finding, since only 8.5% percent of the countries in our dataset enforce application downloads. 21.01% of the respondents downloaded an application due to carrying COVID-19 and thus wanting to avoid spreading the virus. 13.81% of the respondents downloaded an application out of curiosity. Only 0.97% indicated other reasons, which are listed below:

"I think everyone should feel more responsible and more concerned about what is going on."

"Common sense"

“It was requested by the South African government and was explained in the general media as safe and helpful against the fight against Covid-19.”

“to know severity of covid-19”

Figure 3 graphs the distribution (in percentage) of the reasons for not downloading the application(s), selected by the respondents who answered “no”.

The most common concern about COVID-19 tracking applications appears to be that of privacy: 20.12% of the respondents indicated that they do not want to share such personal data. 17.16% of the respondents do not trust their government with their personal data, and 14.20% believe the application might have cyber security vulnerabilities. 13.61% of the respondents were simply not aware of the existence of COVID-19 tracking application(s) in their country, and another 13.61% of the respondents do not find the applications useful. Although only a small percentage, a concerning 4.73% of the respondents indicated that they did not download the application because they carried COVID-19, and did not want to be spotted in the application. If these respondents did not pay much heed to taking other necessary precautions to contain the virus, they must have infected their surroundings. It also appears that some people simply do not want to know about the COVID-19 carriers in close proximity: 6.51% of the respondents think that such an awareness would cause stress for them. 7.1% underlined the application draining their phone’s battery as a reason for not downloading it. Only 2.96% indicated other reasons, which are listed below:

“In Italy it doesn’t work very well.”

“Due to Trump, his Administration and Republican’s misinformation I don’t think this app would be that much helpful for now...,”

“I might have problems as I work with many people”

“I don’t know how accurate the data is.”

“Phone memory full.”

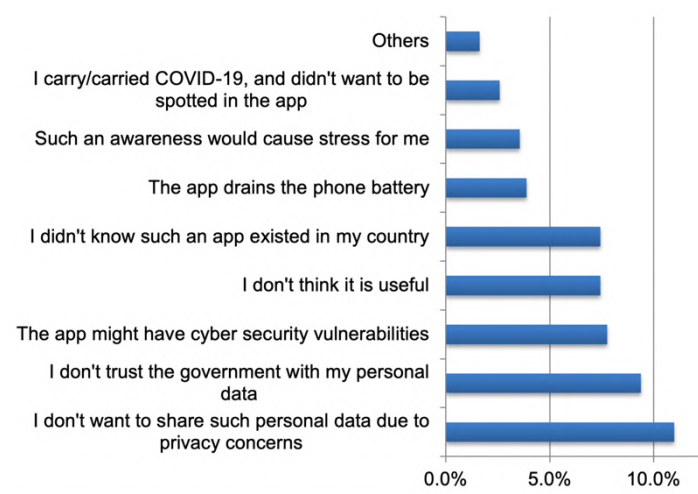


Figure 3. Responses of the participants who said “no” to question 6

Since the purpose of this study is not statistical inference from a large-N study, we do not employ statistical regression on our sample, we instead visualize the distribution of responses in

different demographic groups. Figure 4 shows the distribution of age groups based on their responses to question 6.

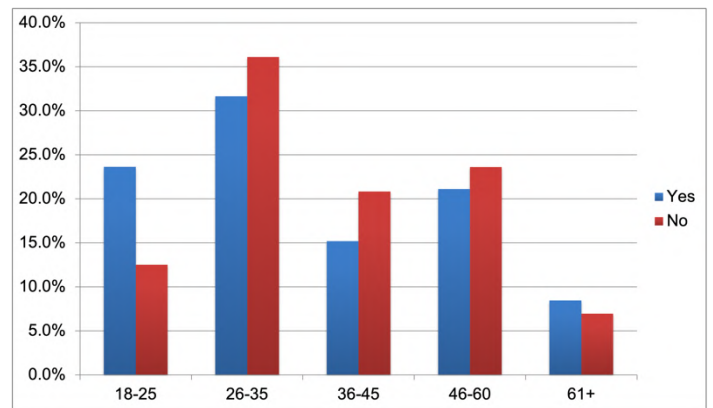


Figure 4. Distribution of age groups based on their responses to question 6

Figure 5 shows the distribution of different education level groups based on their responses to question 6.

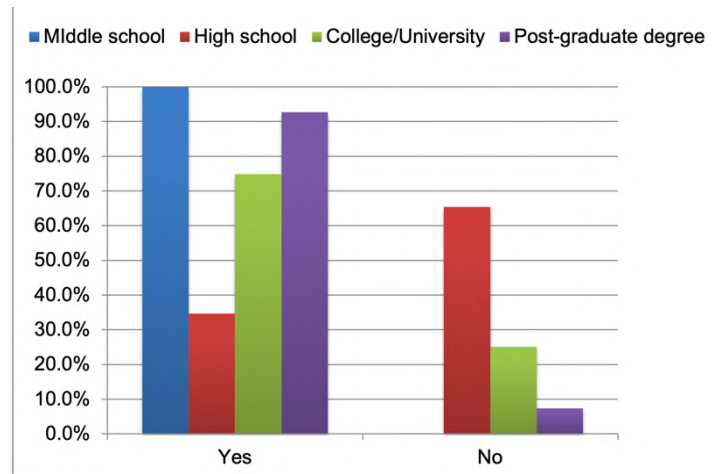


Figure 5. Distribution of different education level groups based on their responses to question 6

Apart from a negligible 0.94% of the respondents in the first category of education level, we do observe an increasing trend in application downloads as the education level goes up.

4. Conclusions and Recommendations

History has taught us the importance of exchange of knowledge in fighting epidemics. The most significant difference between the precautions taken against the 1918 Spanish flu pandemic and the fight against the Coronavirus today should be the usage of advanced technologies such as COVID-19 tracing applications. However, technological advancement can only be useful if it is indeed used by the mass population, which has not been the case with COVID-19 contact tracing applications. Our study demonstrates that people who do not download these applications are mostly those with privacy concerns, and those who do not trust their government with their personal data. This finding opens up a new avenue of research on the evolution of state-citizen relationship, which we aim to explore with our novel dataset that we also utilized in this study. Trust in government is a key aspect in this regard. Since trust cannot be established straightforwardly, alternative measures to remedy the lack of trust in the system could be developed as a solution. An independent international organization, such as

World Health Organization could be a potential hub for collecting data. Societies that historically have had a low level of trust in institutions may not benefit from the same policy instruments used in countries with a higher level of trust in the system. People living in countries with a lower score of rule of law, regulatory quality, government effectiveness and accountability may refrain from sharing their personal data regardless of the technology used to ensure cyber security vulnerabilities. In such cases, a third party that is not only considered as a neutral body, but also has a certain degree of credibility could fill the void. Nevertheless, these trusted third parties will also vary from country to country. Therefore, the development of technologies in this context should take the country characteristics into account.

When decentralized system architectures are considered, use of blockchain seems like an effective solution for contact tracing, and has been proposed by many researchers. In the case of blockchain technology, one potential issue to tackle would be *the right to be forgotten*. The General Data Protection Regulation (GDPR) gives the European Union residents the right to ask organizations to delete their personal data, however, blockchains provide immutable histories of transactions that have taken place in their lifetime. The right to be forgotten is an important aspect for the widespread adoption of contact tracing applications, as the data stored is sensitive, and a permanent record could be a major deterrent for potential users of the application. In conclusion, it is vital to create tailor-made policies rather than a one-size-fits-all approach for effective and socially acceptable contact tracing.

References

- Abbas, R. & Michael, K. (2020). COVID-19 contact trace app deployments: learnings from Australia and Singapore. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 9(5). 65-70.
- Ahmed, N., Michelin, R. A., Xue, W., Ruj, S., Malaney, R., Kanhere, S. S., ... Jha, S. K. (2020). A survey of Covid-19 contact tracking apps. *IEEE Access*, 8, 134577-134601.
- Aydar, M. & Çetin, S. C. (2020). Blokzincir Teknolojisinin Sağlık Bilgi Sistemlerinde Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 533-538.
- Blasimme, A. & Vayena, E. (2020). What's next for COVID-19 apps? Governance and oversight. *Science*, 370(6518), 760-762.
- Cho, H., Ippolito, D. & Yu, Y. W. (2020). Contact tracing mobile apps for Covid-19: Privacy considerations and related trade-offs. *arXiv:2003.11511v2* [cs.CR]
- Fahey, R. A. & Hino, Airo. (2020). Covid-19, digital privacy, and the social limits on data-focused public health responses. *International Journal of Information Management*, 55, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102181>
- Garg, S., Bhatnagar, N. & Gangadharan, N. (2020). A case for participatory disease surveillance of the Covid-19 pandemic in India. *JMIR Public Health and Surveillance*, 6(2), doi:10.2196/18795
- Gasser, U., Ienca, M., Scheibner, J., Sleigh, J. & Vayena, E. (2020). Digital tools against COVID-19: Framing the ethical challenges and how to address them. *Health Policy*, 2(8), e425-e434.
- Georgieva, I., Beaunoyer, E. & Guitton, M. J. (2020). Ensuring social acceptability of technological tracking in the Covid-19 context. *Computers in Human Behavior*, 116, 1-8.
- Goggin, G. (2020). COVID-19 apps in Singapore and Australia: reimagining healthy nations with digital technology. *Media International Australia*, 177(1), 61-75.
- Hargittai, E., Redmiles, E. M., Vitak, J. & Zimmer, M. (2020). Americans' willingness to adopt a COVID-19 tracking app: The role of app distributor. *First Monday*, 24(11), <https://dx.doi.org/10.5210/fm.v25i11.11095>.
- Klar, R. & Lanzerath, D. (2020). The ethics of COVID-19 tracking apps- challenges and voluntariness. *Research Ethics*, 16(3-4), 1-9.
- Liu, S., Jiang, Y. & Striegel, A. (2014). Face-to-face proximity estimation using Bluetooth on smartphones. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 13(4), 811-823.
- Martin, T., Karopoulos, G., Hernández-Ramos, J. L., Kambourakis, G. & Fovino, I. N. (2020). Demystifying COVID-19 digital contact tracing: A survey on frameworks and mobile apps. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, 1-29.
- Michael, K. & Abbas, R. (2020). Behind COVID-19 contact trace apps: the Google-Apple partnership. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 9(5). 71-76.
- O'Callaghan, M.E., Buckley, J., Fitzgerald, B., Johnson, K., Laffey, J., McNicholas, B., ... Glynn, L. (2020). A national survey of attitudes to COVID-19 digital contact tracing in the Republic of Ireland. *Irish Journal of Medical Science*, <https://doi.org/10.1007/s11845-020-02389-y>
- Osman, M., Fenton, N. E., McLachlan, S., Lucas, P., Dube, K., Hitman, G. A., ... Neil, M. The thorny problems of Covid-19 contact tracing apps: The need for a holistic approach. *Journal of Behavioral Economics for Policy*, 4, 43-59.
- Sabat, I., Neuman-Böhme, S., Varghese, N. E., Barros, P. P., Brouwer, W., Van Exel, J., ... Stargardt, T. United but divided: Policy responses and people's perceptions in the EU during the COVID-19 outbreak. *Health Policy*, 124(9), 909-918.
- Sevli, O. & Başer, V. G. (2020). Covid-19 Salgınına Yönelik Zaman Serisi Verileri ile Prophet Model Kullanarak Makine Öğrenmesi Temelli Vaka Tahminlemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 827-835.
- Sweeney, Y. (2020). Tracking the debate on COVID-19 surveillance tools. *Nature Machine Intelligence*, 2, 301-304.
- Taddeo, M. (2020). The ethical governance of the digital during and after the COVID-19 pandemic. *Minds and Machines*, 30, 171-176.
- Troncoso, C., Payer, M., Hubaux, J.-P., Salathe, M., Larus, J., Bugnion, E., ... Pereira, J. (2020). Decentralized privacy-preserving proximity tracing. *arXiv:2005.12273* (cs.CR).
- Urbaczewski, A. & Lee, Y. J. (2020). Information technology and the pandemic: a preliminary multinational analysis of the impact of mobile tracking technology on the COVID-19 contagion control. *European Journal of Information Systems*, 29(4), 405-414.
- Walrave, M., Waeterloos, C. & Ponnet, K. (2020). Adoption of a contact tracing app for containing COVID-19: A health belief model approach. *JMIR Public Health and Surveillance*, 6(3), 1-10.
- Whitelaw, S., Mamas, M. A., Topol, E. & Van Spall, H. G. C. (2020). Applications of digital technology in COVID-19 pandemic planning and response. *Lancet Digital Health*, 2, e435-e440.
- Wnuk, A., Olesky, T., Maison, D. (2020). The acceptance of Covid-19 tracking technologies: The role of perceived threat, lack of control, and ideological beliefs. *PLoS ONE*, 15(9), 1-16.



Patent Değerlendirme Sürecinde Doğrudan ve Dolaylı Göstergelerin Belirlenmesi ve Bir İklimlendirme Firmasında Uygulanması

Selahattin Bal^{1*}, Tuğrul Taşçı²

^{1*} Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5459-9691), selahattinbal96@gmail.com

² Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3820-6453), tasci@sakarya.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 15 Aralık 2021 ve Kabul Tarihi 27 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.839969)

ATIF/REFERENCE: Bal, S. & Taşçı, T. (2021). Patent Değerlendirme Sürecinde Doğrudan ve Dolaylı Göstergelerin Belirlenmesi ve Bir İklimlendirme Firmasında Uygulanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 868-874.

Öz

Bilgi çağının hızla büyümesi nedeniyle işletmeler için Fikri ve Sınai hakların önemi hızla artmıştır. Günümüzde özellikle ARGE merkezleri bünyesinde geliştirilen yeni ve teknolojik ürünlerin korunması ve gelişim sürecinde Fikri ve Sınai haklar büyük bir öneme sahiptir. Fikri haklar bünyesinde telif hakları korunurken Sınai haklar alanında Patent, Faydalı model, Marka ve Tasarımı kapsamaktadır. Patentini oluşturan temel unsur buluştur. Buluşu oluşturan en önemli unsur ise teknolojik alanda yapılan yenilik ya da problemin çözümünü içermesidir. Bu kapsamda oluşturulan fikri ve sınai haklar şirketlerin büyümesinde ve karlılık oranlarının artmasında büyük bir role sahiptir. Şirketlerin sahip oldukları entelektüel varlıkları (Fikri ve Sınai hakları) aktif ve verimli bir şekilde katma değer üretme yarışına girmişlerdir. Patent değerinin belirlenmesi için kullanılan patent değerlendirme sürecine girdi sağlayacak patentin değerlendirme işleminin yapılması gerekmektedir. Bu buluşun haklarının transfer edilebilir ve tek başına gelir getirebilir olması gerekmektedir. Buluş haklarının buluş sahiplerine bildirim mutlakta yapılmalıdır. Başvuru süreci tamamlanan ve tescillenen patentin değeri ölçülürken mutlaka değerlendirme zamanının tanımlanması gerekmektedir. Bir varlığın değeri ifade edilirken, gelecekte getireceği faydanın değişkenliğine göre belirlenmektedir. Patent değeri ölçülürken oluşturduğu/oluşturabileceği parasal değer tespit edilmesi süreci olarak tanımlanabilir. Patent teknolojik durumu, hukuki durumu ve Pazar durumunu kapsayacak şekilde üç ana unsur çerçevesinde değerlendirme işlemleri yürütülmektedir. Bahsedilen üç ana unsura girdi sağlayacak ana göstergelerin belirlenmesi ve iyileştirilmesi adına araştırmalar yapılmıştır. Patent değerinin ölçülmesinde temel faktörlerin ortaya konulması ve bu göstergelerin aldığı değer sonucunda patentin değerinin puanlanması üzerine çalışma yapılmıştır. Göstergelerin hangi başlıklardan oluşması gerektiği, bu göstergelerin hangi alt başlıklar altında oluşması gerektiği bir iklimlendirme firmasında uygulanmış ve belirlenen yeni göstergelerin sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patent, Buluş, Ar-Ge, Teknoloji, Patent Değerlendirme, Göstergeler.

