

Ejosat

Sayı/Issue 20

Aralık/December 2020

AVRUPA BILIM & TEKNOLOJİ DERGİSİ
EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Dergi Sahibi

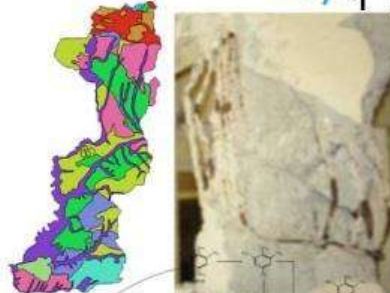
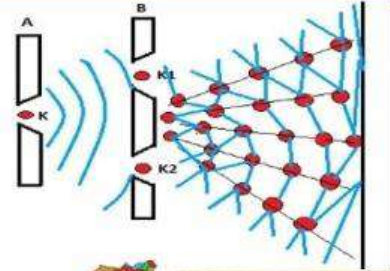
Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Editörler

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi



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

TRDİZİN



INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

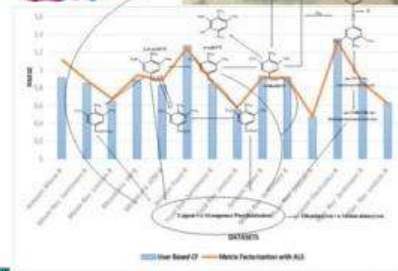


Dergi Sekreteri ve İletişim Bilgileri
Abdulkadir ŞAHİNER

E-posta: ejosat@outlook.com

Web Adresi: www.ejosat.com.tr

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



www.ejosat.com

ISSN: 2148 - 2683

AVRUPA BİLİM & TEKNOLOJİ DERGİSİ

EUROPEN JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ARALIK/DECEMBER 2020 (20. SAYI/ISSUE) İÇİNDEKİLER LİSTESİ/TABLE OF CONTENTS

The Prediction of Brent Crude Oil Trend Using LSTM and Facebook Prophet / Sayfalar: 1-9

Dr. Didem GÜLERYÜZ, Arş. Gör. Erdemalp ÖZDEN

Physiologic and Seed Yield Responses of Different Alkali Grass (*Puccinellia ciliata*) Populations to Salinity Stress / Sayfalar: 10-15

Doç. İlkay YAVAŞ, Volkan Mehmet ÇINAR, Aydın ÜNAY

Siyah Kuşburnu Meyvesinden Süperkritik CO2 Ekstraksiyonu ile Doğal Pigment Eldesinin Yüzeysel Yanıt Yöntemi Kullanılarak Modellenmesi ve Optimizasyonu / Sayfalar: 16-23

Kadriye KASAPOĞLU, Evren DEMİRCAN, Dr. Mine ÖZGÜVEN, Beraat ÖZÇELİK

Sürü Robotların Hareket Planlamada Kullanılması / Sayfalar: 24-29

Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir YAŞAR

N-3 HUFA'ca zenginleştirilmiş *Artemia* ile beslenen Yeşil kaplan karidesi (*Penaeus semisulcatus*) larvalarının büyüme performansı / Sayfalar: 30-34

Dr. Hatice Asuman YILMAZ

Mini-hidroelektrik Santrallerin Çevresel ve Sosyal Etkileri Üzerine Bir Çalışma / Sayfalar: 35-41

Prof. Dr. Cengiz KOÇ

İnşaat Sektöründe Kalite Faktörünün Performans Endekslerine Etkisinin Kazanılmış Değer Analizi (KDA) ile Ölçülmesi / Sayfalar: 42-49

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Nurettin UĞURAL, Çağrı ŞAHİN

Scanning the Industry 4.0 Ecosystem in Turkey: Digitization and Innovation Studies / Sayfalar: 50-55

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ARUCU

A decision support model for unmanned aerial vehicles assisted disaster response using AHP-TOPSIS method / Sayfalar: 56-66

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBASİ, Doktora Lütfü GÜR

Aşırı beslenmeye bağlı oluşan insülin direncinin biyokimyasal gelişimi ve AMP-ile aktive edilmiş protein kinaz (AMPK)'ın fonksiyonu / Sayfalar: 67-76

Yrd. Doç. Dr. Mustafa YAMAN, Cemalettin KİSMİROĞLU, Halime UĞUR, İsmail BELLİ, Bahtiyar ÖZGÜR
Serebral Palsili Çocukların Yürüme Karakteristiğinin Biyomekanik Değerlendirmesi / Sayfalar: 77-84

Doç. Dr. Yunus Ziya ARSLAN

Federelerin Yüksek Seviye Mimari Standart Uyumluluğunun Denetlenmesi için Çözüm Önerisi / Sayfalar: 85-92

Arzum Berrak ARIBAL, Dr. Öğr. Üyesi Tülin ERÇELEBİ AYYILDIZ

Elektrikli Otobüslerde Kullanılan Şarj Hızlı Şarj Sistemleri / Sayfalar: 93-100

Dr. Orhan TOPAL

PLC Tabanlı Uygulamalar: Mill Makinelerinde Oluşacak İş Kazalarının PLC Kullanılarak Önlenmesi / Sayfalar: 101-110

Yüksek Lisans Mehmet Ali ÖNER, Dr. Öğr. Üyesi Serdar SOLAK

Vs30-based Coherency Model / Sayfalar: 111-119

Dr. Öğr. Üyesi Ebru HARMANDAR

- Türkiye'nin Paleozoyik - Miyosen Jeolojik Zaman Aralığındaki Petrol ve Doğalgaz Kaynak Kaya Varlığının Paleocoğrafik ve Paleotektonik Veriler Işığında Kapsamlı Bir Değerlendirmesi / Sayfalar: 120-146
Öğretim Görevlisi Adil ÖZDEMİR, Yrd. Doç. Dr. Yildiray PALABIYIK
- Selenyum ve Selenyumun Depresyon Üzerine Etkileri / Sayfalar: 147-151
Öğretim Görevlisi Burcu USLU, Yrd. Doç. Dr. Sule AKTAC
- Fasulye Proteini İzolatının Çeşitli Gıda Ürünlerinin Kalite Özelliklerine Etkisi / Sayfalar: 152-161
Elif TERZİ, Merve BİLGİNTÜRK, Rukiye GÜNDOĞAN, Yrd. Doç. Dr. Aslı CAN KARAÇA
- Eğimli Zeminlerde İnşa Edilen Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının İncelenmesi / Sayfalar: 162-170
Doç. Dr. Ercan IŞIK, Arş. Gör. İbrahim Baran KARASİN, Arş. Gör. Ali Emre ULU
- AQM-of-Things: Special Queue Management Approach for Internet of Things / Sayfalar: 171-180
Doktora Kerem AYTAÇ, Yrd. Doç. Dr. Ömer KORÇAK
- Hastane Hizmetlerinin İyileştirilmesinde Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG) Yönteminin Kullanılması ve Nesnelerin İnterneti Model Önerisi / Sayfalar: 181-195
Muhsine Nur NARALAN NURSAÇAN, Dr. Öğr. Üyesi Tahsin ÇETİNYOKUŞ
- 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) / Sayfalar: 196-205
Dr. Öğretim Görevlisi Ozan ARTUN
- A New Method to Produce Humic in Biological Form : Catalytic Activity of Optimized Environment and Microbial Conditions on Bioleaching of Leonardite for Bio-Humic Production / Sayfalar: 206-215
Dr. Öğretim Görevlisi Nurgül KİTİR, Prof. Dr. Metin TURAN
- Potansiyel Bir Adsorban Olarak Perlit İçeren Polisakkarit Esaslı Küresel Hibrit Tanecikler / Sayfalar: 216-222
Yrd. Doç. Dr. İlknur KUCUK, İrem SARISAKAL
- Gökkuşluğu Alabalığı (Oncorhynchus mykiss, Walbaum 1792) Antalya Kültür Popülasyonu Büyüme Hormonu I Geni İzolasyonu ve Karakterizasyonu / Sayfalar: 223-232
Dr. Mesut YILMAZ, Mehmet ÖZBAŞ, Mehmet Akif KILIÇ
- The Relationship between the Flow Properties of Clay Slurry Samples and the Properties of Ceramic Green/Sintered Products / Sayfalar: 233-247
Doç. Dr. Sedef DİKMEN, Yüksek Lisans Tuğba MUCUR, Arş. Gör. Zeyni ARSOY, Prof. Dr. Bahri ERSOY
- Koronavirüs'ün (Covid-19) Dünya Çapındaki Analizi ve Gelecekteki Durumu / Sayfalar: 248-253
Mehmet TAŞ, Dr. Mete YAĞANOĞLU
- Alışveriş Merkezlerinde Ortak Kullanımlı Yemek Alanlarının Tasarım Kriterleri / Sayfalar: 254-259
Doktora Gulsah KARYAGDİ
- The Impact of the Different Voltages and Frequencies on Resistivity of the TiO₂-based Memristors with 3D Observation in MATLAB / Sayfalar: 260-264
Dr. Niloufar RAJABİYOUN
- Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin KOİ, BOİ5 ve AKM Yönünden İşletme Verimliliğinin Değerlendirilmesi / Sayfalar: 265-269
Dr. Öğr. Üyesi Şule TATAR, Yüksek Lisans Mehmet SAĞLAM
- Kitosan Esaslı İlaç Taşıyıcı Sistem Üretimi ve In vitro Performansının Belirlenmesi / Sayfalar: 270-279
Yeliz ERŞAN, Yrd. Doç. Dr. Sakip ÖNDER
- The Role of Artificial Intelligence in Productivity: A Case Study of Wine Quality Prediction / Sayfalar: 280-286
Yrd. Doç. Dr. Ramazan ÜNLÜ

Diazonyum Tuzu Kullanılarak Elektrokimyasal Olarak Modifiye Edilmiş Karbon Kompozit Elektrot / Sayfalar: 287-292

Dr. Tuğba ÖZER

Tarımsal Üretim İçin Entegre Kaynak Verimliliği / Sayfalar: 293-298

Dr. Nusret MUTLU

Düşük Maliyetli 6 Eksen Hareketli Uçuş Simülatorü Prototip Tasarımı / Sayfalar: 299-310

Yüksek Lisans Burak Hamdi TUFAN, Satılmış ÜRGÜN

FastText ve Kelime Çantası Kelime Temsil Yöntemlerinin Turistik Mekanlar İçin Yapılan Türkçe İncelemeler Kullanılarak Karşılaştırılması / Sayfalar: 311-320

Arş. Gör. Muhammed Çağrı AKSU, Doç. Dr. Ersin KARAMAN

Çeşitli Yörelerimizde Üretilen Çiçek Ballarının Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi ve Türk Gıda Kodeksi'ne Uygunluğunun Değerlendirilmesi / Sayfalar: 321-326

Dr. Mine ÖZGÜVEN, Evren DEMİRCAN, Beraat ÖZÇELİK

Antalya Çukuryayla Merasının Vejetasyon Özellikleri ve Otlatma Kapasitesinin Belirlenmesi / Sayfalar: 327-333

Doç. Dr. Ahmet Alper BABALIK, Farhat MATRASULOV

II. Ürün Ayçiçeği Üretiminde Uygulanabilecek Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Teknik Olarak Belirlenmesi / Sayfalar: 334-342

Murat AKDAĞOĞLU, Prof. Yılmaz BAYHAN, Mehmet Fırat BARAN

Localization and Initialization Algorithms based on UWB, LiDAR and Odometry for Robotic Applications with ROS Ecosystem / Sayfalar: 343-350

Yrd. Doç. Dr. Pınar OĞUZ EKİM

Solvent Effects on the Contrast Agent Iomeprol with Density Functional Theory / Sayfalar: 351-359

Sedat Giray KANDEMİRLİ, Dr. Fatma GENÇ, Prof. Dr. Fatma KANDEMİRLİ, Doç. Meryem EVECEN

Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Park Sistemleri İncelemesi / Sayfalar: 360-366

Yüksek Lisans Erdem UYSAL, Abdullah ELEWİ, Erdinç AVAROĞLU

Yaşlılarda Düşme Riskinin Belirlenmesi İçin Yürüyüş Esnasında Kayıt Edilen İvmelenme Sinyallerinin Zaman Domeni Özelliklerinin Değerlendirilmesi / Sayfalar: 367-373

Dr. Öğr. Üyesi Sabri ALTUNKAYA

Kuzey Atlantik Salınımının Çanakale Rüzgâr Enerji Potansiyeline Etkisinin İncelenmesi / Sayfalar: 374-380

Zeliha SEMERCİ, Dr. Öğr. Üyesi Bahtiyar EFE

Evaluation of The Smart City Applications in Terms of Users: The Case of Turkey / Sayfalar: 381-391

Dr. Öğr. Üyesi Orhun SOYDAN, Doç. Dr. Ahmet BENLİYAY

Directional Evolution of the Ruled Surfaces via the Evolution of Their Directrix Using q-frame along a Timelike Space Curve / Sayfalar: 392-396

Dr. Gül UGUR KAYMANLI, Cumali EKİCİ, Mustafa DEDE

Lateral Load Resisting Systems in High-Rise Reinforced Concrete Buildings / Sayfalar: 397-403

Dia Eddin NASSANİ, Kamiran ALİ

A Comparison of Volumetric Modulated Arc Therapy and Conventional Intensity-Modulated Radiotherapy for High Grade Glial Tumors / Sayfalar: 404-408

Uzman H. Orhan KIZILKAYA, Yonca YAŞI ÇELEN, Dr. Öğr. Üyesi Ayşe OKUMUŞ, Uzm. Dr. Deniz ARSLAN

Glutopik Analizinin Aynı Kategoride Yer Alan Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin (Triticum aestivum L.) Sınıflandırma ve Değerlendirmesinde Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi / Sayfalar: 409-424

Uzman Gökhan ÇELİKER, Doç. Dr. Halef DİZLEK

Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi / Sayfalar: 425-437

Dr. Öğr. Üyesi Vekil SARI, Yüksek Lisans Fatih Yavuz ÖZYİĞİT

Patates (*Solanum tuberosum* L.) Yetiştirilen Toprakların Verimlilik Durumu ve Potansiyel Besin Maddesi Sorunlarının Belirlenmesi / Sayfalar: 438-447

Gülen ÖZYAZICI, Mehmet Arif ÖZYAZICI, Orhan DENGİZ

Kronik Böbrek Hastalığının Erken Tanısı için Yeni Bir Klinik Karar Destek Sistemi / Sayfalar: 448-455

Dr. Öğr. Üyesi Can EYÜPOĞLU

The Effect of Computer Game on Coding Learning: A Case Study of University Students / Sayfalar: 456-465

Ersin ÇAĞLAR

Üzüm Suyunun Isıtılmasında Güncel Elektriksel Isıtma Uygulaması; Ohmik Isıtma / Sayfalar: 466-471

Serdal SABANCI

2 Boyutlu Platform Oyunların Tarihsel Gelişimi ve Günümüz Platform Oyunlarında Kullanılan Dijital İllüstrasyonların Çözümlemesi / Sayfalar: 472-478

Dr. Öğr. Üyesi Semih DELİL

İki Farklı Polimerin Sondaj Çamuru Özellikleri Üzerine Etkileri / Sayfalar: 479-484

Yrd. Doç. Dr. İlker ACAR, Arş. Gör. Ercan DOĞAN, Furkan URHAN, Ahmet Ömür AK

Effects of Cell Free Supernatants of *Lactobacillus reuteri* ATCC55730 and *Lactobacillus plantarum* FI8595 Against Selected Food-Borne Pathogens and Fish Spoilage Microorganisms / Sayfalar: 485-489

Yrd. Doç. Dr. Hatice YAZGAN

Killi zeminlerde MASW ile elde edilen kesme dalgası hızı ile plastisite indisi ve standart penetrasyon sayısı korelasyonu / Sayfalar: 490-497

Arif ÖZYANKI, Hilmi DİNDAR, Yrd. Doç. Dr. Abdullah EKİNCİ

Birliktelik Kural Analizi Tabanlı İzleme ve Bayes Ağları ile Operasyonel Teknoloji Sistemlerinde Siber Güvenlik Analizi / Sayfalar: 498-505

Dr. Öğretim Görevlisi Volkan ALTUNTAŞ

Electric Train Application Study For Catenary-Pantograph Interaction / Sayfalar: 506-515

Öğretim Görevlisi Şakir PARLAKYILDIZ, Muhsin GENÇOĞLU, Dr. Mehmet Sait CENGİZ

Investigation of the Physical and Chemical Properties of Traditional Homemade Yogurt with Different Rates of Pollen Additions / Sayfalar: 516-521

Prof. Dr. Mehmet ÖZCAN, Doktora Selin FINDIK, Prof. Dr. Vildan UYLAŞER, Yüksek Lisans Duygu ÇOBAN

Detection of Credit Card Fraud in E-Commerce Using Data Mining / Sayfalar: 522-529

Doktora Yasin KIRELLİ, Dr. Öğr. Üyesi Seher ARSLANKAYA, Yüksek Lisans Muhammed Taha ZEREN

Mikroplastikler: Gıdalarda Bulunuşu ve Sağlık Üzerine Etkileri / Sayfalar: 530-538

Öğretim Görevlisi Selen AKÇAY, Doç. Dr. Fatih TÖRNÜK, Prof. Dr. Hasan YETİM

HCl ile Muamele Edilmiş Mısır Sapı Destekli-Zn Katalizörünün Hidrojen Üretimine Etkisinin Araştırılması / Sayfalar: 539-547

Dr. Öğretim Görevlisi Duygu ELMA KARAKAŞ

Solar glass panels: A review / Sayfalar: 548-565

Prof. Dr. Bekir KARASU, Yüksek Lisans Zehra OYTAÇ, Yüksek Lisans Elif ERGANİ, Ahmet BULUÇ

An Analysis of Landscape Elements in Urban Detached House Gardens in Isparta City Center / Sayfalar: 566-571

Doç. Dr. Candan ŞAHİN

Hidrofoilli Teknelerde Kullanılan Su Altı Kanat Yapılarındaki Serbest Yüzey Etkileşimlerinin Sınır Elemanları Yöntemi ile İncelenmesi / Sayfalar: 572-580

Yavuz Hakan OZDEMİR, Arş. Gör. Taner ÇOŞGUN

KCl, MgCl₂ ve CaCl₂ Tuzlarıyla Kurutulmuş Domatesin Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi / Sayfalar: 581-586

Ahsen RAYMAN ERGÜN, Hamza BOZKIR, Büşra Nur SAYGINER, Taner BAYSAL

The Effect of Different Processing Techniques in Production of Mulberry and Apricot Molasses (Pekmez) / Sayfalar: 587-601

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BEYKAYA, Nevzat ARTIK

Zencefil ve Ketan Tohumu Oleoresinlerinin Elde Edilmesi ve Ekstraksiyon Koşullarının Cevap Yüzey Yöntemi İle Optimizasyonu / Sayfalar: 602-613

Yüksek Lisans Büşra ŞAHİN, Dr. Öğr. Üyesi Seda ÖZGEN

Geleneksel Yatay Taşıyıcı Düzlemlerin Isıl Geçirgenlik Değerlerinin Günümüz Koşullarında İrdelenmesi / Sayfalar: 614-622

Öğretim Görevlisi Güllü MUTLU, Dr. Öğr. Üyesi Merve TUNA KAYILI

Otomotiv Endüstrisinde Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Uygulaması Üzerine Bir Araştırma / Sayfalar: 623-631

Doç. Dr. Funda KAHRAMAN, Doktora Mehmet KÜÇÜK

Sosyal Medya Reklamcılığının Tüketici Satın Alma Davranışı Üzerine Etkisinin Yapısal Eşitlik Modellemesi İle İncelenmesi / Sayfalar: 632-639

Arş. Gör. Sinem SARGIN, Doç. Dr. Burcu ORALHAN, Yüksek Lisans Ahmet Serkan ÜVENÇ

Genetic Diversity of Emmer Wheats Using iPBS Markers / Sayfalar: 640-646

Dr. Fatih DEMİREL

Muhasebe Meslek Mensuplarının Kurumsal Yönetim ile İlgili Kavramlara İlişkin Düşünceleri: Borsa İstanbul'da Bir Uygulama / Sayfalar: 647-655

Emin YÜREKLİ, Fatih FAYDALI

Şanlıurfa Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Bazı Nohut (Cicer Arietinum L.) Çeşitlerinin Verim Ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi / Sayfalar: 656-662

Yüksek Lisans Ömer DEMİRCİ, Numan BİLDİRİCİ

Kavramsal Saha Modelleme Çalışması Bağlamında Düzce 1.Organize Sanayi Bölgesinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi / Sayfalar: 663-671

Dr. Öğr. Üyesi Nuri BİNGÖL

Optimization of Extraction Parameters by Response Surface Methodology in Handling Tea Extract From Fibrous Tea Waste / Sayfalar: 672-684

Yrd. Doç. Dr. Mustafa MORTAŞ, Nour AWAD

Grafen Oksit ve Deniz Kabuğu Takviyeli Polivinil Klorür Hibrit Kompozitlerin Karakterizasyonu / Sayfalar: 685-692

Dr. Öğr. Üyesi Meryem GÖKTAŞ, Yrd. Doç. Dr. Ferda MİNDİVAN

Fitopatojenlere Karşı Dayanıklılıkta CRISPR/Cas Teknolojisi / Sayfalar: 693-702

Arş. Gör. Serap DEMİREL, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa USTA, Fatih DEMİREL

Talasemi Majorlu Adolesan Hastalarda Hipofiz-Tiroid Aksı ve Tiroid Fonksiyonlarının İncelenmesi / Sayfalar: 703-711

Uzm. Dr. Ayşe ŞAHİN, Fügen PEKÜN

Kent Parklarının Kullanıcı Memnuniyetinin Niğde Örneğinde İncelenmesi / Sayfalar: 712-722

Dr. Öğr. Üyesi Orhun SOYDAN

Prevention of Enzymatic Browning by Inhibiting Polyphenol Oxidase with Some Natural Compounds and Benzenethiol / Sayfalar: 723-727

Dr. Mine AKSOY

Atıksu Arıtma Çamurlarının Sürdürülebilir Kullanım Alternatifleri: Öncelikli Yaklaşımlar / Sayfalar: 728-739

Prof. Dr. Fatma Olcay TOPAÇ, Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU

Siirt İli Ekolojik Koşullarında Farklı Sıra Arası ve Sıra Üzeri Mesafelerin Bakla (*Vicia faba L.*)'nın Verim ve Bazı Verim Özelliklerine Etkileri / Sayfalar: 740-745

Dr. Öğretim Görevlisi Sipan SOYSAL, Dr. Özge UÇAR, Prof. Dr. Murat ERMAN

Laktoperoksidaz Enziminin Sülfamat Türevleri Bileşikleri Üzerine İnhibisyon Profili / Sayfalar: 746-750

Yrd. Doç. Dr. Hande USANMAZ, Yrd. Doç. Dr. Ufuk ATMACA

Mengen'de Yetişen Bazı Yabani Mantar Türlerinin Doğal Boya Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi / Sayfalar: 751-759

Yrd. Doç. Dr. Filiz YILDIZ, Nigar MERDAN, Habip DAYIOĞLU, Emine KOÇAK

Modifiye Nanobentonitle Sulu Ortamdan Fenol ve 4-Klorofenolün Giderilmesi / Sayfalar: 760-768

Doç. Dr. Mustafa UÇAR, Dilek KAYIRAN, Prof. Dr. Atilla EVCİN

An Assessment of Elderly Bedrooms in Nursing Homes, in Terms of Human Wellbeing and Sustainability: An Example Case from Brussels / Sayfalar: 769-773

Dr. Öğr. Üyesi Zerrin Funda ÜRÜK, Arş. Gör. Tuğçe ÖZTÜRK

Performance Evaluation of Major Classification Algorithms for Aggressive Driving Detection using CAN-bus Data / Sayfalar: 774-782

Berat KARABULUTER, Özgür KARADUMAN, Murat KARABATAK, Haluk EREN

Faster R-CNN Evrimsel Sinir Ağı Üzerinde Geliştirilen Modelin Derin Öğrenme Yöntemleri ile Doğruluk Tahmini ve Analizi: Nesne Tespiti Uygulaması / Sayfalar: 783-795

Uzman Okan YILMAZ, Dr. Hakan AYDIN, Uzman Ali ÇETİNKAYA

Bazı Türk Çiçek Ballarının Uçucu Bileşenlerinin Katı Faz Mikroekstraksiyonu Ve Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi İle Analizi / Sayfalar: 796-800

Dr. Nur Efşan DURMAZ, Prof. Dr. Ertan ANLI, Yalçın GÜÇER, Prof. Dr. Nevzat ARTIK

Determination of Optimal Modulation Amplitude for Electron Spin Resonance (ESR) Dating and Dosimetry Studies of Tooth Enamel / Sayfalar: 801-804

Dr. Özgül KARATAŞ

Could Mobile Applications' Success be Increased via Machine Learning and Business Intelligence Methods? / Sayfalar: 805-814

Öğretim Görevlisi Murat KILINÇ, Doç. Dr. Çiğdem TARHAN, Doç. Dr. Can AYDIN

Halloysit Nano-Kil, Nano-SiO₂ ve Nano-CaO'in Tekli ve İkili Kullanımının Çimento Esaslı Harçların Özelliklerine Etkileri / Sayfalar: 815-826

Yüksek Lisans Abdul Wakil QARLUQ, Doç. Dr. Rıza POLAT, Dr. Öğr. Üyesi Fatma FATMA KARAGÖL

Kaynak Akımı Değişiminin Karbür ve Boro-karbür içeren Kaplamalara Etkisi / Sayfalar: 827-834

Dr. Mustafa KAPTANOĞLU

QCM-based biosensor for the Detection of Homocysteine / Sayfalar: 835-843

Prof. Dr. Fatma AYHAN

Ayrıştırma Yöntemlerinin Derin Öğrenme Algoritması ile Tanımlanan Rüzgâr Hızı Tahmin Modeli Başarımına Etkisinin İncelenmesi / Sayfalar: 844-853

Dr. Aytaç ALTAN, Seçkin KARASU

Örme Kumaşların Elektrik İletkenliğinin Araştırılması / Sayfalar: 854-858

Dr. Öğr. Üyesi Şeyda EYÜPOĞLU

Determination of Ciprofloxacin in Pharmaceutical Dosage, Human Serum and Urine, Using Molecularly Imprinted Polymer Modified Electrode by Voltammetry / Sayfalar: 859-865

Dr. Öğr. Üyesi Berrin GÜRLER AKYÜZ, Prof. Dr. Sabriye PERÇİN ÖZKORUCUKLU, Prof. Dr. Esengül KIR, Öğretim Görevlisi Gizem YILDIRIM BAŞTEMUR

An Adaptive, Distributed and Intelligent Traffic Light System / Sayfalar: 866-871

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Dinçer ERBAŞ

Sac Kalıplama Prosesinde DD13 ve S355MC Malzemelerin Yırılma Probleminin İncelenmesi ve Çözümü / Sayfalar: 872-880

Yüksek Lisans Melih TUYAN, Doç. Dr. Ahmet DEMİRER

Elastomer Karakterizasyon Test Sistemlerinin Modellenmesi ve Parametrik Analizleri / Sayfalar: 881-889

Göktürk TAŞAĞIL, Berk BAŞGÖL, Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer METİN, Timuçin BAYRAM

Peyzaj Mimarlığı Öğrencilerinin COVID-19 Sürecinde Acil Uzaktan Öğretim Üzerine Görüşleri: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Örneği / Sayfalar: 890-897

Dr. Öğr. Üyesi Bora BİNGÖL

Uzaktan Algılama ile Belirlenen Sulak Alanlardaki Zamansal Değişime Kuraklığın Etkisinin İncelenmesi: Umurbey Deltası (Çanakkale) Örneği / Sayfalar: 898-916

Yüksek Lisans Derya ÇAKARUZ, Doç. Dr. Emre ÖZELKAN, Dr. Muhittin KARAMAN

Farklı Leonardit Dozlarının Nohut (Cicer arietinum L.)'un Verim ve Bazı Verim Özelliklerine Etkileri / Sayfalar: 917-921

Dr. Özge UÇAR, Dr. Sipan SOYSAL, Prof. Dr. Murat ERMAN

Lazer Kaynağı İle Birleştirilen AISI 410S Ferritik Paslanmaz Çeliğin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Gerilme Giderme Isıl İşleminin Etkileri / Sayfalar: 922-931

Doç. Dr. Ceyhun KÖSE, Ceyhun TOPAL

Termal Uydu Görüntülerinden Üretilen Yer Yüzeyi Sıcaklığı ile Hava Sıcaklığı İlişkisinin Değerlendirilmesi / Sayfalar: 932-948

Yüksek Lisans Murat TÜRKYILMAZ, Emre ÖZELKAN, Muhittin KARAMAN

Isparta Koşullarında Düzlemsel Su Isıtımlı Güneş Kolektörlerinde Farklı Tasarım ve Malzeme Kullanımının Enerji ve Verim Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi / Sayfalar: 949-956

Recep KÜLCÜ

Salvia Sclareae Bitki Kısımları Yağ Asidi Bileşenleri / Sayfalar: 957-960

Eray TULUKCU



The Prediction of Brent Crude Oil Trend Using LSTM and Facebook Prophet

Didem Güteryüz^{1*}, Erdemalp Özden²

¹ Bayburt University, Engineering Faculty, Department of Industrial Engineering, Bayburt, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4198-9997), dguleryuz@bayburt.edu.tr

² Bayburt University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Economics, Bayburt, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5019-1675), eozen@bayburt.edu.tr

(First received 28 Haziran 2020 and in final form 8 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.759302)

ATIF/REFERENCE: Guleryuz, D. & Ozden, E. (2020). The Prediction of Brent Crude Oil Trend Using LSTM and Facebook Prophet. *European Journal of Science and Technology*, (20), 1-9.

Abstract

Crude oil and petroleum products are among the critical inputs of industrial production and have an essential role in logistics and transportation. Hence, sudden increases and decreases in oil prices cause particular problems in global economies and thus, they have a direct or indirect effect on economies. Furthermore, due to crises in developing economies, trade disputes between major economies, and the dynamic nature of the oil price effect on demand and supply for oil and petroleum products, and time to time volatility in the oil price are very severe. The uncertainty in oil prices can leave both consumers and producers with heavy potential losses. Due to this rapid variability, predicting oil prices has global importance. In this study, to increase the accuracy and stability, the Long-Short Term Memory (LSTM) and Facebook's Prophet (FBPr) were applied to foresee future tendencies in Brent oil prices considering their previous prices. Comparing the two models made using the 32-year data set between June 1988 and June 2020 weekly for oil prices, and the model with the best fit was determined. The dataset was split into two sets: training and test sets—the twenty-five years are used for the training set and the seven years are used to validate forecasting accuracy. The coefficient of determination (R^2) for the LSTM and FBPr models was found as 0.92, 0.89 in the training stage, and 0.89, 0.62 in the testing stage, respectively. According to the results obtained, the LSTM model has superior results to predict the trend of oil prices.

Keywords: Brent Oil, Forecasting, Deep Learning, LSTM, Facebook Prophet.

LSTM ve Facebook Prophet Kullanarak Brent Ham Petrol Trendinin Tahmini

Öz

Ham petrol ve petrol ürünleri, endüstriyel üretimin önemli girdileri arasında olduğu kadar lojistik ve taşımacılıkta da kritik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, petrol fiyatlarındaki ani artışlar ve düşüşler küresel ekonomilerde ve dahası ekonomiler üzerinde doğrudan veya dolaylı bir etkisi vardır. Ayrıca, gelişmekte olan ekonomilerdeki krizler, büyük ekonomiler arasındaki ticaret anlaşmazlıkları ve petrol fiyatının dinamik doğası, petrol arz ve talebi üzerinde etkisi olmaktadır ve petrol fiyatında zaman zaman oynaklık çok sert olmaktadır. Petrol fiyatlarındaki bu belirsizlikler hem tüketicilere hem de üreticilere ağır potansiyel kayıplar yaratabilmektedir. Bu hızlı değişkenlik ve dalgalanma nedeniyle petrol fiyatlarının tahmin edilmesi küresel öneme sahiptir. Bu çalışmada, Brent Petrol fiyatlarının gelecekteki trendini tahmin edilebilmek için geçmiş değerleri girdi alan Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ve Facebook Prophet (FBPr) yöntemleri kullanılmıştır. İki modelin petrol fiyatları için Haziran 1988 ile Haziran 2020 arasında haftalık 32 yıllık veri seti kullanılarak karşılaştırılmış ve en uygun model belirlenmiştir. Veri seti eğitim ve test setleri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır; eğitim seti için ilk yirmi beş yıl seçilirken ve son yedi yıl ise tahmin doğruluğunu onaylamak için kullanılmıştır. LSTM ve FBPr modelleri için katsayı tayini (R^2) eğitim aşamasında 0.92, 0.89 ve test aşamasında 0.89, 0.62 bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, LSTM modelinin petrol fiyatlarındaki trendi tahmin etmek için daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Brent Petrol, Tahmin Etme, Derin Öğrenme, LSTM, Facebook Prophet.