Determining Direct and Indirect Indicators in the Patent Valuation Process and Application Over an Air Conditioning Company

Abstract

Due to the rapid growth of the information age, the importance of Intellectual Property rights for businesses has increased rapidly. Intellectual and Industrial Rights are of great importance in the protection and development process of new and technological products developed within R&D centers. While copyrights are protected within the scope of Intellectual Property rights, it includes Patent, Utility model, Trademark and Design in the field of industrial rights. The basic element that makes up the patent is the invention. The most important element that makes up the invention is that it includes the solution of the innovation or problem made in the technological field. The intellectual and industrial rights created in this context play a major role in the growth of companies and increasing their profitability. The intellectual assets (intellectual and industrial rights) owned by the companies have entered the race to create added value actively and efficiently. The patent evaluation process that will provide input to the patent valuation process used to determine the patent value must be carried out. The rights of this invention must be transferable and stand-alone income-generating. The inventors must be notified of the invention rights. While measuring the value of the patent whose application process has been completed and registered, the valuation time must be defined. While expressing the value of an asset, it is determined according to the variability of its future benefit. It can be defined as the process of determining the monetary value that a patent

* Sorumlu Yazar: selahattinbal96@gmail.com

creates / can create while measuring the value of the patent. Valuation procedures are carried out within the framework of three main elements, including the technological status, legal status, and market status of the patent. Studies have been conducted to identify and improve the main indicators that will provide input to the three main elements mentioned. A study has been conducted on revealing the basic factors in measuring the patent value and scoring the value of the patent as a result of the value these indicators take. The titles that the indicators should consist of, and under which sub-headings these indicators should be formed were applied in an air conditioning company and the results of the new indicators determined were evaluated.

Keywords: Patents, Invention, R&D, Technology, Patent Evaluation, Indicators.

1. Giriş

Küresel ekonomide maddi olmayan varlıkların önemi hızla artmaktadır. Bu noktada teknolojik gelişmelerin hızla artması, işletmelerin birbirini kopyalamasını oldukça kolay bir hale getirmiştir. Teknik geliştirmeler sağlayan buluş sahiplerini üçüncü kişilere karşı korumak adına patent kavramına yönelmiştir. Patent koruma fonksiyonu sadece teknik bir koruma olmasının yanı sıra işletmeler açısından değer yaratma fonksiyonuna sahiptir. Bu fonksiyonun belirlenmesinde rol oynayan doğrudan ve dolaylı olan göstergeler aracılığı ile patent değerinin tespiti yapılmaktadır. (Çağlayansudur, 2014)

Fikri mülkiyet hakları (Patent, Faydalı Model, Tasarım Tescili) birçok iş alanında kilit bir nokta olabilmektedir. (Wirtz, 2012) değerlendirme alanında ilk yapılan çalışma Marka temelli olmuştur. Bu alanda yapılan çalışmalar incelenerek sınıai haklar altında yer alan patent hakları için değerlendirme çalışması yapılmıştır. (Chiu & Chen, 2007) Bu çalışmanın amacı, literatürde yer alan ve günümüzde yaygın olarak kullanılan entelektüel sermayenin analiz edilerek değerlendirme kriterlerinin ortaya konmasıdır. (Aslanoglu & Zor, 2006).

2. Materyal ve Metot

2.1. Patent Kavramı

Patent sözcüğü Latince “açık bırakmak” anlamına gelen “Pateden” kelimesinden türetilmiştir. Patentlenebilirlik kriterlerine uygun bir yapıyı taşıyan buluş Patent olarak ifade edilmektedir. Patent, sınırlı bir süre ve yer için patent sahibine verilen, üçüncü kişiler tarafından buluşun izinsiz olarak kullanımı, üretimi veya ithal edilmesini engelleme amacıyla tanınan tekel hak olarak tanımlanmaktadır. (Türkpapatent ve Marka Kurumu, 2019)

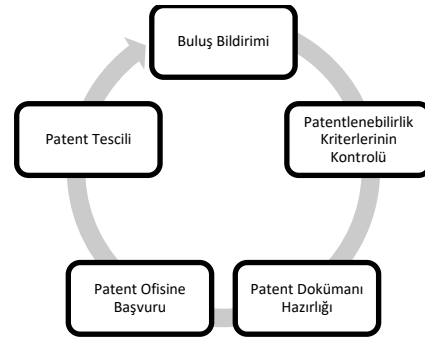
Yönetim kararlarına yön verilmesini sağlayan fikri ve sınıai haklar özellikle ticari değerlerin tespiti ve kullanımdan sağlanan yararın analiz edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. (Pitkethly, 1997) Günümüzde ise endüstri ekonomilerinden, bilgi ekonomisi yönünde geçiş yaşanmaktadır. Bilgi ekonomisi çatısı altında ise bilginin üretimi ve etkin şekilde kullanımı yer almaktadır. (Chiu & Chen, 2007).

2.2. Patentlenebilirlik Kriterleri

Buluş ya da icat, teknik bir sorunu ortaya koyan ve teknik bir çözüm yolu gösteren fikir ürünü olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda teknoloji alanında belirli bir sorunun çözümüne ilişkin, teknik özelliği olan fikir ürünüdür. Aynı teknik problemin her farklı çözümü farklı bir buluştur. Buluşun patent verilerek korunması ölçütlerinin değerlendirilmesinden önce bir buluşun varlığı gereklidir. Eğer bir buluş söz konusu ise, bu buluşun “yeni”, “sanayiye uygulanabilir”, “bir buluş basamağı içerir” olup olmadığı incelenecektir. (Sözer, 2008)

Yenilik, buluşun dünya çapında daha önce var olmaması ve tekniğin bilinen durumu da dahil olmaması anlamına gelmektedir. Tekniğin bilinen durumunda patent başvurusu yapıldığı tarih öncesi buluş konusunda herhangi bir erişilebilir kaynak (Sözlü anlatım, Yazılı anlatım, vb.) her türlü bilgiyi kapsadığı anlamına gelmektedir. Buluş basamağı, buluşun teknik alanda uzman bir kişi tarafından tekniğin bilinen durumunu aşan bir nitelikte olması gerektiği anlamında gelmektedir. Buluşun, mevcut çözümlerden farklı bir teknik çözüm geliştirilmesi olarak da tanımlanabilir. Sanayiye uygulanabilirlik, buluşun sanayinin herhangi bir dalında üretilebilir, uygulanabilir veya kullanılabilir nitelikte olması olarak tanımlanabilir. (Türkpapatent ve Marka Kurumu, 2019)

Şekil 1. Patent Tescil Süreci



2.3. Patent Değerlendirme Süreci

Patent değerlendirmesinin yapılabilmesi için öncelikle incelenmesi gereken şey buluşun analiz edilmesidir. Patent değerinin belirlenmesi üzerinde pek çok faktör olduğu görülmektedir. Bu faktörler değerlendirildiğinde göstergeler iki ayrı sınıfta incelenmektedir. Patent değerlendirme sürecine girdi sağlayacak değerlendirme sürecinin anlaşılması için öncelikle Değer, Değerleme ve Patent değerlendirme tanımları yapılması gerekmektedir. Değer, bir varlığın gerekliliğini ve önemini belirleyen unsurdur. Diğer bir ifadeyle, bir varlığa sahip olmanın günümüzden farklı olarak gelecekte bize getireceği faydayı içeren bir kavramdır. Patent değerlendirme ise, değeri tanımlanmış olan varlığın parasal değerinin netleştirilmesi işlemidir. (Alper, 2011, s. 3-13) Değerlendirme sürecinde tanımlanan göstergelerin uygulanması, değerlendirme sürecine katkı sağlayacak sonuca bilginin elde edilmesine imkân sağlayacaktır.

2.3.1. Değerlendirme Ölçütünün Belirlenmesi

Değer, genellikle “mülk sahibi tarafından elde edilecek gelecekteki faydaların bugünkü değeri” olarak tanımlanır. Bu nedenle, değerlendirme gelecekteki faydaları ölçmeli ve sonra bugünkü değeri hesaplamak için kullanılmalıdır. (SMITH, 2009) Kullanılan yöntemden bağımsız olarak patent değerlendirme süreci karmaşık, değişken bir yapıda olan dağınık verilerin tablolara indirgeyerek sayısal çıktılarının elde edilmesi sürecidir. Patent değerlendirme göstergeleri doğrudan ve dolaylı göstergeler olmak üzere iki aşamada yürütülmektedir.

Patent değerlendirme süreci için kuruluş (birinci aşama) adımı düşünüldüğünde, değerlendirmenin temelini atıldığı yerdir. Değerlendirmenin hangi kapsamda yapılacağını tanımlandığı alandır. İlk olarak amacın belirlenmesi esas alınır. Değerlendirmenin hangi amaçlar doğrultusunda yapılacağı bu alanda tanımlanır. Tanım aşamasında ise patentin karakterize edici özellikleri tanımlanır. Üçüncü olarak öncül işlemler belirlenir. Patent gelecekteki kullanımlarını ifade eder. Patent kullanım alanını değiştirebileceği gibi böyle bir durumda yeniden bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Son aşamada ise standart süreci vardır. Değerlendirme amacına göre uygun olarak değer tanımlanmasında görev almaktadır. İkinci aşamada ise profilin tanımlanması gerekmektedir. Patent; ticari, finansal ve yasal durumunun değerlendirildiği aşamadır. Patent gelir getirip getirmeyeceği konusunda kıyaslamalarının yapıldığı basamaktır. Üçüncü aşamada değerlendirme için metodolojinin tanımlanması gerekmektedir. Profil aşaması olumlu olarak değerlendirilen patent için uygun patent değerlendirme metodunun seçim aşamasıdır. Son aşamada ise çözüm süreci yönetilmelidir. Değerlendirme sonucunda analiz sonuçlarının karşılaştırılarak anlamlı hale getirildiği aşamadır. Değerlendirmenin yapılış amacı göz önüne alınarak hazırlanacak rapordan oluşur.

2.3.1.1. Dolaylı Göstergeler (Objektif Göstergeler)

Patent değerlendirme süreci bazı sanayi kuruluşları tarafından da uygulanmaktadır. Bir beyaz eşya firmasının

ve Avrupa Patent Ofisi tarafından hazırlanan IP Skor uygulamalarında kullanılan bazı dolaylı (objektif) göstergeler örnekleri aşağıda belirtilmiştir. Aşağıda belirtilen göstergeler Avrupa Patent Ofisi tarafından kullanılan skor belirleme kriterleridir. “Legal Status” kriteri ile ilgili patent yasal durumu göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Herhangi bir yasal sınırlandırmaya ya da engele takılması referans alınarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Genel olarak legal status kriteri, patent yasal statüsünün ve durumunun bir somut çıktısını ortaya koyacaktır. Technology kriterinin odak noktası, buluşun içinde bulunduğu teknolojiye göre konumunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Buluşun teknolojisinin başka teknolojiler ile ikame edilip edilemeyeceğine dair analizlerin sayısal çıktılara dönüştürülmesi aşamasıdır. Market Conditions ile patentli teknolojinin pazarlama seçeneklerini ve koşullarının değerlendirilmesi ile ilgilidir. Finance başlığı kapsamında ilgili buluşun kullanıma sunulduğu iş alanındaki finansal yapıyı nasıl etkilediğini belirlemeye odaklanır. Ürün geliştirme, üretim ve kazançlar için gelecekteki maliyetlerin bir değerlendirmesidir ve bu katkıların şirketin toplam cirosundaki önemi ile birleşmektedir. Ayrıca üretim ekipmanları için de yatırım ihtiyaçlarının analiz edilmesi noktasında somut çıktılar elde edilmesinde kullanılmaktadır. Son kriter olan Strateji kriteri kapsamında patent gerçeğin amacını nitel ve mali değerlendirmelerle karşılaştırmak amacıyla patenti sınıflandırmaya odaklanır.

Tablo 1. EPO IP Score Kullanım Kılavuzu (European Patent Office, 2018)

EPO – IP Score Göstergeleri
A – Legal Status
B – Technology
C – Market Conditions
D – Finance
E – Strategy

Bu kriterlerin hangi durum, değer ve aralıkta olduğu bilgisi araştırılan literatür kaynaklarında kısıtlı olarak değerlendirme imkânı sağladığı görülmektedir. İlgili kriterlerin detaylandırılması ve alt kriterlerin etki edeceği puanlar ile

belirtilmesi belirlenen göstergelerin somut çıktılarını ortaya koyacaktır. Bu kapsamda öneri olarak hazırlanan patent değerlendirme kriteri tablosu aşağıdaki gibidir:

Tablo 2. Doğrudan Gösterge Kriter Şeması

Kriter	Durum / Değer /Aralık	Puan
İtiraz Sonucunda Oluşan Durum	Bağımsız istem değişmemiş	100
	Bağımsız istem değişmiş	75
	İtiraz sonucu açıklanmamış	75
	İtiraz yapılmamış, süre devam ediyor	25
	İtiraz yapılmamış süre sona ermiş	10
Patentin Geçerli Olduğu Ülke Sayısı	1 (Anavatan)	10
	2 – 4	25
	5	50
	6 – 9	75
	10+	100
Alınan Atıf Sayısı	0	10
	1 – 2	25
	3 – 5	50
	6 – 9	75
	10+	100
Patentin Geçerli Olduğu Coğrafi Ülke/Bölge	1 (Anavatan)	10
	Sadece Avrupa	25
	Avrupa ve Amerika	50
	Anavatan, Avrupa, Amerika, Japonya	75
	Anavatan, Avrupa, Amerika, Japonya, Çin	100
Yenileme Ücreti Ödeme Aralığı	16 – 20	10
	11 – 15	25
	6 – 10	50
	3 – 5	75
	Ödeme Başlamamış	100
İstem Sayısı	1 – 3	10
	4 – 6	25
	7 – 9	50
	10 – 14	75
	15 +	100
Patentin Kalan Ömrü	20 veya 1	10
	2 – 4	25
	5 – 6	50
	7 – 9	75
	10 – 12	100
Patentin Tesciline Kadar Geçen Süre (Yıl)	1 – 5	25
	5 – 10	50
	10 – 15	75
	15 +	100

İtiraz durumu, patentin başvuru sürecinde herhangi bir itiraz alıp almadığı bu aşamada değerlendirilmelidir. Patent kamuya arz edilmesinden sonra (başvurudan itibaren 18. Ay) 3 ay içerisinde herhangi bir itirazın gelme durumu değerlendirilmelidir. Patent ailesinde ise Birden fazla ülkede geçerliliği amaçlanan patentlerin değeri yüksek olacaktır. Öneme göre ülke sayısının artması değerinin de arttığını gösteren bir gösterge olarak tanımlanabilir. Alınan Atıf sayısı, tarifname üzerinde yapılan atıf sayısı patent değerinin ölçülmesinde etken bir noktadır. Patent yazımı için taranan literatürlerin analiz edilmesi ve onlara atıfta bulunarak farklı noktaların tanımlanması değer ölçümü için etken bir unsurdur. Atıf sayısının artması, değerinin artması ile doğru orantılı olarak ilişkilidir. Coğrafi alanın belirlenmesinde, patentin hangi ülkelerde geçerli olduğu incelenmelidir. (Başvuru yapılan ülke ya da başvuru türüne göre bu değerlendirme değişkenlik gösterebilir.) Gelişmişlik seviyesi yüksek olan ülkelerde yapılan başvurular daha yüksek puan alacaktır. Patent

başvuru sayıları yüksek olan ülkelerin gelişmişlik seviyesi yüksek olduğu varsayılmıştır.

Yenileme ücretleri, patentin değerini etkileyen bir diğer unsurdur. Yenileme ücretinin artış göstermesi, patent değerinin azalmasına etki eden bir unsurdur. İstem sayısı, patent dokümanı içerisinde korumanın asıl konumlandırıldığı yer olan istemlerin sayısı buluşun koruma gücünü belirleyen bir unsur olmaktadır. İstem sayısı ve yapılan atıf sayısı arttıkça karakterize edilmek istenen buluştur. Kalan ömür, başvuru tarihinden itibaren geçen zaman incelenmelidir. Kalan ömür azaldıkça buluşun değerinin azalmasına neden olmaktadır. Tescile kadar geçen süre, başvuru tarihinden itibaren kaç yıl içerisinde tescil belgesinin alındığının tespit edilmesi adına patent değerlendirme sürecine girdi sağlamaktadır. (Türk Patent ve Marka Kurumu, 2016)

2.3.1.2. Doğrudan Göstergeler (Subjektif Göstergeler)

Doğrudan göstergeler, buluş sahibi ya da sahipleri tarafından patentleri ile ilgili değer tahmini işlemi gerçekleştirdiği alanı

kapsamaktadır. Patent mali değerlendirmeleri daha çok Dolaylı Göstergeler içerisinde yer alırken, doğrudan göstergelerde ise buluşun uygulanabilirliği, rekabeti, Pazar payının ölçülmesi açısından girdi sağlayacak başlıklardan oluşmaktadır. (Sözer, 2008) Anket çalışmasına verilebilecek örnekler Scherer ve Harhoff (2000) Harhoff, Scherer ve Vopel (2003b) tarafından Alman ve Amerikan patentleri için yapılan örnekleri kapsamaktadır. Yapılan sektörel analiz sonucu bir beyaz eşya firması firmasının kullandığı doğrudan göstergeler aşağıdaki gibi listelenmiştir. Gösterge değerleri ve kullandığı puantaj aralığı belirtilmiştir. Yapılan literatür ve sanayi araştırmaları sonucunda anket çalışmasının hazırlığında kullanılan girdileri firmaların kendi öznelinde ve değişkenlik gösterebilen kriterler olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen kriterler kapsamında aşağıda belirtilen kriterler ve puantaj değerleri bu kapsamda oluşturulmuştur. Yapılan araştırmalar sonucu 8 adet en optimum doğrudan gösterge kriterleri seçimi 1 ile 5 aralığında likert ölçeği kapsamında değerlendirilmesine karar verilmiştir. (YAVUZ & BAKİ, 2019, s. 29-37) Bu kriterlere ait değerlendirmeler şu şekilde yapılmalıdır:

Potansiyel pazar payı, Sektörel trend analizi sonucu, patent başvurusunun sektördeki konumu belirlenerek bu kriter kapsamında değerlendirilmelidir. Kar getirme durumu, patentlenen buluşun, ürün üzerindeki etkisi belirlenmeli. Ürünün satış adedi ve kar marjını o etki yüzdesinde değerlendirmeli ardından puantaja o şekilde yansıtılmalıdır. Geliştirme potansiyeli, AR-GE çalışmaları yapılması devam eden/edecek olma durumu 1 ile 5 aralığında bir değer belirtilerek yazılmalıdır. Sektörel kullanım çeşitliliği, yapılan trend analizinin bir diğer çıktısı ise bu alana girdi sağlamaktadır. Patentlenen buluşun hangi ürün üzerinde ve kaç farklı sektörde kullanıldığı çıkarılarak tanımlanan puantaj aralığında bir değer verilmelidir. Teknolojik düzey, IPC (International Patent Classification) kodu analiz edilmeli ve ilgili teknolojik alanda

alınan patentler incelenerek değerlendirilmelidir. Pazara çıkış kolaylığı, ürüne olan talep, pazara çıkış kolaylığı üzerinde bir kısıt oluşturacaktır. Ürüne olan talep, satış rakamları üzerinden değerlendirilir puantajı yapılmalıdır. Reklam edilebilirlik, sektörde ihtiyaç duyulan bir ürün üzerinde bulunan bir patent olduğu tespit edilmelidir. İhlal tespit yönteminin zorluğu, IPC kodu kullanılarak yapılan teknik alan araştırması sonucu az sayıda patent olduğu tespit edilmesi durumunda, bu alanda buluşun az olması ihlal tespit yönteminin zor olacağı yönünde düşünülerek puanlanmalıdır. (YAVUZ & BAKİ, 2019, s. 37-40)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uygulama kapsamında bir iklimlendirme firması için başvuru durumu Tescillenen 10 adet patent ilk aşamada tespit edilmiştir. Patent başvurularına ilişkin, “Patent Başlığı”, “Tescil Numarası” ve “Tescil Tarihi” verileri Google Patent ve Espacenet web siteleri üzerinden yapılmıştır. Avrupa patent ofisi tarafından tescillenen patentler ilgili araştırma için tercih edilmiştir. Patent araştırma süreci tamamlanan ve listelenen patentlerin değerlendirme sürecine geçmeden skorunun tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu hususta literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir ve ilgili çalışmaları kapsayacak şekilde oluşturulan “Dolaylı Göstergeler” ve “Doğrudan Göstergeler” çerçevesinde patentlerin analizleri yapılmıştır.

Göstergeler içerisinde tanımlanan kısıtlar her bir patent için sırayla uygulanmalıdır. Her patent için ilgili kriter kapsamında puanlandırılarak somut çıktılar elde edilir. Tablo 1.3.’te belirtilen her bir patent için dolaylı göstergeler ve doğrudan göstergeler için katsayılar elde edilerek patent değerlendirme sistemine girdi sağlayacak yapıyı oluşturur.

3.1. Patentlerin Belirlenmesi

Bir iklimlendirme firmasının sahip olduğu patent başvurularına ilişkin bilgiler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 3. Bir İklimlendirme Firmasına Ait Patent Listesi

No	Patent Başlığı	Tescil Numarası	Tescil Tarihi
1	Heat Exchanger	EP3173721B1	25.04.2018
2	Heat Exchanger	EP3173710B1	06.06.2018
3	Heat Exchanger	EP3173723B1	25.04.2018
4	Heat Exchanger	EP3173722B1	01.05.2019
5	Heat Exchange System With Siphon For Draining a Condensate	EP3182031B1	04.09.2019
6	Heat Exchange System With Siphon For Draining a Condensate	EP3182030B1	04.09.2019
7	Air Conditioner And Control Method Thereof	EP2487428B1	01.01.2014
8	Air Conditioner	EP2336664B1	16.05.2018
9	Air Conditioner	EP2674685B1	08.04.2020
10	Heat Exchanger And Air Conditioner	EP2157389B1	02.12.2015

3.2. Dolaylı Göstergelerin Uygulanması

Göstergelerin değerlendirilmesi için sektörde örnekleri bulunan uygulamalar incelenmiştir. Bu uygulamalar kapsamında 10 adet patent puanlandırılması amacı ile yukarıda aktarılan Dolaylı Göstergeler için belirlenen puan tablolarından yararlanılmıştır. (Türk Patent ve Marka Kurumu, 2016).

Tablo 4: Patent - Dolaylı Gösterge Tablosu

Patent/Dolaylı Göstergeler	İtiraz Durumu (%20)	Patent Ailesi (%15)	Alınan Atf Sayısı (%15)	Coğrafi Alan (%15)	Yenileme Ücreti (%10)	İstem Sayısı (%10)	Kalan Ömür (%10)	Tescile Kadar Geçen Süre (%10)	TOPLAM
EP3173721A1	100	75	50	100	75	75	50	25	75
EP3173710A1	100	75	100	100	75	75	50	25	82,5
EP3173723A1	100	75	50	100	75	25	50	25	70
EP3173722A1	100	75	50	100	75	75	50	25	75
EP3182031A1	100	75	75	100	75	75	50	25	78,75
EP3182030A1	100	75	100	100	75	75	50	25	82,5
EP2487428A1	75	75	100	100	25	50	25	75	70
EP2336664A1	100	100	100	100	10	10	25	75	73,25
EP2674685A1	75	100	100	100	25	10	75	75	74,75
EP2157389A1	75	75	75	100	25	50	75	50	70

$$\text{Dolaylı Gösterge Katsayısı} = (\text{DolaylıGösterge}_1 (\%) \times \text{Puan}) + (\text{DolaylıGösterge}_2 (\%) \times \text{Puan}) \\ \dots (\text{DolaylıGösterge}_N (\%) \times \text{Puan})$$

Dolaylı göstergeler kapsamında 10 adet patent puanlandırılmıştır. Çıkan toplam sonuçlar incelendiğinde minimum **70** puanı maksimum ise **82,5** puan tespit edilmiştir. 10 Adet patent için verilen ortalama puan ise **75,17** olarak tespit edilmiştir.

3.3. Doğrudan Göstergelerin Uygulanması

Göstergelerin değerlendirilmesi için sektörde örnekleri bulunan uygulamalar incelenmiştir. Bu uygulamalar kapsamında 10 adet patentin puanlandırılması amacı ile yukarıda aktarılan Doğrudan Göstergeler için belirlenen puan tablolarından yararlanılmıştır. (Türk Patent ve Marka Kurumu, 2016)

Tablo 5: Patent - Doğrudan Gösterge Tablosu

Patent/Doğrudan Göstergeler	Potansiyel Pazar Payı	Kar Getirme Durumu	Geliştirme Potansiyeli	Sektörel Kullanım Çeşitliliği	Teknolojik Düzey	Pazara Çıkış Kolaylığı	Reklam Edilebilirlik	İhlal Tespit Yönteminin Zorluğu	TOPLAM
EP3173721A1	5	4	3	5	3	4	5	4	82,5
EP3173710A1	4	5	5	5	3	4	5	5	90
EP3173723A1	3	5	5	4	5	4	5	4	87,5
EP3173722A1	5	4	5	4	3	4	3	2	75
EP3182031A1	4	3	5	4	4	5	5	4	85
EP3182030A1	5	4	5	3	3	4	4	4	80
EP2487428A1	4	5	4	4	3	5	4	2	77,5
EP2336664A1	5	5	3	5	5	3	3	4	82,5
EP2674685A1	2	5	5	5	3	2	4	4	75
EP2157389A1	4	3	4	4	5	4	5	4	82,5

$$\text{Doğrudan Gösterge Katsayısı} = (\text{DoğrudanGösterge}_1 (\%) \times \text{Puan}) + (\text{DoğrudanGösterge}_2 (\%) \times \text{Puan}) \\ \dots (\text{DoğrudanGösterge}_N (\%) \times \text{Puan})$$

Doğrudan göstergeler kapsamında 10 adet patent puanlandırılmıştır. Çıkan toplam sonuçlar incelendiğinde minimum 75 puanı maksimum ise 90 puan tespit edilmiştir. 10 Adet patent için verilen ortalama puan ise 81,8 olarak tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Patent değerlendirme, şirketler için pek çok stratejik kararların alınmasında önemli rol oynayan bir mekanizmadır. Bilgi ve Bilişim teknolojilerinin, Ar-Ge faaliyetleri kapsamında ortaya çıkardığı yeni buluşların korunması, tescillenmesi sürecindeki ilişki oldukça önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılan literatür araştırmaları incelendiğinde, patent değerlendirme ile ilgili yapılan çalışmaların az olduğu görülmektedir. Ancak doğrudan ve dolaylı göstergelerin tanımlanması ve farklı kriterlerin olduğu gözlemlenmiştir. Doğrudan göstergeler incelendiğinde, bir beyaz eşya firması Firmasının belirlediği 8 adet kriter incelenmiştir. Ancak bu kriterler incelendiğinde, ihlal tespit yöntemi kriterinin uygulama aşamasında güçlük yaşanmaktadır. Diğer kriterler incelendiğinde önem düzeyi yönünde yüzdelik değerleri değiştirilmiştir. Atıf sayısı genel bir ifade olarak tanımlanmıştır. Anlam karmaşıklığını önlemek adına kriterlerin seçiminde “Geriye Doğru Atıf Sayısı” ve olarak tanımlanmıştır. İleriye Doğru Atıf Sayısı araştırma zorluğu nedeniyle Doğrudan göstergeler altında yer almamıştır.

Avrupa Patent Ofisi tarafından oluşturulan IP SCORE uygulaması 5 adet doğrudan gösterge tanımlamış ve alt kriterler ile değerlendirme göstergeleri çeşitlendirilmiştir. Dolaylı göstergeler ile ilgili yapılan çalışma sayısı az olduğu gözlenmektedir. Bu kapsamda sanayi alanında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Dolaylı göstergelere girdi sağlaması muhtemel olan tezler ve literatür taraması incelenmiş olup 8 kriterin, göstergelerin değerlendirilmesi için yeterli olduğu bilgisine varılmıştır. Dolaylı Göstergeler sonuçları incelendiğinde minimum puan 70 maksimum puan ise 82,5 olarak tespit edilmiştir. Doğrudan göstergeler sonuçları incelendiği minimum puan 75 maksimum puan 90 olarak tespit edilmiştir. Her iki gösterge sonuçları değerlendirildiğinde 70 üzeri puan alan tüm patentlerin yıllık harcının ödenmesi devam edilerek, şirket karı ve bilginin korunması göz önüne alınarak yıllık harçlarının ödenmesi, korumanın devamı konusunda yönlendirici bir etki yaratmıştır.

Sonuç olarak, patent değerlendirme sürecinde kullanılması ön görülen 8 adet doğrudan gösterge ve 8 adet de dolaylı gösterge için hesaplanan patent skorunun işleyişi ve çıkarımların bulunulması adına önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Patent değerlendirme kriterleri ve skora yöntemi incelendiğinde, büyük patent portföylerine sahip olan firmalar ve üniversiteler için patent portföyü yönetim stratejilerinin belirlenmesi adına kullanımı uygun olabilir.