* Corresponding Author: Bayburt University, Engineering Faculty, Department of Industrial Engineering, Bayburt, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4198-9997), dguleryuz@bayburt.edu.tr

1. Introduction

All countries, even producers, are petroleum and petroleum products consumers, so the price of petroleum depends on economic activities around the world. The cost of other goods and services depends on changes in oil prices directly or indirectly. Moreover, globalization has revealed the effect of the prices of goods and services on each other more clearly. Many countries' economy depends on oil production, oil, and petroleum products trade, so estimating oil prices is an important task. Besides, some sectors are directly dependent on oil prices, such as manufacturing, logistics, and transportation. Therefore, oil prices affect not only these sectors but also the political and economic processes that determine countries' economic growth and development.

Crude oil is a critical energy source from past to present. In recent days, both the emergence of new sources such as oil shale and the use of alternative energy sources caused a decrease in the demand for total oil prices. Likewise, the deceleration in an economic boost in general after the last global economic crises has further declined. Therefore, any increase or decrease in oil prices has a fluctuating effect on the global markets. The closest visible example is the world struggling with an epidemic called Covid-19, which started in December 2019. When the oil prices are analyzed during this period, it is seen that the oil prices are sensibly affected by this unexpected situation.

According to its origin, crude oil is classified as West Intermediate (WTI), Oman, and Brent Crude Oil. Among these, Brent oil attracts intense attention and is the most used in pricing crude oil. As a description, Brent oil is a quality crude oil extracted from the North Sea, and it is an international standard for a barrel. Therefore, this paper deals with the Brent oil price as a priority.

There is extensive literature on estimating oil prices. Since historical data of oil price constitutes a time series, prediction studies have been made mostly by using classical regression methods and by including indicators affecting oil prices in the literature. Nowadays, new estimation methods are developed via machine learning and deep learning, which are predicting oil prices.

There are some accepted methods in the literature that design forecast models using the time series of petrol price data such as Box Jenkins method [1], Neural Networks [2], Gray Prediction Method [3], Artificial Intelligence-based Prediction Models [4], Machine Learning (ML) based methods [5], Econometric structural models [6] and simulation models [7]. Table 1 summarizes the papers observing oil price prediction in the literature related to the Long Short-Term Memory (LSTM) and Facebook Prophet (FBPr).

Salvi et al. [8] built a model to predict Brent oil prices' future trends from previous prices using the LSTM neural network. Brent oil price dataset is split into two groups: train and test dataset. LSTM is used to estimate Brent oil price in the test data set according to the model produced by the training data set. As a result of the study, it is observed that the estimated values are distributed at an acceptable level [8]. An et al. [9] proposed a regression-based machine learning approach to estimate the oil price. The developed model can determine prices by including some indexes.

After the accuracy of the model validates, oil prices in 2019-2022 were estimated. According to the estimation results, it has been seen that the oil price will show a slight upward trend and will generally be stable [9].

Khashman and Nwulu [10] have developed a smart system that predicts crude oil price via Support Vector Machines (SVM). The system uses some economic indicators as input and the price of crude oil as output. The developed model was procured from the 24-year WTI dataset, and the simulation results [10].

Wang et al. [4] proposed a new model based on Support Vector Regression (SVR), LSTM, and a data-driven model. Data on the daily natural gas price are used before June 2018 to train the data, and the forecasting capability of models is tested using data between June 2018 and May 2019. The proposed hybrid model showed better prediction ability than all models studied [4].

Gabralla et al. [11] developed a hybrid network model for crude oil price estimation using LSTM. An analysis tool, called the visibility diagram, is used to map the dataset on the network. K-core centrality performs to eliminate the nonlinear properties of crude oil prices and reconstruct the dataset. LSTM was used to model restored data and compared with other studies in the literature to confirm the results. As a result of the study, it is seen that the proposed model has higher accuracy [11].

Ishaq [12] used four algorithms to estimate the stock price of oil. The best result of the algorithm was found to be Naïve Bayes and Neural Network. ML and a computational intelligence approach and ANN-Q are applied to estimate the monthly WTI crude oil price [12].

Guo [1] used time series and neural network models to estimate oil prices by analyzing oil prices' nonlinear properties. The results showed that neural networks have better accuracy with a more straightforward structure [1].

Gupta and Nigam [15] improved a model to predict crude oil prices based on the artificial neural network (ANN). The developed model finds the optimum delay and the number of delays that ensure the control of crude oil prices [15].

This study aims to predict Brent oil prices by using LSTM and FBPr methods. The Brent oil price was estimated, and the results of the two ways were compared with the identified performance criteria. The technique fits the best values that were selected, and the prediction was made. According to the obtained results, the trend of Brent oil prices can be seen, and precautions can be taken both for physical (increasing or decreasing the supply of manufactured products and evaluating pricing) and financial (hedging oil prices through estimation method) for the sectors directly affected by oil.

The difference of this study from the previous studies about Brent petrol prediction in literature is that both developed models can make predictions for 349 weeks without knowing the actual price in the previous period. Therefore, the developed model can be used for long-term forecasts.

Table 1. Studies Based on Forecasting via LSTM and FBPr

Reference	Year	Prediction Application	Methods
Salvi et al. [8]	2019	Brent oil price	LSTM
An et al. [9]	2019	Oil price	Regression-based ML
Khashman and Nwulu [10]	2011	Oil price	Support Vector Machines
Wang et al. [4]	2020	Natural gas price	A hybrid data-driven model
Gabralla et al. [11]	2013	Oil Price	ML
Ishaq [12]	2020	Oil price	Orange
Abdullah and Zeng [13]	2010	Crude Oil Price	ANN-Quantitative
Olofin et al. [14]	2019	Oil Price	ML
Guo [1]	2019	Oil Price	Deep Learning and ARIMA
Bristone et al. [5]	2019	Oil Price	LSTM
Gupta and Nigam [15]	2020	Crude Oil Price	ANN
Abdollahi and Ebrahimi [16]	2020	Crude Oil Price	ARFIMA, ANFIS, GA
Chiroma et al. [2]	2015	Crude Oil Price	Evolutionary N.N. Model
Latifoglu and Nuralan [17]	2020	Stream Flow	LSTM
Oğuz and Pekin [18]	2019	Fog Visibility	ANN
Gultepe [19]	2019	Air Pollution	ML
Alpay [20]	2019	USD / TRY Price	LSTM
Kızıloz [21]	2020	Citation Count	LSTM
Aguilera et al. [22]	2019	Groundwater-level	Prophet
Weytjens et al. [23]	2019	Cash flow	LSTM, ARIMA, Prophet
Duarte and Faerman [24]	2019	Healthcare	ARIMA, Prophet
Žunić et al. [25]	2020	Sales	Prophet
Samal et al. [26]	2019	Air pollution	SARIMA, Prophet
Borowik et al. [27]	2018	Crime	ARIMA, Prophet
Phutela et al. [28]	2020	The spread of Covid-19	Prophet Logistic Growth Model

2. Material and Method

2.1. Data Collection Process

The weekly Brent crude oil price data was provided by the NASDAQ Commodities [29] from 26 June 1988 to 14 June

2020, which covers 1669 weeks. The current 32- year data is separated into two pieces, with 80% (training with 1319 data points) training set and 20% (test with 350 data points) test set, approximately. Figure 1 illustrates the values of training and test data graphically.



Figure 1. Brent Crude Oil Price from 26 June 1988 to 14 June 2020 (Source: Nasdaq [29])

It is essential to normalize the data within the range of 0–1 to make more meaningful model comparisons in machine learning applications [30]. It is not only affecting prediction accuracy but also helping to overcome the model learning problem. Hence, gradient descent can converge more quickly. The min-max normalization formula can be seen in Eq. (1).

$$x'_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

Where $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ x'_i is the i^{th} normalized value, x_i is the i^{th} observed value, x_{min} is the minimum value of x and x_{max} is the maximum value of x . The normalized values obtained as a result of the study were scaled back to real values. The statistical

significance of the training and test sets can be seen in Table 2.

Table 2. The statistical description of Training, Test and Data Sets

	N	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Skewness	Kurtosis
Training set	1319	43,34	33,80	9,82	144,49	1,10	-0,15
Test Set	350	64,83	21,35	21,44	114,81	0,84	0,06
Data Set	1669	47,85	32,79	9,82	144,49	0,82	-0,51

2.2. Long-Short Term Memory

Recurrent neural networks (RNN) differ from traditional feed-forward neural networks based on their structure. These networks are sequence-based models that can establish temporal correlations between prior knowledge and current conditions. In other words, RNN's decision at the time t may be affected by the decision at the t-1 time step. This feature of RNN is ideal for oil price prediction problems because the real world dynamics can be one of the most critical factors for oil prices at the last time intervals.

Also, RNN generally has the drawback of gradient disappearance in real-life problems, meaning the former time node's detection is decreasing. Scientists have proposed LSTM to solve this problem that RNN is facing. As artificial intelligence models' interest has increased, it has become famous [4], which is an evolutionary model of RNN. Therefore, the LSTM model was employed in this study. The developed LSTM model has memory cells with a forget gate but without peephole connections. The fully bonded layer is created as output, and an element-wise sigmoid activation function is used. Also, the loss function is thought of as log loss.

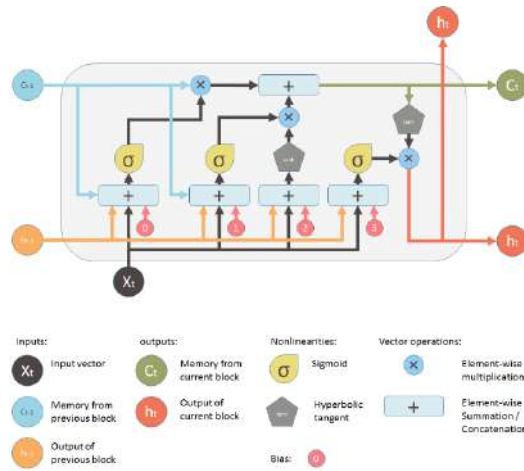


Figure 2. LSTM Cell (Source: Medium [31])

As shown in Figure 2, the network takes three inputs, such as x_t , h_{t-1} , and C_{t-1} , which are the input of the current period, output from the previous period, and "memory" of the previous

unit. Thus, LSTM is a network that is deciding by considering these three inputs and generates a new output and alters its memory. As can be seen in Figure 3.

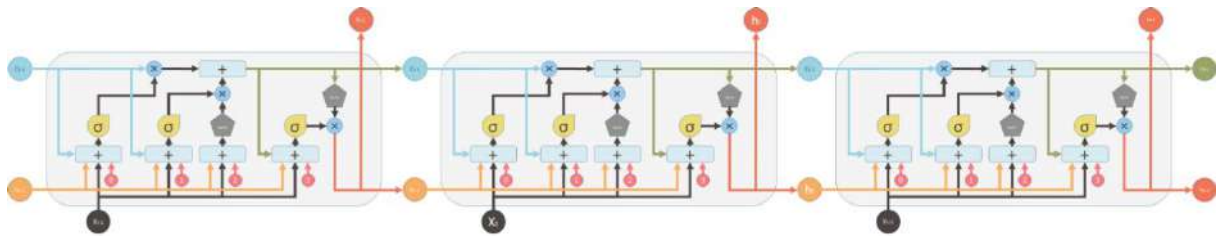


Figure 3. LSTM Networks (Source: Medium [31])

In the theoretical background, the input and outputs are calculated via Eq. (2). The equations give an update for memory cells $hl(t)$ where $hl-1(t)$ represents the previous layer in the same sequence step, and $hl(t-1)$ serves the identical layer in the last step:

$$\begin{aligned}
 g_l^{(t)} &= \phi(W_l^{gx} h_{l-1}^{(t)} + W_l^{gh} h_l^{(t-1)} + b_l^g) \\
 i_l^{(t)} &= \sigma(W_l^{ix} h_{l-1}^{(t)} + W_l^{ih} h_l^{(t-1)} + b_l^i) \\
 f_l^{(t)} &= \sigma(W_l^{fx} h_{l-1}^{(t)} + W_l^{fh} h_l^{(t-1)} + b_l^f)
 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 o_l^{(t)} &= \sigma(W_l^{ox} h_{l-1}^{(t)} + W_l^{oh} h_l^{(t-1)} + b_l^o) \\
 s_l^{(t)} &= g_l^f \odot i_l^{(i)} s_l^{(t-1)} \odot f_l^{(t)} \\
 h_l^{(t)} &= \phi s_l^{(t)} \odot o_l^t
 \end{aligned}$$

Where σ is an element-wise implementation of the sigmoid function, ϕ shows an element-wise implementation of the tanh function, and \odot is the element-wise product. The input, output,

and forget gates are emitted by i, o, and f, respectively, and g is the input node with a tanh activation.

2.3. Facebook's Prophet

The Prophet is an algorithm used to estimate time series data developed by Facebook, which is perfectly capable of predicting long-term unstable trends or unseasonable data or processing missing data. Since Prophet is developed with R software and Python with open source code, users can use this estimation model in time series problems by making changes in parameters.

This model has often been used in the literature to predict sales amount and customer returns [32]. In this study, the Prophet model was used to estimate the Brent crude oil price that is essential for the global economy.

The Prophet model includes three major components, which are seasonality, holidays, and trend to predict $y(t)$ via a time series. The mathematical formulation of the model is seen from Eq. (3).

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \varepsilon_t \quad (3)$$

Where ε_t is the error term that is expected to be normally distributed, $g(t)$ represents a trend, $s(t)$ shows seasonality term and $h(t)$ symbolizes holidays [24].

The steps followed to make predictions using the LSTM and FBPr model, and they are also given in the flow chart in Figure 4

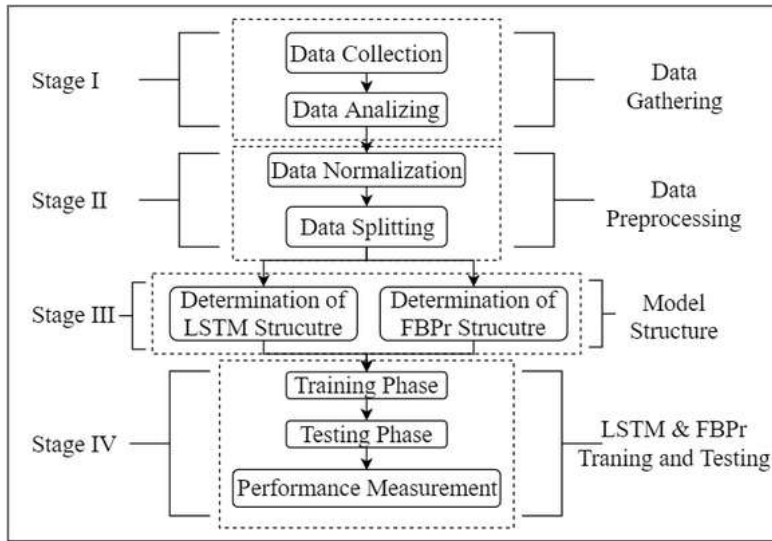


Figure 4. The Flowchart of LSTM and FBPr Forecasting Methodology (Source: Authors)

2.4. Performance Evaluation

The accuracy of the model can be specified using the Performance Measurements criteria. In order to evaluate the accuracy of the two methods, Mean Absolute Error (MAE), Root

Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), the coefficient of determination (R^2) values were used. Equations of these evaluation criteria are shown in Eq. (4) to Eq. (7), respectively [33].

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |OP_i^{observed} - OP_i^{predicted}| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (OP_i^{observed} - OP_i^{predicted})^2} \quad (5)$$

$$MAPE = 100 \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|OP_i^{observed} - OP_i^{predicted}|}{OP_i^{observed}}}{n} \quad (6)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (OP_i^{observed} - \overline{OP_i^{observed}}) (OP_i^{predicted} - \overline{OP_i^{predicted}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (OP_i^{observed} - \overline{OP_i^{observed}})^2 \sum_{i=1}^n (OP_i^{predicted} - \overline{OP_i^{predicted}})^2}} \right)^2 \quad (7)$$

Where n is the number of observed values, $OP_i^{observed}$ is the observed value at time i and $OP_i^{predicted}$ is the predicting value at time i .

3. Results and Discussion

3.1. Results of LSTM

The network structure has a significant impact on the computational complexity of the model and the accuracy of the predictions. Also, the performance prediction of the LSTM model is highly related to the number of hidden neurons. While the insufficient number of neurons can cause incompatibility, the excessive number of neurons can lead to overfitting. Therefore, various heuristic approaches can be used to determine the number of neurons for the hidden layer [34]. In this study, a visible input layer, ten hidden LSTM blocks, which have 50 units and one output layer shape to the LSTM network. Besides, the sigmoid activation function is chosen as default, and from 50 to 250 epochs with batch size between 1 to 100 be analyzed. Ultimately, 100 epochs with 52 batch size turned out the lowest MSE among them. Hyperparameter optimization has determined the best learning rate as 0.01 for the LSTM structure that was created with Python.

RMSE, MAE, MAPE, and R2 values were recorded for training and test data sets. These values are in the training stage; RMSE, MAE, R², and MAPE were found as 2.36, 4.28, 0.92, 8.2 respectively, and in the test stage, RMSE, MAE, R² and MAPE were found as 9.45, 6.40, 0.89, 11.50, respectively for LSTM. These performance measurement evaluation values can be seen in Table 3.

Table 3. LSTM Model Performance Evaluation Values

	MAE	RMSE	MAPE	R ²
Training set	4.28	2.36	8.20	0.92
Test set	6.41	9.45	11.50	0.89

The comparison of the observed and the predicted values can be seen in Figure 5 by using LSTM during the testing period. The diagram, as shown in Figure 5 visualizes the actual and predicted prices of Brent oil. The LSTM model grasps the trend of the actual prices. It is important to note that there is a sharp decrease between the end of 2013 to early 2015, and the suggested model showed impressive results. Since the model structure was built to predict trends instead of sudden changes, it behaves accordingly.



Figure 5. Actual and Predicted Brent Oil Price with LSTM

When the actual and the estimated Brent oil prices are examined graphically for the LSTM model in Figure 5, it looks like the estimates are lagging with one period. For this reason, a method, which includes the last period prices more weighted in the forecast model, can be tested. The Linear Weighted Moving Average (LWMA) method, which puts the last periods more weight and is frequently used in the literature, is also tested to predict the next period by weighing 52 weeks since the data are used weekly in LSTM and FbPr models. While the LWMA requires the actual value of the previous period for one step ahead prediction, the developed LSTM and FbPr methods can make multiple-step ahead predictions without needing the actual Brent Oil price of the previous period, so that it would not be an objective approach to compare the LWMA with LSTM and FbPr. In this study, the 25-year data were used as a training set between June 1988 and September 2013 weekly, and the following 7-year

Brent oil prices were estimated. LSTM and FbPr can predict the 349 weeks without needing the actual price of the previous period. The LWMA is able to estimate for the short-term. The performance evaluation results obtained by weighing the Brent oil prices of the last 52 weeks with LWMA are given in Table 4.

Table 4. LWMA Model Performance Evaluation Values

	MAE	RMSE	MAPE	R ²
Training set	5.13	9.06	0.12	0.93
Test set	7.81	11.10	0.15	0.77

The graph in Figure 6 shows the actual and predicted values via LWMA during the testing period. It has been observed that the LSTM model gives better prediction results in the testing period than the LWMA model for long term predictions.



Figure 6. Actual and Predicted Brent Oil Price with LWMA

3.2. Results of FBPr

The 32-year data set (weekly) was used to create the FBPr model to predict the Brent oil price. Computational models were made using Python. The Prophet library was used for the development and implementation of the model. Also, the structural relationship between input and output has been established during the training phase.

The test dataset was used to verify the developed model. RMSE, MAD, MAPE, and R2 values are presented in Table 5 to show the training and test performance of the FBPr model.

Table 5. FBPr Model Performance Evaluation values

	MAE	RMSE	MAPE	R ²
Training set	7.21	11.22	66.11	0.89
Test set	17.53	19.56	31.65	0.62

The scatter graph in Figure 7 shows the actual and predicted values by using FBPr during the testing period. In the long run, the FBPr model works well when comparing R². However, the last decade for Brent oil has been highly volatile, and there is no specific pattern such as seasonality over these years.



Figure 7. Actual and Predicted Brent Oil Price with FBPr

3.3. Statistical evaluation

The comparison of the Prophet and LSTM model used in this study was made by considering the RMSE, MAE, MAPE, and R² values. Evaluation of all methods was done by scaling back normalized values in both observed and predicted datasets. The comparative results are shown in Table 6.

Table 6. Comparison of Performance Measurement

		LSTM	FBPr
Training set	MAE	4.28	7.21
	RMSE	2.36	11.22
	MAPE	8.20	66.11
	R²	0.92	0.89
Test set	MAE	6.41	17.53
	RMSE	9.45	19.56
	MAPE	11.50	31.65
	R²	0.89	0.62

Table 6 represents the perfect fit gained by the LSTM model, which was exemplified to be able to predict the Brent oil price with high accuracy. Besides, the coefficient of determination (R²) value of LSTM was more significant than the Prophet for estimation, which is found as 0.89 and 0.62, respectively, for the testing stage.

4. Conclusions and Recommendations

After the oil crisis in the 1970s, the rise of a new system in all over the world for crude oil was developed, and it paved the way for free fluctuation. When the historical values of oil prices fluctuated, economists concern about oil price shocks since these shocks influence economic decisions in numerous ways. The fluctuation of oil prices and its shock affect expectations about the future oil prices trail, and such expectations mostly negatively impact future projects, investments, and even consumer behaviors. Moreover, higher oil prices are problematic even for existing projects to be abandoned, and lower oil prices create a problem for the producers, and it also affects those countries' economies.

Because of these reasons, predicting a trend of oil price is crucial. Although a couple of benchmarks for oil pricing, Brent oil is one of the most important ones, and it shows a global benchmark for crude oil. However, Brent oil price is highly complex and fluctuates, and determining the trend of the Brent oil price is a challenging problem. In order to cope with this problem, predictions can be made using classical methods, but these estimation methods can only give beneficial results for short periods. In this study, the LWMA method, which is tested, is an example of the classical method.

On the other hand, to observe the long-term price trend, the artificial neural networks, which are suitable and useful for long-term trends, are developed. LSTM and FBPr models are chosen to predict Brent oil prices considering their previous prices. The weekly 25-year data were used as a training set, then the next 7-year Brent oil prices were predicted. Performance evaluation criteria are calculated and compared using the prediction values and actual values. According to the results, the LSTM model has preferable to grasp the trend of oil prices on a weekly basis with high R^2 (0,8927). The proposed method can be applied in the future with different critical economic indicators to compare its validity

References

[1] Guo J. Oil price forecast using deep learning and ARIMA. Proc - 2019 Int Conf Mach Learn Big Data Bus Intell MLBDBI 2019 2019:241–7. <https://doi.org/10.1109/MLBDBI48998.2019.00054>.

[2] Chiroma H, Abdulkareem S, Herawan T. Evolutionary Neural Network model for West Texas Intermediate crude oil price prediction. Appl Energy 2015;142:266–73. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.045>.

[3] Duan H, Lei GR, Shao K. Forecasting crude oil consumption in China using a grey prediction model with an optimal fractional-order accumulating operator. Complexity 2018;2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3869619>.

[4] Wang J, Lei C, Guo M. Daily natural gas price forecasting by a weighted hybrid data-driven model. J Pet Sci Eng 2020;192:107240. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107240>.

[5] Bristone M, Prasad R, Abubakar AA. CPPCNDL: Crude oil price prediction using complex network and deep learning algorithms. Petroleum 2020:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2019.11.009>.

[6] Dées S, Karadeloglou P, Kaufmann RK, Sánchez M. Modelling the world oil market: Assessment of a quarterly econometric model. Energy Policy 2007;35:178–91. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.10.017>.

[7] Cabedo JD, Moya I. Estimating oil price “Value at Risk” using the historical simulation approach. Energy Econ 2003;25:239–53. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(02\)00111-1](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(02)00111-1).

[8] Salvi H, Avdhi Shah, Manthan Mehta, Stevina Correia. Long Short-Term Model for Brent Oil Price Forecasting. Int J Res Appl Sci Eng Technol 2019;7:315–9. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.11050>.

[9] An J, Mikhaylov A, Moiseev N. Oil price predictors: Machine learning approach. Int J Energy Econ Policy 2019;9:1–6. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7597>.

[10] Khashman A, Nwulu NI. Intelligent prediction of crude oil price using Support Vector Machines. 9th IEEE Int Symp Appl Mach Intell Informatics, SAMI 2011 - Proc 2011:165–9. <https://doi.org/10.1109/SAMI.2011.5738868>.

[11] Gabralla LA, Jammazi R, Abraham A. Oil price prediction using ensemble machine learning. Proc - 2013 Int Conf Comput Electr Electron Eng 'Research Makes a Differ ICCEEE 2013 2013:674–9. <https://doi.org/10.1109/ICCEEE.2013.6634021>.

[12] Ishaq MF. Data Mining Forecasting Oil and Gas Development Company Ltd . Share Prices Using Orange . 2020.

[13] Abdullah SN, Zeng X. Machine learning approach for crude oil price prediction with Artificial Neural Networks-Quantitative (ANN-Q) model. Proc Int Jt Conf Neural Networks 2010;44. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2010.5596602>.

[14] Olofin SO, Oloko TF, Isah KO, Ogbonna AE. Crude oil price–shale oil production nexus: a predictability analysis. Int J Energy Sect Manag 2020;14:729–44. <https://doi.org/10.1108/IJESM-05-2019-0004>.

[15] Gupta N, Nigam S. Crude Oil Price Prediction using Artificial Neural Network. Procedia Comput Sci 2020;170:642–7. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.136>.

[16] Abdollahi H, Ebrahimi SB. A new hybrid model for forecasting Brent crude oil price. Energy 2020;200:117520. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117520>.

[17] Latifoglu L, Nuralan KB. Tekil Spektrum Analizi ve Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları ile Nehir Akım Tahmini. Eur J Sci Technol 2020:376–81. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf49>.

[18] Oğuz K, Pekin MA. Yapay Sinir Ağları ile Esenboğa Havaalanı için Sis Görüş Mesafesinin Tahmin Edilebilirliği. Eur J Sci Technol 2019:542–51. <https://doi.org/10.31590/ejosat.452598>.

[19] Gültepe Y. Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme. Eur J Sci Technol 2019:8–15. <https://doi.org/10.31590/ejosat.530347>.

[20] Alpay Ö. LSTM Mimarisi Kullanarak USD/TRY Fiyat Tahmini. Eur J Sci Technol 2020:452–6. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf59>.

[21] Kızıllöz HE. Bilimsel Makalelerin Atıf Sayısı Tahmini. Eur J Sci Technol 2020:370–5. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf48>.

[22] Aguilera H, Guardiola-Albert C, Naranjo-Fernández N, Kohfahl C. Towards flexible groundwater-level prediction for adaptive water management: using Facebook’s Prophet forecasting approach. Hydrol Sci J 2019;64:1504–18. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1651933>.

[23] Weytjens H, Lohmann E, Kleinstüber M. Cash flow prediction: MLP and LSTM compared to ARIMA and Prophet. Electron Commer Res 2019. <https://doi.org/10.1007/s10660-019-09362-7>.

[24] Duarte D, Faerman J. Comparison of Time Series Prediction of Healthcare Emergency Department Indicators with ARIMA and Prophet 2019:123–33. <https://doi.org/10.5121/csit.2019.91810>.

[25] Žunić E, Korjenić K, Hodžić K, Đonko D. Application of

- Facebook's Prophet Algorithm for Successful Sales Forecasting Based on Real-world Data. *Int J Comput Sci Inf Technol* 2020;12:23–36. <https://doi.org/10.5121/ijcsit.2020.12203>.
- [26] Samal KKR, Babu KS, Das SK, Acharaya A. Time series based air pollution forecasting using SARIMA and prophet model. *ACM Int Conf Proceeding Ser* 2019:80–5. <https://doi.org/10.1145/3355402.3355417>.
- [27] Borowik G, Wawrzyniak ZM, Cichosz P. Time series analysis for crime forecasting. *26th Int Conf Syst Eng ICSEng* 2018 - Proc 2019. <https://doi.org/10.1109/ICSENG.2018.8638179>.
- [28] Phutela N, Arushi G, Gupta S, Gabrani G. Forecasting the Stability of COVID-19 on Indian Dataset with Prophet Logistic Growth Model. *Infect Dis (Auckl)* 2020:1–9. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-32472/v1>.
- [29] NASDAQ. NASDAQ 2020. <https://www.nasdaq.com/>.
- [30] Rahman MM, Ghasemi Y, Suley E, Zhou Y, Wang S, Rogers J. Machine Learning Based Computer Aided Diagnosis of Breast Cancer Utilizing Anthropometric and Clinical Features. *Irbm* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2020.05.005>.
- [31] Medium. Medium 2020. <https://medium.com/mlreview/understanding-lstm-and-its-diagrams-37e2f46f1714>.
- [32] Fang WX, Lan PC, Lin WR, Chang HC, Chang HY, Wang YH. Combine Facebook Prophet and LSTM with BPNN Forecasting financial markets: The Morgan Taiwan Index. *Proc - 2019 Int Symp Intell Signal Process Commun Syst ISPACS* 2019 2019:0–1. <https://doi.org/10.1109/ISPACS48206.2019.8986377>.
- [33] Becerra M, Jerez A, Aballay B, Garcés HO, Fuentes A. Forecasting emergency admissions due to respiratory diseases in high variability scenarios using time series: A case study in Chile. *Sci Total Environ* 2020;706. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134978>.
- [34] Zheng Y, Zhang L, Zhang X, Wang K, Zheng Y. Forecast Model Analysis for the Morbidity of Tuberculosis in Xinjiang, China 2015:1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116832>.



Physiologic and Seed Yield Responses of Different Alkali Grass (*Puccinellia ciliata*) Populations to Salinity Stress

İlkay Yavaş^{1*}, Volkan Mehmet Çınar², Aydın Ünay³

^{1*}Aydın Adnan Menderes University, Kocarli Vocational School, Department of Crop and Animal Production, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6863-9631), iyavas@adu.edu.tr

²Aydın Adnan Menderes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5822-5649), vmcinar@gmail.com

³Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7278-4428), aunay@adu.edu.tr

(First received 28 July 2020 and in final form 8 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.775085)

ATIF/REFERENCE: Yavaş, İ., Çınar, V. M. & Ünay, A. (2020). Physiologic and Seed Yield Responses of Different Alkali Grass (*Puccinellia ciliata*) Populations to Salinity Stress. *European Journal of Science and Technology*, (20), 10-15.

Abstract

It was investigated the effects of salinity on some physiological characters such as maximal photochemical efficiency of PSII (Fv/Fm), SPAD value and stomatal conductance and seed yield and yield components in *Puccinellia ciliata* B. For this purpose, 7 populations were subjected to salinity stress. Salinity applications to plants started when plants were at the ~4 week old, and continued until the end of the experiment. Seedlings were watered with 30 g/l NaCl solution. Physiological observations in plants were carried out at stem elongation stage. The response of populations to salinity shown significant differences for Fv/Fm and stomatal conductance, whereas SPAD values not affected. Population III exhibited longer plant height, higher number of grains per panicle, spikelet number per panicle, grain yield per plant in salinity conditions. Therefore, it was suggested to be used as a female parent in puccinellia breeding.

Keywords: Chlorophyll content, PSII (Fv/Fm), *Puccinellia ciliata*, salinity stress, stomatal conductance.

Farklı *Puccinellia ciliata* Popülasyonlarının Tuzluluk Stresine Fizyolojik ve Tohum Verimi Tepkileri

Öz

Puccinellia ciliata B.'nin PSII (Fv/Fm)'nin maksimum fotokimyasal etkinliği, SPAD değeri ve stomatal iletkenlik gibi bazı fizyolojik özellikleri ve tohum verimi ve verim komponentleri üzerinde tuzluluğun etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 7 popülasyon tuzluluk stresine maruz bırakılmıştır. Tuz uygulamaları, bitkiler ~ 4 haftalık iken başlamış ve denemenin sonuna kadar devam etmiştir. Fideler 30 g/l NaCl çözeltisi ile sulanmıştır. Bitkilerdeki fizyolojik gözlemler, gövde uzama döneminde gerçekleştirilmiştir. Popülasyonların tuzluluğa tepkisi Fv/Fm ve stoma iletkenliği için önemli farklılıklar gösterirken SPAD değerleri etkilenmemiştir. III numaralı popülasyon tuzlu koşullarda daha uzun bitki boyu, salkım başına daha fazla tane sayısı ve daha fazla başakçık sayısı ve tane verimi vermiştir. Bu nedenle, puccinellia yetiştiriciliğinde ana ebeveyn olarak kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Klorofil içeriği, PSII (Fv / Fm), *Puccinellia ciliata*, tuzluluk stresi, stoma iletkenliği.

* Corresponding Author: iyavas@adu.edu.tr

1. Introduction

There are 1.125 million hectares of land affected by salinity in the world, of which 76 million hectares originated from anthropogenic factors. One-fifth of irrigated areas are affected by salt, and 1.5 million hectares of land become unusable for agricultural production due to high salinity levels. If the salinization of soils continues in this way, 50% of the arable land will be unusable by 2050. The countries affected by salinity are predominantly located in Australia, Bangladesh, China, Egypt, India, Iran, Iraq, Mexico, Pakistan, the former USSR, Syria, Turkey and the United States (Hossain, 2019). Salinity has an adverse effect on plant growth and metabolism and is one of the important environmental stresses affecting agricultural productivity. This situation is becoming more widespread in the world due to intensive agricultural practices and global climate change (Kumar et al., 2018). The negative effects of salt on plant growth are first associated with osmotic stress caused by the limitation of water intake by the roots as a result of a decrease in the amount of water in the soil (De Oliveira et al., 2013).