Kaynakça

- Adalı, E. (2012). Bilgisayar ve Bilişim Alanında Eğitim. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 2-4.
- AKOLAŞ, D. A. (2004). BİLİŞİM SİSTEMLERİ VE BİLİŞİM TEKNOLOJİSİNİN KÜRESELLEŞME OLGUSU VE GİRİŞİMCİLİK ÜZERİNE YANSIMALARI . *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 30-40.
- Alper, D. (2011). Patent Değerlemesi ve Reel Opsiyonlar. *Business and Economics Research Journal*, 154-161.
- ASLANOĞLU, D., & ZOR, D. (2006). Bilgi Varlıklarının Değerlemesi: Entelektüel Sermaye Ölçüm ve Değerleme Modelleri;Karşılaştırmalı Bir Analiz. *Muhasebe Ve Finansman Dergisi*.
- Chiu, Y.-J., & Chen, Y.-W. (2007). Using AHP in patent valuation. *Mathematical and Computer Modelling*.
- ÇAĞLAYANSUDUR, T. (2014). PATENT DEĞERLEMESİ VE TMS 38'E GÖRE MUHASEBELEŞTİRMESİ: ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ. *DERGİPARK*, 3-18.
- ERSOY, A., & AKBABA, A. (2014). Patent Değerlemesi ve Muhasebeleştirilmesi. *Maliye Dergisi*, 221.
- European Patent Office. (2018, Temmuz). *Patent Portfolio Management With IP Score 2.2*. EPO: [http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/A2A008822722C942C125755A003774C1/\\$File/IPscore_manual_en.pdf](http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/A2A008822722C942C125755A003774C1/$File/IPscore_manual_en.pdf) adresinden alındı
- GÖKOVALI, U., & BOZKURT, K. (2006). FİKRİ VE SİNÂİ MÜLKİYET HAKKI (FSMH) OLARAK PATENTLER: DÜNYA VE TÜRKİYE AÇISINDAN TARİHSEL BİR BAKIŞ. *Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (İLKE)*, 136-145.
- KAYAKÖKÜ, A., & DEMİRBAŞ, Ş. (2017). Patent Arama Motorlarının Kullanımı Üzerine Bir İnceleme. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 150-162.
- ORUÇOĞLU, P. (2007). *DERGİPARK*, 7-9.
- Pitkethly, R. (1997). THE VALUATION OF PATENTS: A review of patent valuation methods with consideration of option based methods and the potential for further research. *New Developments in Intellectual Property : Law and Economics*,.
- SMITH, L. (2009). *Valuation Of Intellectual Property*.
- Sözer, M. N. (2008). PATENT DEĞERLEMESİ VE TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMALARI. ANKARA, TÜRKİYE: T.C. TÜRK PATENT ENSTİTÜSÜ PATENT DAİRESİ BAŞKANLIĞI .
- Türk Patent ve Marka Kurumu. (2016, Ocak 22). Fikri Haklar Yönetimi. Ankara, TÜRKİYE.
- TÜRKPATENT VE MARKA KURUMU. (2016). *6769 Snai Mülkiyet Kanunu*. ANKARA.
- TÜRKPATENT VE MARKA KURUMU. (2019, NİSAN). *PATENT/FAYDALI MODEL*. <https://www.turkpatent.gov.tr/TURKPATENT/commonContent/Publications>. adresinden alındı
- Wirtz, H. (2012). Valuation of Intellectual Property: A Review of Approaches and Methods. *International Journal of Business and Management*.
- YAVUZ, N., & BAKİ, B. (2019). PATENT DEĞERLERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE SIRALANMASI: OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 29 - 37.



Erzincan'da Entomopatojen Fungusların Oluşumuna ve Dağılımına Etki Eden Toprak Faktörleri

Engin Kılıç^{1*}

¹ Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü, Farmasötik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Erzincan, Turkey ORCID: (0000-0002-6838-5977), ekilic@erzincan.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Şubat 2021 ve Kabul Tarihi 30 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.895773)

ATIF/REFERENCE: Kılıç, E. (2021). Erzincan'da Entomopatojen Fungusların Oluşumuna ve Dağılımına Etki Eden Toprak Faktörleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 875-881.

Öz

Bu çalışmada, Erzincan topraklarından izole edilen entomopatojen fungusların (Epf) oluşumuna ve dağılımı üzerine toprak faktörlerinin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ekili ve doğal alanlardan toplanan 60 toprak örneği incelenmiştir. Topraklardan *Beauveria bassiana* (balsamo) Vuillemin ve *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin olmak üzere iki epf türü izole edilmiştir. Farklı toprak habitat ve sub-habitatların fungus oluşumuna ve dağılımına etkisini incelemek için Ki-kare testi yapılmıştır. Toprak habitatı ile *B. bassiana*'nın oluşumu ve dağılımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ($\chi^2=,000$, $p>.005$), *M. anisopliae*'nin oluşumu ve dağılımı ile toprak habitatının arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($\chi^2=7,680$, $p<.005$). Sub-habitatlardan ise tarla alanların *M. anisopliae*'nin oluşumu ve dağılımı üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Yapılan t-testi sonucunda ise, organik maddenin, toprak saturasyonunun, toprak tekstürü ve fosforun *B. bassiana*'nın oluşumu ve dağılımında etkili olduğu belirlenirken, toprak saturasyonunun ve toprak tekstürünün ise, *M. anisopliae*'nin oluşumu ve dağılımı üzerine etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, toprak faktörleri, Erzincan

Effecting Soil Factors on the Occurrence and Distribution of Entomopathogenic Fungi at Erzincan

Abstract

In this study, it was investigated the effect of soil factors on the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi (Epf) isolated from Erzincan soils. For this purpose, 60 soil samples were collected from cultivated and natural areas. Two epf species, *Beauveria bassiana* (balsamo) Vuillemin and *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, were isolated from the soils. Chi-square test was conducted to examine the effects of different soil habitats and sub-habitats on the occurrence and distribution of fungi. There is no statistically significant difference between the soil habitat on the occurrence and distribution of *B. bassiana* ($\chi^2 = ,000$, $p > .005$), but, it was determined that there is a statistically significant difference between the soil habitat on the occurrence and distribution of *M. anisopliae* ($\chi^2 = 7.680$, $p < .005$). Among the sub-habitats, it has been determined that the field areas have an effect on the occurrence and distribution of *M. anisopliae*. As a result of the t-test, it was determined that organic matter, soil saturation, soil texture, and phosphorus were effective on the occurrence and distribution of *B. bassiana*, while soil saturation and soil texture were effective on the occurrence and distribution of *M. anisopliae*.

Keywords: *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, soil factors, Erzincan

* Sorumlu Yazar: ekilic@erzincan.edu.tr

Giriş

Bir habitatta, toprakta bulunan yerel entomopatojen fungusların (epf) izolasyonu ve tanımlanması, fungus biyoçeşitliliğinin belirlenmesi açısından önemli bilgiler sağladığı gibi, tarımsal ekosistemlerde zararlı arthropodların mücadelesinde kullanılacak olan epf havuzunun oluşturulması açısından da büyük önem arz etmektedir. Epf dağılımına ve faaliyetlerine etki eden toprak faktörlerin belirlenmesi, bu türlerin biyolojik kontrolde etkilerinin artırılmasında ve en uygun çevresel koşullarda uygulanmasına yardımcı olur. Tarımsal ekosistemlerde biyolojik çeşitlilik çalışmaları yapılırken entomopatojen mikroorganizmaların zararlı popülasyonlarının düzenlenmesindeki katkıları göz ardı edilmediği bildirilmektedir (Altieri, 1999, Gur ve ark., 2003, Tscharnkte ve ark., 2005). Ascomycota bölümünden Hypocreales sınıfında yer alan *Beauveria bassiana* (balsamo) Vuillemin ve *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin hem böceklerde hemde akarlarda mikrobiyal mücadele etmeni olarak etkin rol oynayan toprak kökenli epf (Roberst and St Lager, 2004; Rehner, 2005). Bu iki fungus türünün, biyolojik mücadeledeki etkinliği saptamak ve ticari preparat geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmış, fakat, bu iki türün karasal ekosistemlerde temel ekolojileri üzerinde az sayıda araştırma yapıldığı görülmektedir (Fuxa, 1998, Ekese ve ark., 2005). Topraktaki entomopatojen çeşitliliğini ve dağılımını belirleyen parametrelerin anlaşılması belirli bir habitat için en uygun olan türlerin belirlenmesi, biyolojik etkinliğinin iyileştirilmesine yardımcı olacağı bildirilmektedir (Fuxa, 1998; Lacey ve ark., 2001, Shah ve Pell, 2003; Sutuart ve ark., 2006). Yapılan sınırlı sayıdaki araştırmalarda coğrafi konum, iklim koşulları, habitat tipi, toprak ekim sistemleri ve toprak özellikleri epf bulunuşu ve dağılımı üzerine etkili olduklarını belirtilmektedir (Tscharnkte ve ark., 2005). Bu çalışmada, Erzincan ilinin ekili ve doğal alanlardaki değişik habitat ve sub-habitatlarından toplanan toprakların özelliklerini ve bu özelliklerin entomopatojen fungusların oluşumuna ve dağılımına olan etkilerini incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Toprak Örneklemelerinin Toplanması

Epf tür ve izolatlarını bulmak amacıyla tarımın yoğun olarak yapıldığı ve doğal alanlardan, (merkez ve ilçelerden özellikle Merkez, Üzümlü, Tercan, Mercan, Kemaliye, Kemah, İliç, Çayırılı, Otlukbeli, Refahiye) toprak örnekleri alındı.

Belirlenen arazilerden ilk yıl (2014-2015) Mayıs-Haziran ve Ekim-Kasım aylarında sırasıyla; sebze bahçelerinden, meyve bahçelerinden, tarla bitkileri ekimi yapılan yerlerden, çayır mera alanlarından ve ormanlık (orman ağaçlarının olduğu kavak, kuşburnu, keçisakalı, tavşan elması, karaağaç, çam, ardıç vs.) toprak örnekleri alınmıştır.

Her toprak örneği, tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü arazinin 0,5 m²'lik 8-10 farklı noktadan 20-30 cm derinlikten örnekler alındı. Her bir alandan alınan örnekler karıştırılarak tek bir örnek haline dönüştürülüp, kilitli plastik torbalara koyuldu. Örnek alma işleminde kullanılan alet her toprak alımından sonra %70'lik etilalkol ile steril edildi. Etiketlenen plastik torbaların buzluklar içerisinde laboratuvara ulaştırıldı örnekler 4°C'de saklanarak iki ay içinde analiz edildi.

2.2. Toprak Örneklerinin Analizleri:

Analiz yapılmadan önce toprak örnekleri, kurutulup öğütüldükten sonra 2 mm'lik elekten elenerek analize hazır hale getirildi. Toprak yapısı, pH'sı, iletkenliği ve organik madde içeriği belirlenmesi için aşağıdaki yöntemler Tarım ve Orman Bakanlığı, Toprak- Gübre ve Su Kaynakları Merkezi araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (Ankara) tarafından yapılmıştır.

2.3. Fungusların İzolasyonu

Epf, Galleri-yem-tuzak yöntemi (Zimmerman 1986) kullanılarak topraktan izole edildi. *Galleria mellonella*, (Dutky ve ark., 1962). Her bir birleştirilmiş toprak numunesinden, beş adet 50 g alt numune alındı ve beş adet 90 mm çaplı, plastik, havalandırılmamış petrilere yerleştirildi. Her petrinin yüzeyine beşinci dönem *G. mellonella* larvası yerleştirildi ve petrilere parafilm ile kapatıldı ve ters çevrilerek 25°C'de 7 gün inkübe edildi. Larvaların düzenli olarak toprakta hareket etmesini sağlamak için petrilere her gün ters çevrildi. Topraklar inkübasyon boyunca nemli tutuldu (yaklaşık olarak tarla kapasitesi). İnkübasyon süresinden sonra topraktan uzaklaştırılan larvalar yüzey sterilizasyonu için % 1 sodyum hipoklorit içinde 3 dakika süreyle sterilize edilen ve ardından steril, damıtılmış suda üç kez yıkanan ölü larvalar, oda sıcaklığında, içerisinde ıslak kurutma kağıdı bulunan petrilere inkübe edilmiş, parafilm ile kapatılmış, ve fungus gelişimi ve miselyum oluşumuna bırakıldı. Bundan sonra günlük olarak petrilere içerisindeki miselyum oluşumu takip edildi. Elde edilen tüm muhtemel entomopatojen funguslar, taksonomik anahtarlar kullanılarak morfolojik özelliklerine dayalı olarak mikroskopik olarak tanımlandı (Barnett & Hunter 1987, Humber 1997). Elde edilen tür beş numuneden en az birinde mevcutsa, toprak numunesinin belirli bir entomopatojenik fungus türünü barındırdığı kabul edildi. Bu çalışmada elde edilen tüm fungal izolatlar Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Eczacılık Fakültesi farmasötik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı kültür koleksiyonunda saklanmaktadır.

2.3. İstatiksel Analizler

İstatistik analizler için SPSS 21 programında Ki kare ve t testi yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Toprak Analiz Sonuçları

Araştırma sahasını oluşturan Erzincan ili, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde yer almaktadır. Matematik konum olarak yaklaşık 39° 02' - 40° 05' kuzey enlemleri ile 38° 16' - 40° 45' boylamları arasında yer alan ilin yüzölçümü 11.903 km²'dir.* Bu yüzölçümüyle ülke topraklarının %1,5'lik kısmını kaplamakta ve alan bakımından ülkemizin 24. il durumundadır. Erzincan ilinin toprak varlığı ve dağılımını ise; tarımsal alanlar, 209.422 hektar, çayır ve mera 427.930 hektar, orman alanı; 257.472 hektar, tarım dışı arazi; 295.474 hektar ve sulanan tarım arazisi; 97.000 hektar olduğu görülmektedir (Anon., 2006; Anon., 2008). Erzincan İli genel olarak karasal iklim özelliğine sahiptir. Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan, Elazığ ve Malatya dışındaki diğer tüm illerden daha ılıman bir iklimi vardır. İl çevre illere göre daha uzun ve sıcak yaz mevsimi yaşamaktadır. Kış mevsiminde ise, doğudan gelen Sibirya kaynaklı hava

kütlesinin tesirinde kaldığı zamanlarda, oldukça sert kış günleri yaşanabilmektedir. Erzincan İli yıllık sıcaklık ortalaması 10.9 °C, en soğuk ay olan Ocak ayı ortalaması -6.7 °C, en sıcak ay olan Temmuz ayı ortalaması da 31.4 °C, olduğu gözlenmiştir. Don olayı genel olarak Kasım ayında başlayıp, Nisan ortalarına kadar sürmektedir. Kar yağışları da Ekim ayı sonlarında başlayıp, Nisan ayına kadar sürmektedir. En yağışlı mevsim sonbahar olup, alınan yağışın %31'i bu mevsimde, %24'ü ilkbahar ve %18'i de yaz mevsiminde kaydedilmektedir. Kış mevsimi yağış oranı ise %27'dir. Haziran ayının ikinci yarısı ile Temmuz, Ağustos ve Ocak aylarının büyük bir kısmı oldukça kurak geçmektedir. Genel olarak en fazla yağış Nisan ayında, en

az yağış da Ağustos ayında kaydedilmektedir. Erzincan İli yıllık nem ortalaması %64.26 olarak görülmektedir (Anon., 2010). Mikroklima iklimine sahip Erzincan, entomopatojen fungus biyoçeşitliliği bakımından da uygun bir topografya sahiptir. Ülkemizde entomopatojen fungus çeşitliliği yüksek olduğu bildirilmekte (Öncüer, 1995), Erzincan'da ise doğal ve ekili toprak habitatlarından entomopatojen fungus izolasyonu ilk defa yapılmıştır. Erzincan ilinde doğal ve ekili topraklarda, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin entomopatojen fungus oluşumuna ve dağılımına etkisini incelemek amacıyla toprak örnekleri toplanmış ve yapılan analizler sonucu elde edilen veriler Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Toprak örnekleme alanlarının habitat ve sub-habitat toprak özellikleri

Lokasyon	Toprak Örneklerinin Toplandığı habitat türleri	Toprak Analiz Sonuçları								İzole Edilen Entomopatojenik Fungus Türleri (1: var; 0: Yok)	
		Su ile Doymun	EC	Toplam Tuz	Ph	Kireç	Fosfor	Potasyum	Organik Madde	<i>B. bassiana</i>	<i>M.anisopliae</i>
Merkez	Sebze tarlası	57	0,391	0,014	7,77	13,31	7,39	52,61	1,62	1	1
	Meyve bahçesi	61	0,615	0,024	7,71	7,48	5,44	71,31	1,4	1	0
	Tarla (arpa –buğday)	59	1.082	0,041	7,56	10,1	22,67	116	1,73	1	0
	Çayır ve mera	62	0,98	0,039	7,62	18,64	15,28	119,56	1,57	1	0
	Orman	66	1.089	0,046	7,75	12,58	9,49	68,49	1,07	1	0
Üzümlü	Sebze tarlası	43	0,609	0,017	7,65	35,27	2,35	83,03	0,97	1	1
	Meyve bahçesi	78	2	0,076	6,95	1,53	5,71	196,71	3,62	1	0
	Tarla (arpa –buğday)	65	0,791	0,033	7,6	1,53	4,73	149,86	2,28	1	0
	Çayır ve mera	61	1	0,033	7,56	20,31	2,26	55,13	1,94	1	0
	Orman	47	0,781	0,023	7,44	10,03	2,94	38,51	1,77	1	0
Kemah	Sebze tarlası	56	2	0,078	6,97	19,44	16,71	123,18	3,05	1	1
	Meyve bahçesi	50	0,95	0,03	7,55	11,78	2,37	68,49	0,71	1	0
	Tarla (arpa –buğday)	56	1	0,046	7,42	14,41	9,47	92,44	2,12	1	0
	Çayır ve mera	55	1,04	0,037	7,45	33,08	5,38	52,61	0,86	1	0
	Orman	56	1	0,035	7,66	19,07	4,71	52,61	0,67	1	0
İliç	Sebze tarlası	56	1,02	0,037	7,54	14,26	3,58	50,13	0,25	1	0
	Meyve bahçesi	68	1	0,059	7,49	2,95	3,9	112,48	1,22	1	0
	Tarla (arpa –buğday)	61	1,014	0,04	7,59	5,73	3,84	83,08	0,57	1	1
	Çayır ve mera	65	2	0,066	7,22	14,33	8,13	80,07	0,91	1	0
	Orman	61	1,098	0,043	7,47	5,94	4,32	63	0,83	1	0
Kemaliye	Sebze tarlası	56	1	0,052	7,38	10,32	9,86	170,41	0,46	1	0
	Meyve bahçesi	61	0,901	0,035	7,55	12,8	4,15	57,7	0,84	1	1
	Tarla (arpa –buğday)	60	1	0,04	7,48	12,51	4,08	68,49	1,19	1	0
	Çayır ve mera	61	1,058	0,041	7,43	9,74	4,1	80,07	1,23	1	0
	Orman	75	1	0,063	7,21	6,31	5,61	119,56	2,92	1	0
Refahiye	Sebze tarlası	61	0,642	0,025	7,02	5,51	12,62	89,27	2,63	1	0
	Meyve bahçesi	63	2	0,08	6,85	1,35	17,02	89,27	3,49	1	0
	Tarla (arpa –buğday)	61	0,701	0,027	6,69	0,91	7,22	55,13	1,79	1	1
	Çayır ve mera	60	1	0,038	7,58	21,26	12,77	126,84	0,6	1	0
	Orman	55	0,566	0,02	6,85	1,5	8,33	77,1	2,77	1	0
Mercan	Sebze tarlası	66	1	0,036	7,51	24,84	14,42	138,13	1,41	1	1
	Meyve bahçesi	61	0,876	0,034	7,51	20,6	12,2	92,44	1,27	1	0
	Tarla (arpa –buğday)	59	1	0,033	7,51	8,79	13,04	116	1,84	1	0
	Çayır ve mera	57	0,744	0,027	7,56	7,84	8,42	83,08	1,67	1	0
	Orman	58	1	0,027	7,55	4,12	8,64	47,71	1,28	1	0

Tercan	Sebze tarlası	56	0,947	0,034	7,39	38	5,57	71,31	0,64	1	0
	Meyve bahçesi	54	1	0,024	7,43	38,73	1,63	63	0,91	1	0
	Tarla (arpa –buğday)	53	1,065	0,036	7,36	35,92	5	50,13	0,55	1	1
	Çayır ve mera	55	1	0,029	7,4	35,37	7,62	43,01	1,05	1	0
	Orman	55	0,938	0,033	7,46	28,99	3,53	63	0,78	1	0
Çayırli	Sebze tarlası	55	1	0,022	7,61	3,68	9,98	50,13	1,24	1	0
	Meyve bahçesi	66	1,041	0,044	7,61	11,85	8,21	86,15	1,08	1	0
	Tarla (arpa –buğday)	68	1	0,032	7,71	13,68	7,65	71,31	1	1	1
	Çayır ve mera	60	0,735	0,028	7,61	11,85	11,67	92,44	1,22	1	0
	Orman	56	1	0,03	7,51	10,69	10,06	52,61	1,5	1	0
Otluk Beli	Sebze tarlası	61	0,921	0,036	7,65	12,87	9,56	63	0,91	1	0
	Meyve bahçesi	60	1	0,025	7,46	13,24	12,22	52,61	0,76	1	0
	Tarla (arpa –buğday)	57	0,568	0,021	7,56	17,69	7,68	68,49	1,76	1	1
	Çayır ve mera	77	1	0,063	7,23	23,6	23,76	138,13	2,22	1	0
	Orman	61	0,817	0,032	7,56	17,69	9,45	83,08	0,95	1	0

3.2. Ki Kare Testi

Araştırma alanında habitat ve sub-habitat alanlarının epf oluşumuna ve dağılımına etkilerini incelemek ve arasındaki ilişkiyi belirlemek için Ki kare testi yapılmıştır. Buna göre; *B. bassiana*'nın bulunmasına ve dağılımına etkili olan toprak faktörlerinin Ki kare testi analizleri sonuçları Tablo-2 de görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda habitat ile *B.*

bassiana'nın bulunması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir ($\chi^2=,000$, $p>.005$). Doğal alanlar ve ekili alanlar *bassiana*'nın bulunması üzerinde bir etkisi olmadığı söylenebilir. Sub-habitat ile *B. bassiana*'nın bulunması arasındaki ilişki incelendiğinde ise yine istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir ($\chi^2=11,206$, $p>.005$).

Tablo 2. *B. bassiana*'nın bulunmasına ve dağılımına etkili olan toprak faktörleri (Ki kare testi)

Toprak lokaliteleri	Lokalite adaları	<i>Bauvaria bassiana</i>		Total	χ^2	Sd	p
		Var	Yok				
loklaiteiler	Merkez	6	0	6	60,000 ^a	9	0,000
	Üzümlü	6	0	6			
	Kemah	6	0	6			
	Ilıç	0	6	6			
	Kemaliye	0	6	6			
	Refahiye	0	6	6			
	Tercan	0	6	6			
	Otlukbeli	0	6	6			
	Çayırli	0	6	6			
	Mercan	0	6	6			
Habitat	Ekili alanlar	9	21	30	0,000 ^a	1	1,000
	Doğal alanlar	9	21	30			
Sub-habitat	Tarla alanları	5	19	24	11,206 ^a	6	0,082
	Sebze tarlaları	3	1	4			
	Meyve bahçeleri	1	0	1			
	Çayır	8	18	26			
	Mera	1	0	1			
	Orman	0	3	3			

M. anisoplia'nın bulunmasına ve dağılımına etkili olan toprak faktörlerinin Ki kare testi analizleri sonuçları Tablo-3 de görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda habitat ile *M. anisoplia*'nın bulunması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmektedir ($\chi^2=7,680$, $p<.005$). Ekili alanların *M. anisoplia*'nın bulunması üzerinde etkisi olduğu

söylenebilir. Sub-habitat ile *M. anisoplia*'nın bulunması arasındaki ilişki incelendiğinde ise yine istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmektedir ($\chi^2=19,177$, $p<.05$). Tarla alanların *M. anisoplia*'nın bulunması üzerinde etkisi olduğu söylenebilir (Tablo 3).

Tablo 3 . *M. anisoplia* 'nın bulunmasına ve dağılımına etkili olan toprak faktörleri (Ki kare testi)

Toprak lokaliteleri	Lokalite adaları	<i>Metarhizium anisoplia</i>		Total	x ²	Sd	P
		Var	Yok				
Ioklaiteler	Merkez	3	3	6	28,800 ^a	9	,001
	Üzümlü	3	3	6			
	Kemah	4	2	6			
	Iliç	0	6	6			
	Kemaliye	0	6	6			
	Refahiye	0	6	6			
	Tercan	0	6	6			
	Otlukbeli	0	6	6			
	Çayırli	0	6	6			
	Mercan	0	6	6			
Habitat	Ekili alanlar	9	21	30	7,680 ^a	1	,006
	Doğal alanlar	1	29	30			
Sub-habitat	Tarla alanları	5	19	24	19,177 ^a	6	,004
	Sebze tarlaları	3	1	4			
	Meyve bahçeleri	1	0	1			
	Çayır	1	25	26			
	Mera	0	1	1			
	Orman	0	3	3			

3.3. T-testi

Araştırma alanından toplanan toprakların analizi yapılmış ve toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin epf oluşumu ve dağılımı üzerindeki etkilerini karşılaştırmak amacıyla t-testi yapılmıştır. Buna göre, *Beauveria bassiana* 'nın bulunduğu toprakların özellikleri ile olan ilişkisi tablo 4 de verilmiş olup, t testinden elde edilen analiz sonuçlarına göre, pH'ın (t = ,426, p >.05) ve Potasyum miktarının (t = -1,420, p >.05), *B. bassiana*'nın bulunması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir

fark olmadığı görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda pH'ın ve Potasyum miktarının *B. bassiana*'nın varlığı üzerinde etkisi olmadığı söylenebilir. Organik madde miktarı (t = 3,454, p <.05) , toprak saturasyonu (t = 7,973, p <.05) , toprak tekstürü (t = 8,070, p <.05) ve fosfor miktarı (t = -3,684, p <.05) ile *B. bassiana*'nın bulunması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda organik madde miktarı, toprak saturasyonu, toprak tekstürü ve fosfor miktarının *bassiana*'nın bulunması üzerinde etkisi olduğu söylenebilir.

Tablo4. *B. bassiana* nın bulunduğu toprakların özelliklerine göre t-testi sonuçları

Toprak analizleri	Grup	n	M	SD	df	t	P
pH	1-var	18	7,5617	0,37392	58	,426	,672
	2-yok	42	7,5183	0,35582			
Organik madde	1-var	18	1,2067	0,28293	58	3,454	,001
	2-yok	42	0,9131	0,30911			
Toprak saturasyonu	1-var	18	63,7222	4,50889	58	7,973	,000
	2-yok	42	53,3810	4,64313			
Toprak tekstürü	1-var	18	63,0556	4,07968	58	8,070	,001
	2-yok	42	51,4048	5,49971			
Fosfor	1-var	18	5,0139	,34532	58	-3,684	,001
	2-yok	42	6,3781	1,54763			
Potasyum	1-var	18	54,8889	6,05746	58	-1,420	,161
	2-yok	42	57,3810	6,29732			

M. anisopliae'nin bulunduğu toprakların özellikleri ile olan ilişkisi tablo 5 de verilmiş olup, t testinden elde edilen analiz sonuçlarına göre, pH'ın (t = ,426, p >.05), Organik madde miktarının (t = 1,826, p >.05), fosfor miktarının (t = -1,951, p >.05) ve potasyum miktarının (t = ,255, p >.05), *M.*

anisopliae'nin bulunması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda pH'ın, organik madde miktarının, fosfor miktarının ve Potasyum miktarının *M. anisopliae*'nin varlığı üzerinde etkisi olmadığı söylenebilir. Toprak saturasyonu (t = 6,387, p <.05)

ve toprak tekstürü ($t = 6,137$, $p < .05$) ile *M. anisoplia*'nın bulunması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda toprak

saturasyonunun ve toprak tekstürünün *M. anisopliae*'nin bulunması üzerinde etkisi olduğu söylenebilir.

Table 5. *M. anisoplia* bulunduğu toprakların özelliklerine göre t-testi sonuçları

Toprak analizleri	Grup	n	M	SD	df	t	p
pH	1-var	10	7,5010	,40829	58	-,291	,772
	2-yok	50	7,5374	,35225			
Organik madde	1-var	10	1,1710	,23993	58	1,826	,073
	2-yok	50	,9672	,33503			
Toprak saturasyonu	1-var	10	65,9000	4,58136	58	6,387	,000
	2-yok	50	54,6000	5,19812			
Toprak tekstürü	1-var	10	65,2000	3,01109	58	6,137	,000
	2-yok	50	52,8400	6,19203			
Fosfor	1-var	10	5,1720	,37523	58	-1,951	,056
	2-yok	50	6,1282	1,53058			
Potasyum	1-var	10	57,1000	5,36346	58	,255	,776
	2-yok	,158	,158	,158			

4.Sonuç

Bu çalışmanın sonucunda tarımsal zararlıların mücadelesinde epf kullanımı ve çevresel faktörlerden toprak faktörünün etkileri ile ilgili beş ana çıktı belirlenmiştir.

İlk olarak, iki önemli entomopatojenik fungus, *B. bassiana* ve *M.anisopliae*, Erzincan'daki doğal ve ekili topraklardan izole edilebilir. Erzincan toprakları asidik forma yakın olup, pH'nın 6.69-7.77 arasında olduğu görülmektedir (Tablo 1). Asidik ortamlarda fungus yoğunluğu daha fazla olduğu görülmüş ve buda, Forth'un 1984'de bildirdiği gibi fungusların asidik ortamlara bazik ortamlardan daha toleranslı sonucuyla örtüşmektedir. Kireçli topraklar kil, kum ve kireç ihtiva ederler ve kil entomopatojen fungusların toprakta varlığını ve sayısını artırdığı, *B. bassiana* gibi küçük konidialara sahip fungusların toprakta çok sayıda bulunmasını sağladığı bildirilmektedir (Studdert ve ark., 1990, Quesada-Moraga ve ark. 2007). Erzincan topraklarında kireç oranı 1.53-38.73 arasında değişmekte ve buda hem *B. bassiana* hemde *M. anisopliae* gibi fungusların oluşumuna katkı sağladığı düşünülmektedir. Organik madde miktarı ile epf arasında pozitif korelasyon olduğu bildirilmekte, yüksek organik madde miktarı fungus konidialarının adsorbsiyon yeteneklerini artırdığı, katyondeğişimlerini kuvvetlendirdiği, artropod popülasyonunun artmasına ve epf için uygun konukçu bulunmasını sağladığı belirtilmektedir (Mietkiewski ve ark., 1997, Kessler ve ark., 2003, Quesada-Moraga ve ark. 2007). Erzincan topraklarında organik madde miktarı %0.25-%3.62 arasında değişmekte ve organik madde miktarı yüksek olması hem *B. bassiana* hemde *M. anisopliae*'nin bulunmasında etkili olduğu kanti oluşmuştur.