Puccinellia (Puccinellia ciliata B.), a perennial plant, is generally used as a feed for livestock on salinity agricultural land (Jenkins et al., 2010). Presumably the proliferation of aerenchymatous adventitious roots prevents O_2 from being limiting, and *P. ciliata* roots continue active H^+ pumping under hypoxia (Teakle et al., 2013).

In general stomatal conductance and water content reduced with the increase of salinity concentration the duration of salinity treatment. Salt-induced osmotic influences outside the roots immediately affect stomatal conductivity and reducing stomatal aperture (Wang, 2013). Approximately 20% of growth reduction in plants is probably explained by a decrease in stomatal conductivity. Leaf stomatal conductivity is essential to prevent significant desiccation and CO_2 acquisition in plants. Decrease in stomatal conductivity and consequently transpiration is very important in halophytes, coping with extreme salinity condition (Rangani et al., 2016).

Stomatal conductivity and net photosynthetic ratio in faba bean plants are significantly reduced with water deficiency. Furthermore, this reduction in photosynthesis may result from a decrease in stomatal conductivity, which corresponds to a water loss protective mechanism to improve water use efficiency (de Oliveira et al., 2013). F_v/F_m decreases with increasing salt concentration, especially at high salt concentrations. Decrease in photosynthesis with increased salinity may result from low stomatal conductivity, depression of specific metabolic processes in carbon uptake, inhibition in photochemical capacity, or a combination of these. Also salinity can reduce the efficiency of photosynthesis (Jamil et al., 2007). The maximum quantum efficiency of PSII photochemistry (F_v/F_m) was not significantly altered and stomatal conductance exhibited little changes under 38 mM Na_2CO_3 , but was reduced remarkably under 95 mM Na_2CO_3 (Yu et al., 2013). Chlorophyll contents (SPAD value), in rice leaves are damaged by the increasing salt stress levels (Hussain et al., 2018).

Adequate seed production of adapted *Puccinellia* populations have allowed their use in vegetation of marginal areas. In our previous studies, it was emphasized the dry matter differences of populations in locations where populations grow as habitat (Yavas et al., 2017), the response of photosynthetic

pigments to salinity at seedling stage in improved *Puccinellia* population via recurrent selection (Yavas et al., 2020). As such, to evaluate salt tolerance and seed yield together is an area of needed investigation in *Puccinellia*. Therefore, the changes in the levels of various physiological parameters and seed yield have been studied to elucidate the salinity tolerance mechanisms of *Puccinellia ciliata* to protect the plant from salinity damage.

2. Material and Method

2.1. Plant Materials and Growth Conditions

The study area is mainly characterized as Mediterranean climate (dry summers and mild and rainy winters) with mean annual temperature and total annual rainfall for growing season (from December to March) are around 9.6 °C and 382.3 mm, respectively.

Plant seeds of *Puccinellia ciliata* were collected from 7 different locations mentioned in the Table 1 below. The soil characteristics of these locations and morphological characteristics of base plant populations were published by Yavas et al. (2017). Then, in our breeding study, superior genotypes were allowed to pollination according to recurrent selection methods. In this study, superior genotypes obtained by selection from these populations were used.

2.2. Method

There was filled a potting substrate consisting of 1/3 peat, 1/3 sand and 1/3 field soil in the plastic pots with diameter 12 cm and the high 11 cm. There were 20 seeds sown to every pot, after emergence they were thin out to 10 plant. They were exposed to the natural outdoor conditions. Two treatments were given: control (no NaCl; well drained), salinity (referred as "NaCl"; well drained pots watered with 30 g l⁻¹ NaCl solution). Salinity applications to plants started when plants were at the ~4 week old, and continued until the end of the experiment. The control pot was established without any addition of NaCl. The experiment was planned in completely randomized design in split plots with three replications. Plants of both species were irrigated with water [control, with electrical conductivity (EC) = 1 dS·m⁻¹], 37.5 mg l⁻¹ NaCl solution (EC = 20 dS·m⁻¹), to induce salinity stress for 30 d. Leaf chlorophyll content (SPAD units) was measured with a SPAD meter (SPAD-502, Konica Minolta Sensing, Inc., Tokyo, Japan) every week on the middle part of the oldest fully expanded leaves. The stomatal conductance of the leaves was recorded every week with a portable photosynthesis system DECAGON SC-1. Maximal photochemical efficiency of PSII (F_v/F_m) could be acquired weekly directly from the Plant Efficiency Analyser (Hansatech Instruments Ltd.). Soil salinity levels controlled weekly with a ProCheck (Decagon). All observations were made at stem elongation stage.

Table 1. Locations where *Puccinellia ciliata* is collected

Locations	Explanation	Coordinate
I	Aydın Söke I	37°,49',53.1984" K, 27°,30',4.14" D
II	Aydın Merkez I	37°,50',39.8328" K, 27°,50',44.88" D
III	Aydın Merkez II	37°,52',19.452" K, 27°,36',6.516" D
IV	Aydın Merkez III	37°,52',19.452" K, 27°,36',6.516" D
V	Aydın Merkez IV	37°,49',1.506" K, 27°,50',7.0476" D
VI	İzmir Kaklıç	38°50',6.142" K, 26°99',1.563" D
VII	Aydın Söke II	37°,38',22.1172" K, 27°,14',44.034" D

3. Results and Discussion

3.1. Physiological Parameters

Analysis of variance showed significant P x S interaction for Fv/Fm and stomatal conductance and significant differences between salinity and control for SPAD value (Table 2). The significant interactions indicated different responses populations to salinity for Fv/Fm and stomatal conductance. Therefore, it was compared the population mean values under salinity and control parcels (Table 3). In terms of SPAD, the means of salinity and control were evaluated.

Table 2. Analysis of variance for studied traits in seven *Puccinellia* populations under salinity stress at stem elongation stage

Source of Variance	Mean of Square			
	df	Fv/Fm	SPAD	SC
Populations (P)	6	0.01*	184.27	99.25
Salinity (S)	1	0.02*	3078.01 **	12785.62**
P x S	6	0.01**	33.30	640.68**
Error	28	0.00	90.68	434.50
CV		6.43	8.92	13.22

*, **: Significant at 5% and 1%, respectively; df: degree of freedom, SC: Stomatal conductance

Fv/Fm value increased in salt stress conditions in population II whereas it decreased in population I and VII. However, there was no statistical change in genotypes III, IV, V and VI (Table 3). It was shown that the reponse of populations to salinity were significantly different. Fv/Fm significantly reduced at 50 and 100 mM salinity level for pea plants (Sidana, 2017), at 300 mM and 500 mM NaCl concentrations for *Eremochloa ophiuroides* and *Paspalum vaginatum* (Liu et al., 2011) and at 95 mM Na₂CO₃ for *Puccinellia tenuiflora* (Yu et al., 2013). It could be speculated that *Puccinellia ciliata*, a facultative halophyte, reacts

to salinity unlike other plants and species, and genotypic variation and local differentiation shown among puccinellia populations in terms of Fv/Fm.

As a result of the study, the differences between saline and control for SPAD was non-significant. These results coincide with the earlier findings which show that there was no significant effect on chlorophyll concentration with 20 dSm⁻¹ salinity (Akhzari and Aghbash, 2013). On the other hand, SPAD reductions with the increasing salinity have been observed for different crops (Zan et al., 2011; Daba et al., 2019).

The highest stomatal conductance value among the genotypes was obtained from the 4th population with 117.0 in both control and salinity parcels, while the lowest value was observed in the first population for both conditions. Other researchers have observed that stomatal conductance decreased with the salt stress in turfgrass (Liu et al., 2011), in *Phaseolus vulgaris* (Bhuiyan et al., 2015) in *Elytrigia intermedia* (Host.) (Zan et al., 2011).

3.2. Yield and Yield Components

Analysis of variance showed significant differences among populations and salinity for plant height; salinity for panicle length; populations for number of grains per panicle (Table 4). Also, salinity x populations interactions for number of spikelets per panicle and grain yield per plant were significant.

All populations showed better performance for PH at control parcels, whereas it decreased significantly at 20 ds/m salinity levels. However, plant height of population VII was the highest at EC: 20 ds/m (Table 5). Abdel Gadir (1993) stated that soil salinity caused to significantly decrease in barley plant height. The minimum plant height was obtained from control and 8 mmohs/cm salinity concentration while the maximum plant height was obtained from 2, 4 and 6 mmohs/cm. Increasing salinity concentration were caused that *Agropyron elongatum*'s plant height was increased by 5.6 % while plant height of *Agropyron cristatum* was decreased by 4.6% (Koc and Acar, 2017). Girma et al. (2017) stated that at 12 dSm⁻¹ salinity decreased the plant height by 21-64% even 100% for some susceptible genotypes. Similar results were also determined in rice plants (Hakim et al., 2014).

Salt stress significantly affected panicle length in puccinellia (Table 5) and it recorded at 4.52 of control and 12.64 of salinity parcel. This agrees with Girma et al. (2017) that observed rice genotypes were inversely affected by salinity. This results in line

with the results of Mahmoud et al. (2009), Rad et al (2012) and Hakim et al. (2014) where the reduction in panicle length were reported at salinity conditions.

Table 3. Means comparison of salinity and populations on Fv/Fm, SPAD and stomatal conductance ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) at stem elongation stage

Populations	Salinity (ds/m)					
	0		20		0	
	Fv/Fm	SPAD	SC			
I	0.70 b	0.78 a	34.0	33.5	67.7 d	75.2 d
II	0.80 a	0.75 ab	31.2	36.6	106.3 a	80.8 bcd
III	0.75 ab	0.76 ab	34.2	35.7	90.6 b	87.7 bc
IV	0.73 ab	0.70 ab	30.8	31.9	117.0 a	108.1 a
V	0.76 ab	0.75 ab	31.3	34.7	87.0 bc	84.7 bc
VI	0.70 b	0.70 b	30.6	30.1	106.7 a	86.3 bc
VII	0.75 ab	0.78 a	30.6	33.2	87.5 bc	82.3 bc
LSD	0.10		ns		13.17	

Table 4. Analysis of variance for plant height, panicle height, number of grains per panicle, number of spikelets per spike, grain yield per plant in seven *Puccinellia* populations under salinity stress

Source of Variance	df	Mean Square				
		PH	PL	GN	SN	GYP
Populations (P)	6	102.79 **	10.15	2172.33 **	44.83 **	29.74 *
Salinity (S)	1	148.60 *	37.15 *	337.17	6.88	1.35
P x S	6	9.23	7.79	2343.44	47.83 **	46.98 **
Error	28	23.40	7.64	479.50	9.79	9.30
CV		9.98	20.35	18.58	18.58	18.93

*, **: Significant at 5% and 1%, respectively; df: degree of freedom, PH: plant height, PL: panicle length, GN: number of grains per panicle, SN: number of spikelets per panicle, GYP: grain yield per plant

While the population III performed better number of grains per panicle (189.00) under salinity conditions, the population VII (133.00) had better values under control conditions. Salinity highly significantly affected number of seeds per spica (Abdel Gadir, 1993). The salinity concentrations would reduce *Agropyron cristatum*, *Agropyron desertorum* and *Agropyron elongatum* seeds per spica by 62.5%, 61.7% and 42.8% respectively (Koc and Acar, 2017). Similarly, salinity decreased the total grain number per plant (Khanam et al., 2018). At 20 dSm^{-1} NaCl, the highest number of spikelet per panicle was obtained in population III. The highest value (19.0) was obtained from control conditions. It was stated by Abdel Gadir (1993) that salinity had no significant effect on the number of spikes per barley plants.

The interaction between salinity and population was found to be significant. Seed yield per panicle of *Puccinellia* populations significantly affected by salinity and, the means varied from 11.34 mg (I) to 25.53 mg (III) in salinity parcels. The populations VI and V had the second highest yield. Liu and Coulman (2015) also found significant differences of *Puccinellia* populations in terms of seed yield per plot. Moreover, seed yield of some *Puccinellia* populations such as III, VI and V were positively affected by salinity. Grime, (1979) and Tarasoff et al. (2007) revealed that less competitive *Puccinellia* plants had shorter plant height, fewer tillers, lower biomass and seed yield in normal condition than that of saline soil. Contrary to *Puccinellia*, rice, a member of same family, was negatively affected by salinity (Girma et al., 2017; Senanayake et al., 2017).

Table 5. Means comparison of salinity and populations on plant height (PH), panicle length (PL), and number of grains per panicle (GN)

Populations	Salinity						
	0	20	Mean	0	20	Mean	
	PH (cm)			PL (cm)		GN	
I	48.67	43.83	46.25 b	14.83	9.33	91.00 b	84.00 d
II	48.50	45.00	46.75 b	13.67	12.00	116.67 ab	102.67 cd
III	50.0	49.00	49.50 b	13.33	13.50	105.00 ab	189.00 a
IV	46.0	44.00	45.00 b	13.00	13.17	123.67 ab	102.67 cd
V	49.83	46.33	48.08 b	15.50	12.67	112.00 ab	121.33 bc
VI	50.67	42.00	46.33 b	13.17	13.50	123.67 ab	147.00 b
VII	58.67	55.83	57.25 a	18.17	14.33	133.00 a	98.00 cd
Mean	50.33 a	46.57 b		14.52 a	12.64 b		
	LSD (P): 5.72			LSD (S): 1.75		LSD (P X S): 36.62	

Table 6. Means comparison of salinity and populations on spikelet number per panicle (SN) and grain yield per plant (GYP)

Populations	Salinity			
	0	20	0	20
	SN		GYP (mg)	
I	13.00 b	12.0 d	15.12 a	11.34 c
II	16.67 ab	14.67 cd	15.75 a	13.86 c
III	15.0 ab	27.00 a	14.18 a	25.53 a
IV	17.67 ab	14.67 cd	16.70 a	13.83 c
V	16.00 ab	17.33 bc	15.12 a	16.40 bc
VI	17.67 ab	21.00 b	16.70 a	19.83 b
VII	19.0 a	14.00 cd	17.96 a	13.23 c
	LSD (P X S): 5.23		LSD (P X S): 5.1	

4. Conclusions and Recommendations

Fv/Fm and SC values changing response depending on populations were demonstrated physiological tolerance of *Puccinellia ciliata*. Populations III shown persistent tolerance to salinity in terms of all physiological parameters. Also, seed yield per panicle of same population was stimulated by salinity. It could be concluded that population III can be used as female parent in future breeding programme.

References

Abdel Gadir, O.M. (1993). Effect of different levels of salinity on growth, yield and seed quality of barley (*Hordeum vulgare*). Gezira Uni. B. Sc. Thesis. 210 p.

- Akhzari, D., & Ghasemi Aghbash, F. (2013). Effect of salinity and drought stress on the seedling growth and physiological traits of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* stapf.). *Ecopersia*, 1(4), 339-352.
- Bhuiyan, M.S.I. (2016). Management of dryland salinity in Central-west New South Wales, Australia: remediation trials using salt-tolerant plants: remediation trials using salt-tolerant plants. Doctoral Thesis. Australia: Charles Sturt University. 235 p.
- Daba, A.W., Qureshi, A.S., & Nisaren, B.N. (2019). Evaluation of some Rhodes grass (*Chloris gayana*) genotypes for their salt tolerance, biomass yield and nutrient composition. *Applied Sciences*, 9(1), 143.
- De Oliveira, A.B., Alencar, N.L.M., & Gomes-Filho, E. (2013). Comparison between the water and salt stress effects on

- plant growth and development. Responses of organisms to water stress, 67.
- Girma, B.T., Ali, H.M., & Gebeyaneh, A.A. (2017). Effect of Salinity on Final Growth Stage of Different Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes. *Asian Journal of Agricultural Research*, 11(1), 1-9.
- Grime, J.P. (1979). *Plant strategies and vegetation process*. Chichester, New York: John Wiley
- Hakim, M.A., Juraimi, A.S., Hanafi, M.M., Ismail, M.R., Rafii, M.Y., Islam, M.M., & Selamat, A. (2014). The effect of salinity on growth, ion accumulation and yield of rice varieties. *Journal of Animal and Plant Science*, 24(3), 874-885.
- Hossain, M. S. (2019). Present scenario of global salt affected soils, its management and importance of salinity research. *International Research Journal of Biology Science*, 1, 1-3.
- Hussain, S., Zhong, C., Bai, Z., Cao, X., Zhu, L., Hussain, A., ... & Jin, Q. (2018). Effects of 1-Methylcyclopropene on Rice growth characteristics and superior and inferior spikelet development under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(4), 1368-1384.
- Jamil, M., Lee, K. J., Kim, J. M., Kim, H. S., & Rha, E. S. (2007). Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. *Scientia Agricola*, 64(2), 111-118.
- Jenkins, S., Barrett-Lennard, E. G., & Rengel, Z. (2010). Impacts of waterlogging and salinity on puccinellia (*Puccinellia ciliata*) and tall wheatgrass (*Thinopyrum ponticum*): zonation on saltland with a shallow water-table, plant growth, and Na⁺ and K⁺ concentrations in the leaves. *Plant and Soil*, 329(1-2), 91-104.
- Khanam, T., Akhtar, N., Halim, M. A., & Hossain, F. (2018). Effect of irrigation salinity on the growth and yield of two Aus rice cultivars of Bangladesh. *Jahangirnagar University Journal of Biological Sciences*, 7(2), 1-12.
- Koc, N., & Acar, R. (2017). The effect of morphological properties of agropyron species of different salt concentrations. *Journal of International Application Science*, 12(1), 9-13.
- Kumar, A., Kumar, A., Kumar, P., Lata, C., & Kumar, S. (2018). Effect of individual and interactive alkalinity and salinity on physiological, biochemical and nutritional traits of marvel grass. *Indian Journal Experimental Biology*, 56(8), 573-581.
- Liu, Y., Du, H., Wang, K., Huang, B., & Wang, Z. (2011). Differential photosynthetic responses to salinity stress between two perennial grass species contrasting in salinity tolerance. *HortScience*, 46(2), 311-316.
- Liu, Y., & Coulman, B. E. (2015). Morphological and agronomic variation of *Puccinellia nuttalliana* populations from the Canadian Great Plains. *Canadian Journal of Plant Science*, 95(1), 67-76.
- Mahmoud, E., Ibrahim, M., Robin, P., Akkal-Corfini, N., & El-Saka, M. (2009). Rice straw composting and its effect on soil properties. *Compost Science & Utilization*, 17(3), 146-150.
- Rad, H.E., Aref, F., & Rezaei, M. (2012). Response of Rice to Different Salinity Levels during Different Growth Stages. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(17): 3040-3047
- Rangani, J., Parida, A. K., Panda, A., & Kumari, A. (2016). Coordinated changes in antioxidative enzymes protect the photosynthetic machinery from salinity induced oxidative damage and confer salt tolerance in an extreme halophyte *Salvadora persica* L. *Frontiers in plant science*, 7, 50.
- Senanayake, R.N.N.H, Herath, H.M.V.G., & Wickramesinghe, I.P. (2017). Phenotypic screening of rice varieties for tolerant to salt stress at seed germination, seedling and maturity stages. *Tropical Agricultural Research*, 29(1), 90-100.
- Sidana, S. (2017). Physiological mechanisms conferring ameliorative effects of nitric oxide and cytokinin on salinity stress tolerance in pea and barley, PhD thesis, University of Tasmania. 155 p.
- Tarasoff, C. S., Mallory-Smith, C. A., & Ball, D. A. (2007). Comparative plant responses of *Puccinellia distans* and *Puccinellia nuttalliana* to sodic versus normal soil types. *Journal of Arid Environments*, 70(3), 403-417.
- Teakle, N. L., Bazihizina, N., Shabala, S., Colmer, T. D., Barrett-Lennard, E. G., Rodrigo-Moreno, A., & Läuchli, A. E. (2013). Differential tolerance to combined salinity and O₂ deficiency in the halophytic grasses *Puccinellia ciliata* and *Thinopyrum ponticum*: The importance of K⁺ retention in roots. *Environmental and Experimental Botany*, 87, 69-78.
- Wang, L. (2013). *Physiological Response of Kentucky Bluegrass under Salinity Stress*. Master of Science in Plant Science. Utah State University, Logan, Utah, 54 p.
- Yavaş, I., & Unay, A. (2017). The Evaluation of Alkali Grass (*Puccinellia ciliata* Bor) Populations in Aydin Province of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(8), 858-863.
- Yavas, I., Emek, Y., & Unay, A. (2020). Effect of Salinity on Growth and Some Photosynthetic Pigments of Improved Population in *Puccinellia ciliata* (Poaceae). *Current Journal of Applied Science and Technology*, 64-70.
- Yu, J., Chen, S., Wang, T., Sun, G., & Dai, S. (2013). Comparative proteomic analysis of *Puccinellia tenuiflora* leaves under Na₂CO₃ stress. *International journal of molecular sciences*, 14(1), 1740-1762.
- Zan, W., Geng, Z., Xue-min, W., & Hong-wen, G. (2011). Growth, ion content and photosynthetic responses of two *Elytrigia* Desv. species seedlings to salinity stress. *African Journal of Biotechnology*, 10(38), 7390-7396.



Siyah Kuşburnu Meyvesinden Süperkritik CO₂ Ekstraksiyonu ile Doğal Pigment Eldesinin Yüzey Yanıt Yöntemi Kullanılarak Modellenmesi ve Optimizasyonu

Kadriye Nur Kasapoğlu¹, Evren Demircan², Mine Gültekin-Özgülven^{3*}, Beraat Özçelik⁴

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6070-4948), kasapogluk@itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8533-6037), evrendemircan@itu.edu.tr

^{3*} İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2073-8075), gultekinmi@itu.edu.tr

⁴ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1810-8154), ozcelik@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 8 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.747799)

ATIF/REFERENCE: Gültekin-Özgülven, M., Demircan E., Kasapoğlu K.N., Özçelik B. (2020). Siyah Kuşburnu Meyvesinden Süperkritik CO₂ Ekstraksiyonu ile Doğal Pigment Eldesinin Yüzey Yanıt Yöntemi Kullanılarak Modellenmesi ve Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 16-23.

Öz

Bu çalışmada siyah kuşburnu meyvesi içerdiği antosiyaninlerden dolayı doğal pigment kaynağı olarak kullanılmıştır. Söz konusu pigmentleri elde etmek için yeşil teknoloji olarak değerlendirilen ve organik çözen kalıntısı bırakma riski içermeyen süperkritik karbon dioksit (SK-CO₂) ekstraksiyonundan yararlanılmıştır. Ekstraksiyon parametreleri olan karbon dioksit basıncı (150-350 bar), sıcaklık (40-60°C) ve yardımcı solvent (etanol) konsantrasyonunun (%20-100) toplam antosiyaninlerin eldesi üzerine etkileri Box-Behnken modeline göre Yanıt-Yüzey Yöntemi ile model oluşturularak optimize edilmiştir. Antosiyaninlerin SK-CO₂ ekstraksiyonu sulu etanolün yardımcı çözen olarak kullanımıyla başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bağımsız değişkenler içinde en önemli değişkenin yardımcı çözen kompozisyonu ile sıcaklık ve basınç interaksiyonu olduğu görülmüştür. Optimum proses koşulları olarak basıncı (350 bar) ve sıcaklığın (60°C) en yüksek olduğu, etanol konsantrasyonunun %60 olan merkez noktası değerlerine yakın olduğu (%54-55) değerler bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre özellikle etanol konsantrasyonunun %60'ın altında kalması gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca, saf etanol kullanılan işlemlerde ekstraksiyon veriminin çok düşük çıktığı görülmüştür. Son olarak; modelin validasyonu gerçekleştirilmiş, tahminlenen toplam antosiyanin miktarı ile gerçek ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu (R²=0.8936) sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Siyah kuşburnu, antosiyanin, süperkritik CO₂ ekstraksiyonu, yanıt yüzey yöntemi

Modeling and Optimization of Supercritical CO₂ Extraction of Natural Pigments from Black Rosehip Using Response Surface Methodology

Abstract

In this work, black rosehip was used as potent natural pigment source due to its anthocyanin content. To obtain these pigments, supercritical carbon dioxide extraction considered as a green extraction technique was employed. The effects of carbon dioxide pressure (150-350 bar), temperature (40-60°C) and co-solvent (ethanol) concentration (20-100%) on extraction of total anthocyanins were optimized using the Response-Surface Method according to the Box-Behnken model. Extraction of anthocyanins was successfully achieved when aqueous ethanol used as co-solvent. The most effective variables were co-solvent composition and pressure and temperature interaction (p<0.05). Optimum extraction conditions were elicited as the highest pressure (350 bar) and temperature (60°C) conditions and the ethanol concentration close to the center point values of 60% (54-55%). According to the results obtained, it was understood that the ethanol concentration should remain below 60%. In addition, extraction efficiency was found to be very low in processes using absolute ethanol. Finally; the model was validated. When the estimated total anthocyanin amount (R₂ = 0.8936) was compared to the actual measured values, the values were found to be close to each other.

Keywords: Black rosehip, anthocyanins, supercritical CO₂ extraction, response surface methodology

* Sorumlu Yazar: gultekinmi@itu.edu.tr

1. Giriş

Kuşburnu, Rosaceae familyasından Rosa cinsine ait çalı formunda, kışın yaprağını döken bir bitki türüdür. Anavatanının Batı Asya, Anadolu, Kuzey ve Orta Avrupa olduğu bilinmektedir. Anadolu'da özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yaygın olarak bulunmaktadır (Öz ve diğ., 2018). Meyveleri geleneksel olarak pek çok ülkede tıbbi amaçlı toplanmaktadır. İçerdiği antosiyaninler, askorbik asit, flavonoidler, fenolik asitler, tanenler, tokoferoller, aminoasitler ve pektinler gibi biyolojik olarak aktif bileşikler (Fascella ve diğ., 2019) sayesinde influenza, enfeksiyonlar, iltihaplı hastalıklar, kronik ağrı, ülser gibi katalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Ercişli & Eşitken, 2004). Farklı türleri bulunmakla birlikte "siyah kuşburnu" (*Rosa pimpinellifolia* L.) olarak adlandırılan türü diğer kuşburnu türlerine göre daha az yaygındır. Ancak, potansiyel bir antosiyanin deposudur. Antosiyaninler meyve, sebze ve çiçeklerin kırmızı, mor ve pembe renklerinden sorumludurlar. Asidik pH değerlerinde kara havuç gibi kırmızı-mor renkli meyvelerin ekstraktları parlak kırmızı bir renge sahip olduğu için meyve suları ve nektarları, alkolsüz içecekleri, konserveleri ve şekerlemeleri renklendirmek için iyi bir seçimdir. Doğal bir renklendirici olduğundan, gıda etiketlerinde bir E numarası ile herhangi bir beyan gerektirmez. Siyah kuşburnu içerdiği antosiyaninler nedeniyle doğal pigment yani renklendirici kaynağı olarak kullanılabilir. Renklendirici özelliklerine ek olarak, güçlü antioksidan özellikleri nedeniyle ateroskleroz, kanser, diyabet ve nörodejeneratif bozukluk riskini azaltarak insan sağlığına olası olumlu katkısı nedeniyle antosiyaninlere olan ilgi günden güne artmaktadır (Khandare ve diğ., 2011).

Geleneksel olarak antosiyaninler polar moleküller olup asitlendirilmiş etanol yardımıyla katı-sıvı ekstraksiyon yöntemiyle ekstrakte edilirler. Ancak, daha hızlı sonuç veren ve organik solvent kullanmayan süperkritik akışkanlarla gerçekleştirilen ekstraksiyon yöntemlerine ilgi duyulmaya başlanmıştır (Seabra ve diğ., 2010). Yeşil teknolojilerden biri olan süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu herhangi bir çözücü kalıntısı içermeyen ve düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği için bozulma reaksiyonlarının görülmediği ürünler elde edilmesini sağlamaktadır. Süperkritik durumun en önemli özelliği, çözme gücünün güçlü bir şekilde akışkan yoğunluğuna bağlı olması ve kimyasal bileşimi değiştirmeden basınç ve sıcaklığı kontrol ederek ayarlanabilmesidir. Bu özellik seçici ekstraksiyon ve saflaştırma imkanı sunmaktadır. Karbondioksit, nispeten düşük kritik sıcaklık (31.3°C) ve basıncı (72.9 bar), düşük toksisite ve uygun maliyeti nedeniyle en önemli ekstraksiyon ortamıdır. Ayrıca, süperkritik CO₂ akışkanı birçok organik çözücü ile karışabilir. Bu karışımları oluşturma yeteneği süperkritik akışkan CO₂'in çözüme gücünü ve polaritesini büyük ölçüde arttırmaktadır (Bristow ve diğ., 2001). Bu çalışmada CO₂ gazı etanolle birlikte kullanılacaktır. Nitekim, Zulkafli ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada etanolün yardımcı solvent olarak kullanılmasının toplam fenolik miktarını arttırdığını rapor etmişlerdir. Diğer taraftan, antosiyaninler kolay bozulan, pH, sıcaklık gibi çevre koşullarına duyarlı pigmentlerdir. Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu sırasında karbonik asit ve/veya alkil karbonik asidin doğal olarak oluşumu sayesinde pH'deki düşüş ve ortamda oksijen bulunmamasından ötürü antosiyaninlerinin stabilitesi artabilmektedir (Seabra ve diğ., 2010). Tüm bu

nedenlerden dolayı bu çalışmada konvansiyonel ekstraksiyon yöntemleri yerine SK-CO₂ ekstraksiyonu tercih edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, siyah kuşburnu meyvesinden doğal pigmentlerin (antosiyaninlerin) gıdalarda güvenle kullanılacak şekilde ekstraksiyonu için hızlı, basit, güvenli ve kolayca uygulanabilen bir SK-CO₂ ekstraksiyon yöntemi geliştirmek ve Yanıt-Yüzey Yöntemini (response surface methodology) kullanarak optimize etmektir. Bu amaçla antosiyanin pigmentlerin SK-CO₂ ile ekstraksiyonunda önemli olan basınç, sıcaklık ve yardımcı çözücü olarak kullanılan etanol konsantrasyonu parametrelerinin toplam antosiyanin miktarı üzerindeki etkileri araştırılmış ve optimize edilmiştir. Ayrıca, metanol kullanılarak konvansiyonel çözgen ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve elde edilen TA sonuçları SK-CO₂ ekstraksiyonu ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Böylece yöntemin verimi de değerlendirilebilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta olup Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, MO) temin edilmiştir. Sadece etanol teknik saflıkta olup Emboy, Türkiye'den tedarik edilmiştir. Süperkritik akışkan ekstraksiyon dereceli %99.9 saflıktaki karbon dioksit daldırma tüplü bir silindir içinde Linde Gaz'dan satın alınmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Numunenin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan siyah kuşburnu meyve numuneleri Gümüşhane yöremizden Eylül ayında toplanmıştır. Soğuk zincir bozulmadan laboratuvara ivedilikle getirilmiştir. Meyveler iyice yıkandıktan sonra ve işlem süresine kadar -80°C'de saklanmıştır. Meyveler herhangi enzimatik bozulmanın önlenmesi için sıvı azot ile öğütülerek toz hale getirilmiştir. Daha sonra ise yüksek sıcaklık uygulamasından kaçınılarak dondurucu kurutucuda sabit nem içeriğine kadar (%5, g/g) kurutularak SK-CO₂ ekstraksiyon işlemine hazır hale getirilmiştir. Kuru halde toz numuneler deneyler süresince karanlıkta -18°C'de muhafaza edilmiştir.

2.2.2. Çözgen Ekstraksiyonu

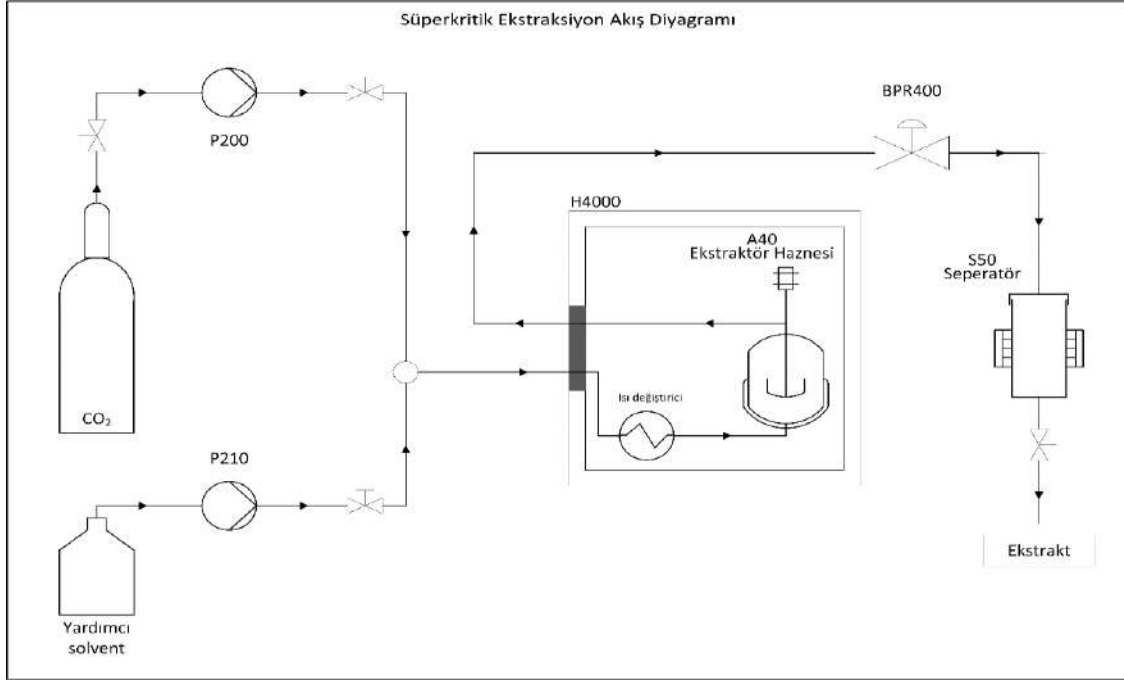
Siyah kuşburnu örnekleri absolut metanol ile SK-CO₂ ekstraksiyonunda kullanılan örnek: çözgen oranı (1:25, ml/ml) kullanılarak ekstrakte edilmiştir. Örnekler, ultrasonik homojenizatörde (Bandelin, Almanya) oda sıcaklığında 20 sn süreyle bekletildikten sonra 2800 g'de 15 dk santrifüjlenmiştir (Hettich Rotina 380R, Tuttlingen, Almanya). İki kere tekrarlanan ekstraksiyon işleminden sonra üstte toplanan ekstraktlar birleştirilerek metanol içerikleri vakumlu evaporatörde (Bibby Sterilin RE-100, Bibby Scientific Limited, Staffordshire, İngiltere) uçurulmuştur.

2.2.3. Süperkritik Karbondioksit Ekstraksiyonu

Şekil 1'de kurulumu verilen Separex (Fransa) marka SFE100 model SK-CO₂ ekstraktörü; P200 CO₂ pompası, P210 yardımcı solvent pompası, yüksek sıcaklıklara çıkan H4000 fırın, S50 separatör (maks. 200 bar basınç ve maks. 150°C 300 ml kapasite), yüksek basınçlı A40 ekstraktör haznesi (500 ml) ve BPR 400 geri basınç regülatöründen meydana gelmektedir. Fırının içinde bulunan otoklava toz haline getirilen numune

yerleştirilerek istenen sıcaklığa ulaşması beklenmiştir. Sıvı haldeki CO₂ kriyojenik banyoda 277°K'e soğutulup ekstraktöre pompalanarak istenen çalışma basıncına ulaşması sağlanmıştır. Basınç bir basınç ölçerle kontrol edilmiştir. Ekstraktörün basıncı manuel olarak geri basınç regülatörü ile ayarlanmıştır. Genleşme supabı açıldıktan sonra CO₂ akışı sabit sıcaklık, basınç ve akış hızında başlatılmıştır. Çalışmada CO₂ akış hızı 90 g/dk, yardımcı çözgen ise 10 g/dk olarak ayarlanmıştır. CO₂ gaz haline

geçtikten sonra ekstrakte edilen bileşikler toplama haznesinde birikmiştir. Yardımcı solvent olarak kullanılan etanol ekstraktör girişinde CO₂ ile karıştırılmıştır. Ekstraksiyonun bitişinde ekstraktör haznesinin basıncı ve sıcaklığı çevre koşullarına düşürülmüştür. Separatör sayesinde ekstrakt ve solvent CO₂'ten ayrılıp bir toplayıcıda toplanmıştır. Ayrılan CO₂ CE2000 kondensörüne bir pompayla gönderilerek geri dönüştürülmüştür.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan SFE100 model SK-CO₂ ekstraktörü düzeniği.

2.2.4. Antosiyanin Pigmenti Miktarının Belirlenmesi

Örneklerin toplam antosiyanin (TA) miktarları pH-diferansiyel yöntemiyle belirlenmiştir. Ekstraktın 1 ml'si potasyum klorür tampon (pH 1.0) ve sodyum asetat tampon (pH 4.5) ile sırasıyla seyreltilmiştir. 15 dakika dengeye gelmesi için bekletilen seyreltimlerin her birinin absorbans değerleri 520 ve 700 nm dalga boylarında UV/Vis spektrofotometre yardımıyla ölçülmüştür. Antosiyanin miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Vatai ve diğ., 2009). Sonuçlar milligram siyanidin-3-glikozit/ ml ekstrakt cinsinden verilmiştir.

$$\text{Antosiyanin konsantrasyonu} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A \cdot MA \cdot SF \cdot 10^3}{\epsilon \cdot l} \quad (1)$$

A: absorbans ($A_{pH1.0} - A_{pH4.5}$), MA: siyanidin-3-glikozidin molekül ağırlığı (449.2 g/mol), SF: seyreltme faktörü, ϵ : siyanidin-3-glikozidin molar emiciliği (26.900 L/cm.mol).

2.2.5. Ekstraksiyon Veriminin Hesaplanması

SK-CO₂ ekstraktöründen elde edilen siyah kuşburnu ekstraktlarının ekstraksiyon verimi, bu ekstraktların TA

miktarlarının metanol kullanılarak gerçekleştirilen geleneksel çözgen ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen siyah kuşburnu ekstraktının TA miktarına oranlanmasıyla hesaplanmıştır.

2.2.6. Yanıt-Yüzey Yöntemine Göre Deneysel Tasarım

Süper kritik ekstraksiyonda basınç, sıcaklık ve etanol konsantrasyonunun (bağımsız değişkenler ya da faktörler) kara kuşburnu antosiyaninlerinin eldesi (cevap) üzerine etkisi "Yüzey-Yanıt Yöntemi" kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel tasarımda Box-Behnken istatistiksel modeli kullanılarak 3 faktörlü, her bir faktör için 3 seviyeli olarak tasarlanmıştır. Bu faktörlerin seviyeleri literatürde geçen benzer çalışmalar ve ön denemelere göre belirlenmiş olup kodlu (-1, 0, +1) ve gerçek değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tasarımda deneysel hatayı tahminleyebilmek için merkez nokta (0, 0, 0; 250 bar, 50°C, %60) 5 kere tekrar edilmek üzere model tarafından toplam 17 koşul belirlenmiştir. Bağımsız değişkenlerden basınç (150-350 bar), sıcaklık (40-60°C) ve etanol konsantrasyonu (%20-100) arasında değişmektedir. Deney dizisinin sıralaması kontrolsüz faktörlerin etkilerini en aza indirmek için randomize edilmiştir.

Tablo 1. Süperkritik ekstraksiyonda bağımsız değişkenlerin kodlu ve gerçek değerleri.

Bağımsız Değişkenler	-1 (Düşük)	0 (Merkez)	1 (Yüksek)
Basınç (P, bar)	150	250	350
Sıcaklık (T, °C)	40	50	60
Etanol konsantrasyonu (EtOH:H ₂ O, %)	20	60	100

2.2.7. İstatistiksel Analiz

İkinci dereceden polinom eşitliğin tüm bağımsız değişkenlere uyması için elde edilen deneysel veriler çoklu regresyonla analiz edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin lineer, kuadratik ve interaksiyon etkilerinin yanı sıra üzerindeki istatistiksel önemlilikleri %95 güven seviyesinde Fischer (F-testi) testi uygulanarak bulunmuştur. Modelin uygunluğunu değerlendirmek için varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. R² katsayısı ve uyum eksikliği (lack of fit) testleri ile modelin yeterliliği değerlendirilmiştir. Bağımsız değişkenler ile cevap arasındaki ilişkiyi görmek için yüzey yanıt ve kontur grafikleri ve hedeflenen cevaplara ulaşmak için tahminlenen optimum koşullar Design Expert Version Software Trial 12.0 (Stat Ease Inc., Minneapolis, USA) paket programı ile oluşturulmuştur.

2.2.8. Optimizasyon ve Validasyon

Optimum koşulların belirlenmesinde toplam antosiyanin miktarının maksimum olduğu değerler dikkate alınmıştır. Optimize edilmiş koşulların geçerliliğini belirlemek için, belirlenen optimal koşullar altında üç kere daha deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin ortalama değerleri model tarafından

tahmin edilen optimize değerlerle karşılaştırılarak, söz konusu optimum koşulların ve matematiksel modellerin doğruluğu ve uygunluğu anlaşılabilmektedir (Maran ve diğ., 2014).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

BBD'ye göre belirlenen ve 17 adet denemeye ait olan bağımsız değişkenler (faktörler) ve cevaplar (bağımlı değişken veya sonuç) Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre gerçekleştirilen denemelerden elde edilen siyah kuşburnu ekstraktlarının TA miktarlarının 15.15 ile 155.13 mg syn-3-gl/ mL ekstrakt arasında geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Bu değişim bağımsız değişkenler olan basınç, sıcaklık ve etanol konsantrasyonu ile bunların interaksiyonuna bağlı olarak gerçekleşmiştir.

3.1. Basınç, Sıcaklık, Etanol Konsantrasyonu Değişkenlerinin Antosiyaninler Üzerine Etkisi

Elde edilen modelin istatistiksel önemi ANOVA testi ile değerlendirilmiştir ve Tablo 3'te TA miktarının optimizasyonu için ANOVA sonuçları verilmiştir.

Tablo 2. BBD'ye göre belirlenen bağımsız ve bağımlı değişkenler.

Deney Sırası	Bağımsız Değişkenler			Cevap
	Basınç (bar) (X1)	Sıcaklık (°C) (X2)	Etanol konsantrasyonu (%) (X3)	TA Miktarı (mg syn-3-gl/ mL ekstrakt)
1	250	50	60	117.90
2	250	50	60	113.60
3	250	40	100	27.02
4	250	40	20	29.66
5	350	50	100	23.50
6	350	40	60	93.74
7	250	50	60	130.0
8	350	60	60	155.13
9	150	60	60	117.52
10	250	60	20	42.48
11	250	50	60	112.50
12	150	50	100	15.15
13	250	50	60	100.0
14	150	40	60	133.67
15	150	50	20	74.41
16	350	50	20	79.36
17	250	60	100	16.69

TA: toplam antosiyanin; syn-3-gl: siyanidin-3-glikozit eşdeğeri

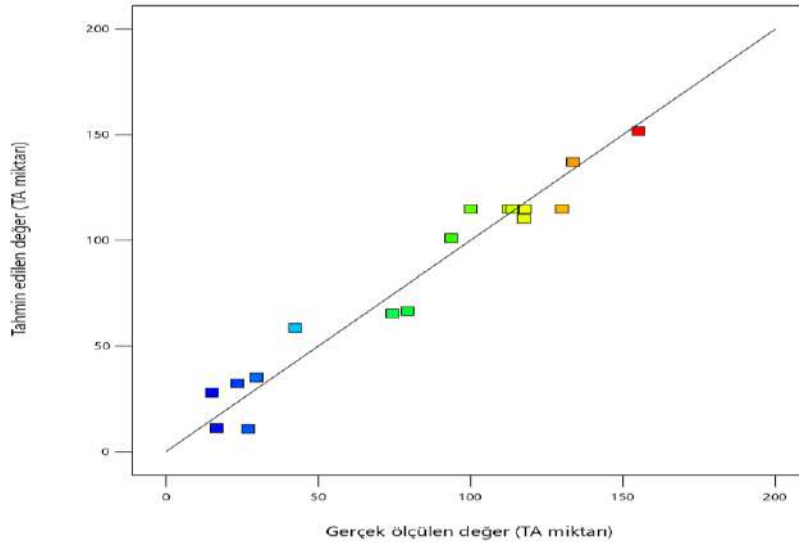
Tablo 3. TA miktarının optimizasyonu için BBD ANOVA sonuçları.

Cevap	Faktörler	Katsayı	P değeri	Model uyumu
TA miktarı	Basınç (L)	1.3725	0.8085	R ² =0.9522
	Sıcaklık (L)	5.96625	0.3101	F=15.48
	Etanol konsantrasyonu (L)	-17.9438	0.0133	P=0.0008
	Basınç X Sıcaklık	19.385	0.0402	
	Basınç X Etanol konsantrasyonu	0.85	0.9153	
	Sıcaklık X Etanol konsantrasyonu	-5.7875	0.4774	
	Basınç (K)	14.6788	0.0917	
	Sıcaklık (K)	-4.46375	0.5712	
	Etanol konsantrasyonu (K)	-81.3737	< 0.0001	
Kesişim (Intercept)		+114,80		

L: lineer, K: kuadratik

Tablo 3'te de görüldüğü gibi F ve p dikkate alındığında modelin p değerinin 0.05'den küçük olduğu için önerilen modelin bu çalışma için uygun olduğu anlaşılmıştır. Kuadratik model için gerçekleştirilen ANOVA sonuçlarına göre TA miktarının (p=0.0008) önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca

regresyon katsayısı (R²)'nin 1'e yakın olduğu (TA miktarı için R²=0.9522) yani gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 2). TA miktarı için etanol konsantrasyonu (L) (p=0.0133), basınç ve sıcaklık interaksyonu (p=0.0402) ve etanol konsantrasyonu (K) (p<0.0001) p önemli olduğu p değerlerine bakılarak anlaşılmaktadır.



Şekil 2. TA miktarı için model tarafından tahminlenen sonuçlar ve deneysel olarak elde edilen gerçek sonuçlar arasındaki ilişki.

TA miktarını basınç, sıcaklık ve etanol konsantrasyonu parametrelerinden sadece önemli çıkan etanol konsantrasyonu (L), etanol konsantrasyonu (K) ve basınç ve sıcaklık interaksyonu parametrelerinin bir fonksiyonu olarak veren model eşitliği Eşitlik 1'de verilmiştir. Yazılım tarafından e-ISSN: 2148-2683

oluşturulan bu eşitliklerde önemli çıkmayan parametreler eşitliğe dahil edilmemiştir (Jiao, 2018).

$$TA \text{ miktarı} = +114,80 - 17,94C + 19,38AB - 81,37C^2 \quad (1)$$

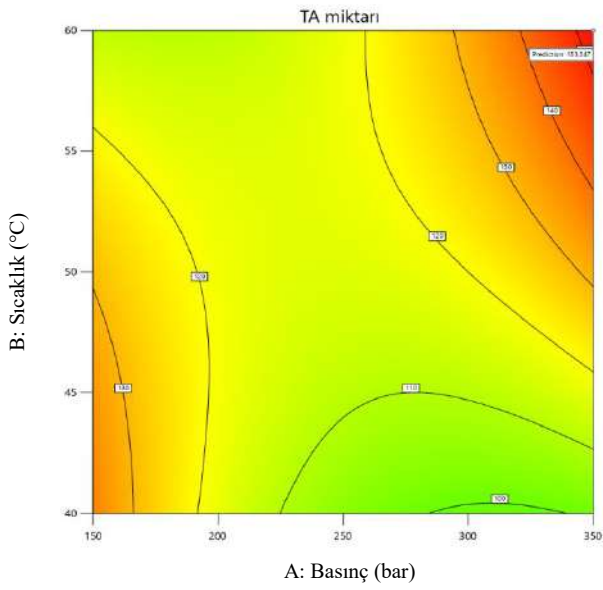
Eşitlik 1'den de anlaşıldığı üzere TA miktarını etanol konsantrasyonunun birinci ve ikinci dereceden değişkenleri negatif olarak etkilerken basınç ve sıcaklık interaksiyonu ise pozitif olarak etkilemektedir.

3.2. Tepki Yüzey Grafikleri

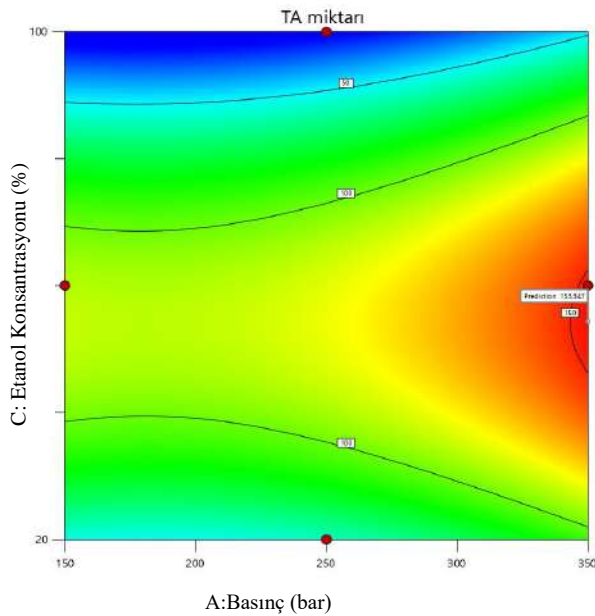
Faktörlerin etkileşimlerinin yanıt entegrasyonu üzerindeki etkisi kontur çizimleri ile değerlendirilebilir. TA miktarı için kontur ve üç boyutlu grafikler sırasıyla Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 (A)'da görüldüğü üzere etanol konsantrasyonu sabit tutulduğunda basınç ve sıcaklık değerleri arttıkça elde edilen TA miktarı artmıştır. Ancak bu artış cevap yüzeyinin orta

noktasından sonra başlamıştır. Basınç 150 bar iken sadece sıcaklığın artırılmasının antosiyanin ekstraksiyonuna önemli bir etkisi görülmemiştir. Ancak, basınç 350 bara çıktığında sıcaklığın 40°C'den 60°C'ye yükseltilmesi ile maksimum TA miktarına ulaşmak mümkün olmuştur. Antosiyaninler 70°C'nin üzerinde bozulmaya başladığından deneme deseninde maksimum 60°C'de çalışılmıştır (Zhou ve diğ., 2018). Şekil 3 (B) ve (C)'de verildiği üzere antosiyanin miktarı 350 bar basınçta veya 60°C sıcaklıkta, etanol konsantrasyonu %60'ın altında iken elde edilmiştir. Literatürde sulu etanol çözgen olarak kullanıldığında da etanol konsantrasyonunun % 80'in altında olduğunda ekstraksiyon veriminin daha iyi olduğu gözlenmiştir (Khazaei ve diğ., 2016; Xu ve diğ., 2017).

(A)



(B)



(C)

(D)

(E)

(F)

(G)

(H)

(I)

(J)

(K)

(L)

(M)

(N)

(O)

(P)

(Q)

(R)

(S)

(T)

(U)

(V)

(W)

(X)

(Y)

(Z)

(AA)

(AB)

(AC)

(AD)

(AE)

(AF)

(AG)

(AH)

(AI)

(AJ)

(AK)

(AL)

(AM)

(AN)

(AO)

(AP)

(AQ)

(AR)

(AS)

(AT)

(AU)

(AV)

(AW)

(AX)

(AY)

(AZ)

(BA)

(BB)

(BC)

(BD)

(BE)

(BF)

(BG)

(BH)

(BI)

(BJ)

(BK)

(BL)

(BM)

(BN)

(BO)

(BP)

(BQ)

(BR)

(BS)

(BT)

(BU)

(BV)

(BW)

(BX)

(BY)

(BZ)

(CA)

(CB)

(CC)

(CD)

(CE)

(CF)

(CG)

(CH)

(CI)

(CJ)

(CK)

(CL)

(CM)

(CN)

(CO)

(CP)

(CQ)

(CR)

(CS)

(CT)

(CU)

(CV)

(CW)

(CX)

(CY)

(CZ)

(DA)

(DB)

(DC)

(DD)

(DE)

(DF)

(DG)

(DH)

(DI)

(DJ)

(DK)

(DL)

(DM)

(DN)

(DO)

(DP)

(DQ)

(DR)

(DS)

(DT)

(DU)

(DV)

(DW)

(DX)

(DY)

(DZ)

(EA)

(EB)

(EC)

(ED)

(EE)

(EF)

(EG)

(EH)

(EI)

(EJ)

(EK)

(EL)

(EM)

(EN)

(EO)

(EP)

(EQ)

(ER)

(ES)

(ET)

(EU)

(EV)

(EW)

(EX)

(EY)

(EZ)

(FA)

(FB)

(FC)

(FD)

(FE)

(FF)

(FG)

(FH)

(FI)

(FJ)

(FK)

(FL)

(FM)

(FN)

(FO)

(FP)

(FQ)

(FR)

(FS)

(FT)

(FU)

(FV)

(FW)

(FX)

(FY)

(FZ)

(GA)

(GB)

(GC)

(GD)

(GE)

(GF)

(GG)

(GH)

(GI)

(GJ)

(GK)

(GL)

(GM)

(GN)

(GO)

(GP)

(GQ)

(GR)

(GS)

(GT)

(GU)

(GV)

(GW)

(GX)

(GY)

(GZ)

(HA)

(HB)

(HC)

(HD)

(HE)

(HF)

(HG)

(HH)

(HI)

(HJ)

(HK)

(HL)

(HM)

(HN)

(HO)

(HP)

(HQ)

(HR)

(HS)

(HT)

(HU)

(HV)

(HW)

(HX)

(HY)

(HZ)

(IA)

(IB)

(IC)

(ID)

(IE)

(IF)

(IG)

(IH)

(II)

(IJ)

(IK)

(IL)

(IM)

(IN)

(IO)

(IP)

(IQ)

(IR)

(IS)

(IT)

(IU)

(IV)

(IW)

(IX)

(IY)

(IZ)

(JA)

(JB)

(JC)

(JD)

(JE)

(JF)

(JG)

(JH)

(JI)

(JJ)

(JK)

(JL)

(JM)

(JN)

(JO)

(JP)

(JQ)

(JR)

(JS)

(JT)

(JU)

(JV)

(JW)

(JX)

(JY)

(JZ)

(KA)

(KB)

(KC)

(KD)

(KE)

(KF)

(KG)

(KH)

(KI)

(KJ)

(KK)

(KL)

(KM)

(KN)

(KO)

(KP)

(KQ)

(KR)

(KS)

(KT)

(KU)

(KV)

(KW)

(KX)

(KY)

(KZ)

(LA)

(LB)

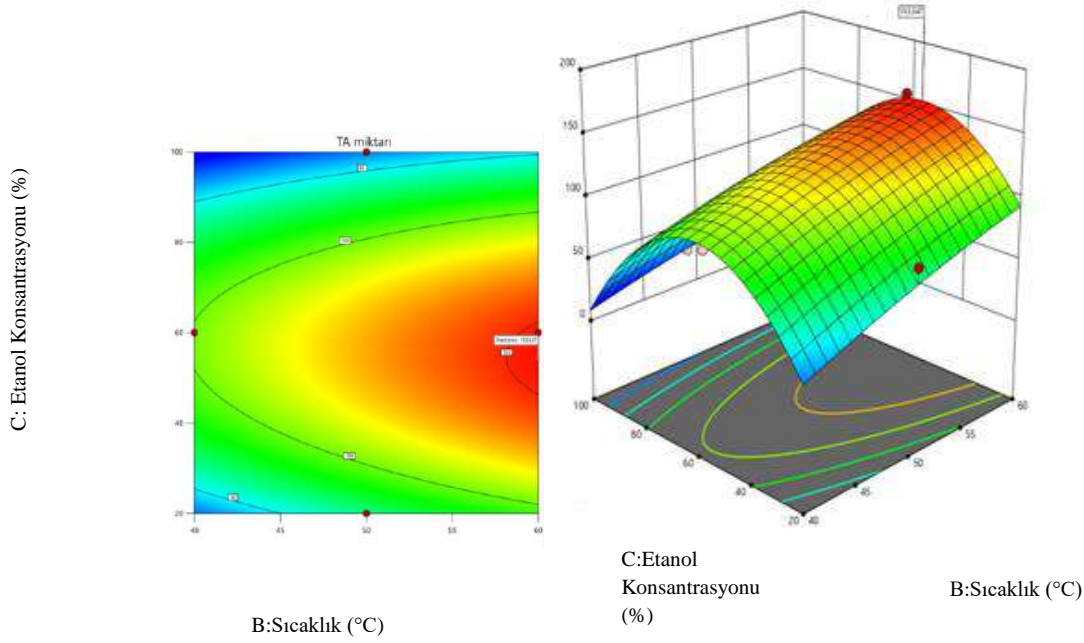
(LC)

(LD)

(LE)

(LF)

(C)



Şekil 3. TA miktarının kontur ve üç boyutlu gösterimi. Basıncı ve sıcaklığın fonksiyonu olarak (A), etanol konsantrasyonu ve basıncın fonksiyonu olarak (B), etanol konsantrasyonu ve sıcaklığın fonksiyonu olarak (C).

3.3. Validasyon

Modelin belirlediği optimum koşullardan 3 tanesi seçilerek bu koşullarda çalışılmıştır. Tablo 4'te model tarafından tahminlenen ve deneysel olarak ölçülen cevaplar özetlenmiştir.

Tablo 4. Optimum koşulların validasyonu.

Örnekler	Basıncı (bar)	Sıcaklık (°C)	Etanol konsantrasyonu (%)	Tahmin edilen TA Miktarı (mg syn-3-gl/ mL ekstrakt)	Ölçülen deneysel TA Miktarı (mg syn-3-gl/ mL ekstrakt)
Optimum 1	350	60	54.40	115.62	90.10
Optimum 2	350	59.99	53.92	153.34	110.20
Optimum 3	350	60	54.82	153.34	120.20

3.4. Ekstraksiyon Verimi

Metanollü geleneksel çözgen ekstraksiyonu kullanılarak TA miktarı 210.71 ± 1.32 mg siyanidin-3-glukozit/ml ekstrakt olarak bulunmuştur. SK-CO₂ ekstraksiyonla elde edilen sonuçlarla elde edilen verim Şekil 4'te görülmektedir. Buna göre 12 ve 17. örneklerin verimi sırasıyla %7.2 ve %7.9 olmak üzere en düşük çıkmıştır. Bu örnekler etanol konsantrasyonunun %100 olduğu örneklerdir. Susuz etanol kullanılan yöntemlerde verim düşük çıkmaktadır. En yüksek verimse 8. örnekte %73.6 olarak görülmektedir. Bu noktada en yüksek basınç (350 bar), en yüksek sıcaklık (60°C) değerlerinde yardımcı çözgen olarak %60 etanol içeren sulu etanol uygulanmıştır.

4. Sonuç

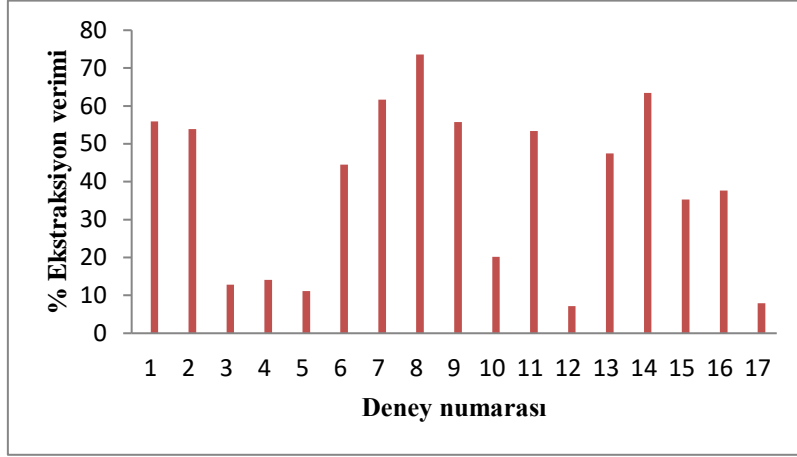
Siyah kuşburnu meyvesi doğal renk pigmentlerinin elde edilebilmesi için iyi bir kaynaktır. Bu doğal pigmentlerin eldesinde SK-CO₂ ekstraksiyonu kullanılmıştır. Yanıt-Yüzey

Görüldüğü gibi tahminlenen ve deneysel olarak ölçülen cevaplar birbirine oldukça yakın çıkmıştır. TA miktarı için $R^2=0.9147$, TA verimi için $R^2=0.8936$ olarak hesaplanmıştır. Böylece model doğrulanmıştır.

Yöntemine göre yardımcı çözgende etanol konsantrasyonunun birinci ve ikinci dereceden değişkenleri ile basınç ve sıcaklık interaksiyonunun antosiyanin miktarı üzerine önemli etkilerinin olduğu, sıcaklık ve basınç parametrelerinin, sıcaklık ile etanol konsantrasyonu interaksiyonunun ve basınç ile etanol konsantrasyonu interaksiyonunun ise ekstrakttaki antosiyanin miktarı üzerine önemli etkilerinin bulunmadığı gözlenmiştir.

Diğer taraftan, her ne kadar yeşil teknoloji olarak adlandırılan SK-CO₂ ekstraksiyonu kullanılarak organik solvent kalıntısı kalmasının ve oksidasyonun önüne geçmek istenmesine rağmen bu uygulamanın ticari boyutta ekonomik olmaması ve ekstraksiyon veriminin metanol kullanılarak gerçekleştirilen geleneksel çözgen yöntemine göre daha düşük kalması söz konusu yöntemin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Daha düşük basınçlarda çalışılması, yardımcı solvent kullanımından vazgeçilmemesi ve çözünen antosiyanin pigmentinin süperkritik akışkandan ayrılmasında membranlardan yararlanılması gibi yöntemlerle bu teknolojinin maliyeti diğer geleneksel yöntemlere yarışabilir hale getirilebilmesi mümkün olabilir.

Ekstraksiyon veriminin artırılması içinse daha sonraki gerçekleştirilmesi önerilmektedir. çalışmalarda metot değişimine gidilerek farklı denemelerin



Şekil 4. BBD deney numaralarına göre ekstraksiyon verimi.

5. Teşekkür

Yazarlar siyah kuşburnu numunelerinin tedarik eden Bayburt Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden Dr. Öğretim Üyesi Ayla Arslaner'e teşekkür eder.

Kaynakça

- Bristow, S., Shekunov, B. Y., & York, P. (2001). Solubility analysis of drug compounds in supercritical carbon dioxide using static and dynamic extraction systems. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 40(7), 1732–1739. Doi:10.1021/ie0002834
- Ercişli, S. & Eşitken, A. (2004) Fruit characteristics of native rose hip (*Rosa* spp.) selections from the Erzurum province of Turkey, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32(1), 51-53. DOI: 10.1080/01140671.2004.9514279
- Fascella, G., D'Angiolillo, F., Mammano, M. M., Amenta, M., Romeo, F. V., Rapisarda, P., & Ballistreri, G. (2019). Bioactive compounds and antioxidant activity of four rose hip species from spontaneous Sicilian flora. *Food Chemistry*, 289, 56-64. Doi: 10.1016/j.foodchem.2019.02.127
- Jiao, G. (2018). Extraction of anthocyanins from haskap berry pulp using supercritical carbon dioxide: Influence of co-solvent composition and pretreatment. *LWT-Food Science and Technology*, 98, 237-244. Doi:10.1016/j.lwt.2018.08.042
- Khandare, V., Walia, S., Singh, M., & Kaur, C. (2011). Black carrot (*Daucus carota* ssp. *sativus*) juice: Processing effects on antioxidant composition and color. *Food and Bioprocess Technology*, 89(4), 482–486. Doi:10.1016/j.fbp.2010.07.007
- Khazaei, K. M., Jafari, S. M., Ghorbani, M., Kakhki, A. H., & Sarfarazi, M. (2016). Optimization of anthocyanin extraction from saffron petals with response surface methodology. *Food Analytical Methods*, 9(7), 1993-2001. Doi: 10.1007/s12161-015-0375-4

- Maran, J. P., Priya, B., & Manikandan, S. (2014). Modeling and optimization of supercritical fluid extraction of anthocyanin and phenolic compounds from *Syzygium cumini* fruit pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1938–1946. Doi:10.1007/s13197-013-1237-y
- Öz, M., Baltacı, C., & Deniz, İ. (2018).Gümüşhane Yöresi Kuşburnu (*Rosa canina* L.) ve Siyah Kuşburnu (*Rosa pimpinellifolia* L.) Meyvelerinin C Vitamini ve Şeker Analizleri. *GÜFBED/GUSTIJ*, 8 (2), 284-292. Doi: 10.17714/gumusfenbil.327635
- Seabra, I. J., Braga, M. E. M., Batista, M. T., & De Sousa, H. C. (2010). Effect of solvent (CO₂/ethanol/H₂O) on the fractionated enhanced solvent extraction of anthocyanins from elderberry pomace. *Journal of Supercritical Fluids*, 54(2), 145–152. Doi:10.1016/j.supflu.2010.05.001
- Vatai, T., Škerget, M., & Knez, Ž. (2009). Extraction of phenolic compounds from elder berry and different grape marc varieties using organic solvents and/or supercritical carbon dioxide. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 246–254. Doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.06.028
- Xu, D. P., Zheng, J., Zhou, Y., Li, Y., Li, S., & Li, H. B. (2017). Ultrasound-assisted extraction of natural antioxidants from the flower of *Limonium sinuatum*: Optimization and comparison with conventional methods. *Food Chemistry*, 217, 552-559. Doi:10.1016/j.foodchem.2016.09.013
- Zhou, F., Wang, T., Zhang, B., & Zhao, H. (2018). Addition of sucrose during the blueberry heating process is good or bad? Evaluating the changes of anthocyanins/anthocyanidins and the anticancer ability in HepG-2 cells. *Food Research International*, 107, 509-517. Doi:10.1016/j.foodres.2018.02.071
- Zulkafli, Z. D., Wang, H., Miyashita, F., Utsumi, N., & Tamura, K. (2014). Cosolvent-modified supercritical carbon dioxide extraction of phenolic compounds from bamboo leaves (*Sasa palmata*). *The Journal of Supercritical Fluids*, 94, 123-129. Doi:10.1016/j.supflu.2014.07.008



Sürü Robotların Hareket Planlamada Kullanılması

Ebubekir Yaşar^{1*}

^{1*} Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Bölümü, Tokat, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0780-893X), ebubekir.yasar@gop.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 06 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 06 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.763444)

ATIF/REFERENCE: Yaşar, E. (2020). Sürü Robotların Hareket Planlamada Kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 24-29.