İkincisi, *B. bassiana* hem doğal hem de ekili topraklarda yaşam sürdürebilen ve hayatta kalabilen bir fungus türü olduğu görülmüş, oysa *M. anisopliae* ise ekili toprak alanlarında yaşamını sürdürme yeteneğinde olduğu tespit edilmiştir. Aynı sonuçlar Avrupa'da birçok ülkede (Mietkiewski ve ark., 1991, Klinge ve ark., 2002), Amerika'da (Bidochka ve ark., 1998) ve Çin'de (Sun ve ark., 2008) rapor edilmiştir.

Üçüncü olarak ise yapmış olduğumuz Ki kare testi sonucunda, topraklarda epf oluşumu ve dağılımı hem fungus türünden hemde habitat türünden güçlü şekilde etkilendiği görülmüştür.

Dördüncüsü, ise yapılan istatistiksel testler sonucunda her iki fungus türünün oluşumunun ve dağılımının toprak faktörlerinden, potasyum ve toprak saturasyonu ile yakından ilişkili olduğu görülmüştür.

Beşincisi ise, tarımsal zararlıların mikrobiyal mücadelesi ile ilgili karar verilirken uygulama yapılacak tarımsal alanın toprak özelliklerinin epf için uygun olup olmadığını belirledikten sonra işe konulması gerektiğidir. Biyolojik mücadele süreklilik arz eden uzun süreli ve biyolojik mücadele etmenlerinin hayatta kalabilmesi uygun toprak varlığında söz konusudur. Sade bu değil aynı zamanda uygulama yapılacak toprak özelliklerine göre en uygun biyolojik mücadele etmeni seçilmesi için de yararlı bilgiler vermektedir.

Entomopatojen fungusların hayatta kalabilmeleri, bir habitatta yerleşmeleri, dağılımları üzerine etki eden coğrafi faktörler, iklim faktörleri gibi birçok çevresel faktör vardır. Bu çevresel faktörlerin anlaşılması, biyolojik mücadele etmenlerinin tarımsal zararlıların mücadelesinde daha etkin kullanılması için bilmediğimiz birçok faydalı bilginin gün ışığına çıkmasına ve

uygulamaya konulmasına katkı sağlar. Yapılan bu çalışmada, epf oluşumu ve dağılımı ve hayatta kalabilmeleri için toprak faktörlerinin onların üzerine etkilerini belirlemeye ve ileride bu konuda yapılacak araştırmalar için bir model oluşturmaya çalıştık. Türkiye ekolojik özellikleri bakımından oldukça çeşitlilik gösteren ve bu farklı özelliklerden ötürü de zengin bir biyoçeşitliliğe sahip bir ülkedir. Tarımsal zararlılarla yapılacak mikrobiyal mücadelede başarı olmak için farklı ekolojik koşullara uyum sağlayan entomopatojen mikroorganizma türleri belirlenmeli ve biyolojik mücadele programları bu bilgiler ışında hazırlanmalıdır.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, BAP (FEN-A-300614-0104) tarafından desteklenmiş, Toprak analizleri, Tarım ve Orman Bakanlığı, Toprak- Gübre ve Su Kaynakları Merkezi Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (Ankara) tarafından yapılmıştır.

Kaynakça

- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74, 19–31.
- Anonim, 2006. Erzincan Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Erzincan İl Çevre Durum Raporu.
- Anonim, 2008. Erzincan Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Erzincan İl Çevre Durum Raporu.
- Anonim, 2010. Erzincan İli Uzun Yıllar Meteoroloji Verileri. Çevre ve Orman Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü.
- Barnett, H.L. and Hunter, B.B. (1987) *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Macmillan Publishing. 4th Edition. 218 pp, New York: McMillan.
- Bidochka MJ, Kasperski JE, Wild GAM, 1998. Occurrence of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* in soils from temperate and near-northern habitats. *Canadian Journal of Botany* 76: 1198–1204
- Dutky SR, Thompson JV, Cantwell GE (1964) A technique for the mass propagation of the DD-1 36 nematode. *J Insect Pathol* 6:417–422.
- Ekesi, S. Shah, P.A. Clark, S.J. Pell, J.K. (2005). Conservation biological control with the fungal pathogen *Pandora neoaphidis*: implications of aphid species, host plant and predator foraging. *Agr. For. Entomol.*, 7 pp. 21-30.
- Foth, HD . (1984). *Toprak Biliminin Temelleri* John Wiley & Sons, Londra.
- Fuxa, J.R. 1998. Environmental manipulation for microbial control of insects P. Barbosa (Ed.), *Conservation Biological Control*, Academic Press, San Diego, pp. 255-268.
- Gurr, G. M., Wratten, S. D., and Luna, J. M. (2003). Multi-function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits. *Basic Appl. Ecol.* 4, 107–116.
- Humber, R. A. (1997). *Entomopathogenic Fungal Identification*. In: “Manual of Techniques in Insect Pathology.” (L.A. Lacey, ed), San Diego, 153-185
- Kessler P, Matzke H, Keller S, 2003. The effect of application time and soil factors on the occurrence of *Beauveria brongniartii* applied as a biological control agent in soil. *Journal of Invertebrate Pathology* 84: 15–23.
- Klingen I, Eilenberg J, Meadow R, 2002. Effects of farming system, field margins and bait insect on the occurrence of insect pathogenic fungi in soils. *Agriculture Ecosystems & Environment* 91: 191–198
- Lacey, L.A. Frutos, R. Kaya, H.K. Vail, P. (2001). Insect pathogens as biological control agents: Do they have a future? *Biol. Control*, 21 pp. 230-248.
- Mietkiewski R, Zurek M, Tkaczuk C, Balazy S, (1991). Occurrence of entomopathogenic fungi in arable soil, forest soil and litter. *Roczniki Nauk Rolniczych, seria E* 21: 61–68.
- Mietkiewski R, Pell JK, Clark SJ, (1997). Influence of pesticide use on the natural occurrence of entomopathogenic fungi in arable soils in the UK: field and laboratory comparisons. *Biocontrol Science and Technology* 7: 565–575.
- Öncüer, C., (1995). *Tarımsal zararlılarla savaş yöntemleri ve ilaçlar*. Ege Üniversitesi basım evi. Bornova, İzmir.
- Quesada-Moraga, E., Navas-Cortés, J.A., Maranhao, E.A.A., Ortiz-Urquiza, A., Santiago-Álvarez, C., (2007). Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycological Research* 111, 947–966.
- Rehner S.A. (2005). Phylogenetics of the insect pathogenic genus *Beauveria* F.E. Vega, M. Blackwell (Eds.), *Insect-Fungal Associations: Ecology and Evolution*, Oxford University Press, pp. 3-27
- Roberts, D.W. Leger, R.J. St (2004). *Metarhizium* spp., cosmopolitan insect-pathogenic fungi: Mycological aspects. *Adv. Appl. Microbiol.*, 54, pp. 1-70.
- Shah, P.A. Pell, J.K. (2003). Entomopathogenic fungi as biological control agents. *Appl. Microbiol. Biotech.* 61 pp. 413-423.
- Stuart, R.J. Barbercheck, M.E. Grewal, P.S. Taylor, R.A.J. Ho y C.W. (2006). Population biology of entomopathogenic nematodes: concepts, issues, and models. *Biol. Control*, 38, pp. 80-102
- Studdert, J.P. Kaya, H.K. Duniway J.M., (1990). Effect of water potential, temperature, and clay coating on survival of *Beauveria bassiana* conidia in loam and peat soil. *Journal of Invertebrate Pathology*, 55, pp. 417-427.
- Sun, B., Liu, X., (2008). Occurrence and diversity of insect-associated fungi in natural soils in China. *Applied Soil Ecology* 39, 100–108
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., and Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity—Ecosystem service management. *Ecol. Lett.* 8, 857–874.
- Zimmermann G. (1986). The ‘Galleria bait method’ for detection of entomopathogenic fungi in soil. *J. Appl. Ent.* 102, 213–215.



The Effect of Temperature and Time Variables on Printing Quality in Sublimation Transfer Printing on Nylon and Polyester Fabric

Meral Özomay^{1,3*}, Zafer Özomay^{2,3}

¹ Marmara University, Faculty of Technology, Department of Textile Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0138-0060), meral.akkaya@marmara.edu.tr

² Marmara University, School of Applied Sciences, Department of Printing Technologies, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7650-733X), ozomay@marmara.edu.tr

³ Textile and Manuscripts Conservation and Restoration R & D Laboratory, Marmara University, Istanbul, Turkey.

(First received 1 February 2021 and in final form 30 April 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.889147)

ATIF/REFERENCE: Özomay, M. & Özomay, Z. (2021). The Effect of Temperature and Time Variables on Printing Quality in Sublimation Transfer Printing on Nylon and Polyester Fabric *European Journal of Science and Technology*, (23), 882-891.

Abstract

The image on textile fabrics is created by various methods. The sublimation transfer printing method, which is one of the various image creation methods on fabric, was applied on nylon and polyester fabric in the study. The fabrics used were printed at two different temperatures, both 150°C and 200°C, and with a pressing time of 30 seconds, 60 seconds, and 120 seconds. L * a * b * values, wash fastness (staining and fading), delta E values of Cyan, Magenta, Yellow and Black colors, which are the process colors determined in the study, were measured alongside the analysis of fastness properties. It was determined that the image formation, pressing time and temperature-dependent fastness values on fabrics were 4/5 (very good). Sublimation printing has shown that application differences depending on both temperature and time cause changes in color values. Considering the costs, it is suggested that the printing time of 30 seconds can be preferred, when compared to the longer printing time in sublimation prints.

Keywords: Sublimation Printing, Color, Washing Fastness, Fabric.

Naylon ve Polyester Kumaş Üzerine Sublimasyon Transfer Baskıda Sıcaklık ve Süre Değişkeninin Baskı Kalitesine Etkisi

Öz

Tekstil kumaşlar üzerine görüntü çok çeşitli yöntemler ile oluşturulmaktadır. Kumaş üzerine farklı görüntü oluşturma yöntemlerinden biri olan sublimasyon transfer baskı yöntemi çalışmada naylon ve polyester kumaş üzerine uygulanmıştır. Kullanılan kumaşlara hem 150°C hem de 200°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta ve 30sn, 60sn ve 120sn presleme süresi ile baskılar gerçekleştirilmiştir. Haslık özelliklerinin analizi ile birlikte çalışmada belirlenen proses renkleri olan Cyan, Magenta, Yellow ve Black renklerinin; L* a* b* değerleri, yıkama haslığı (lekeleme ve solma), delta E değerleri ölçümlenmiştir. Kumaşlarda görüntü oluşumu presleme süresi ve sıcaklığa bağlı haslık değerleri 4/5 (çok iyi) olduğunu tespit edilmiştir. Süblimasyon baskı hem sıcaklığa hem de süreye bağlı uygulama farklılıklarının renk değerlerinde değişimler oluşturduğunu göstermiştir. İşletme maliyetleri de düşünüldüğünde sublimasyon baskılarda 30 saniye baskı süresinin daha uzun baskı süresine göre tercih edilebileceği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sublimasyon Baskı, Renk, Yıkama Haslığı, Kumaş.

* Corresponding Author: ozomay@marmara.edu.tr

1. Introduction

Today, polyester and nylon fibers are used instead of cotton and natural fibers (Bae, 2020). Polyester fibers are accepted all over the world due to their properties such as flexibility, high resistance, dimensional stability, resistance to many chemical compounds and low moisture absorption (Brady et al.,1980; Glombikova & Komarkova, 2014).

Image transfer on polyester and nylon fabric is done with different methods (Cahill & Ujiie, 2004). Screen printing on the fabric surface; is the transfer of ink transferred to digital printing or transfer paper to the fabric by pressing it through heat (Guan et al.,2009). Pre-processing is required to create an image on the fabric surface with digital and screen printing, and then pass through steam and fixing units to fix the ink (Hsieh & Lin, 2018).

Sublimation (the physical process of transition from solid state to gaseous state) is the process of transferring the polymer-rich pigment to a special transfer paper and adhering the image formed on the paper to the fabric fibers with pressure (Jin & Sturm, 2010). In the sublimation thermal transfer printing system, using time, temperature and pressure, the image transfer is provided by the solid adhesion of the image on the film material on the substrate (Qihong & Qinghua, 1997; Sahin et al., 2013). In the thermal transfer printing system, the important factor determining the printing quality is the printing parameters (temperature, pressure, time) and the substrate that will comply with them (Salem et al., 2013). Printing parameters determined in accordance with the surface properties of the substrate will give high printing quality.

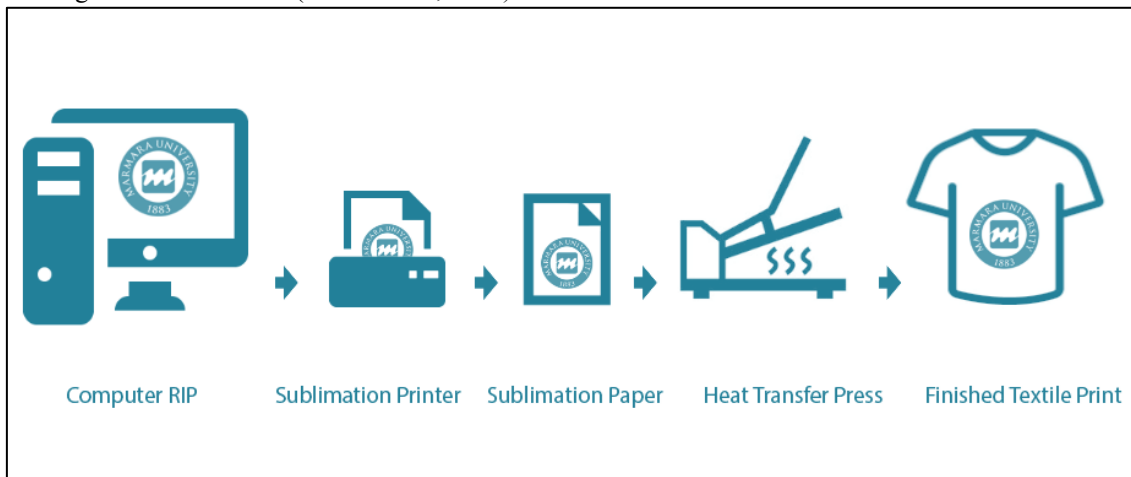


Figure 1. Sublimation Printing Scheme

In sublimation thermal transfer printing systems, it is primarily created on image transfer papers. The image is transferred on transfer papers by screen printing or digital Technologies (Sönmez et al., 2019). The image to be printed is created by transferring polymer pigment onto transfer printing papers. The pigment transferred to the transfer paper is micro-sized and solid. After the heat and pressure generated during printing, these polymer pigment particles in solid form on the transfer paper adhere to the substrate fibers. In this way, the image on the thermal paper is transferred to the substrate (Stojanović et al., 2020).

In the studies, instead of different types of fabrics such as cotton, wool, silk, fabrics developed due to their good chemical stability properties such as nylon and polyester are used (Yongqing, 2014). Surface modifications such as washing, light, anti-corrosion are the reasons why they are preferred (Zelenkova et al., 2020). Few studies have been conducted on the efficiency of sublimation transfer printing applications on textile fabrics. This research aims to determine the usability of the differences in washing, K / S, and color values after sublimation transfer printing formed on nylon and polyester fabric and their suitability in different applications (Wu & Bai, 2011).

In the studies, instead of different types of fabrics such as cotton, wool, silk; nylon and polyester are used which are the fabrics developed due to their good chemical stability properties. Surface modifications such as washing, light, anti-corrosion are the reasons why they are preferred. Very few studies have been

conducted on the efficiency of sublimation transfer printing applications on textile fabrics. In this research, the differences in washing, rubbing fastness, K / S and color values after sublimation transfer printing on nylon and polyester fabric were determined.