Özet

Sürü robotlar birçok çalışmada karmaşık görevlerin çözümünde başarı ile kullanılmıştır. Sürünün ortak bir görevi yerine getirmesi aralarındaki iletişime bağlıdır. Bu çalışmada, farklı olarak sürü robotlar hareket planlama çalışmasında kullanılmışlardır. Sürü robotlar yardımıyla ana görev robotunun, engellere çarpmadan, başlangıç noktasından, bitiş noktasına doğru en kısa mesafede seyahatini sağlayacak bir yol bulunmuştur. Bu çalışmaya *Trafik Polisi Algoritması (TPA)* ismi verilmiştir. Algoritmaya göre sürüye ait robot bireylerin, yapılandırma alanının hemen her yerinde ortamın sınırları içerisinde belirli bir düzende yayılmaları sağlanmıştır. Bu rasgele yayılım düzenine sahip sürü robot üyeleri, birbiriyle haberleşme mesafesi kadar yakına konumlanmaktadır. Hedef noktaya en yakın üye yoksa üyeler önceden belirlenen kadar mesafe, rastgele hareket etmektedir. Hedef noktayı gören robot yakınındaki diğer komşu robotlara, bildirimde bulunarak mesafe ve yönelim açısını iletmektedir. Tüm robotlar, görebildiği komşu robotlara mesafe ve yönelim bilgisini aktararak bu bilgiler sonunda başlangıç noktasındaki ana görev robotuna iletilir. Başlangıç noktasındaki ana görev robotu, kendisine iletilen düğümler arasında en kısa yolu bulmak için arama yöntemlerinden Dijkstra algoritmasını kullanarak en kısa mesafeyi bulmuştur. Geliştirilen algoritma başlangıçta sanal ortamda denenmiş ve uygulaması ileriki çalışmalarda yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sürü robotlar, Hareket Planlama, Mobil robotlar.

Using Swarm Robots in Motion Planning

Abstract

Swarm robots have been used successfully in many studies to solve complex tasks. The common task of swarm robots depends on the communication between them. In this study, differently, swarm robots were used in the motion planning study. With the help of swarm robots, a path was found that would allow the main mission robot to travel the shortest distance from the starting point to the end point without hitting the obstacles. This study was named Traffic Police Algorithm (TPA). According to the algorithm, robotic individuals belonging to the swarm are provided to spread in a certain order within the boundaries of the environment almost everywhere in the configuration space. The swarm robot members with this random propagation pattern are positioned as close to each other as far as communication distance. If there is no member closest to the target point, the members move randomly at a predetermined distance. When a robot sees the target point, it transmits the distance and orientation angle by notifying other neighboring robots nearby. All robots transmit distance and orientation information to neighboring robots that they can see, and this information is finally transmitted to the main task robot at the starting point. The main task robot at the starting point found the shortest distance using the Dijkstra algorithm, one of the search methods, to find the shortest path among the nodes transmitted to it. The developed algorithm was initially tested in a virtual environment and its implementation will be done in future studies.

Keywords: Swarm robots, Motion planning, Mobil robots.

* Sorumlu Yazar: ebubekir.yasar@gop.edu.tr

1. Giriş

Robotlar günlük hayatımızda verilen görevleri hızlı, hatasız ve kolay bir şekilde yapmasıyla iş gücüne olan katkısı giderek artmaktadır. Tek bir robot yerine sürü robotların kullanılmaya başladığı uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Robotların verilen görevleri eksiksiz ve hızlı yapması özellikle otonom hareket kabiliyetine bağlıdır. Sürü robot mantığı birden fazla robotun aynı görevin bir parçasını icra edebilmesi ilkesine dayanan bir yaklaşımdır. Sürüdeki bireyler, karşılaştıkları sorunları, kendi başarılarına çözmeleri gerekmektedir. Günümüzde artan bir şekilde, birçok farklı alanda sürü robot uygulamaları üzerine çalışılmaktadır. Robotikte nihai hedeflerden birisi otonom robotlar yapmaktır. Böyle robotlar üst düzey görevleri kabul edecekler ve görevlerini insan müdahalesi olmadan yerine getireceklerdir. Günlük hayatta, yapılması gereken görevlerde insan faktörünün dezavantajlarını azaltmak, işlem süresini kısaltmak, zor, karmaşık işlemlerin üstesinden gelmek veya iş güvenliğini sağlamak için insan müdahalesi olmadan hareket eden akıllı robot çalışmaları kaçınılmaz olmuştur. Sürü robotlar özellikle doğadaki canlıların hayatlarını devam ettirmek için gösterdiği dayanışmayı örnek alır. Özellikle karanlık ve girilmesi zor alanlarda (deprem yıkıntıları, mağaralar, yer altı yapıları... gibi) sürü robotların, arama kurtarma veya operatör görevini icra eden ana robota, gideceği yolu bulmada yardımcı olması yapılacak görevi hızlandıracaktır. Bu amaçla birçok yol planlama tekniği kullanılmaktadır (Jaradat M. A., Garibeh M. H. & Feilat E. A. 2012). Yol planlama çalışması robotun engellere çarpmadan hareket edebileceği ve başlangıç pozisyonundan, bitiş noktasına doğru en kısa bir biçimde seyahatini sağlayacak bir yolu arama gayretidir. Hareket planlamanın hedefi fiziksel nesnelere uzaysal düzenlemesidir denilebilir (J.C. Latombe, 1991). Diğer taraftan robot hareket planlama çalışmaları ise dinamik yapıyı ve sınırlandırmaları göz ardı ederek yalnızca robot nakline ve gerekli dönüşlere odaklanır (Steven M. LaValle, 2006).

Literatürde ilk planlama çalışması 1969 yılında Nilsson tarafından Shakey isimli mobil bir robot sistemi üzerinde icra edilmiştir. Nilsson, otonom hareketi sağlaması amacıyla önemli iki görevi (visibility graph yöntemini, A* algoritması) robot üzerinde beraberce uygulayarak bu alandaki ilk çalışmayı yapmıştır. İlk olarak 1966 yapımına başlanan Shakey isimli tekerlekli mobil robot Charles Rosen tarafından 1972 yılında tamamlanmış ve planlama yeteneklerine sahip ilk robot olarak tarihe geçmiştir (Bertram Raphael, 2012). Robotun hareket ettiği alanda robot dışında gerek yapıya ait, gerekse ortamda hareketli veya sabit çeşitli engeller olabilir. Robotun hareketi sırasında bu engellere çarpmadan hareket etmesi önemlidir. Çünkü her robotun uzayda kapladığı bir herhangi bir geometriye sahip hacmi vardır. Buradan hareketle 1977 yılında Udupa, engelden sakınma algoritmaları için robotun nokta boyuta küçültülmesi fikrini ortaya atmıştır. Lozano Perez ve Wesley bu fikirden yararlanarak engellere değmeden robotların yol planlamasını yapmak için bu fikri sistematik hale getirmişlerdir (Lozano Perez T. ve Wesley M.A., 1979). Bu gayretleri yapılandırma alanı kavramına yol açmıştır. Yapılandırma alanında robot, serbestlik derecelerini tanımlayan parametre uzayında tek bir nokta olarak temsil edilmesini ifade eder (J.C. Latombe, 1999). Yapılan çalışma robotun yapılandırma alanının çıkarılmasına da önemli avantajlar sağlayacaktır. 1983 yılında Andrews ve Hogan ve 1985 yılında Khatib (Khatib O., 1986), potansiyel alan adını verdikleri bir yöntem geliştirmişlerdir. Buna göre robotun çalıştığı ortamı potansiyel alana sahip bir ortam gibi kabul etmişlerdir. Bu

potansiyel alanda varış noktası çekici engeller ve başlangıç noktası itici kuvvetlere sahiptir. 1987 yılında B. Chazelle, yapılandırma alanını belirli boyutlarda hücrelere (approximate decomposition cells) ayırarak engellere değmeyen hücreler üzerinden hedefe giden yolu aramıştır. 1991 yılında F. Aurenhammer Voronoi Diyagram ismini verdiği yöntemle yapılandırma alanını en yakın komşu kuralına göre ayırır (F. Aurenhammer, 1991). 1994 yılında ise Kavraki ve arkadaşları (Kavraki, L. E., P. Svestka, J-C. Latombe & M. Overmars, 1996), olasılık temelli yol (PRM) metodunu, 1998 yılında LaValle ve Kuffner (LaValle, S. M., & Kuffner, J. J., 2001) rasgele ağaç yapıda hızlı arama (RRT) algoritmaları yardımıyla başlangıç noktasını bitiş noktasına birleştiren bir yol aramışlardır.

Hareket planlamada anahtar kavramlardan birisi yapılandırma alanı kavramıdır. Bir konfigürasyon robotun duruşunu açıklar ve konfigürasyon alanı C ise olası tüm konfigürasyonlar kümesidir. Örneğin iki boyutlu bir düzlem üzerinde nokta boyutunda bir robotun yapılandırması, (x, y) gibi iki parametre ile ifade edilir. Aynı şekilde iki boyutlu bir düzlemde iki boyutlu bir robotun yapılandırması, (x, y, θ) gibi üç parametre ile temsil edilir. Engellerle çarpışmayı önleyen yapılandırma alanına serbest yapılandırma alanı (C_{free}) denir. Robotun tüm hareketleri serbest yapılandırma alanı içerisinde olmak zorundadır. Serbest yapılandırma alanını hesaplamak zor fakat herhangi bir noktanın serbest yapılandırma alanı içerisinde olup olmadığını belirlemek daha kolaydır (Wikipedia, 2020). Yapılandırma q ile yapılandırma alanı ise Q ile gösterilir.

Hareket planlama çalışmalarında yakın tarihte 2014 yılında Yıldırım Ş. ve Yaşar E. geliştirdikleri akıllı nesnelere algoritması ile olaya farklı bir bakış açısı getirmişlerdir. Bu algoritma nesne tabanlı programlama tekniklerini kullanmaktadır. Çalışma alanına yerleştirilen nesnelere altında engel olup olmadığını algılayan, birbirlerini görebilme yeteneğine sahip nesne tabanlı program mimarisinde oluşturulmuş yazılım tabanlı akıllı nesnelere oluşmaktadır (Yıldırım Ş, Yaşar E., 2015).

Bu çalışmada ana iş yürütücü robotun hareket planlamasına yardımcı olmak amacıyla sürü robotlar kullanılacaktır. Sürü robotlar basit görevleri topluca hareket ederek icra edebilen düşük enerji harcayan robot topluluğudur. Birlikte yaşayan canlıların hayatta kalmak için gösterdikleri dayanışmayı taklit eder (Brambilla, M., Ferrante, E., Birattari, M., & Dorigo, M., 2013). Bu dayanışma düşman tehdidi, hayat mücadelesi veya beslenme amaçlı olabilir. Sürü robotlarda bireyler karşılaştıkları problemlerle kendi başarılarına başa çıkmak zorundadırlar. Aralarında özellikle yakın bireyler arasında kesintisiz bir iletişim olması zorunludur. Sürü halinde yaşayan canlıların problemlere esnek ve ölçeklenebilir şekilde yaklaşmaları onların problem çözme kabiliyetlerini artırmaktadır. Sürü robotların basit olması, az sayıda görevi etkin bir şekilde yapabilecek şekilde tasarlanmaları gerekmektedir (Shlyakhov, N. E., Vatamaniuk, I. V. & Ronzhin, A. L., 2017). Sürü bireylerinin en temel görevi yakın olan bireylerin birbiriyle iletişim içinde olmaları ve birbirine haberleşmeden kopmayacak şekilde yakın olmalarıdır. Ayrıca sürüdeki robotların çevre ile etkileşimi güçlü, bağımsız hareket edebilme ve karşılaşılan sorunların üstesinden gelebilme yetisine sahip olmalıdır (O. Soysal & Sahin, 2005). Bireylerin özerkliği sürünün en iyi yolu bulmasında kilit rol oynamaktadır. Çünkü her bir birey bulunduğu çözümü en iyi çözümle karşılaştırarak daha iyisini bulunduğu durumda durumunu güncellemektedir. Sürü robotlarda, sürülerdeki her robot, yani birey, gruba göre hareket ederken

gerçekleştirilecek görevi yerine getirecektir. Bireyler grupla birlikte hareket ederken, grubun en iyi çözümü bulmasına yardımcı olacak davranışlar göstermesi gerekmektedir.

Çalışmamıza en yakın çalışmalardan birisi olan PSO(Particle Swarm Optimization) tekniği, robotları sürü halinde istenen noktaya sevkeden bir yaklaşımdır. PSO 1995 yılında James Kennedy ve Russel Eberhart tarafından önerilmiştir. Bu yaklaşımda sürüde hareket eden bazı hayvanların hareketlerinin, yiyecek bulma gibi temel ihtiyaçlarını karşılarken sergiledikleri davranışlardan ilham alan bir yaklaşımla, sürünün içindeki diğer bireyleri etkilemekte ve sürünün amacına daha kolay ulaşması şeklinde bir algoritmaya sahiptir(J. Kennedy & R. Eberhart, 1995).

Hareket planlama çalışmaları gerçek zamanlı ve gerçek zamanlı olmayan olarak iki ayrılmaktadır. Bu çalışmada gerçek zamanlı olmayan yol planlama çalışması yapılacaktır. Gerçek zamanlı olmayan yol planlama çalışmasında yol planlama çalışması önceden elde edilen verilerle yapılır ve sonrasında sonuçlar robota iletilir. Bu çalışmada çalışma ortamına bırakılan sürüye ait robotlar birbirinden belirli uzaklıklarda ve çalışma ortamının her tarafına mümkün olduğunca homojen şekilde dağılmış bir yapıda dizilirler. Sürü robotların karakteristik özelliklerinden haberleşme ve yardımlaşma özellikleri sayesinde yakın robotların birbirine hedefi haber vermesi üzerine bir algoritma kurulmuştur. Yol planlaması yapıldığında, çalışma alanında ayrıca bir serbest yapılandırma alanı hesabı yapmadan hızlı bir şekilde yol planlaması yapılmaktadır. Bu çalışmadaki sürü robot hareketleri, sürü robotların ekseri hareket tarzı olan bir yiyeceğe veya hedef noktaya doğru hareket şeklinde değil, o anki bulunduğu konumda kendi görevini icra ederek bir problemin çözümünde üstüne düşen görevi icra etmeye çalışan bireylerden oluşmaktadır. Burada her bir robot birbirini görebilecek sensörlere, yakınındaki robotlara kendisine gelen verileri aktaracak ekipmanlarla donatılmıştır. Robotların görevi en kısa yol arama algoritmalarına gerekli olan değerleri(düğüm değerlerini) elde etmektir. Bu amaçla Dijkstra algoritması kullanılmıştır. Dijkstra algoritması (SPF algoritması), bir grafikteki düğümler arasındaki, örneğin yol ağlarını temsil edebilecek en kısa yolları bulmak için kullanılan bir algoritmadır. 1956 yılında bilgisayar bilimcisi Edsger W. Dijkstra tarafından tasarlandı ve üç yıl sonra yayınlandı(Philip L. Frana & Thomas J. Misa, 2010). Algoritma birçok varyantta bulunur. Dijkstra'nın orijinal algoritması verilen iki düğüm arasındaki en kısa yolu buldu, ancak daha yaygın bir varyant tek bir düğümü "kaynak" düğümü olarak düzeltir ve kaynaktan grafikteki diğer tüm düğümlere en kısa yolları bulur ve en kısa yol ağacını üretir(Wikipedia, 2020).

2. Materyal ve Metot

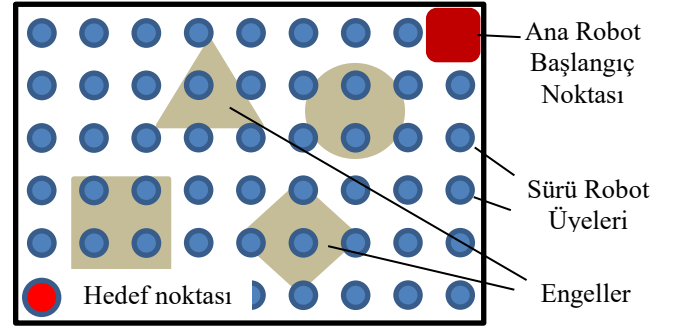
2.1. Algoritmaya Giriş ve Temel Kavramlar

Bu çalışmada gerçek zamanlı olayın bir hareket planlama algoritması gerçekleştirilmiştir. Ana işleyici robota, hedef başlangıç noktasından hedef noktaya ulaşması noktasında yardımcı olmak amacıyla sürü robotlar kullanılacaktır. Bu çalışmada sürü robotlar sanal olup aslında programlama dilinde oluşturulan nesnelere ibarettir. Nesne tabanlı programlama teknikleri ile geliştirilen robotlar temel işlevleri yerine getiren arka planda kodlara sahiptir. Nesnelere, nesne tabanlı programlama(Object-Oriented Programming=OOP) içerisinde, bir geliştirici tarafından oluşturulan soyut bir veri türüdür. Birden fazla özellik ve yöntem içerebilir ve hatta başka nesnelere de

içerebilir. Çoğu programlama dilinde, nesnelere sınıf olarak tanımlanır. Nesnelere programlamaya yapılandırılmış bir yaklaşım sağlar. Yazılım nesnelere kavramsal olarak gerçek dünyadaki nesnelere benzer: onlar da durumları ile ilgili davranışlara sahiptir. Bir nesne durumunu alanlara (bazı programlama dillerindeki değişkenler) depolar ve davranışını yöntemlerle (bazı programlama dillerindeki fonksiyonlar) ortaya koyar. Yöntemler(metotlar) bir nesnenin iç durumunda çalışır ve nesneden nesneye iletişim için birincil mekanizma görevi görür(Oracle, 2020). Her bir nesne bu çalışmada sanal robot gibi davranarak çalışma alanına ait resm üzerinde kendisine verilen görevleri yapabilecek uygulamaya(metotlara) sahiptir.

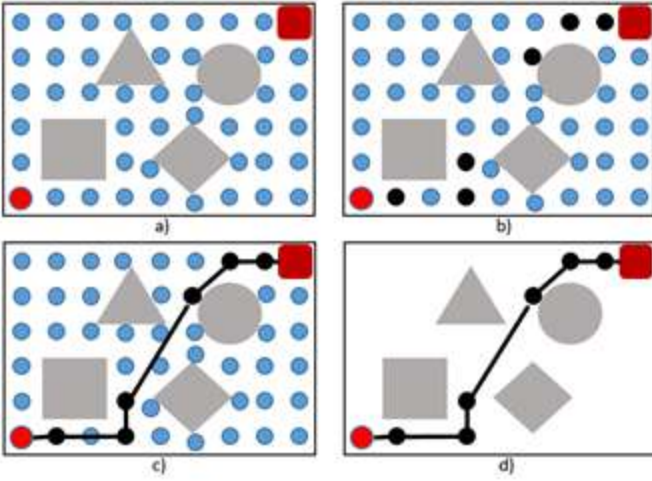
2.1.1. Trafik Polisi Algoritması

Çalışma alanına yerleştirilen sürü robotların, hedefin yerini birbirlerine haber vermesi esasına dayanan algoritmaya Trafik Polisi Algoritması ismi verilmiştir. Bu algoritmaya göre; çalışma alanına belirli aralıklarla, matris formda, ızgara şeklinde sürü robotlar Şekil 1'deki gibi yerleştirilmiştir. Robot sayıları isteğe göre ayarlanabilmektedir. Yol planlamada çözünürlüğü artırmak için daha fazla robot kullanılabilir. Robot sayısı gerekenden daha az sayıda ise engellerden dolayı birbirini göremeyen robotlar çözümün boş küme olmasına neden olacaktır. Engellerin çok ve küçük olduğu ortamlarda robot sayısını fazla tutmak çözümün boş küme olarak dönmesini engelleyecektir.



Şekil 1. Yapılandırma alanı ve sürü robotlarının yapılandırma alanına yerleştirilmesi

Çalışma ortamına yerleştirilen robotlar, birbirleri ile sadece görerek haberleşmektedirler. Birbirlerine yakın olsalarda, birbirini görmeyen robotlar birbiri ile haberleşmemektedir. Engelden sakınma algoritmalarının en önemli parametresi birbirini gören noktalar kümesinin elde edilmesidir. Dolayısı ile RF tipi bir haberleşme tekniği kullanılamaz. Çünkü RF tabanlı haberleşme tekniğinde alıcı ve vericinin birbirini görmesine gerek yoktur. Haberleşme mesafesi içerisinde herhangi bir noktada olmaları yeterlidir. Çalışma alanındaki bir robotun kesit alanının engelin üzerine %50 den fazlası denk gelmesi durumunda her bir robot kendini yok ederek hesaplamaya katılmamaktadır. %50 den daha az kısmı engelle kesişen robotlar engelden en yakın boşluğa doğru kayarak düşmektedir(yanında durmaktadır). Robotların boyutları ve geometrisi ana robota göre seçilerek serbest yapılandırma alanı hesabı kolaylaştırılmıştır. Serbest yapılandırma alanı sürü robotların konumlanması ve birbirlerini görmesi süreçlerinde dolaylı olarak hesaplanmış olmaktadır. Sürü robot üyelerinin birbirini görmesi demek; en az kendi boyutlarında boş bir alanın aralarında var olduğu anlamına gelmektedir. Robotların, boyutları ve geometrisi ana robota göre seçilebilmektedir. Şekil 2'de algoritmanın tüm adımları görsel olarak gösterilmiştir.

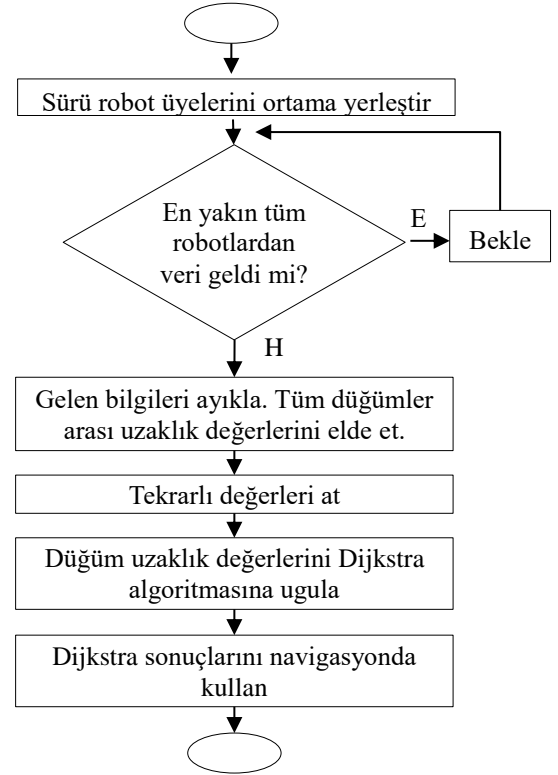


Şekil 2. Algoritma adımlarının görsel olarak gösterilmesi
a) engel üzerindeki robotların pozisyon almaları. b) Hedefi gören robotun bu bilgiyi komşu robotlarla paylaşması sonucu elde edilen en kısa mesafedeki robot üyelerinin belirlenmesi. c), d) başlangıç noktasından hedef noktaya olası en kısa mesafenin belirlenmesi

Yapılandırma alanına Şekil 1a'deki gibi düzgün ızgara biçiminde yerleştirilen sürü robot üyelerinden engel üzerinde %50 den fazla kesişime sahip robotlar yok edilirler. Diğer durumda robotlar en yakın noktaya kayarak engelin yanına konumlanırlar. Sonrasında hedefi gören robot(renginden tanınmaktadır) kendisine yakın robotlara uzaklık ve yönelim verilerini iletacaktır. Bu veriyi alan robot, daha önce haberleşmediği ve görebildiği yakın komşusuna önceki robottan aldığı verilerin üzerine aralarındaki mesafe ve yönelim bilgilerini de ekleyerek komşusuna iletir. Bu şekilde tüm veriler başlangıç pozisyonundaki ana iş robotuna iletilecektir. Ana iş robotuna gelen veriler birçok kanaldan geldiği için tekrarlı bilgiler olacaktır. Ana iş robotu bunları ayıklayarak elde ettiği birbirini gören düğüm çiftlerini arama algoritması yardımıyla en kısa yol bilgisine dönüştürür. Bu navigasyon bilgisi robotun hedefe gitmesinde robot tarafından kullanılacaktır.

2.2. Ana İşleyici Robota Ait Görevler

Ana işleyici robot ilk olarak istenen sayıda sürü robotları ortama dağıtarak belirli bir düzende olmalarını sağlar. Sonrasında kendisine en yakın robotlardan gelecek bilgileri bekler. Ana işi görecektir robot, sahadan gelen verileri, komşu robotlardan alarak bunlardan birbirini gören düğüm noktalarını ayıklar. Robot tekrarlı çiftleri atarak elde kalan tekil düğüm çiftlerini Dijkstra arama algoritmasına girdi olarak verip en kısa mesafeyi bulacaktır. Ana robot, en kısa mesafe hangi düğümler arası gerçekleşirse o düğümler arası uzaklık ve yönelim bilgisini navigasyonda kullanarak hedef noktaya doğru ilerleyecek ekipmana sahiptir. Robot, Dijkstra algoritmasının belirlediği noktalardan tek tek geçerek hedefe ulaşır. Ana işleyici robota ait görev akış çizelgesi Şekil 3'te verilmiştir. Sonraki çalışmalarda elde edilen bu yolu düzgülendirerek daha hızlı bir yol bulma çalışması yapılacaktır.



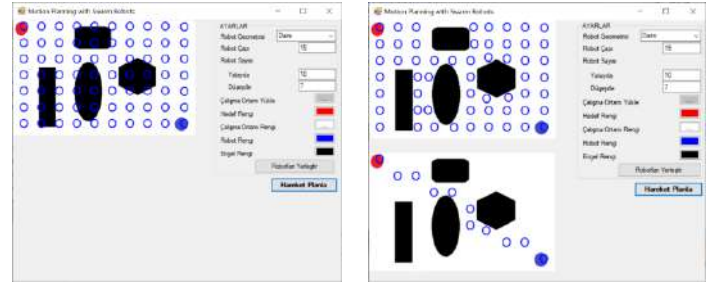
Şekil 3. Yapılandırma alanı ve sürü robotların yapılandırma alanına yerleştirilmesi

2.3. Sürü Robot Özellikleri ve Görevleri

Kullanılacak robotlar birbiriyle haberleşebilme kabiliyetinde ekipmanlara sahiptirler. Her bir robot birbiri ile optik olarak haberleşmektedirler. Optik haberleşme birbirlerini görmesi zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Dolayısı ile 45 derecelik açılarla robot etrafına yerleştirilen alıcı ve verici çiftinin bulunduğu 8 adet göz hangi yönelimle sinyal geldiğini algılayarak, hangi komşu robottan veri geldiğini hafızaya alır. Kendisine veri gönderen robotla daha haberleşilmez ve o port kapatılır. Robot ayrıca yine 45 derecelik açı ile yerleştirilmiş 8 adet uzaklık sensöründen oluşmaktadır. Her bir komşusu ile haberleşebilmesi açısından Her bir robot kendisine gelen uzaklık ve yönelim(açı) bilgilerini kendi 8 adet robotla iletişim kuracaktır. Robotların, birbirlerini, engelleri, başlangıç noktasını ve hedef noktayı tanımlaması ayrı tonda renk özellikleri ile olacaktır. Dolayısı ile her bir robotun etrafında 45 derecelik açı ile 8 adet renk sensörü bulunmaktadır. Robotun altında ise papatyatya şeklinde dizilmiş 8 adet renk sensörü engelleri tanımlama açısından yerleştirilmiştir. Bu sensörlerden 4(<= %50) ve daha azı engel rengini algıladığında robot engel olmayan yere doğru kayacaktır. Bu kayma işlemi tüm renk sensörleri ortam rengini algılayana kadar devam edecektir. Eğer robotun alt yüzey alanının %50 den fazlası engelle kesişiyorsa robot kendini imha ederek hesaplamalara dahil olmamaktadır. Sürü robotlara ait akış diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Geliştirilen algoritma C# dilinde kodlanarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Hernekadar robotlarda sensörlerden bahsedilse de offline çalışmada bu yapılar tamamen aynı işlevi gören yazılım parçaları ile sağlanmıştır. Hazırlanan program, verilen tüm farklı çalışma alanlarında, farklı geometriye sahip engellerin bulunduğu yapılandırma alanlarında başlangıç noktasından, hedef noktaya bir yol bulmuştur. Bulunan bu yol en kısa yoldur. Nesnelere ayrı bir sınıf yapı içerisinde tanımlanarak kendisine ait metod, olay ve özellikler kontrol şeklinde C# uygulamasına eklenmiştir. Çalışma ortamı olarak resim editörleri ile hazırlanan bmp tabanlı 24 bit resim, hazırlanan programa girdi olarak uygulanabilmektedir. Dolayısı ile istenen çalışma ortamını denemek ve kullanmak kolaylaştırılmıştır. Çalışma ortamına ait renk bilgileri hazır olarak program üzerinden girilebilmektedir. Programın ekran çıktılarına ait resimler Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Sürü robotlarla hareket planlamaya ait hazırlanan uygulamanın ekran görüntüleri

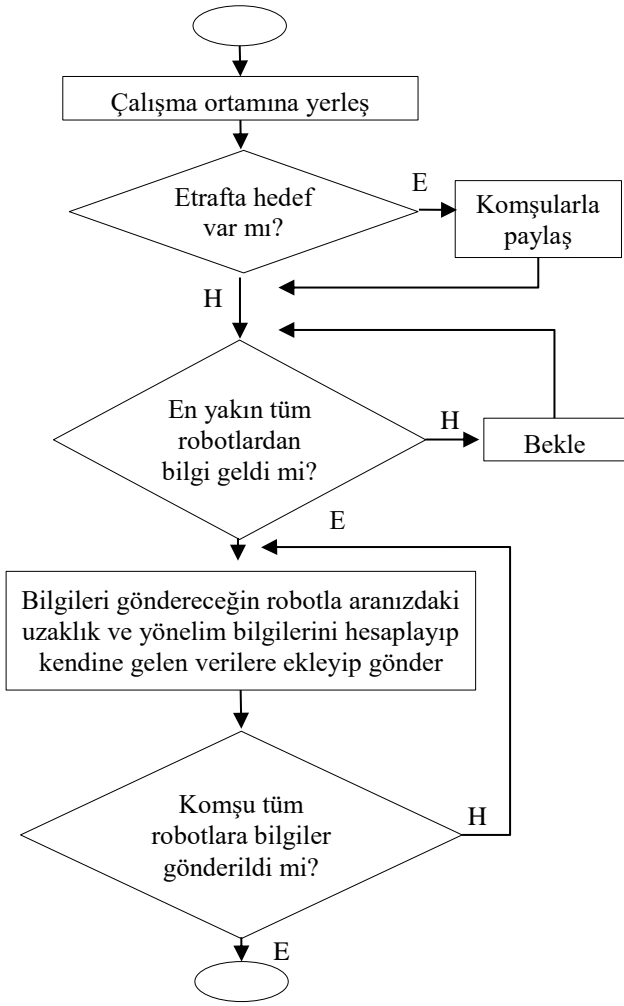
Sürüdeki birey sayısına bağlı olarak algoritmanın sonuç verme süresi uzayıp kısalabilmektedir. Diğer taraftan robot sayısı yetmeyecek miktarda seçildiğinde çözüm boş küme olabilmektedir. Çok fazla girintili, keskin kenarlara sahip engellerin yer aldığı çalışma ortamında daha fazla robotla çalışmak gerekliliği görülmüştür. Algoritmanın ayrıca labirent çözme becerisi de test edilmiştir.

Literatürdeki birçok algoritma ve yöntemden daha basit ve esnek yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin yol düzgülleştirme tekniklerini uygulamak, belirli alanlara kısıtlama getirmek gibi yol planlama çalışmalarının tamamlayıcı unsurları rahatça uygulanabilmektedir. Literatürdeki yağın algoritmalarla karşılaştırıldığında aşağıdaki farklar karşımıza çıkmaktadır.

Trafik Polisi Algoritması yapı olarak ızgara tabanlı tekniklerine benzer bir algoritma yapısına sahiptir. Çünkü ızgara şeklinde tüm çalışma alanı birbirini gören robotlarla işgal edilmektedir. Yapıya kolayca yeni eklemeler ve düzenlemeler yapmak ve daha zeki yapılarla desteklemek mümkündür. Rasgele ağaç yapıdaki gibi bir rastgelelik olmadığından çözüm için fazla zamana ihtiyaç yoktur. Engellerin geometrisini bilmeye dayalı yol planlama çalışmalarındaki karmaşık işlemler ise bu algoritmada yer almamıştır.

4. Sonuç

Trafik Polisi Algoritması(TPA) yardımıyla literatürde bulunan hareket planlama tekniklerine nazaran, yazılım tabanlı bir yöntemle daha kolay, akıllı, ölçeklenebilen, esnek ve basit bir şekilde engellerden uzak bir yol bulunmuştur. Sürü robotlarla oluşturulan hareket planlama algoritması, denenmiş ve onlarca çalışma alanı içerisinde engellerin arasından en kısa yolu bulmuştur. Bu algoritmanın en büyük avantajı engellerin geometrisi, sayısı gibi parametrelerin ön hesaplaması



Şekil 4. Sürü robotlarda çalışan yazılıma ait algoritmanın akış diyagramı

Robotlar arası uzaklık koordinat düzleminde iki nokta arasındaki uzaklık formülüne göre hesaplanmıştır. Düzlemde iki $A(x_1, y_1)$ ile $B(x_2, y_2)$ noktaları arasındaki uzaklık Denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

$$|AB| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad I$$

x_1 ve x_2 noktaları 2D düzlemde iki robota ait pozisyonların x eksenine ait değerleri, y_1 ve y_2 değerleri ise iki robotun y eksen değerleridir. $|AB|$ değeri ise iki robot arası uzaklığı temsil eder.

2.4. Çalışma Ortamı

Çalışma ortamında engeller, sürü robot üyeleri, başlangıç noktası, bitiş noktası ve ortam ayrı ayrı renklendirilmiştir. Her bir robot üzerindeki renk sensörü sayesinde çevre ile etkileşime geçerek ve verilen görevleri yapacaklardır. Dolayısı ile renk seçiminde birbirinden uzak tonların seçilmesi görüntünün sensörler tarafından rahatça karıştırmaksızın algılanmasını sağlayacaktır.

yapılmaksızın uygulanabiliyor olmasıdır. Uygulamalarda küçük ve çok fazla girinti çıkıntıya sahip olan engellerde çözüm kümesinin boş dönme riskine karşı daha fazla robot kullanılması gerekmektedir. En kısa yol bulduktan sonra hat üzerinde düzleştirme çalışmaları yapmak daha kolay olabilecektir. Yapılandırma alanı ile ilgili ayrıca hesap yapmaya ve yapılandırma kümesini bulmaya gerek yoktur.

İleriki çalışmalarda bu algoritmanın gerçek bir uygulaması yapılacaktır. Gerçek uygulamada belki robotlar benzer özelliklerde olacak ama ortama sürü robotları düzgün ızgara şeklinde bırakmak mümkün olmayacaktır. Bu yüzden robotların uygun pozisyonu almaları için farklı yöntemler geliştirilecek ve denenecektir.

Kaynakça

- Bertram Raphael. (2012). IEEE Global History Network. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.
- Brambilla, M., Ferrante, E., Birattari, M., & Dorigo, M. (2013). Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective. *Swarm Intelligence*, 7(1), 1–41. <https://doi.org/10.1007/s11721-012-0075-2>.
- Dijkstra's algorithm*. 30 Haziran 2020 tarihinde https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's_algorithm adresinden alındı.
- F. Aurenhammer. (1991). "Voronoi diagrams—A survey of a fundamental geometric data structure". *ACM Comput. Surv.*, vol. 23, no. 3, pp. 345–405. <https://doi.org/10.1145/116873.116880>.
- Philip L. Frana & Thomas J. Misa. (August 2010). "An Interview with Edsger W. Dijkstra". *Communications of the ACM*. 53 (8): 41–47. <https://doi.org/10.1145/1787234.1787249>.
- J. Kennedy, R. Eberhart. (1995). "Particle swarm optimization," *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, Perth, WA, Australia, 1995, pp. 1942–1948 vol.4. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>.
- Jaradat M. A., Garibeh M. H., Feilat E. A. (2012). "Autonomous mobile robot dynamic motion planning using hybrid fuzzy potential field" *Springer-Verlag Soft Comput* 16:153–164. <https://doi.org/10.1007/s00500-011-0742-z>.
- J.C. Latombe. (1991). Robot Motion Planning. *Kluwer Academic Publishers*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4022-9>.
- J.C. Latombe. (1999). Motion Planning: A Journey of Robots Molecules Digital Actors and Other Artifacts, *The International Journal of Robotics Research* 30: 846–894. <https://doi.org/10.1177/02783649922067753>.
- Kavraki, L. E., P. Svestka, J-C. Latombe, ve M. Overmars. (1996). "Probabilistic Roadmaps for Path Planning in High Dimensional Configuration Spaces", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 12, issue 4, no. 4, pp. 566–580. <https://doi.org/10.1109/70.508439>.
- Khatib, O. (1986). Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots. *The International Journal of Robotics Research*, 5(1), 90–98. <https://doi.org/10.1177/027836498600500106>.
- LaValle, S. M., & Kuffner, J. J. (2001). Randomized Kinodynamic Planning. *The International Journal of Robotics Research*, 20(5), 378–400. <https://doi.org/10.1177/02783640122067453>.
- Lozano Perez T. ve Wesley M.A. (1979). An Algorithm for Planning Collision Free Paths Among Polyhedral Obstacles, *Comm. ACM* 22(10):560–570. <https://doi.org/10.1145/359156.359164>.

- Motion Planning*. 30 Haziran 2020 tarihinde https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_planning adresinden alındı.
- Shlyakhov, N. E., Vatamaniuk, I. V, & Ronzhin, A. L. (2017). Survey of Methods and Algorithms of Robot Swarm Aggregation. *Journal of Physics: Conference Series*, 803. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/803/1/012146>.
- Soysal, O., & Sahin, E. (2005). Probabilistic aggregation strategies in swarm robotic systems. İçinde *Proceedings 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium, 2005. SIS 2005.* (ss. 325–332). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIS.2005.1501639>.
- Steven M. LaValle. (2006). Planning Algorithms. *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546877>.
- Yıldırım Ş, Yaşar E. (2015). "An algorithm of avoiding obstacles with intelligent objects". *Recent Innovations in Mechatronics (RIIM)* Vol. 2. No. 1-2. <https://doi.org/10.17667/riim.2015.1-2/14>.
- Yıldırım Ş, Yaşar E. (2015) Development of an obstacle-avoidance algorithm for snake like robots, *Measurement Journal*, 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.04.021>.
- What Is an Object?* 30 Haziran 2020 tarihinde <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/concepts/object.html> adresinden alındı.



N-3 HUFA'ca zenginleştirilmiş Artemia ile beslenen Yeşil kaplan karidesi (*Penaeus semisulcatus*) larvalarının büyüme performansı

Hatice Asuman Yılmaz^{1*}

^{1*} Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Anabilim Dalı, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5627-034X), ayilmaz@cu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 8 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.776363)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz, H.A. (2020). N-3 HUFA'ca zenginleştirilmiş Artemia ile beslenen Yeşil kaplan karidesi (*Penaeus semisulcatus*) larvalarının büyüme performansı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 30-34.

Öz

Artemia zenginleştirmesinin karides larvaları üzerindeki etkileri konusunda önemli miktarda çalışmalar yapılmıştır. Penaeid karideslerin, yüksek oranda doymamış yağ asitlerinin (n-3 HUFA) sentezlemede sınırlı bir yeteneğine sahip olduğu iyi bilinmektedir. Bu çalışma, deneylerde yeşil kaplan karidesi (*Penaeus semisulcatus*) larva kültürü sırasında yüksek oranda n-3 HUFA ile zenginleştirilen Artemianın büyüme ve hayatta kalma üzerine etkilerini araştırmak için yapılmıştır. Mysis I'den postlarvalara (PL9) on bir güne kadar *P. semisulcatus* larvalarının zenginleştirilmemiş Artemia (WE) ve yüksek seviyelerde n-3 HUFA içeren bir emülsiyon (SELC) ile zenginleştirilmiş Artemialar (*Artemia nauplii*) ile beslenerek büyüme performansları ve hayatta kalma oranları araştırılmıştır. Deneme sonunda, zenginleştirilmiş Artemia'da daha yüksek n-3 HUFA, özellikle 20:5n-3 ve 22:6n-3 seviyeleri bulunmuştur. M1'den PL1'e veya PL9'a büyütülen larvalar, SELC tedavilerinde daha yüksek yaşama oranı (PL1'de %93.20 veya PL7'de %79.13) göstermiştir. PL1'deki toplam uzunluk (TL) (sırasıyla 5.33-5.34 mm TL) gruplar arasında anlamlı farklılık göstermemiştir. Ancak, son toplam PL9 uzunluğu SELC'de (9.25 mm / gün TL) WE'den (8.97 mm / gün TL) önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Larva yetiştiriciliği sırasında n-3 HUFA'nın takviyesi, postlarvalarda *P. semisulcatus*'un yaşama toleransını arttırmış, 12 gün sonra büyüme performansını olumlu yönde etkilemiştir. N-3 HUFA ile zenginleştirilmiş Artemia, büyüme oranını olumlu yönde etkileyebilir ve *P. semisulcatus*'un erken aşamalarının toplam uzunluğunu ve hayatta kalmasını etkili bir şekilde artırabilir. Ek olarak, sonuçlar karma yemlere geçmeden önce n-3 HUFA ile zenginleştirilmiş Artemia kullanmanın büyüme performansının yanı sıra çevresel etkiler üzerinde de etkili olabileceğini göstermiştir. Bu durum, entansif kuluçkahaneler için açık bir potansiyel uygulama olarak kabul edilmektedir. Larvaların geçiş aşamasında çok karşılaşılan hayatta kalma problemleri için kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Penaeus semisulcatus*, zenginleştirme, büyüme performansı, hayatta kalma

The Effect of Enriched Artemia of N-3 HUFA on the growth performance of Green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) larvae

Abstract

A significant amount of work has been done on the effects of Artemia enrichment on shrimp larvae. It is well known that penaeid shrimps have a limited ability to synthesize highly unsaturated fatty acids (n-3 HUFA). This study was carried out to investigate the effects of enrichment artemia with n-3 HUFA on growth and survival during the larval culturing of *Penaeus semisulcatus* in experiments. *P. semisulcatus* larva from Mysis I to eleven days postlarvae (PL9) were fed without Artemia-enriched (*Artemia nauplii*) (WE) and an emulsion containing high levels of n-3 HUFA (SELC). In the end of the experiment, higher levels of n-3 HUFA, especially 20:5n-3 and 22:6n-3, were found in the enriched Artemia. The larvae grown from M1 to PL1 or to PL9 displayed higher survival (93.20% at PL1 or 79.13% at PL9) in SELC treatments. The total length (TL) at PL1 (5.33–5.34 mm TL, respectively) did not significantly differences between groups. However, final total length of PL9 was significantly higher in SELC (9.25 mm/day TL) than in WE (8.97 mm/day TL). Supplementation of n-3 HUFA during larviculture increases the survival tolerance of *P. semisulcatus* in postlarvae, positively affects growth performance after 12 days. N-3 HUFA enriched Artemia can positively affect growth rate and effectively improve the total length and survival of the early stages of *P. semisulcatus*. In addition, the results showed better effects on growth performance and environmental effects using Artemia enriched before switching to this type of mixed feed. This is considered to be an obvious potential application for intensive hatcheries. This is considered to be a clear potential application for intensive hatcheries. It is recommended to use the larvae for survival problems that are frequently encountered during the transition phase.

Keywords: *Peneseaus semisulcatus*, enrichment, growth performance, survival

* Sorumlu Yazar: ayilmaz@cu.edu.tr

1. Giriş

Dünya su ürünleri üretiminde önemli bir yer tutan karides üretiminin 2015 yılı itibarıyla yaklaşık 4 milyon tonun üzerine çıktığı ve üretimin ekonomik değerinin yaklaşık 14-15 milyar ABD dolarına ulaştığı bildirilmektedir (FAO, 2016). Ancak bu ekonomik değerin yem, imalatı, işleme, depolama, ticari faaliyetler ve pazarlama gibi giderlerle çok daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Bilindiği gibi ülkemiz su ürünleri yetiştiricilik sektörü alabalık, çipura ve levrek üretimi ile sınırlı kalmıştır. Ancak son yıllarda ülkemizde de su ürünleri üretiminde tür çeşitliliğini arttırmaya yönelik farkındalık artmış ve alternatif türlerin üretime katılması gerekliliği gündeme gelmiştir.

Karidesler en yoğun şekilde yetiştirilen türler arasında ve ticari su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde yüksek talep gören türler arasındadır; ancak, başarılı karides larva kültürü su ürünleri yetiştiriciliği kullanılan *Artemia* kalitesinden etkilenmektedir. Karideslerin yaşam döngüsünde larva ve postlarval aşamalar, bu aşamaların sonraki gelişim aşamalarını doğrudan etkilemesi nedeniyle yaşam döngüsünün önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Karidesler soğukkanlı organizmalardır ve bu nedenle membran akışkanlığını korumak için dokularında daha fazla miktarda çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) gerekir (Bell ve ark. 1986). Acı su ve deniz kabukluları ve yumuşakçalar için gerekli olan en önemli esansiyel yağ asitleri, yüksek oranda doymamış yağ asitleri (HUFA), özellikle eikosa-pentaenoik asit (20: 5 n-3; EPA) ve dokosaheksaenoik asittir (22: 6 n-3; DHA). Penaeid karideslerin n-3 HUFA de novo sentezini yapma konusunda sınırlı bir yeteneğe sahip oldukları iyi bilinmektedir. Bu ilk olarak *Marsupenaeus japonicus* (Kanazawa ve ark., 1979a), *Penaeus monodon* ve *Fenneropenaeus merguensis* (Kanazawa ve ark., 1979b) yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. HUFA, özellikle EPA ve DHA, normal hücre fonksiyonunun korunmasında hayati öneme sahiptir; EPA ve DHA, hücre zarı oluşumu, osmoregülasyon, prostaglandin sentezi için gerekli olan temel bileşiklerdir ve ayrıca bağışıklık sisteminde aktive edici bir rol oynadıkları görülmektedir (Léger ve Sorgeloos, 1992). Bu nedenle, penaeid karideslerin beslenmesinde kullanılan yemlerde bu temel besin maddeleri yeterli miktarda içermelidir.

Penaeus semisulcatus, Doğu Akdeniz kıyılarında dağılım gösteren bir Hint-Pasifik türüdür ve dünyanın bu bölgesindeki en önemli ticari türlerden biridir. *P. semisulcatus* için optimal tuzluluk 30-35 ppt'dir (Kumlu, 1999). Doğu Akdeniz'de yumurtalı dişiler genellikle yılın daha serin aylarında yakalandığından dolayı, bu türün alt tropikal koşullarda karşılaşılan serin sulara adapte olabileceği düşünülmektedir. Sektörde geliştirilmiş olan mikropartikül, mikrokapsül gibi çeşitli yapay yem tiplerine karşın (Léger ve ark, 1986; Jones ve ark, 1993), halen larva yetiştiriciliğinde, geleneksel olarak canlı rotifer ve *Artemia* kullanımı çok yaygındır. Penaeid karides postlarvalarının üretimi, ticari kuluçkahanelerde kullanılan besin *Artemia*'ya dayanmaktadır (Sorgeloos ve ark., 1998; Wouters ve ark., 2009; Cobo ve ark., 2015). *Artemia* yüksek protein (~% 52) ve yağ (~% 14) içeriği nedeniyle karides larva kültürlerinde kullanılan en yaygın kullanılan canlı yemlerden biridir. Kuluçkahane yönetimi açısından *Artemia*'nın kullanımı çeşitli avantajlar sunsa da en önemlisi depolama ve kullanım kolaylığıdır (Léger ve Sorgeloos, 1992). Yeni açılmış *Artemia nauplii*'deki n-3 HUFA seviyeleri düşük veya büyük ölçüde

değişkenlik göstermektedir (Lavens ve Sorgeloos, 1996; Figueiredo ve ark., 2009). Bu nedenle EPA içeriğindeki değişkenliğin yanı sıra karides larva kültüründe kullanılan geleneksel canlı yemlerde önemli seviyelerde DHA, n-3 HUFA ile zenginleştirilmiş ürünlerin (örn. Mikrokapsüller, emülsiyonlar, mikro-partikül) ticari gelişimi üzerine araştırmaları teşvik etmiştir. *Artemia* seçici olmayan bir filtre beslenme özelliği olduğundan, n-3 HUFA seviyelerinin artırılmasında, *Artemia*'ya n-3 HUFA bakımından zengin bileşiklerin verilmesi yoluyla besin değerlerini arttıran zenginleştirme teknikleri uygulanmaktadır (Sorgeloos ve ark., 1998; Wouters ve ark., 2009). Önceki çalışmalar, n-3 HUFA bakımından zengin yemlerle beslemenin çok sayıda kabuklu türünde hayatta kalma ve büyüme üzerine olumlu etkilerini bildirmişlerdir (Tackaert ve ark., 1989; Rees ve ark., 1994; Cavalli ve ark., 2000; Chim ve ark., 2001; Martins ve ark., 2006; Immanuel ve ark., 2007; Sui ve ark., 2007; Jinbo ve ark., 2013; Mutti ve ark., 2017).

SELCO zenginleştiricisi deniz balıkları ve krustaselerinin larva yetiştiriciliğinde başarı için, besleme protokollerinde kullanılması gerekli olan ve fakat HUFA'larca oldukça fakir olduğu bilinen canlı larva besinlerinden rotifer ve *Artemia*'nın n-3 esansiyel yağ asitlerini (özellikle DHA ve EPA gibi) arttırmak amacıyla denizel kuluçkahanelerde yaygın olarak kullanılan bir zenginleştirici emülsiyondur (Sorgeloos ve ark, 2001). Bu nedenle, bu çalışma *Artemia*'teki n-3 HUFA'nın, mysis I aşaması (M1) ile postlarva 9 (PL9) dönemleri arasındaki yeşil kaplan karidesine büyüme ve hayatta kalma oranlarını belirlemek için kullanılmıştır. Ayrıca, n-3 HUFA'nın besinsel ve fonksiyonel önemini anlamak için, bu çalışma, zenginleştirilmemiş *Artemia sp.* ile beslenen yeşil kaplan karides larvalarının büyüme performansları karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Denemede kullanılan Yeşil kaplan karides (*P. semisulcatus*) anaçları Adana ili Yumurtalık ilçesinde faaliyet gösteren balıkçılar tarafından uzatma ağı ile 3-4. aşamada olan dişiler ve 25-30 g ağırlığındaki erkek anaçlar doğadan yakalanarak temin edilmiştir.

Gonad gelişimlerini teşvik etmek için karidesler su tuzluluğu 35-40 ppt, su sıcaklığı 28-30°C, oksijeni 6-7 mgL⁻¹, pH'sı 7.5 -8.0 olan ve en az %150 su değişimi yapılan 2m çapındaki anaç tanklarına alınmışlardır. Bu süre içerisinde, anaçların beslenmesinde taze kalamar ve yengeç kullanılmıştır. Anaçların yumurtalık gelişimleri gözlemlenerek 4. aşamada olan anaçlar 30 ppt tuzlulukta ve 28 °C sıcaklıkta olan yumurtlama tankına alınarak yumurtlatılmaları sağlanmıştır. Yumurtalama olduktan sonra anaçlar yumurtlama tankından alınarak yumurtlamanın yoğunluğuna ve kalitesine bakılarak açılma süreleri beklenmiştir. Larvalar açıldıktan 24 saat sonrasında Kumlu, (1999) tarafından tarif edildiği gibi statik bir su kuluçka sisteminde yetiştirilmiştir. Larvalar, kültür boyunca *Tetraselmis suecica* (30 hücre µl⁻¹) *Phaeodactylum tricorutum* (40 hücre µl⁻¹) ve *Isochrysis galbana* (30 hücre µl⁻¹) içeren mikroalg karışımı ile beslenmişlerdir. Bu mikroalg türleri, Walne kültür ortamı kullanılarak kesikli kültür sisteminde üretilmiştir. Mikroalg kültüründeki, günlük hücre sayısı ve larva tanklarındaki mikroalg hücrelerinin sayısını tahmin etmek için hemositometre kullanılmıştır. Tuzluluk 34 ± 1.0 ppt, sıcaklık 28.5 ± 0.8 °C, pH 7.4 ± 0.5, çözünmüş oksijen 6.8-7.9 mgL⁻¹ ve toplam amonyak

konsantrasyonu $<0.4 \text{ mgL}^{-1}$ tutularak 12 saatlik aydınlık ve 12 saatlik karanlık bir fotoperiyot uygulanmıştır.

Deneme başlangıcı larvaların mysis aşamasına geldiğinde her 2 L balon jöjeye 250 adet olacak şekilde larvalar stoklanmıştır. Stoklama işlemi yapılırken her tekerrüre koyulan larvaların boyutlarına dikkat edilerek yerleştirilmiştir. Başlangıç uzunluğunu temsil etmesi amacıyla toplamda 100 adet bireyin total boy uzunluğu alınmıştır. Deneme sırasında larvalar günde iki kez (saat: 08.30 ve 20.30) ortalama $5 \text{ nauplii mL}^{-1}$ artemia ile besleme yapılmıştır. Deney sisteminde her gün %100 su değişimi yapılarak ve her bir balon jöjedeki tüm larvaların (PL) sayımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deneme boyunca her gün 30 adet örnek alınarak mikroskop altında PL'lerin toplam uzunlukları ölçülmüştür. Kanazawa ve ark. (1985)'nin yöntemi kullanılarak büyüme indeksi çıkartılmıştır.

Deneme grupları aşağıdaki şekilde dizayn edilmiştir.

1.Grup: Zenginleştirilme yapılmamış Artemia ile beslenen larvalar (WE)

2.Grup: n-3HUFA'ca zenginleştirilmiş Artemia ile beslenen larvalar (SELC)

Kontrol grubu (WE) için larvalar yeni açılmış Artemia nauplii ile beslenirken, zenginleştirilmiş grupta (SELC) larvalar 400 mg g^{-1} n-3 içeren ticari bir emülsiyon (Super SELCO, INVE Aquaculture, ABD) ile zenginleştirilmiş Artemia nauplii ile beslenmişlerdir.

Yağ asidi analizleri için ekstrakte edilmiş lipit kullanılarak, yağ asidi metil esterleri (FAME) Metcalfe ve Schmitz'e (1961) göre hazırlanmış ve bazı modifikasyonlarla daha önce Czesny ve Dabrowski, 1998'te tarif edildiği gibi analiz edilmiştir. Yağ asidi profillerinin belirlenmesi için GC kapiler kolon ($100 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.2 \text{ m}$ film kalınlığı), taşıyıcı gaz olarak 2 ml/dk akış hızında hidrojen gazı ve dedektör olarak da FID dedektörü kullanılmıştır. Örnekler GC'ye enjeksiyon miktarı $1 \mu\text{l}$ olarak uygulanmıştır. Örneklerin GC analizindeki fırın sıcaklık programı; 190°C 'de 1 dk bekleme, 30°C/dk 'lik artışla 220°C 'ye çıkış ve bu sıcaklıkta 5 dk bekleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her bir yağ asidi çıkış zamanı (RT, tekrarlamaya zamanı)'ları yağ asitleri karışım standartlarının (Supelco 37 component FAME mix, Cat No: 47885-U) RT'leri ile mukayese edilmiş ve yağ asitleri tanımlanan piklerin konsantrasyonları % olarak hesaplanmıştır.

Veriler, üç tekerrürlü olacak şekilde ortalama ve standart hata olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler SPSS 17.0 istatistik paket programı kullanılarak varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel farklılıklar $p<0.05$ önem seviyesinde Duncan testi kullanılarak belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Artemiaların Yağ Asidi Kompozisyonları

Zenginleştirme işlemi Artemiaların yağ asidi bileşimini etkilemiştir (Tablo 1). 24 saat zenginleştirme sonrasında n-3 HUFA'ca zenginleştirilen Artemiaların (SELC) ve zenginleştirilmeyen artemiaların (WE) toplam doymuş yağ asitleri (SFA) arasında fark bulunmamıştır ($P>0.05$). Palmitik asit (C16:0) yağ asidi en yüksek oranda SELC grubunda %10.43 ve WE grubunda %10.06 bulunmuştur. MUFA içeriği açısından istatistiksel farklılık gözlemlenirken bu değer WE grubunda %34.17 iken SELC grubunda %30.84 bulunmuştur ($P<0.05$).

Linoleik asit (C18:2n-6) oranında fark bulunmazken arışidonik asit (20:4n-6) açısından WE (%0.92) grubu SELC (%0.75) grubuna oranla daha yüksek bulunmuş ve istatistiksel farklılık çıkmıştır ($P<0.05$). Aynı şekilde n-6 PUFA'nın zenginleştirilmiş Artemia'da miktarı daha düşükken (%7.70) zenginleştirilmemiş artemialarda daha yüksek bulunmuştur (%8.90) ($P<0.05$).

Tablo 1. 24 saat süreyle SELCO ile zenginleştirme işlemi yapılan ve zenginleştirme yapılmayan Artemiaların yağ asidi (%) kompozisyonları.

Yağ Asitleri	Artemia (24 saat)	
	WE	SELC
16:0	10.06±0.01	10.43±0.01
17:0	0.67±0.09	0.65±0.04
18:0	8.53±0.13 ^a	7.32±0.04 ^b
SFA ¹	20.02±0.81	20.45±0.50
14:1	0.88±0.06	0.80±0.01
16:1n-7	1.49±0.08	1.44±0.10
18:1n-7	9.35±0.70 ^a	7.73±0.25 ^b
18:1n-9	21.83±0.18 ^a	19.32±0.02 ^b
MUFA ²	34.17±0.40 ^a	30.84±1.01 ^b
18:2n-6	6.00±0.06	6.17±0.29
18:3n-6	0.66±0.01 ^a	0.49±0.03 ^b
20:4n-6	0.92±0.02 ^a	0.75±0.05 ^b
n-6 PUFA ³	8.90±0.01 ^a	7.70±0.39 ^b
18:3n-3	24.16±0.04	24.04±0.06
20:3n-3	1.02±0.01	1.09±0.00
20:5n-3	2.01±0.36 ^b	5.34±0.36 ^a
22:6n-3	1.20±0.12 ^b	4.16±0.09 ^a
n-3 PUFA ⁴	31.21±0.87 ^b	35.80±0.31 ^a
ΣPUFA	41.77±0.82	43.54±0.08
EPA+DHA	3.21±0.99 ^b	9.40±0.34 ^a

¹SFA: 12:0, 14:0, 15:0, 16:0, 17:0, 18:0, 20:0, 22:0, 24:0.

²MUFA: 16:1n-7, 18:1n-7, 18:1n-9, 20:1n-9, 22:1n-11, 22:1n-9, 24:1n-9.

³n-6 PUFA: 18:2n-6, 18:3n-6, 20:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-6.

⁴n-3 PUFA: 18:3n-3, 18:4n-3, 20:4n-3, 20:5n-3, 22:5n-3, 22:6n-3.

Linoleik asit (18:3n-3) içeriği açısından SELC ve WE grupları arasında istatistiki açıdan farklılık bulunmazken bu değer yaklaşık %24 civarında tespit edilmiştir. EPA ve DHA miktarları incelendiğinde SELC ve WE grupları arasında istatistiki açıdan farklı çıkmıştır. EPA değeri SELC grubunda %5.34 ve DHA değeri %4.16 bulunurken, WE grubunda sırasıyla %2.01 ve %1.20 olarak tespit edilmiştir ($P<0.05$). Toplam n-3 çoklu doymamış yağ asitleri (n-3 PUFA), beklenildiği gibi zenginleştirilen Artemialarda daha yüksek oranda bulunurken (SELC; %35.80), zenginleştirme yapılmayan Artemialarda düşük oranda tespit edilmiştir (WE; %31.20). Toplam PUFA açısından gruplar arasında farklılık bulunmazken ($P>0.05$), zenginleştirilen Artemiaların EPA+DHA miktarı zenginleşmemiş Artemiaların 2.93 kat daha yüksek bulunmuştur. SELC grubunda bu oran %9.40 olarak tespit edilmiştir.

Acı su ve deniz kabukluları ile yumuşakçalar için gerekli olan en önemli esansiyel yağ asitleri, yüksek oranda doymamış yağ asitleri (HUFA), özellikle AA, EPA ve DHA'dır. EPA içeriğindeki değişkenliğin yanı sıra karides larva kültüründe

kullanılan geleneksel canlı yemlerde önemli seviyelerde DHA bulunmaması, n-3 HUFA ile zenginleştirilmiş ürünlerin (örn. mikrokapsüller, emülsiyonlar, mikro-partikül) ticari gelişimi üzerine araştırmaları teşvik etmiştir (Dianna ve ark., 2017). Takeuchi ve ark (1999) ile Suprayudi ve ark (2004) bir canlı yem kaynağı olarak Artemia'nın düşük seviyede EPA ve yok denecek kadar düşük seviyede DHA içerdiğini ve bundan dolayı da larva beslemede kullanılmadan önce mutlaka zenginleştirilmeleri gerektiğini bildirmişlerdir. Velu ve Munuswamy (2004) peri karideslerinde (*Streptocephalus dichotomus*) farklı zenginleştiricilerle (ALGAMAC 2000 ve DHA-DELCO) farklı sürelerde HUFA'ca zenginleştirilmiş ve bu karideslerdeki yağ asitleri profillerini incelediklerinde peri karidesinin linoleik, linolenik, EPA ve DHA seviyelerinin belirgin bir şekilde yükseltilebildiğini ve böylece bu canlının anaç karides beslemede canlı yem kaynağı olarak kullanılabileceğini bildirmiştir. Ayrıca zenginleştirme işleminde sonra Artemiaların yağ asidi kompozisyonlarındaki farklılığın zenginleştirme miktarı ve süresine bağlı olduğunu görmüştür.

3.2. Büyüme Parametreleri

Deneme sonunda larvaların hayatta kalma oranları %73.0 ile %79.1 arasında değişim göstermiş olup gruplar arasında istatistiksel farklılık bulunmuştur ($P < 0.005$). Deneme mysis 1 (M1) aşamasında başlamış her gün ölçümler yapılarak günlük olarak kaydedilen veriler doğrultusunda, postlar 1 (PL1) aşamasına geldiğinde SELC ile beslenen larvaların yaşama oranları WE ile beslenen larvalara göre daha iyi oranda olduğu saptanmıştır (Tablo 2). PL1 aşamasında en iyi hayatta kalma oranı SELC grubu bireylerinde %93.20 olarak saptanmıştır.

Grupların büyüme oranları karşılaştırıldığında M1-PL1 ve M1-PL9 dönemleri arasında SELC bireyleri istatistiksel açıdan daha iyi performans göstermişlerdir. Total boy açısından PL1 aşamasına kadar iki grubun total boyları yakın saptanırken PL9 aşamasına gelindiğinde SELC grubu bireylerin total boyları daha uzun ölçülmüştür. Bu dönemde gruplar arasında istatistiksel açıdan farklılık bulunmuştur (Tablo 2).

Artemia'nın zenginleştirilmesi, tüm dünyada deniz balıkları ve kabuklu kuluçkahanelerinde, temel yağ asitleri ile Artemia'nın besin değerini artırmak için yaygın olarak uygulanmaktadır (Van Stappen 1996; Agh ve Sorgeloos 2005). Artemia, ilkel beslenme özellikleri nedeniyle biyokimyasal bileşimi etkilemenin en uygun yolundan biridir. Bu nedenle, özellikle n-3 HUFA'ları Artemiaları zenginleştirmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Elde ettiğimiz bulgular, n-3 HUFA ile Artemia'nın zenginleştirilmesinin, diğer kabuklularda olduğu gibi *P. semisulcatus*'un larvalarının hayatta kalması ve büyümesi için etkili olduğunu açıkça göstermiştir.

Gerekli besinleri sağlayan ve hayatta kalmayı artıran yem bileşenlerinin kullanılması larva kalitesini artırmak için önemlidir. Karidesler soğukkanlı organizmalardır ve bu nedenle membran akışkanlığını korumak için dokularında daha fazla miktarda çoklu doymamış yağ asidi (PUFA) gerekir (Bell ve ark. 1986). Kabukluların yemlerinde n-3 HUFA sağlanmasının olumlu bir etkisi, genellikle daha yüksek stres toleransı ile sonuçlanmaktadır (Tackaert ve ark., 1989; Dhert ve ark., 1992; Rees ve ark., 1994; Cavalli ve ark., 2000; Chim ve ark., 2001; Palacios ve ark., 2007; Immanuel ve ark., 2007; Sui ve ark., 2007). Bütün bunlar, n-3 HUFA'ca zengin Artemia ile beslenen canlıların çevresel koşullarla başa çıkma kabiliyetini doğrulamaktadır. Mevcut bulgulara benzer şekilde, Tackaert ve ark. (1989) ve Immanuel ve ark. (2007), n-3 HUFA ile zenginleştirilmiş Artemia'nın, *P. monodon* postlarlarında daha yüksek hayatta kalma süresine sahip olduklarını saptamışlardır. Chim ve ark. (2001), daha yüksek n-3 HUFA seviyelerinin beslenmesinin, *Litopenaeus stylirostris*'in hücrel membran direncini artırdığını ve bununda çevresel değişikliklere toleransı artırdığını göstermiştir. Bu nedenle, n-3 HUFA eksik yemlerle beslenen penaeidlerin genellikle strese karşı düşük bir tolerans gösterdikleri kabul edilmektedir (Chim ve ark., 2001; Palacios ve Racotta, 2007). Mutti ve ark (2017) n-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş Artemia ile besledikleri karides (*Farfantepenaeus paulensis*) larvalarını (PL8) deneme sonunda tuzluluk ve amonyak stress testlerine tabi tutulduklarında zenginleştirilmiş Artemia ile beslenen grubun stres direncinin ve büyüme etkilediğini belirlemişlerdir.