2. Material and Method

2.1. Materials

In this study, two different fabrics, 100% polyester and 100% nylon, were used as materials. Technical features of these fabrics are given in Table 1.

Table 1. Technical properties of the fabrics used in the study

Technical properties	Polyester	Nylon
Fiber Type	%100 polyester	%100 nylon
Woven Type	Plain weave	Plain weave
Weight	150 g/m ²	155 g/m ²
Warp density	32 ends/cm	33 ends/cm
Weft Density	32 ends/cm	31 ends/cm
L	88,77	88,92
a	1,54	1,15
b	12,36	7,95

In this study, studies were carried out with CMYK colors by using ready-made disperse dyestuff formulations that can be sublimated. The dyestuffs used are shown in Table 2.

Table 2: Technical characteristics of the inks used in the study

Color	Manufacturer	Commercial Code	Light Fastness	Washing Fastness	Perspiration Fastness
Cyan	Kian Digistar Hi Pro	M501251	5-6	4-5	4-5
Magenta		M501230	6-7	4-5	5
Yellow		M501215	6-7	4-5	4-5
Black		M501211	6	4-5	5

2.2. Methods

2.2.1. Sublimation Transfer Printing Process

The transfer printing material, for which a sublimation film layer is formed, has been conditioned in the printing room at a temperature range of 20-250 °C and a relative humidity of 40-60% for 24 hours before printing (Akkaya & Eyupoglu, 2016). The main print films obtained were transferred on polyester and nylon textile fabrics using HP3803 flat thermal transfer printing machine at 150 °C, 200 °C with 30, 60 and 120 seconds transfer waiting time.

2.2.2. Color Measurement

Printing and post-printing color measurement values were carried out using Datacolor color measurement device and Dyematch computer program. In the measurements, samples obtained by the conventional method were accepted as standard and measurements were carried out using a D / 65 light source under an observation angle of 10 °.

Color differences with values of ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* and ΔH^* were calculated using Formula 1, Formula 2, Formula 3, Formula 4, Formula 5, Formula 6.

$$\Delta E^*_{ab} = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad \text{Formula 1}$$

$$\Delta L^{*2} = (L^*_2 - L^*_1)^2 \quad \text{Formula 2}$$

$$\Delta a^{*2} = (a^*_2 - a^*_1)^2 \quad \text{Formula 3}$$

$$\Delta b^{*2} = (b^*_2 - b^*_1)^2 \quad \text{Formula 4}$$

$$\Delta C^*_{ab} = ((a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2)^{1/2} = (\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad \text{Formula 5}$$

$$\Delta H^* = ((\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2)^{1/2} \quad \text{Formula 6}$$

Color difference increases as ΔE values (Ural et al., 2018) move away from 0. ΔL^* indicates lightness - darkness, a^* indicates redness - greenery, b^* indicates yellowness - blueness, ΔC indicates color intensity (tone angle), and ΔH^* indicates the difference between hue angles defined in the coordinate system (Hayta et. al., 2020; Özomay, 2009).

Color strength values (K / S) of the printed samples were calculated according to Formula 7 using Kubelka-Munk equation (Özomay & Akalın, 2020; Akkaya & Eyupoglu, 2016).

$$K / S = (1 - R)^2 / 2R \quad \text{Formula 7}$$

In the formula, K is the absorption coefficient, S is the scattering coefficient, R is the reflectance value of the fiber at the wavelength at maximum absorption, and K / S is the color strength.

2.2.3. Washing Fastness Test

The washing fastnesses of the printed samples were made according to ISO 105-C06 standard using Gyrowash-James H. Heal brand washing fastness tester. Printed samples were processed with a washing fastness tester for 30 minutes at a temperature of 40 ° C in 1/100 float, according to the ratio of 4 g/l and evaluated with gray scale. In the application of the test, ECE non-ionic detergent was used according to the standard.

3. Research Results and Discussion

In this section, color measurement values, color differences and wash-light and rubbing fastnesses of the samples printed at different temperatures and times are evaluated.

3.1. Color Measurement Results Dependent on Printing Temperature and Time

CIE L * a * b * color values of cyan, magenta, yellow and black colors after sublimation printing of 100% polyester and 100% nylon fabrics are given in Table 3.

Table 3: Color measurement values of Cyan color samples with sublimation printing

Cyan		Polyester			Nylon		
Temperature (°C)	Time (min.)	L	a	b	L	a	b
150	30	61,81	-33,39	-36,55	62,7	-33,38	-37,77
150	60	61,88	-33,58	-36,55	62,8	-33,27	-37,7
150	120	61,63	-33,7	-36,46	63,52	-33,74	-37,66
200	30	62,21	-33,88	-35,77	63,95	-34,3	-37,39
200	60	62,42	-33,83	-35,47	64,09	-34,14	-37,29
200	120	62,21	-33,89	-35,87	64,14	-34,64	-37,27

It is seen that there is a significant and regular increase in the CIE L* value due to the increase in temperature and printing time in cyan color printing on polyester and nylon fabrics. The increase in the CIE L* value indicates that the samples with a printing temperature of 200 °C are lighter. In addition, it is understood that cyan color prints made on polyester fabric are darker than prints made on nylon fabric.

There was no change in CIE a* and CIE b* values depending on the printing time for both polyester and nylon fabrics. It is seen that the samples printed at 150 °C in the prints made on polyester fabric shifted to blue more than the samples printed at 200 °C, and the increase in printing temperature in the prints made on nylon fabric shifted the samples to green nuance.

Table 4. Color measurement values of Magenta color samples with sublimation printing

Magenta		Polyester			Nylon		
Temperature (°C)	Time (min.)	L	Temperature (°C)	Time (min.)	L	Temperature (°C)	Time (min.)
150	30	50,79	60,66	-1,27	51,42	61,18	-2,41
150	60	51,16	60,66	-1,66	51,6	61,05	-2,46
150	120	51,04	60,58	-1,38	52,13	61,2	-3,04
200	30	51,91	59,23	-2,91	52,81	60,4	-4,08
200	60	53,9	57,3	-5,6	54,56	58,94	-6,18
200	120	55,52	54,91	-8,09	57,5	55,45	-9,81

When Table 4 is examined, it is seen that there is a significant increase in the CIE L* value due to the increase in temperature and printing time in magenta color printing on polyester and nylon fabrics. The increase in the CIE L* value indicates that the samples with a printing temperature of 200 °C are lighter. In addition, it is understood that the cyan color prints made on polyester fabric are darker than the prints made on nylon fabric.

There was no change depending on the printing time for both polyester and nylon fabrics in the prints made at 150 °C in CIE a* and CIE b* values. In the prints made at 200 °C in CIE a* and CIE b* values, as the printing time decreases, magenta prints made on polyester fabrics have a color deviation towards red; As the printing time increases, it is concluded that the color shifts towards blue.

Table 5: Color measurement values of Yellow color samples with sublimation printing

Yellow		Polyester			Nylon		
Temperature (°C)	Time (min.)	L	a	b	L	a	b
150	30	86,15	-2,98	82,93	87,03	-3,22	82,73
150	60	86,41	-2,9	82,78	87,19	-3,18	82,91
150	120	86,24	-2,79	82,24	87,72	-3,29	82,87
200	30	86,13	-3,03	80,9	87,74	-3,33	81,83
200	60	86,26	-3,02	79,37	88,22	-3,58	80,32
200	120	85,96	-3,35	77,35	88,03	-3,62	77,49

A significant and regular increase in the CIE L* value due to the increase in temperature and printing time in yellow color printing applied to nylon fabrics, in other words, the color was in lighter shades, while no significant change occurred in the CIE L

* value in polyester fabric. In addition, it is seen that the yellow nuance of the color increases as the printing time decreases in the prints made at 200 °C in both polyester and nylon fabrics.

Table 6. Color measurement values of Black color samples with sublimation printing

Black		Polyester			Nylon		
Temperature (°C)	Time (min.)	L	a	b	L	a	b
150	30	30,65	0,63	2,39	30,62	0,11	0,97
150	60	29,86	0,17	1,43	30,32	0,58	1,49
150	120	29,76	0,74	2,51	30,39	0,65	1,39
200	30	31,24	0,89	2,63	30,96	0,81	1,56
200	60	31,5	1,07	2,58	31,84	1,03	1,83
200	120	31,15	1,05	2,55	31,88	1,64	1,9

The fading of the color tone due to the temperature increase in the colors of cyan, magenta and yellow was again realized in both polyester and nylon fabrics for Black color. However, unlike other colors, there was no significant difference between the prints made on polyester and nylon fabric in terms of darkness and lightness in black. Increasing the printing temperature in black color prints made on polyester and nylon fabrics indicates a positive increase in the CIE a * value of the color, that is, the color has shifted towards red. While the CIE b * value did not change significantly in polyester fabric due to temperature and time, it was observed that the yellowness value of the color increased with the temperature and time-dependent increases in black color prints made on nylon fabric.

3.2. Color Measurement Differences Depending on Printing Temperature and Time

The ΔE , ΔL , Δa , Δb , ΔC and ΔH values for cyan, magenta, yellow and black colors after sublimation printing of 100% polyester and 100% nylon fabrics are calculated according to Formula 1 and are given in Tables 7-8-9 and 10. According to the tables, while calculating the color differences in the samples printed at 150 °C, the prints made in 30 seconds were taken as reference, while calculating the color differences in the samples printed at 200 °C, the prints made at the same temperature in 30 seconds were taken as reference. In the prints made on nylon fabrics, the prints made at the same temperatures in 30 seconds are used as a reference.

Table 7. ΔE *, ΔL *, Δa *, Δb *, ΔC * and ΔH * Values of Cyan color printed samples

CYAN	Temperature (°C)	Time (min.)	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔC	ΔH
Polyester	150	60	0,10	0,07	0,19	0,00	0,1	0,1
	150	120	0,21	0,18	0,31	0,09	0,1	0,3
	200	60	0,21	0,21	0,05	0,30	0,3	0,2
	200	120	0,04	0,00	0,01	0,10	0,1	0,1
Nylon	150	60	0,09	0,10	0,11	0,07	0,1	0,0
	150	120	0,71	0,82	0,36	0,11	0,2	0,3
	200	60	0,13	0,14	0,16	0,10	0,2	0,1
	200	120	0,23	0,19	0,34	0,12	0,1	0,3

When Table 7 is examined, it is seen that the color differences calculated according to the printing time of 30 seconds of all categories are almost the same and very low. Therefore, it is concluded that increasing the printing time will not affect the

color for cyan color. Considering the importance of time in terms of costs in businesses, it is predicted that 30 seconds of printing time will save time and reduce unnecessary costs.

Table 8. ΔE *, ΔL *, Δa *, Δb *, ΔC * and ΔH * Values of Magenta color printed samples

MAGENTA	Temperature (°C)	Time (min.)	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔC	ΔH
Polyester	150	60	0,41	0,37	0,00	0,39	0,0	0,4
	150	120	0,26	0,25	0,08	0,11	0,1	0,1
	200	60	2,37	1,99	1,93	2,69	1,7	2,8
	200	120	4,44	3,61	4,32	5,18	3,8	5,6
Nylon	150	60	0,18	0,18	0,13	0,05	0,1	0,1
	150	120	0,76	0,71	0,02	0,63	0,0	0,6
	200	60	1,99	1,75	1,46	2,10	1,3	2,2
	200	120	5,37	4,69	4,95	5,73	4,2	6,3

According to the color differences table calculated with reference to the shortest printing time in each category for magenta color, it has been determined that the printing time of polyester and nylon fabrics at 150°C does not have a significant effect on color differences. However, in prints made at 200 °C, it is seen that the color difference increases as the printing time

increases. The E color differences that occur in the printing of polyester and nylon fabrics at 200 °C vary between 2 and 5. This change is a change that can be perceived with the eye. At the same time, the increase in printing time caused an increase in ΔC value, making the magenta colors more vivid.

Table 9. ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* and ΔH^* Values of Yellow color printed samples

YELLOW	Temperature (°C)	Time (min.)	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔC	ΔH
Polyester	150	60	0,18	0,26	0,08	0,15	0,2	0,1
	150	120	0,18	0,09	0,19	0,69	0,7	0,2
	200	60	0,34	0,13	0,01	1,53	1,5	0,0
	200	120	0,83	0,17	0,32	3,55	3,5	0,5
Nylon	150	60	0,11	0,16	0,04	0,18	0,2	0,0
	150	120	0,45	0,69	0,07	0,14	0,1	0,1
	200	60	0,48	0,48	0,25	1,51	1,5	0,3
	200	120	1,00	0,29	0,29	4,34	4,3	0,5

When Table 9 is examined, it is seen that the color differences calculated according to the 30 second printing time of all categories are very low and almost the same. When the results of ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* and ΔH^* are examined separately, it is seen that Δb^* , ΔC^* is slightly affected in the prints made on both polyester and nylon fabrics, but this effect does not cause a serious

change in E^* . Therefore, it is concluded that increasing the printing time will not affect the color for yellow color. Considering the importance of time in terms of costs in businesses, the printing time is 30 seconds. It is predicted that doing with it will save time and reduce unnecessary costs.

Table 10. ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* and ΔH^* Values of Black color printed samples

BLACK	Temperature (°C)	Time (min.)	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔC	ΔH
Polyester	150	60	0,54	0,79	0,46	0,96	1,0	0,3
	150	120	0,28	0,89	0,11	0,12	0,1	0,1
	200	60	0,32	0,26	0,18	0,05	0,0	0,2
	200	120	0,19	0,09	0,16	0,08	0,0	0,2
Nylon	150	60	0,76	0,30	0,47	0,52	0,6	0,3
	150	120	0,72	0,23	0,54	0,42	0,6	0,4
	200	60	0,97	0,88	0,22	0,27	0,3	0,1
	200	120	0,95	0,92	0,83	0,34	0,8	0,5

It is seen that the color differences calculated according to the printing time of 30 seconds for all categories for black color are almost the same and very low as in the cyan color. Therefore, it is concluded that increasing the printing time will not affect the

color for black color. Considering the importance of time in terms of costs in businesses, the printing time is 30 seconds. It is predicted that doing with it will save time and reduce unnecessary costs.

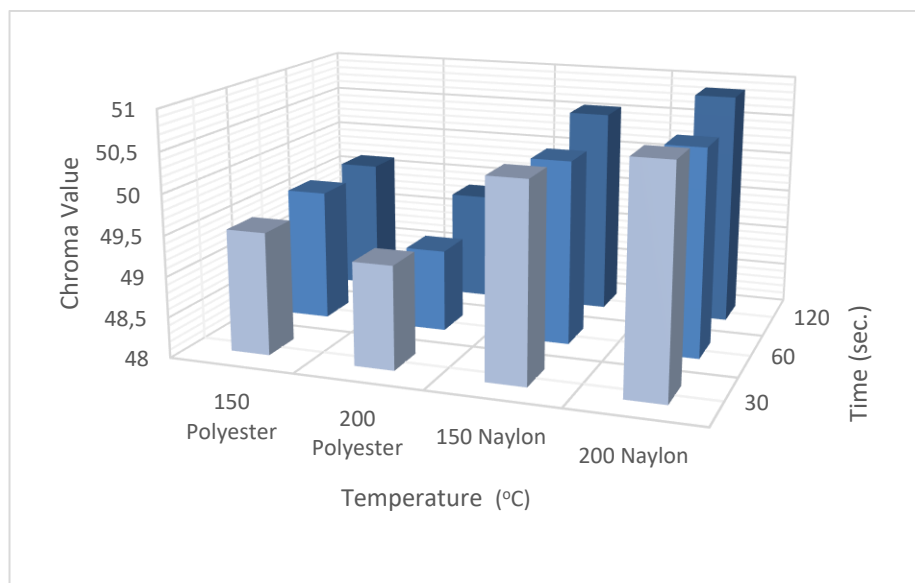


Figure 2. Chroma values of Cyan color printed samples

In visual color perception, Chroma expresses the vibrancy or opacity properties of a color. A positive chroma value indicates that the color has a higher saturation. When the Crome values of the Cyan color are examined according to Figure 2, it has been determined that the prints made on nylon fabric have a higher

saturation than the printing colors on polyester fabric, hence more vivid colors. In terms of printing temperature and time, it is seen that the colors of the prints made in 120 seconds between all prints are more vivid compared to other times.