Tablo 2. Zenginleştirilmemiş artemia ve HUFA'ca zenginleştirilmiş artemia ile 12 gün boyunca beslenen Yeşil kaplan karidesi (*Penaeus semisulcatus*) larvalarının büyüme parametreleri

Grup	Yaşama Oranı (%)			Büyüme Oranı (mm/day)		Total Boy (mm)		
	M1	PL1	PL9	M1- PL1	M1- PL9	M1	PL1	PL9
WE	100	80.80±1.3 ^c	73.05±1.5 ^b	0.62±0.4 ^b	0.48±0.1 ^b	3.02±0.3	5.34±0.5	8.97±0.3 ^b
SELC	100	93.20±1.4 ^a	79.13±0.9 ^a	0.67±0.3 ^a	0.58±0.1 ^a	3.02±0.3	5.36±0.0	9.25±0.2 ^a

Sonuçlar ortalama± standart sapma (n=3) şeklinde verilmiştir. Gruplar arasındaki istatistiksel fark $P < 0.05$ önem düzeyinde karşılaştırılmıştır. Satırlardaki farklı harfler istatistiksel farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$).

4. Sonuç

Bu çalışmada, *P. semisulcatus* larva yetiştiriciliğinde n-3 HUFA ile zenginleştirilmiş Artemia ile beslemenin yaşama ve büyüme oranını etkilediği bulunmuştur. Ayrıca, n-3 HUFA'nın deniz larva kültüründe kullanılan diğer canlı yemlerin

zenginleştirilmesi için kullanıldığında da etkili olabilir. Böylece kuluçkahanelerde uygulama potansiyeli yüksektir. Ayrıca n-3 HUFA ile zenginleştirilmiş Artemia'lar ile larva besleme sonrasında karideslerde fizyolojik etkileri açıklamak için genomik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kaynakça

- Agh, N., & Sorgeloos, P. (2005). Handbook of protocols and guidelines for culture and enrichment of live food for use in larviculture. Urmia-Iran: *Ediciones Artemia & Aquatic Animals Research Center*, 60.
- Bell, M. V., Henderson, R. J., & Sargent, J. R. (1986). The role of polyunsaturated fatty acids in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 83(4), 711-719.
- Cavalli, R. O., Berghe, E. V., Lavens, P., Thuy, N. T., Wille, M., & Sorgeloos, P. (2000). Ammonia toxicity as a criterion for the evaluation of larval quality in the prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 125(3), 333-343.
- Chim, L., Lemaire, P., Delaporte, M., Le Moullac, G., Galois, R., & Martin, J. L. M. (2001). Could a diet enriched with n-3 highly unsaturated fatty acids be considered a promising way to enhance the immune defences and the resistance of Penaeid prawns to environmental stress?. *Aquaculture research*, 32(2), 91-94.
- Cobo, M. D. L., Wouters, R., Wille, M., Sonnenholzner, S., & Sorgeloos, P. (2015). Evaluation of frozen Umbrella-stage Artemia as first animal live food for *Litopenaeus vannamei* (Boone) larvae. *Aquaculture Research*, 46(9), 2166-2173.
- Dhert, P., P. Lavens & P. Sorgeloos. (1992). Stress evaluation: a tool for quality control of hatchery- produced shrimp and fish fry. *Aquacult. Europe*, 17: 6- 10.
- FAO (2016) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome
- Figueiredo, J., R. Van Woesik & J. Lin. (2009). *Artemia franciscana* enrichment model- How to keep them small, rich and alive. *Aquaculture*, 294: 212-220.
- Immanuel, G., T. Citarasu, V. Sivaram, M.M. Babu & A. Palavesam. (2007). Delivery of HUFA, probiotics and biomedicine through bioencapsulated Artemia as a means to enhance the growth and survival and reduce the pathogenesis in shrimp *Penaeus monodon* postlarvae. *Aquacult. Int.*, 15: 137-152.
- Jinbo, T., Dan, S., Nakaya, M., Ashidate, M., & Hamasaki, K. (2013). Effects of n-3 highly unsaturated fatty acid content in Artemia on survival and development of laboratory-reared horsehair crab *Erimacrus isenbeckii* larvae. *Fisheries science*, 79(3), 459-467.
- Jones, D. A., Kamarudin, M. S., & Vay, L. L. (1993). The potential for replacement of live feeds in larval culture. *Journal of the world Aquaculture Society*, 24(2), 199-210.
- Kanazawa A, Teshima SI, Sakamoto M (1985) Effects of dietary lipids, fatty acids, and phospholipids on growth and survival of prawn (*Penaeus japonicus*) larvae. *Aquaculture* 50(1-2):39-49. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(85\)90151-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(85)90151-6)
- Kanazawa, A., Teshima, S., Ono, K., (1979a). Relationship between essential fatty acid requirements of aquatic animals and capacity of bioconversion of linolenic acid to highly unsaturated fatty acid. *Comp. Biochem. Physiol. B*, 63:295-298.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Ono, K., Chalayodeja, K., (1979b). Biosynthesis of fatty acids from acetate in the prawn, *Penaeus monodon* and *Penaeus merguensis*. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 28: 21-26.
- Kumlu, M. (1999). Feeding and digestion in larval decapod crustaceans. *Turkish Journal of Biology*, 23(2), 215-230.
- Lavens, P. & P. Sorgeloos. (1996). Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO, Rome, 295 pp.
- Lèger, P. & P. Sorgeloos. (1992). Optimized feeding regimes in shrimp hatcheries. In: A.W. Fast & J.L. Lester (eds.). *Marine shrimp culture: principles and practices*. Elsevier, Amsterdam, pp. 225-244.
- Lèger Ph, Bengston DA, Simpson KL, Sorgeloos P (1986) The use and nutritional value of Artemia as a food source. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 24:521-623
- Martins, T.G., R.O. Cavalli, R.C. Martino, C.E.M. Rezende & W. Wasielesky Jr. (2006). Larviculture output and stress tolerance of *Farfantepenaeus paulensis* postlarvae fed Artemia containing different fatty acids. *Aquaculture*, 252: 525-533.
- Metcalfe, A.P. & A.A. Schmitz. 1961. The rapid preparation of fatty acids for gas chromatographic analysis. *Anal. Chem.*, 33: 363-364.
- Mutti, D.W., Ballester, E.L.C., Wasielesky Jr., R.C.M.W., Cavalli, R.O., (2017). Feeding n-3 HUFA enriched Artemia to the larvae of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* increases stress tolerance and subsequent growth. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 45(1): 18-24
- Palacios, E. & I.S. Racotta. (2007). Salinity stress test and its relation to future performance and different physiological responses in shrimp postlarvae. *Aquaculture*, 268: 123-135.
- Rees, J.F., Cure, K., Piyatirattivorakul, S., Sorgeloos, P., Menasveta, P., 1994. Highly unsaturated fatty acid requirements of *Penaeus monodon* postlarvae: an experimental approach based on Artemia enrichment. *Aquaculture*, 122: 193-207.
- Sorgeloos, P., Coutteau, P., Dhert, P., Merchie, G., & Lavens, P. (1998). Use of brine shrimp, *Artemia spp.*, in larval crustacean nutrition: a review. *Reviews in fisheries science*, 6(1-2), 55-68.
- Sui, L., Wille, M., Cheng, Y., & Sorgeloos, P. (2007). The effect of dietary n-3 HUFA levels and DHA/EPA ratios on growth, survival and osmotic stress tolerance of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* larvae. *Aquaculture*, 273(1), 139-150.
- Tackaert, W., Abelin, P., Leger, P. H., & Sorgeloos, P. (1989). Stress resistance as a criterium to evaluate quality of postlarval shrimp reared under different feeding procedures: 393-403. In *III Simposio Brasileiro Sobre Cultivo de Camarao* (pp. 393-403). MCR Aquacultura. Van Stappen 1996
- Wouters, R., Cobo Barcia, M. D. L., Dhont, J., & Wille, M. (2009). Developments in feed formulations, feeding practices and culture techniques for marine shrimp larvae. In *WAS Special session on Sustainable Shrimp* (pp. 79-91). *World Aquaculture Society (WAS)*.



Mini-hidroelektrik Santrallerin Çevresel ve Sosyal Etkileri Üzerine Bir Çalışma

Cengiz Koç^{1*}

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7310-073X) cengizko9@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 21 Nisan 2020 ve Kabul Tarihi 8 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.724940)

ATIF/REFERENCE: Koç, C. (2020). Mini-hidroelektrik Santrallerin Çevresel ve Sosyal Etkileri Üzerine Bir Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 35-41.

Öz

Bu çalışma, Türkiye'nin Muğla ili, Ula ilçesi, Kavaklı köyü mevkiinde nehir tipi mini hidroelektrik santral olarak inşa edilen Namnam hidroelektrik santralin çevresel ve sosyal etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Santralin çevresel ve sosyal etkilerini belirleyebilmek için yörede yaşayanlar, yetkililer ve teknik personel arasında tartışmalar ve arazi ziyaretleri yapılmıştır. Daha sonra, çevresel ve sosyal etkiler için düzenleme derecesi ve çevresel etki değeri puanları kullanılarak bilimsel olarak analiz edilmiştir. İncelenen Namnam hidroelektrik santrali için düzenleme derecesi 1. Sınıf, durumu ise "yüksek", çevresel etki değerinin puanı ise -15 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, Namnam hidroelektrik santralin bazı çevresel kaygıları tetiklediği, ancak topluma önemli derecede pozitif sosyal etki yaptığı ortaya konmuştur. Santral yeşil enerji üretimine bir katkı sunmaktadır. Bu nedenle, inşa edilmiş Namnam hidroelektrik santralin olumlu ve olumsuz yönleri değerlendirildiğinde ülkemiz için bir kazanç olduğu sonucuna ulaşılabılır. Ayrıca, yürütülen çalışmanın sonuçları dikkate alınarak olumsuz çevresel etkileri en aza indirecek veya ortadan kaldıracak önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: mini hidroelektrik santraller, düzenleme derecesi, çevresel etki değeri, sosyal etkiler, Namnam hidroelektrik santral

A Study on Environmental and Social Impacts of Mini-hydro Power Plants

Abstract

This study was conducted to examine the environmental and social impacts of Namnam hydroelectric power plant constructed as river-run-off type of mini-hydropower plants in Kavaklı village, Ula district, Mugla province of Turkey. In order to determine the environmental and social impacts of the power plant, discussions and field visits were made among the local residents, officials and technical personnel. Then, environmental and social impacts were analyzed scientifically using of regulation degree and environmental impact value scores. For the Namnam hydroelectric power plant, class and status of the regulation degree was 1 and "high". Environmental impact score was calculated as -15. In this case, it was demonstrated that the Namnam hydroelectric power plant has stimulated some environmental concerns, but has a significant positive social impact on the society. This power plant makes a contribution to green energy production. Therefore, when the positive and negative aspects of the constructed Namnam hydroelectric power plant are evaluated, it can be concluded that there is a gain for our country. In addition, suggestions were made considering the results of the study carried out.

Keywords: mini hydroelectric power plants, regulation degree, environmental impact value, social effects, Namnam hydroelectric power plant,

* Sorumlu Yazar: cengizko9@gmail.com

1. Giriş

Hidroelektrik enerji, Türkiye’de dahil olmak üzere dünyadaki elektrik üretiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ülkemizde 2019 yılı verilerine göre kamu ve özel sektör tarafından inşa edilen 644 adet hidroelektrik santralin toplam kurulu gücü 28423 MW, ortalama yıllık enerji üretimi ise 99050 GWh/yıl’dır. Ülkemizde teknik ve ekonomik olarak geliştirilebilecek 180000 GWh/yıl hidroelektrik enerji potansiyelinin %55’i geliştirilmiştir (DSİ, 2019). Ülkemizin mevcut hidroelektrik enerji potansiyeli Dünya hidroelektrik enerji potansiyelinin %1,5’ini, Avrupa hidroelektrik enerji potansiyelinin ise %17,6’sını oluşturmaktadır (Koç, 2018). Norveç Su Kaynakları ve Enerji Müdürlüğü verilerine göre Norveç’in toplam hidroelektrik enerji potansiyeli 159 TWh/yıl olup, bu potansiyelin yaklaşık 120 TWh/yıl geliştirilmiştir (Kjaerland, 2007). Diğer yandan, Çin hızla büyüyen ekonomisini desteklemek için 2010 yılında hidroelektrik enerjiden 194 GW’lık üretim hedeflemiştir (Chang vd., 2010). Buna ek olarak, Hindistan hidroelektrik geliştirme konusunda dünyanın ilk beş ülkesi içerisinde yer almaktadır (Kumar vd., 2010). Hidroelektrik enerji, ülkelerin ekonomisine ve toplumsal kalkınmasına önemli katkılar sağladığı için birçok ülkede oldukça popüler bir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik enerji, Dünyada bugüne kadar elektriği geliştirmek için kullanılan en güvenli ve ucuz yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir (Evans vd., 2009; Sims vd., 2003; Jager & Smith, 2008; Yüksel, 2010). Bu nedenle, birçok ülke hidroelektrik potansiyelini geliştirmek için yeni yerler araştırarak hidroelektrik potansiyelini artırmaya çalışmaktadır (Bayazıt vd., 2017; Nastase vd., 2017). Hidroelektrik projeleri üretilen güce bağlı olarak birkaç grupta sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma için kesin bir standart veya net bir kural yoktur (Rojanamon vd., 2009). Williams & Porter (2006)’e göre, büyük hidroelektrik projeleri 100 MW’tan daha fazla enerji üretmektedir. 10-100 MW orta, 1-10 MW küçük, 100 kW-1 MW mini hidroelektrik santral olarak isimlendirilmektedir. Sınıflandırma daha küçük seviyelere uzanmakta olup, 5-100 kW arası mikro hidroelektrik projeleri, üretilen kapasitenin 5 kW’dan az olması durumunda ise piko hidroelektrik projeleri olarak isimlendirilir (Williams & Porter, 2006). Rojanamon vd (2009), küçük hidroelektrik projelerin 2,5-25 MW enerji üretimi arasında değiştiğini bildirmektedir. Ayrıca, Paish (2002) & Demirmas (2005) küçük hidroelektrik santraller için en yaygın kurulu güç değerini 10 MW olarak belirlemişlerdir. Ülkelerin çoğu mevcut durumda büyük ve orta ölçekli hidroelektrik projeleri geliştirmişler ve günümüzde küçük ölçekli hidroelektrik projelere yönelmişlerdir (Bracken vd., 2014; Wagner vd., 2015). İskoçya, 2020 yılına kadar yenilenebilir kaynaklardan % 100 enerji kaynağı elde etmeyi amaçlayan ülkelere birisidir. İskoçya 1.5 GW hidroelektrik santrali kurmuş ve hala 500 MW’lık bir potansiyele sahiptir. Ancak, bu 500 MW potansiyel büyük ölçüde küçük ve mini hidroelektrik projelerinden oluşmaktadır (Sample vd., 2015). Enerji otoriteleri, çevresel konuları içeren bazı nedenler ile mini ve mikro seviyedeki hidroelektrik santralleri yoğun olarak araştırmaktadır (Eriyagama vd., 2016; Morimoto & Munasinghe, 2005). Bununla birlikte, Çin ve Brezilya gibi bazı ülkeler enerji talepleri nedeniyle hala büyük hidroelektrik projeler için yer belirlemektedir. Küçük ve mini hidroelektrik santraller, büyük hidroelektrik santrallere göre bazı

dezavantajlarının yanı sıra birçok avantaja sahiptir. Avantajların çoğu çevresel endişeler üzerinedir. Küçük ve mini hidroelektrik santraller genellikle nehir tipi santraller olarak inşa edilmektedir. Bu nedenle, suyu depolamak için bir rezervuar yoktur. Bu nedenle, büyük rezervuarların aksine, nehir tipi hidroelektrik santrallerin doğal ortam biyolojik çeşitliliğine verdiği zarar minimumdur (Anderson vd., 2014; Winemiller vd., 2016). Ayrıca, büyük hidroelektrik santrallere göre sera gazları emisyonu çok azdır (Yah vd., 2017). Ayrıca, büyük rezervuarların çoğu için sedimantasyon önemli bir konudur (Adam vd., 2014). Ancak, nehir tipi hidroelektrik santrallerin, genellikle sediment çökeltim havuzuna sahip olması bu endişeyi azaltmaktadır (Weerakoon & Rathnayake, 2007). Burada listelenmemiş olmasına karşın küçük ve mini hidroelektrik projelerde bazı dezavantaj vardır (Abbasi & Abbasi, 2011; Gracey & Verones, 2016). Bu avantajlar ve dezavantajlar, bir hidroelektrik santral kurulmadan önce yerel olarak (ilgili inşaat yerinde) tartışılmaktadır. Ancak, özellikle gelişmekte olan ülkelerde inşaatı tamamlanıp işletme aşamasına geçen santrallere minimum seviyede özen gösterilmektedir. Ülkemizde ve diğer birçok ülkede de aynı senaryo uygulanmaktadır. Hiç kimse ürettikleri enerji dışında gelişmiş nehir tipi hidroelektrik santralleri bilimsel olarak izlememektedir. Hidroelektrik santrallerin inşaatı ve işletilmesi sürecinde karşılaşılan sosyo-çevresel konuların belirlenmesi son derece önemlidir. Çünkü bu konular gelecekte geliştirilecek projeler için öğrenilmesi gereken dersleri oluşturmaktadır. Bu nedenle, yürütülen bu çalışma, nehir tipi mini-hidroelektrik santrallerin çevresel ve sosyal etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ayrıca, çalışmanın sonuçları dikkate alınarak, bu konuda çalışanlar için önerilerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışma Alanı

Proje alanı, Türkiye’nin Muğla ili, Ula ilçesi, Kavaklı köyü mevki, Namnam çayı havzasında yer almaktadır. Namnam çayı havzası, Köyceğiz gölü kuzey havzalarından biri olup, Ege ve Akdeniz bölgelerinin birleştiği yerde bulunmaktadır (Türedi, 2006). Şekil 1’de Namnam çayı havzasının lokasyon haritası verilmektedir (Utku & Ekinci, 2015). Havzanın uzun yıllar ortalama yağış miktarı 1045,9 mm dir (DMİ, 2018) ve yağışların çoğu kış mevsiminde meydana gelmektedir. Yağışların 580,24 mm kışın, 194,83 mm ilkbahar, 19,09 mm yaz ve 251,69 mm sonbaharda düşmektedir. Namnam çayı, Çiçek baba dağından doğan ve Köyceğiz gölüne dökülen bir akarsudur. Namnam Çayı, su toplama havzası içindeki birçok küçük akarsu kolunun birleşmesinden meydana gelmiştir. Namnam Çayının su toplama havzası 544 km², uzunluğu 30 km dir. Çayın minimum, maksimum ve ortalama debisi, sırasıyla 0,960, 556 ve 7,698 m³/s dir. Çayın çevresindeki yoğun tarımsal faaliyetler su kalitesine olumsuz etki yapmaktadır. Yazın mevsimsel etkiler ile azalan sular yoğun olarak sulamada kullanılmaktadır.

2.1.2 Hidroelektrik Santral

İnşa edilen Hidroelektrik Enerji Santrali (HES) Namnam çayı üzerinde yer almaktadır. HES için gerekli su Namnam çayından regülatör ile saptırılmaktadır. Hidroelektrik santral, Namnam çayının 195,5 m ile 395,0 m kotları arasında brüt 100,5 m düşüye sahiptir. Toplam türbin debisi 4,50 m³/s olup, kurulu güç 3,72 MW'dır. Yıllık enerji üretimi 1,76 GWh güvenilir olmak üzere toplam 13,72 GWh enerji üretebilmektedir. Yatırım maliyeti 5.121.397 US\$'dir. Namnam HES 2016 yılında enerji üretimine başlamıştır. Santral iki elektrik jeneratörüne bağlı iki yatay Franchis hidro türbinden oluşmaktadır. Namnam HES, regülatör, iletim kanalı, yükleme havuzu, cebri boru ve santral binasından oluşmaktadır. Yüksek kotdan geçen iletim kanalı trapez kesitli açık kanal şeklinde inşa edilmiştir. Şekil 2, 3, 4 ve 5'de Namnam HES'e ait regülatör, balık geçidi, santral binası ve cebri boru güzergahına ilişkin bazı resimler verilmektedir.



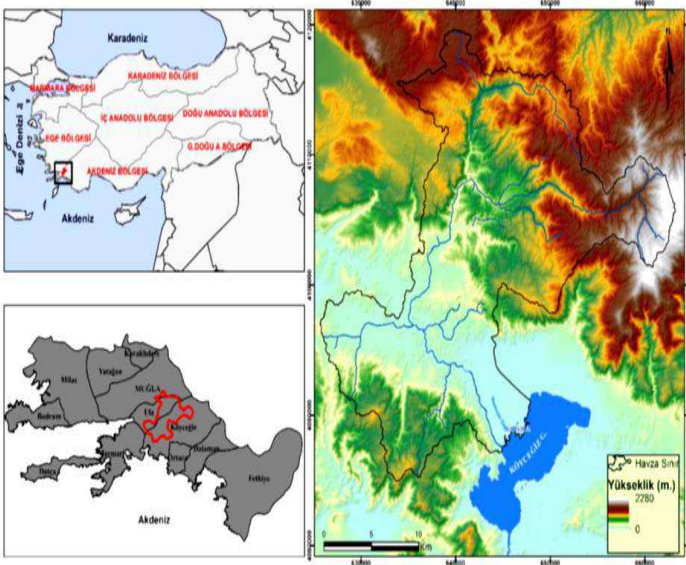
Şekil 3. Namnam HES regülatör balık geçidi



Şekil 4. Namnam HES türbinleri



Şekil 5. Namnam HES binası ve cebri boru



Şekil 1: Namnam Çayı Havzasının Lokasyon Haritası



Şekil 2. Namnam HES regülatör

2.2 Metod

2.2.1 Düzenleme Derecesi (RD) ve Çevresel Etki Değeri (EIV)

Mini hidroelektrik santralden kaynaklanan çevresel zararı ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Düzenleme derecesi ve çevresel etki değeri oluşabilecek zararı göstermenin iki farklı yöntemidir. Düzenleme derecesi, çevreye fiziksel olarak etki eden hidrolojik rejim özelliklerindeki değişimin neden olduğu etkiyi hesaplamının bir ölçüsüdür (Steinmetz & Sundqvist, 2014). Birçok araştırmacı bu parametreyi, yeni geliştirilen akış yapıları ve iklim değişikliğinden kaynaklanan çevresel zararları ölçmek için kullanmıştır (Arheimer vd., 2017; Zhangzhong vd., 2015). Düzenleme derecesi 1 nolu eşitlikte verilmektedir.

$$RD = (V_{\text{store}} / V_{\text{flow}}) \times 100\% \quad (1)$$

Eşitlikte, RD, V_{store} ve V_{flow} sırasıyla, regülasyon derecesi, depolanabilecek toplam su hacmi ve yıllık akış hacmidir. Hesaplanan RD değeri temel alınarak, akarsu üzerine akım

düzenlemesinin etkisi sınıflandırılabilir. Tablo 1 düzenleme derecesine göre sınıflandırmayı vermektedir.

Tablo 1. Düzenleme derecesine göre çevresel etkinin sınıflandırılması (Steinmetz & Sundqvist, 2014).

Durum	Sınıf	Düzenleme derecesi
Yüksek	1	0,0.00
İyi	2	0,9.99
Orta	3	1,019.99
Yetersiz	4	2,049.99
Zayıf	5	50,100

Çevreye verilen toplam etki Çevre Etki Değeri (EIV) kullanılarak hesaplanabilir. Etki değerlerinin aritmetik toplamı, santralin ülke için bir tehdit veya avantaj olup olmadığı hakkında genel bir fikir vermektedir. İndeks sadece hidroelektrik santraller için değil, aynı zamanda çevre ile ilgili diğer birçok faaliyet için de kullanılmıştır (Coelho & Brito, 2012; Safont vd., 2012). Literatürde indeksi ifade etmenin çeşitli yolları olmasına karşın 2 nolu eşitlikte verilen matematiksel açıklama kullanılmıştır.

$$EIV = \sum_{i=1}^n (V_i \times W_i) \quad (2)$$

Eşitlikte, V_i , çevresel kalite parametresinin göreceli değişimi, W_i , parametrelerin göreceli önemi veya ağırlığıdır ve n , parametrelerin toplam sayısıdır.

2.2.2. Arazi Gezileri

Nisan 2019'den Ekim 2019'a kadar geçen süreçte incelenen mini hidroelektrik santralin inşa edildiği alana ve çevresine çeşitli arazi ziyaretleri düzenlenmiştir. Santral, regülatör, su giriş yapısı, iletim kanalı, yükleme havuzu ve santralin çevresinde yer alan köyler ziyaret edilmiştir. Santral ve su alma, iletime, yükleme yapılarının teknik detayları santralde çalışan teknik yetkililerden alınmıştır. Ayrıca, enerji üretiminin tasarımı ve ekonomisi de dahil olmak üzere tüm teknik özelliklere ilişkin bilgiler elde edilmiştir. Arazi gezilerinden elde edilen gözlemler, Namnam mini hidroelektrik santralinin EIV değerini hesaplamak için kullanılmıştır. Ayrıca, bölgede yer alan flora ve faunayı belirlemeye çalışılmıştır. Arazide çalışanlar flora ve fauna listesinin tümünü tanımlamak için gerekli özel bilgi ve deneyime sahip değildir, ancak, arazi gezileri sırasında bunlardan bazılarını tanımlamışlardır. Mini hidroelektrik santralin mevcut flora ve fauna üzerindeki potansiyel tehditlerini tanımlamak için biyolojik çeşitlilik analizinin yapılması önerilmektedir. Ayrıca, günlük yaşam üzerine mini hidroelektrik santralin artıları ve eksileri köy halkı ile tartışılmıştır. Ayrıca, Bir anket çalışması uygulanarak çevre köylerin bazı önemli duyarlılıkları belirlenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışma alanına ilişkin hidrolojik rejim analizi Bergkamp vd (2000) tarafından verilen varyasyon özellikleri referansı kullanılarak yürütülmüştür. Bu bağlamda, çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Namnam mini-hidroelektrik santralinin ortalama debisi 4,50 m³/s olup, sabit bir değer göstermektedir. Namnam çayı su akışının planlamada belirtilen miktarı üst kottan geçen iletim kanalıyla mini-hidroelektrik santrale iletilmektedir. Bu nedenle, suyun santrale iletiminden kaynaklanan bir değişim söz konusu değildir. Proje alanında, özellikle kış mevsiminde normal ve yoğun yağışlar görülmektedir. Ancak, yaz döneminde mevcut suyun bir kısmı sulama hizmetlerinde kullanıldığı için enerji üretimi azalmakta yada hiç yapılamamaktadır. Namnam çayı kısa süreli düşük akışlar kadar kısa süreli taşkın piklerine de sahiptir. Nehir taşkınları uzadığı için nehirdeki hızlı değişimler daha kısa sürede görülebilmektedir. Akışın büyüklüğü, akışın süresi, akışın sıklığı, taşkın zamanlaması ve değişim hızı bir nehirdeki fiziksel ve biyolojik süreçleri etkileyen temel özellikler olarak tanımlanmaktadır (Renafalt vd., 2010). Bu temel özelliklere ve Namnam çayı için yukarıda belirtilen bulgulara dayanarak, Tablo 2, Namnam çayının akış rejimi özellikleri için sunulmaktadır. Tablo 2'ye göre iklim koşullarından kaynaklanan hidrolojik rejim özellikleri açıkça görülmektedir. Bu nedenle, havzaya yağışın gelecekteki eğilimlerini belirlemek ve daha sonra gelecekteki akış koşullarını tahmin etmek için bir iklimsel analiz önerilmektedir.

İncelenen Namnam mini-hidroelektrik santral için düzenleme derecesi hesaplanmıştır. Mini-hidroelektrik istasyonunda rezervuar yoktur. Regülatör, suyu üst kotlarda inşa edilen iletim kanalına saptırmak için kullanılmaktadır. Ancak, akarsuyun membasındaki su seviyesi regülatör ile kabartılmaktadır. Bu nedenle, zorunlu olarak regülatörün membasında küçük bir rezervuar oluşmaktadır. Namnam çayının ortalama akışı 7,69 m³/s, mini-hidroelektrik santralin ortalama akışı ise 4,50 m³/s'dir. Bu nedenle, V_{stored} (yıllık depolanabilecek su hacmi) 242,7 milyon m³, V_{flow} (yıllık akış hacmi) 142 milyon m³'dür. V_{flow} değeri ile hesaplanırken regülatör gövdesinden savaklanan su miktarı göz ardı edilmektedir. Mini-hidroelektrik santralin RD değeri 0,017 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, santral için düzenleme derecesi 1. sınıf, durum ise "yüksek" olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, Namnam mini-hidroelektrik santrali hidrolojik rejim duyarlılığı yönünden çevreye potansiyel olumsuz etki yaratmamaktadır. Mini-hidroelektrik santral için regülatör girişinin uzaması mevcut akarsu yatağındaki sediment akışını üst kotlardan geçen kanal ile önemli ölçüde tutmaktadır.

Tablo 2. Hidrolojik rejim özelliklerinin sonucu

Akış Özellikleri	Seçenekler	Ekosistem Yanıtı
Akış Büyüklüğü	Sabit Akış	Kıyı türlerinin oluşmamasına ve ekzotik türlerin istilasına katkıda bulunabilir. Zayıf rakiplerin kaybı ve rekabetçi türlerin baskınlığı artar
Akış sürekliliği	Değişiklik yok	Toprak erozyonu veya biyolojik çeşitlilik tehditleri gibi çevreyi saran potansiyel zarar yoktur
Taşkın zamanı	Mevsimsel akış değişkenlerinin değişimi/kayıbı	Gelişme hızının azalmasına ve birbirini takip eden türlerin değişimine neden olan rahatsız edici yaşam döngüleri. Ayrıca,

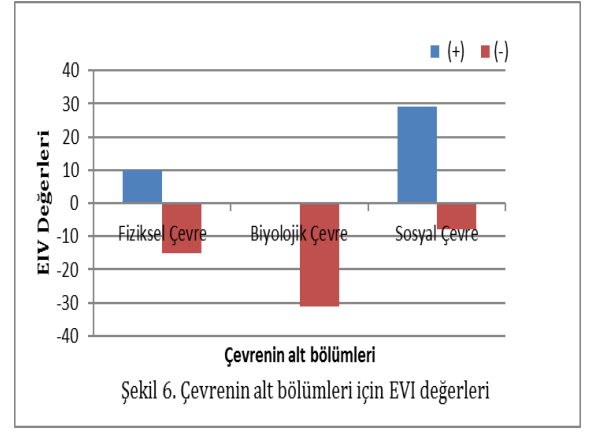
		azaltılmış bir yaşam alanı olacaktır
Akış süresi	Kısa süreli düşük akışlar	Sucul habitatların mevcudiyetini artırma
	Kısa süreli taşkın pikleri	Nehir yatağındaki kara organizmalarının zarar görmesi
Akış değişim hızı	Nehir seviyesindeki hızlı değişimler	Kıyı bölgesi ve bitki örtüsünün kaybı. Organizmalarının yıkanması ve karaya tutunması nedeniyle kıyı organizmalarının oluşturulamaması.

Bu uzaklıkta akış çok düşüktür, bu nedenle, sediment akışı ihmal edilebilir düzeydedir. Bu durum, sucul yaşam ve çevresi üzerine olumsuz çevresel etki yapar. Bununla birlikte, üst kotlardan geçen kanalın eleklerinde tutulan sediment tekrar nehir mansabına bırakılır. Bu sediment, membadan mansaba doğru besin maddeleri akışının geri kazanılmasına yardımcı olur.

Bu çalışmada su kalitesi analizleri yapılmamıştır. Mini-hidroelektrik santrallerin su kalitesini değiştirmeye yönelik bir etkiye sahip olmadığı düşünülmektedir (Koç, 2018). Bu varsayım, bir rezervuara sahip olmayan Namnam mini-hidroelektrik santrali için de geçerlidir. Bir rezervuar ile birleşik olsaydı su kalitesi hidrolik tutulma süreci nedeniyle etkilenebilirdi. Ancak, roto-dinamik makinelerin çalışması nedeniyle bazı yağ ve gres kirlilikleri olabilmektedir. Bu nedenle, türbinlerden su salınımı için kullanılan yağ ve gres için su kalitesi analizi yapılması tavsiye edilmektedir.