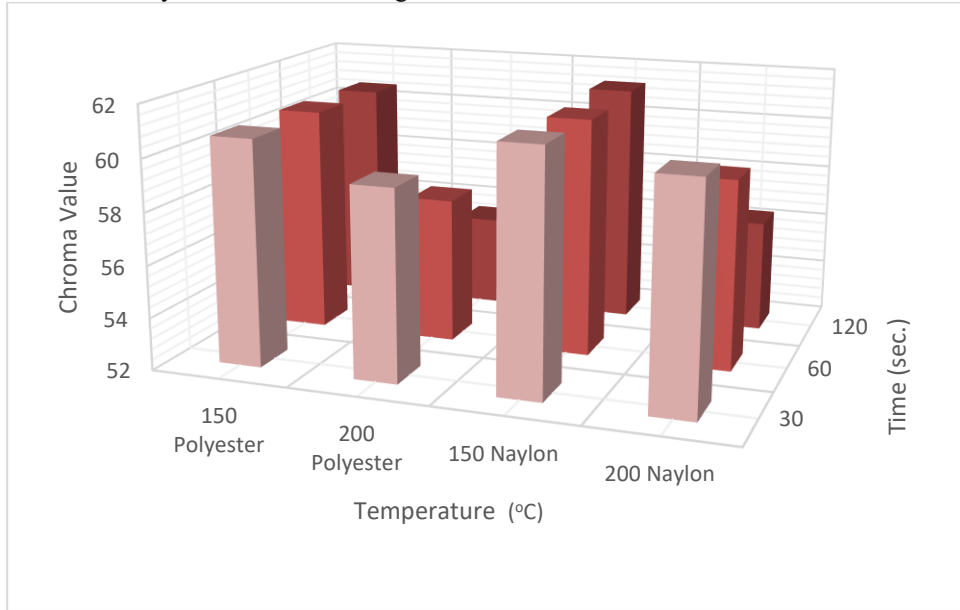


Figure 3. Chroma values of Magenta color printed samples

When the Crome values of Magenta color are examined according to Figure 3, it was determined that the prints made on nylon fabric have more vivid colors than the printing colors on polyester fabric. While there is no significant difference between

them in terms of chroma value as printing times change in magenta color's prints at 150 °C; In the prints made on both fabrics at 200 °C, it is seen that the gray ratio increases as the printing time increases, so the color becomes dull.

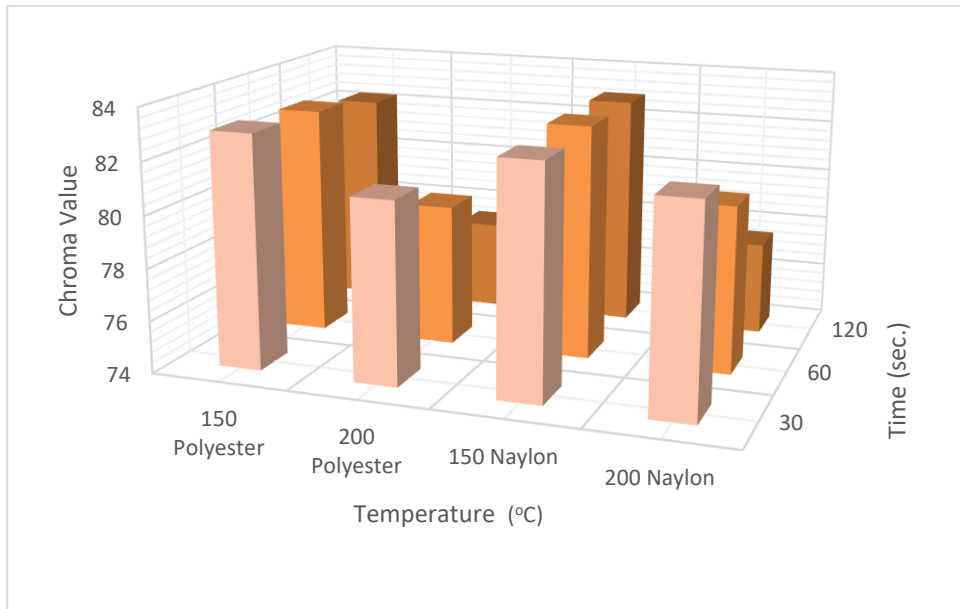


Figure 4. Chroma values of Yellow color printed samples

When the Crome values of the yellow color were examined, no significant difference was found between nylon and polyester fabrics in the prints made at the same temperature and time.

However, in the prints of Yellow color on both fabrics at 200 °C, it is seen that the gray ratio increases as the printing time increases, so the color becomes dull.

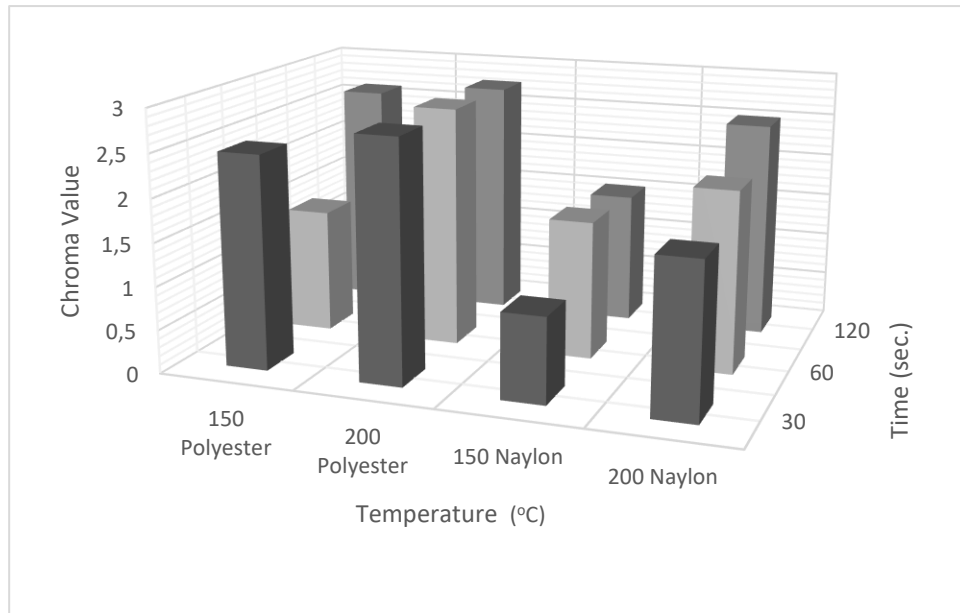


Figure 5: Chroma values of black color printed samples

When the Chroma values of Black color are examined according to Figure 5, it is seen that, unlike other colors, black color prints made on polyester fabric have generally more vivid colors than black color prints made on nylon fabric. While the print with the lowest value in terms of color saturation is the sample printed at 150 °C for 30 seconds on nylon fabric; the

printing with the most vivid colors was found to be the printing made on polyester fabric at 200 °C in 60 seconds.

3.4. Washing Fastness Analysis Based on Printing Temperature and Time

Table 11: Washing fastness results

Color	Fabric	Temperature (°C)	Time (Min.)	Washing Media					Discoloration	
				Acetate	Cotton	Nylon 6.6	Polyester	Acrylic		Wool
CYAN	POLYESTER	150	30	5	5	5	5	5	5	5
		150	60	5	5	5	5	5	5	5
		150	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		200	30	5	5	5	5	5	5	5
		200	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		200	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
	NYLON	150	30	5	5	5	5	5	5	5
		150	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		150	120	5	5	5	5	5	5	5
		200	30	5	5	5	5	5	5	5
		200	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		200	120	5	5	5	5	5	5	5
MAGENTA	POLYESTER	150	30	5	5	5	5	5	5	5
		150	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		150	120	5	5	5	5	5	5	5
		200	30	5	5	5	5	5	5	5
		200	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		200	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
	NYLON	150	30	5	5	5	5	5	5	5
		150	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		150	120	5	5	5	5	5	5	5
		200	30	5	5	5	5	5	5	5
		200	60	5	5	5	5	5	5	5
		200	120	5	4/5	5	5	4/5	4/5	5

YELLOW	POLYESTER	150	30	5	5	5	5	5	5	5	
		150	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		150	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		200	30	5	5	5	5	5	5	5	5
		200	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		200	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
	NYLON	150	30	5	5	5	5	5	5	5	5
		150	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		150	120	5	5	5	5	5	5	5	5
		200	30	5	5	5	5	5	5	5	5
		200	60	5	5	5	5	5	5	5	5
		200	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
BLACK	POLYESTER	150	30	5	5	5	5	5	5	5	
		150	60	5	5	5	5	5	5	5	
		150	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		200	30	5	5	5	5	5	5	5	5
		200	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		200	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
	NYLON	150	30	5	5	5	5	5	5	5	5
		150	60	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		150	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
		200	30	5	5	5	5	5	5	5	5
		200	60	5	5	5	5	5	5	5	5
		200	120	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5

Washing fastness of 100% polyester and 100% nylon fabrics after sublimation printing was examined separately for cyan, magenta, yellow and black colors. According to Table 15, it has been concluded that there is no significant difference between the colors according to the variables of temperature and printing time.

4. Conclusion

When the color values of the samples are examined, it is seen that the CIE L* values of all samples increase between 150 °C and 200 °C after sublimation printing. The increase in the CIE L* value indicates that the samples with a printing temperature of 200 °C are lighter.

When the polyester and nylon fabrics printed under the same conditions are compared, the increase in the CIE L* value shows that the prints made on the nylon fabric are in lighter shades.

For cyan, magenta and black colors, it is concluded that the ΔE color differences calculated according to the 30 second printing time of all categories are very low, so increasing the printing time does not affect the color positively or negatively.

It has been determined that the colors of the prints made on nylon fabric in Cyan, Magenta and Yellow colors are more vivid than the printing colors on polyester fabric, while the fabric with more vivid colors in black is polyester.

It has been determined that all colors have very good fading values after washing fastness. Again, at different printing temperatures of all colors, 30 seconds. It is concluded that the staining results are very good in prints made with the printing time.

As a result, it is suggested that a 30-second printing time can be preferred in sublimation prints, considering the operating costs, since there is no negative difference in colors compared to the

It is seen that the prints of all colors and temperatures in 30 seconds printing time are the prints that give the best results in terms of washing fastness. In addition, when the color fading was examined in the evaluation made after the washing fastness test, it was determined that the color did not fade in all prints.

printing times of 60 seconds and 120 seconds in sublimation prints with 30 seconds printing time and washing fastness is even better than long-term prints.

References

- Akkaya, M., & Eyupoglu, S. (2016). The examination of the effects of quercus aegilops extract used as natural mordant on colourfulness features of natural dyeing. In *2016 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIconRusNW)* (pp. 108-111). IEEE.
- Bae, D. G. (2020). Effect of Cyanoethylation Pretreatment on the Sublimation Transfer Printing of Cotton Fabric. *Textile Coloration and Finishing*, 32(3), 135-141.
- Brady, P. R., Cookson, P. G., Fincher, K. W., & Lewis, D. M. (1980). Sublimation transfer printing of wool.
- Cahill, V., & Ujiie, H. (2004). Digital textile printing 2004. *Presentation, VCE Solutions, Philadelphia University, Salt Lake City, UT*.
- Glombikova, V., & Komarkova, P. (2014). Study on the Impact of Dye-Sublimation Printing on the Effectiveness of Underwear. *Tekstiles*, 57(2).
- Guan, Y., Mao, Y. H., Zheng, Q. K., Zheng, G. H., & Tian, T. (2009). Transfer printing with disperse dyes on cotton fabric modified with an aqueous tolylene diisocyanate derivative. *Fibers and Polymers*, 10(4), 488-495.
- Hayta, P., Oktav, M., Ateş, Ö., & Özomay, Z. Preparation of Ecofriendly Offset Printing Ink Varnish with Safflower Oil and

Pinus pinaster Resin and Printability. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 62-67.

Hsieh, M. C., & Lin, J. S. (2018). Study on design of temperature-dependence of sublimation transfer roller. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 185, p. 00036). EDP Sciences.

ISO 105-C06, Test for Colour Fastness of Textiles-Colour Fastness to Washing.

Jin, H., & Sturm, J. C. (2010). Super-high-resolution transfer printing for full-color OLED display patterning. *Journal of the Society for Information Display*, 18(2), 141-145.

Özomay, M., & Akalın, M. (2020). Optimization of Fastness Properties with Gray Relational Analysis Method in Dyeing of Hemp Fabric with Natural and Classic Mordant. *Journal of Natural Fibers*, 1-15.

Özomay, Z., (2009). IGT Test Baskı Makinesi ile Ofset Baskı Makinesi Arasındaki Renk Uyumu için Optimum Prosedürün Hazırlanması. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Qihong, C., & Qinghua, M. (1997). Study of the Technology of Heat Transfer Printing on Cotton Fabric [J]. *Journal of Wuhan Textile Sht Institute*, 2.

Salem, A. A., Shahin, M. F., El Sayad, H. S., & El Halwagy, A. A. (2013). Transfer Printing Of Polyester Fabrics With Natural Dyes. *Research Journal Of Textile And Apparel*.

Sönmez, S., Uzun, M., & Akgül, A. (2019). Printability of Bamboo Jersey Fabrics in Thermal Transfer Printing

System. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31, 104-107.

Stojanović, S., Geršak, J., Trajković, D., & Ćirković, N. (2020). Influence of sublimation transfer printing on alterations in the structural and physical properties of knitted fabrics. *Coloration Technology*.

Şahin, C., Özomay, Z., Keskin, B., (2013). Gazete Kağıdında Baskı Basıncının Nokta Kazancına Etkisinin Değerlendirilmesi. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 3 (3), 121-128.

Ural, E., Özomay, Z., & Özdemir, L. (2018). Determination of the effect of palm oil ink on print quality. *Mus Alparslan University Journal of Science*, 6(1), 533-537.

Wu, Y. J., & Bai, R. (2011). Color reproduction capability on 100% cotton fabrics using dye-sublimation heat transfer printing. In *NIP & Digital Fabrication Conference* (Vol. 2011, No. 1, pp. 41-44). Society for Imaging Science and Technology.

Yongqing, L. (2014). Development of sublimation transfer printing on natural fabrics. *Textile Dyeing and Finishing Journal*, 36(8), 10-13.

Zelenkova, T. N., Kozlova, O. V., Shirmanova, V. V., & Khakhin, S. N. (2020). Application of Acrylic Polymers in Transfer Printing of Cotton Fabrics. *Russian Journal of General Chemistry*, 90(9), 1777-1780.