Namnam mini-hidroelektrik santrali için çevresel etki değeri (EIV) hesaplanmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi EIV, çevreye neden olabilecek potansiyel etkiyi belirtmek için kullanılan yöntemlerden birisidir. Tablo 3, üç alt bölümde (fiziksel, biyolojik ve sosyal ortamlar) kullanılan farklı ağırlık değerlerini vermektedir. Ayrıca, EIV için hesaplamaları da göstermektedir. EIV hesaplarının yapılmasında arazi gözlemleri ve çevre köylerde yaşayanlar ile yapılan inceleme ve tartışmalar yardımcı olmuştur. Olumlu ve olumsuz etkilerin aritmetik toplamına göre Namnam mini-hidroelektrik santrali EIV değeri -15 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle, olumlu ve olumsuz etkilerin ağırlıkları karşılaştırıldığında mini-hidroelektrik santrallerin çevre için potansiyel bir tehdit olduğu sonucuna ulaşılabilir. EIV sonuçları, alt bölümler üzerindeki etkinin daha iyi anlaşılması için Şekil 6'da sunulmuştur.

Şekil 6, mini-hidroelektrik santralinin fiziksel ve biyolojik çevre üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça göstermektedir. Biyolojik çevre üzerindeki olumsuz etki oldukça önemlidir. Bu nedenle, ayrıntılı bir biyolojik çeşitlilik analizi yapılmalıdır. Bununla birlikte, mini-hidroelektrik santral, fiziksel çevre ve sosyal çevre üzerinde olumlu bir etki yapmıştır. Komposit üretmek için atıkların yeniden geri dönüştürülmesi ve ağaçlandırma çalışmaları hidroelektrik santralinin önemli olumlu etkilerindedir. Sosyal çevrenin olumlu etkileri köy halkı arasındaki tartışmalardan elde edilmiştir. Köye ait bazı yolların yapılması, beton veya asfalt kaplanması, santralin yöre halkı için iş olanakları yaratması, yörede camilerin ve topluluk salonlarının yenilenmesi Namnam mini-hidroelektrik santralin olumlu sosyal etkilerinden bir kaçını oluşturmaktadır.



Tablo 3. EIV hesaplamaları

Tepki	V_i	W_i	$V_i \cdot W_i$
Fiziksel Çevre			
Mikro-iklim ve hava kalitesi	0	3	0
Akış özelliklerinin değişmesi	1	3	3 (-)
Topoğrafya ve arazi kullanımı	2	2	4 (-)
Yüzey erozyonu	1	2	2 (-)
Kazılan malzemenin atılması	1	2	2 (-)
Hidroloji ve sedimantasyon	0	2	0
Su kalitesi/kirlilik	0	4	0
Katı atık	0	3	0
Ağaçlandırma-peyzaj	2	3	6 (+)
Komposit ve geri dönüşüm	2	2	4 (+)
Gürültü ve titreşim	2	2	4 (-)
Biyolojik Çevre			
Orman örtüsü kaybı	1	3	3 (-)
Kesilen ağaçlarda artış	1	2	2 (-)
Tomruk olmayan orman ürünleri tüketimi	2	2	4 (-)
Biyoçeşitlilik üzerine etkisi	3	3	9 (-)
Tehlike ve tehdit altındaki ender türlere etki	3	3	9 (-)
Balık göçü üzerine etkisi	1	2	2 (-)
Kıyı habitatına etkisi	1	2	2 (-)
Mansap etkisi	0	1	0
Sosyal Çevre			
Tarım alanlarındaki etkiler	0	2	0
Kadın ve çocuk işçiliği	0	2	0
Kültür ve din	1	1	1 (-)
Halk sağlığı	1	3	3 (-)
İş sağlığı güvenliği	0	4	0
Kanun ve düzen	1	3	3 (-)
Yerel yaşam tarzına etkileri	1	1	1 (-)
Yerel hizmetler üzerine baskıyı artırmaz	0	1	0
Artan yerel istihdam	3	2	6 (+)
Yerel ticarete artış	3	2	6 (+)
Yol koşullarında iyileşme	3	1	3 (+)
Kırsal alan elektrifikasyonu	4	2	8 (+)
Sanayileşme	2	2	4 (+)
Eko-turizmi tanıtmaya	1	2	2 (+)

(-) negatif etki, (+) pozitif etki

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, ülkemizde verimli şekilde işletilen bir mini-hidroelektrik santral olan Namnam santralinin potansiyel sosyal ve çevresel etkilerini saptamak amacıyla yürütülmüştür.

Santralin çevre üzerindeki olumsuz etkileri bazı endişelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Namnam mini-hidroelektrik santrali ülke için bir kazanımdır. Bununla birlikte, olumsuz etkileri çok daha düşük bir seviyeye getirmek için düzeltme ve giderme yöntemlerini belirlemek için gelecekte daha çok araştırma yapılması önerilmektedir. Bu çalışmaya su kalitesi analizi ve biyolojik çeşitlilik analizi de dahil edilmelidir. Ayrıca, ülkedeki diğer mini hidroelektrik santralleri değerlendirmek için EIV ve RD değerlerinin kullanılması önerilir. Değerlendirmeye dayanarak, yetkililer, önemli negatif EIV puanları bulurlarsa, mini-hidroelektrik santrallerin sürekliliği ve çevre üzerine etkileri yeniden düşünülmelidir. Bununla birlikte, değerlendirilen mini-hidroelektrik santralinin EIV'de pozitif puanları veya önemsiz negatif değerleri varsa, bunlar da ödüllendirilmelidir. EIV değerleri hidroelektrik santrallerin hem inşaat hem de işletme süreçleri için belirlenmelidir. Ayrıca, inşaat döneminde ekosisteme kalıcı zararların verilmemesi, söz konusu yapıların ve zorunlu açılan yolların peyzaj bütünlüğüne zarar vermemesi için gerekli özen gösterilmelidir.

Kaynakça

- Abbasi, T., & Abbasi, S. (2011). Small Hydro and the Environmental Implications of Its Extensive Utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (4): 2134-43.
- Adam, N., Erpicum, S., Archambeau, P., Piroton, M., & Dewals, B. (2014). Stochastic Modelling of Reservoir Sedimentation in a Semi-arid Watershed. *Water Resources Management* 29 (3): 785-800.
- Anderson, D., Moggridge, H., Warren, P., & Shucksmith, J. (2014). The Impacts of 'Run-of-River' Hydropower on the Physical and Ecological Condition of Rivers. *Water and Environment Journal* 29 (2): 268-76.
- Bayazit, Y., Bakış, R., & Koç, C. (2017). An Investigation of Small Scale Hydropower Plants Using the Geographic Information System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67: 289-94.
- Bergkamp, G., McCartney, M., Dugan, P., McNeely, J., & Acreman, M. (2000). Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration: Thematic Review II. 1 World Commission on Dams, Cape Town, South Africa
- Bracken, L., Bulkeley, H., & Maynard, C. (2014). Microhydro Power in the UK: The Role of Communities in an Emerging Energy Resource. *Energy Policy* 68: 92-101.
- Chang, X., Liu, X., & Zhou, W. (2010). Hydropower in China at Present and Its Further Development. *Energy* 35 (11): 4400-6.
- Coelho, A., & De Brito, J. (2012). Influence of Construction and Demolition Waste Management on the Environmental Impact of Buildings. *Waste Management* 32 (3): 532-41.
- Demirbas, A. (2005). Potential Applications of Renewable Energy Sources, Biomass Combustion Problems in Boiler Power Systems and Combustion Related Environmental Issues. *Progress in Energy and Combustion Science* 31 (2): 171-92.
- DMİ (Devlet Meteoroloji İşleri). (2018). Köyceğiz Meteoroloji İstasyonu Rasat Verileri 1975-2018, Ankara
- DSİ, (2019). Ülkemizde İşletmeye Açılan Hidroelektrik Santraller. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, İşletme ve Bakım Daire Başkanlığı, İşletmeye Açılan HES'ler Raporu, 15s, Ankara
- Eriyagama, N., Smakhtin, V., & Jinapala, K. (2016). The Sri Lanka Environmental Flow Calculator: A Science-Based Tool to Support Sustainable National Water Management. *Water Policy* 18 (2): 480-92.
- Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. (2009). Assessment of Sustainability Indicators for Renewable Energy Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (5): 1082-8.
- Gracey, E., & Veronesi, F. (2016). Impacts from hydropower production on biodiversity in an LCA framework-review and recommendations. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21(3): 412-28.
- Jager, H., & Smith, B. (2008). Sustainable Reservoir Operation: Can We Generate Hydropower and Preserve Ecosystem Values ?. *River Research and Applications* 24, 340-352
- Kjærland, F. (2007). A Real Option Analysis of Investments in Hydropower-The Case of Norway. *Energy Policy* 35 (11): 5901-8.
- Koç, C. (2018). A Study on Operation Problems of Hydropower Plants Integrated with Irrigation Schemes Operated in Turkey. *International Journal of Green Energy*, Volume 15, Issue 2, 129-135,
- Kumar, A., Kumar, K., Kaushik, N., Sharma, S., & Mishra, S. (2010). Renewable Energy in India: Current Status and Future Potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (8): 2434-42.
- Morimoto, R., & Munasinghe, M. (2005). Small Hydropower Projects and Sustainable Energy Development in Sri Lanka. *International Journal of Global Energy*, Issues 24 (1/2): 3.
- Nastase, G., Şerban, A., Năstase, A., & Iordan, N. (2017). Hydropower Development in Romania. A Review from Its Beginnings to the Present. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80: 297-312.
- Paish, O. (2002). Small Hydro Power: Technology and Current Status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6 (6): 537-56.
- Renafalt, B., Jansson, R., & Nilsson, C. (2010). Effects of Hydropower Generation and Opportunities for Environmental Flow Management in Swedish Riverine Ecosystems. *Freshwater Biology* 55 (1): 49-67.
- Rojanamon, P., Chaisomphob, T., & Bureekul, T. (2009). Application of Geographical Information System to Site Selection of Small Run-of-River Hydropower Project by Considering Engineering/Economic/Environmental Criteria and Social Impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (9): 2336-48.
- Safont, E., Vegas-Vilarrúbia, T., & Rull, V. (2012). Use of Environmental Impact Assessment (EIA) Tools to Set Priorities and Optimize Strategies in Biodiversity Conservation. *Biological Conservation* 149 (1): 113-21.
- Sample, J., Duncan, N., Ferguson, M., & Cooksley, S. (2015). Scotland's Hydropower: Current Capacity, Future Potential and the Possible Impacts of Climate Change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52: 111-22.
- Sims, R., Rogner, H., & Gregory, K. (2003). Carbon Emission and Mitigation Cost Comparisons between Fossil Fuel, Nuclear and Renewable Energy Resources for Electricity Generation. *Energy Policy* 31 (13): 1315-26.
- Steinmetz, M., & Sundqvist, N. (2014). Environmental Impacts of Small Hydropower Plants-A Case Study of

- Borås Energi och Miljö's Hydropower Plants. Master of Science thesis, Chalmers University of Technology.
- Türedi, M., (2006). Köyceğiz Gölü (Limnolojik Etüd) Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Ortaöğretim Sosyal Alanlar Eğitim Anabilim Dalı Coğrafya Öğretmenliği Bilim Dalı, İstanbul.
- Utlu, M., & Ekinci, D. (2015). Namnam Çayı Havzasının (Muğla) Uygulamalı Hidrografyası. İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi, Sayı 30 Sayfa 38-60.
- Wagner, B., Hauer, C., Schoder, A., & Habersack, H. (2015). A Review of Hydropower in Austria: Past, Present and Future Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50: 304-14.
- Weerakoon, S. B., & Rathnayake, U. S. (2007). Effect of the Entrance Zone on the Trapping Efficiency of Desilting Tanks in Run-of-River Hydropower Plants. In International Conference on Small Hydropower-Hydro Sri Lanka, 22-4.
- Williams, A., & Porter, S. (2006). Comparison of Hydropower Options for Developing Countries with Regard to the Environmental, Social and Economic Aspects. In Proceedings of the International Conference on Renewable Energy for Developing Countries, 1-17.
- Winemiller, K., McIntyre, P., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., Baird, I., Darwall, W., Lujan, N., Harrison, I., Stiassny, M., Silvano, R., Fitzgerald, D., Pelicice, F., Agostinho, A., Gomes, L., Albert, J., Baran, E., Petreire, M., Zarfl, C., Mulligan, M., Sullivan, J., Arantes, C., Sousa, L., Koning, A., Hoinghaus, D., Sabaj, M., Lundberg, J., Armbruster, J., Thieme, M., Petry, P., Zuanon, J., Vilara, G., Snoeks, J., Ou, C., Rainboth, W., Pavanelli, C., Akama, A., Soesbergen, A., & Saenz, L. (2016). Balancing Hydropower and Biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science* 351 (62-69): 128-9.
- Yah, N., Oumer, A., & Idris, M. (2017). Small Scale Hydro-Power as a Source of Renewable Energy in Malaysia: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72: 228-39.
- Yüksel, I. (2010). Hydropower for Sustainable Water and Energy Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (1): 462-9.
- Zhangzhong, L., Yang, P., Ren, S., Liu, Y., & Li, Y. (2015). Flow Characteristics and Pressure-Compensating Mechanism of Non-pressure-Compensating Drip Irrigation Emitters. *Irrigation and Drainage* 64 (5): 637-46.



İnşaat Sektöründe Kalite Maliyeti Entegre Edilmiş Kazanılmış Değer Analizi Üzerine Bir Uygulama

Mehmet Nurettin Uğural^{1*}, Çağrı Şahin²

^{1*} İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8037-7603), m.ugural@iku.edu.tr

² İnterstone Mermer Granit Sanayi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0030-9310), mmrcagrisahin@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 27 Nisan 2020 ve Kabul Tarihi 9 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.727794)

ATIF/REFERENCE: Uğural, M, N. & Çağrı, Ş. (2020). İnşaat Sektöründe Kalite Maliyeti Entegre Edilmiş Kazanılmış Değer Analizi Üzerine Bir Uygulama *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 42-49.

Öz

Proje yönetiminin en önemli işlevlerinden biri, projenin zaman ve maliyet olarak takibi ve kontrolüdür. Ancak günümüz inşaat sektörü rekabet koşullarında müşteri memnuniyeti, kalite odaklı ölçülmektedir. Bu noktada sektörde müşterinin kalite anlamında yapılan işi görebildiği ve değerlendirdiği son nokta ince inşaat işleri olduğundan, her ne kadar imalatlar bitti denilse de teslimatlarda üst yönetimin veya müşterinin beğenmediği ve düzeltilmesini istediği birçok ilave işler çıkmaktadır. Son anda yapılması istenilen düzeltme ve proje dışı işler, önemli bir zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle aynı bölgede birbirine benzer üç ayrı konut projesine (A, B ve C projeleri) ait ince inşaat işlerinin dokuz farklı imalat kalemine Kazanılmış Değer Analizi (KDA) uygulanmış, zaman ve maliyet parametreleri hesaplanmıştır. Daha sonra her bir imalat için teslimat aşamasında müşteri beklentilerini sağlamak ve hedeflenen kaliteyi yakalamak adına harcanan ilave maliyet ve süreleri hesaba katılarak yeniden KDA uygulanarak süre ve maliyet endekslerinin değişimleri hesaplanmıştır. 1. ve 2. analiz sonuçlarına göre her üç projede ele alınan kümülatif zaman ve maliyet endekslerine bakıldığında A projesinin program başarı endeksi (SPI) değerinde %4, maliyet başarı endeksi (CPI) değerinde %10, B projesinin SPI değerinde %2, CPI değerinde %9, C projesinin ise SPI değerinde %2, CPI değerinde %6 oranında azalma görülmüştür. Bu durum her üç projede de maliyet ve zaman olarak artış olduğunu göstermiştir. 1. ve 2. KDA sonuçlarına göre imalat düzeyinde SPI değerleri kıyaslandığında en fazla süre kaybına neden olan imalatın %5'lik düşüşle alçı sıva imalatı olduğu, imalat düzeyinde CPI değerleri kıyaslandığında ise en fazla maliyet kaybının %23'lük düşüşle boya imalatı olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada, sadece bütçe ve zaman unsurlarını hesaba katan KDA'ya kalite faktörünün de dâhil edilmesiyle performans endekslerinde oluşacak değişim incelenmiştir. Kalite faktörünün KDA'ya eklenmesiyle proje ve imalat düzeyi performans endekslerinde düşüş (yani maliyette ve sürede artış) olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hata Maliyeti, Kalite Maliyeti, Kazanılmış Değer Analizi, Proje Yönetimi, Yapım Yönetimi.

Measuring the Effect of Quality Factor on the Performance Indices in the Construction Sector by Earned Value Analysis (EVA)

Abstract

One of the most crucial functions of project management is the monitoring and control of the project in time and cost. However, in today's construction industry, customer satisfaction is measured with a focus on quality. At this point, since the last point in the sector where the customer can see and evaluate the work done in terms of quality is fine construction works, even though it is said that the manufacturing is finished, there are many additional works in the deliveries that the top management or the customer dislikes and wants to be corrected. The correction and non-project works requested at the last-minute cause a significant time and cost loss.

In this study, firstly, Earned Value Analysis (EVA) was applied to nine different manufacturing items of fine construction works belonging to three different residential projects (A, B and C projects) in the same region, and time and cost parameters were calculated.

* Sorumlu Yazar: m.ugural@iku.edu.tr

Then, the changes in the time and cost indices were calculated by taking the additional costs and times spent in each delivery to ensure customer expectations and to achieve the targeted quality, by applying the EVA again. According to the results of analysis 1 and 2, looking at the cumulative time and cost indices discussed in all three projects, the project success index (SPI) of project A is 4%, the cost achievement index (CPI) is 10%, the project B's SPI value is 2% and CPI value is %9, In C project, there is a 2% decrease in SPI value and a 6% decrease in CPI value. In other words, an increase in cost and time was observed in all three projects. Again, according to the 1st and 2nd EVA results, when the SPI values at the manufacturing level are compared, the plaster manufacturing with the 5% decrease in the production that caused the most time loss, and the painting works with the 23% decrease in the manufacturing which caused the most cost loss when the CPI values at the manufacturing level were compared.

As a result, in this study, the change in performance indices was examined by including the quality factor in the EVA, which takes into account only budget and time factors. With the addition of the quality factor to the EVA, it has been observed that there is a decrease in project and manufacturing level performance indices (ie increase in cost and time).

Keywords: Project Management, Earned Value Analysis, Construction Industry, Quality.

1. Giriş

İnşaat sektörü hem ulusal hem de küresel düzeyde ekonomilerin itici gücünü oluşturarak özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için yarattığı katma değer ve istihdam olanaklarıyla ülkelerin ekonomilerinde önemli rol oynamaktadır. Sektör, kendisine girdi sağlayan 200'den fazla alt sektörle ilişki halinde olduğundan "lokomotif sektör" olarak adlandırılmaktadır.

Günümüz inşaat projelerinin büyük ölçekli olması ve müşteri taleplerinin artması nedeniyle projelerin karmaşıklığı artmıştır. Karmaşıklık nedeniyle proje hedeflerine ulaşmakta zorluklar yaşanmaktadır. Bu durum, belirsizlik ve risk durumunu doğurmuş, bütçe ve maliyet artışlarına neden olmuştur. Günümüzde maliyetleri minimize etmek isteyen şirketler, proje yönetimi kavramı üzerinde çalışmalarını arttırmışlardır.

Proje yönetimine göre, bir projeyi kontrol altında tutmak için süreçlerin izlenmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Projelerin ilerlemesini izlemek, proje maliyetini ve süresini tahmin etmek için Kazanılmış Değer Analizi (KDA) yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. KDA yöntemi ile projenin herhangi bir anında harcanılanlara karşı kazanılanlar tespit edilebilmektedir. KDA yöntemi ile projelerin planlanmış takvime uyup uymadığı, bütçe limitleri içinde kalıp kalmadığı ve ilerleme raporlarına göre tamamlanacağı tarihe ve maliyete uyup uymadığı bulunabilmektedir.

Kazanılmış değer analizi projelerin üç ana unsuru olan içerik, zaman ve maliyet boyutlarına odaklanmasına rağmen uzunca bir süre, kalite gibi önemli bir faktör göz ardı edilmiş ve kalite boyutu açık bir şekilde bu model içerisinde dikkate alınmamıştır. Bunun yerine kalite boyutunun içerik boyutunun bir parçası olduğu varsayılmıştır. 2011 yılında Amerikan hükümeti Savunma Bakanlığı (DoD) tarafından kalite faktörü de kazanılmış değer analizine dahil edilmesi önerilmiştir (Gupta, 2014).

Zaman, maliyet ve kalite; proje yönetiminin üç temel yapı taşını oluşturmaktadır. Yapılan çeşitli çalışmalar kalite hatalarının şantiyelerde sık görülen bir fenomen olarak kabul edildiğini ve bu sorunların giderilmesinin masraflı harcamalara yol açtığını göstermiştir. Boukamp ve Akıncı (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, inşaat maliyetinin %6-15'ini oluşturan kusurlu imalatların, vasıfsız işçiler gibi insan faktörlerinden, yetersiz inşaat denetimi ya da malzeme veya tasarım hatalarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından zamanlama ve maliyetin, projenin performansı için tek gösterge olarak düşünülmemesi gerektiği, kalite vb. çeşitli parametrelerin daha etkin kullanılarak entegre bir çerçevenin geliştirilerek kalite gereksinmelerinin de KDA'ya entegre edilmesinin proje başarısı

için önemli bir gösterge olduğu ileri sürülmüştür (Solomon ve Young, 2007; Nassar vd, 2009).

Bu çalışmada, sadece zaman ve maliyet etkenleri üzerinden yapılan kazanılmış değer analizi hesaplamasında "kalite" faktörünün etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, öncelikle aynı bölgede, aynı nitelikteki ekiplerle, üç benzer konut projesine ait ince inşaat işlerinin Kazanılmış Değer Analizi (KDA) ile parametreleri bulunmuştur. Daha sonra, her imalat için teslimat aşamasında müşteri beklentilerini sağlamak ve hedeflenen kaliteyi yakalamak adına harcanan ilave maliyet ve süreleri hesaba katılarak yeniden KDA parametreleri hesaplanmıştır. Sonuçta, sadece bütçe ve zaman unsurlarını hesaba katan KDA'ya kalite faktörü de dâhil edilerek birinci ve ikinci analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

1.1. Kalite Maliyet Faktörü

Kalite yönetimindeki önemli konulardan biri olan kalite maliyeti terimi literatürde farklı şekillerde tanımlanmıştır. Bazı yazarlar, kaliteyi elde etmek için gerekli maliyetler olarak tanımlarken (Dahlgaard ve diğerleri, 1992), diğerleri düşük kalitenin ya da kalitesizliğin maliyeti olarak tanımlamışlardır (Sower ve Quarles, 2003). Kalite maliyetinin bileşenleri:

- Önleme maliyeti (Prevention Cost)
- Değerlendirme maliyeti (Appraisal Cost)
- Hata maliyeti (Failure cost) olarak sınıflandırılmaktadır (detaylı bilgi için bakınız: Feigenbaum, 1991)

Önleme maliyetleri inşaat sürecinin tüm aşamalarında hataların oluşmasını önlemeye yönelik olarak yapılan faaliyetleri içerir. Değerlendirme maliyeti, inşaat sürecinde gözden geçirme, birim test, doğrulama ve geçerli kılma faaliyetleri değerlendirme maliyeti olarak sayılmaktadır. Hata maliyetleri ise iç hata (proje tarafından bulunan) ve dış hata (müşteri tarafından bulunan) maliyetleri olarak iki grupta tanımlanmaktadır (Aydın, 2014). İç hata maliyetleri inşaat evresinde tespit edilen hataların giderilmesine yönelik harcanan maliyettir. Dış hata maliyeti ise müşteri/kullanıcı tarafından tespit edilen hataların giderilmesine yönelik olarak harcanan maliyettir. Bu çalışmada hata maliyetlerinin proje performans ölçümlerinde ve kazanılmış değer analizinde kullanımı esas alınacaktır.

1.2. Kazanılmış Değer Analizi

Kazanılmış Değer (KD) kavramı 1960'lı yıllarda ABD Savunma Bakanlığı tarafından ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra 1967'de ABD Savunma Bakanlığı KD kavramını 35 kritere dayalı "Cost/Schedule Control Systems Criteria(C/SCSC)" adıyla geliştirmiştir. Bu kriterler savunma sanayi yüklenicilerinin mali kontrol aracı olarak kabul edilmiştir.1996 yılında sadeleştirilip,

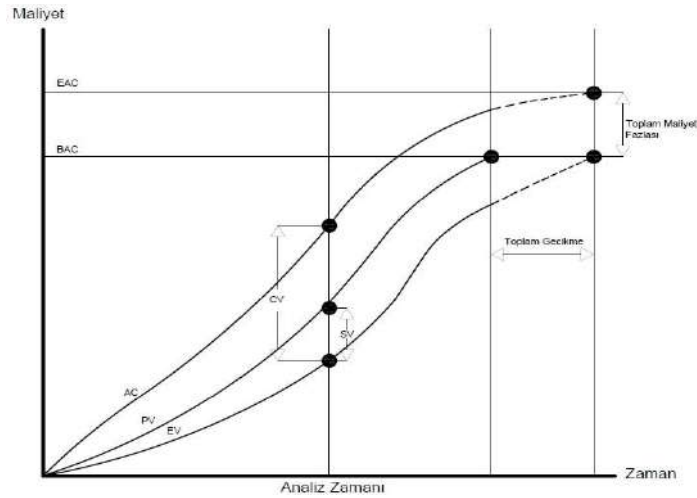
geliştirilerek “Kazanılmış Değer Analizi (KDA)” olarak yeniden adlandırılmıştır (Khamidi vd., 2011). Revize edilen bu yöntem, o günden beri ABD Enerji Bakanlığı, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), ABD Savunma Bakanlığı gibi çeşitli devlet kurumlarında kullanılmaktadır (Waris vd.,2012). KDA yöntemi, son yıllarda birçok ülke tarafından kamu ve özel sektördeki inşaat projelerinde, süre ve maliyet kontrolü sağlamak için sıklıkla kullanılmaktadır (Kwon vd., 2008).

KDA, proje yönetiminde sıklıkla kullanılan, süre, maliyet ve teknik performansı birleştiren projelerin ilerlemesini ölçmek, proje süresini ve maliyetini tahmin etmek için kullanılan etkili bir performans ölçüm yöntemidir. KDA yöntemi, proje ekibinin zamanında düzeltici önlemler almasını mümkün kılmaktadır. KDA hesaplamalarının yapılabilmesi için üç ana veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar; Planlanan Değer (PV), Gerçekleşen Değer (AC) ve Kazanılmış Değerdir (EV) (Gupta, 2014).

Bu çalışmada kullanılan başlıca KDA ile ilgili tanımlar ve formüller Tablo 1’de gösterilmektedir.

Eğer: $SPI=1$ ise gerçekleşen iş programı planlanan ile aynı, $SPI>1$ ise gerçekleşen ilerleme planlanandan daha hızlı, $SPI<1$ ise gerçekleşen ilerleme planlanandan daha yavaştır.

Eğer: $CPI = 1$ ise maliyet performansı tam ve gerçekleşen işin maliyeti bütçelenen maliyete eşit, $CPI < 1$ ise gerçekleşen işin maliyeti, planlanmış bütçenin üstünde, $CPI > 1$ ise gerçekleşen işin maliyeti, planlanmış bütçenin altındadır.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.1.Planlanan Değer (PV), Gerçekleşen Değer (AC) ve Kazanılmış Değerin (EV) görünümü

Şekil 1’de Planlanan Değer (PV), Gerçekleşen Değer (AC) ve Kazanılmış Değerin (EV) maliyet-zaman grafiği görülmektedir. Program sapması değerinin eksi çıkması planlanan takvimin gerisinde olduğunu gösterir, projenin ne kadar geciktiği hakkında bilgi vermez. Maliyet sapmasının eksi değerde olması ise, proje maliyetinin planlanan bütçeyi aştığını gösterir.

1.3. İnşaat Projelerinde KDA ile İlgili Çalışmalar

Kazanılmış değer analizi konusunda inşaat sektöründe yerli ve yabancı birçok araştırmacı tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bahar (2008) tarafından yapılan çalışmada, Marmaray Projesi’ne MS Project yazılımı ile KDA yöntemi uygulanmıştır. Maliyet ve program sapmaları hesapları ile projenin gidişatı ve geleceği hakkında tahminler ortaya konulmuş, projenin tahmini bitirme maliyeti ve bitirme süresi hesaplanmış,

hedef maliyet ve süreye ulaşılması için alınması gerekli tedbirler değerlendirilmiştir (Bahar,2008). Gürbüz (2010) KDA metodunu, MS Project yazılımı yardımı ile bir tersane projesine uygulanmıştır. Ülkemizde kamu ve özel sektör ayrımı olmaksızın planlama ve denetime yeterince önem verilmediği sonucuna varmıştır (Gürbüz, 2010).

Hanna vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, elektrik yüklenicilerinin inşaatın ilerlemesini izlemesine, projeye ilişkin öngörülerde bulunmasına, sahada meydana gelen sorunları ortaya çıkarmasına ve projedeki sorunlara mümkün olduğunca erken yanıt vermesine olanak sağlayan kazanılmış değer yönetim sistemi bir vaka çalışması üzerinde açıklanmıştır (Hanna, 2012). Shaik vd. (2014) tarafından yapılan bir diğer araştırmada, bir inşaat projesinin zamanında tamamlanmasına odaklanılmış, kazanılmış değer analizinin sunmuş olduğu izleme ve kontrol rolü proje genelinde incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, kazanılmış değer analizi yöntemi uygulanarak projenin başında potansiyel sorunların tespit edildiği ve proje genelinde olası maliyet ve zaman sapmalarının bu yöntem sayesinde kontrol edilebildiği tespit edilmiştir (Shaik vd., 2014).

Nkiwane vd. (2016) tarafından Güney Afrika’da bir altyapı inşaat projesine ilişkin yapılan çalışmada, kazanılmış değer yönetiminin izlenmesi ve doğrudan kullanımı araştırılmış ve proje maliyetine olan etkisi değerlendirilmiştir (Nkiwane vd., 2016). Susanty vd. (2016) tarafından bir hastane projesinin maliyet ve zaman performansları KDA ile değerlendirilmiştir. Zaman ve maliyet performansı sonuçlarına dayanarak projenin istenilen zaman ve maliyette bitirilebilmesi için projenin uygulanmasını hızlandırılması gerektiği tespit edilmiş, bu doğrultuda proje yeniden planlanmıştır. Hastane projesinin yeniden yapılandırılmasında ise PERT yaklaşımı kullanılmıştır (Susanty vd., 2016). Eirgash vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, kazanılmış değer analizi yöntemi kullanarak küçük ölçekli bir inşaat projesinin performans ölçümünün teorik ve pratik boyutunu göstermek amaçlanmıştır. Ayrıca, KDA uygulaması ile proje performansının analiz edilmesi detaylı olarak anlatılmıştır.

Karaman ve Son (2018) tarafından yapılan çalışmada, yapımı tamamlanmış bir inşaat projesine ait bazı iş kalemlerinin KDA ya göre değerlendirilmesi yapılmış, süre ve maliyet performanslarına ilişkin analiz sonuçları incelenmiştir Koçak (2018) tarafından yapılan çalışmada, kazanılmış değer analizi yöntemi, Primavera P6 programı kullanılarak Rusya Federasyonu’nda 2016–2018 yılları arasında gerçekleştirilen bir alışveriş merkezi yapım işine uygulanmış, elde edilen sonuçlar listelenmiş ve bulgular tartışılmıştır. Urgiles vd. (2019), karmaşık hidroelektrik enerji üretim projelerinde simülasyon modellerine dayandırılan süre ve maliyet parametrelerini kazanılmış değer analizi yöntemi ile analiz etmiştir. Araştırma sonuçları, maliyet tahmininin zaman içinde giderek doğru sonuçlar verdiğini, ancak süre tahminlerinin yeterince güvenilir olmadığını göstermiştir (Urgiles vd., 2019).

İncelenen çalışmalarda çoğunlukla proje üzerinden KDA uygulamaları yapılmış, projelere ait süre ve maliyet performansları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak proje yönetiminin üç temel yapıtaşından biri olan “kalite” faktörünün de KDA yöntemine dâhil edilmesi amaçlanmıştır. Benzer üç proje üzerinden imalatlar için teslimat aşamasında, müşteri memnuniyeti için harcanan zaman ve maliyet kalemleri hesaba katılarak KDA verilerinin ne oranda değiştiği incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, İstanbul ili, Alibeyköy ilçesinde üç farklı konut projesine ait inceleme işlerine ilişkin veriler kullanılmıştır. Her bir proje için dokuz farklı imalat kalemi belirlenip imalatlara ait bütçeler hesaplanmıştır. Her üç projenin de başlangıç ve bitiş tarihleri aynıdır. İş miktarı fazla olan projede iş programını yakalamak adına diğer projelerdeki ekiplerle aynı nitelikte çalışan sayısı artırılmıştır. Üç projede de çalışan ekiplerin günlük çalışma saatleri ve kişi başı günlük yapılan iş miktarı aynıdır.

Projelerin sözleşme başlangıç tarihi 15.02.2018 olmasına rağmen fiili başlangıç tarihi 25.02.2018'dir. Geçen on günlük süre mobilizasyon, iş gücü ve ekipman tedariki için kullanılmıştır. Projelerin bütçeleri, birim fiyatların toplam metrajla çarpılmasıyla bulunmuştur. A, B ve C şeklinde adlandırılan her üç projenin bütçeleri sırasıyla; 2.327.831,68 TL, 1.361.728,89 TL, 1.565.917,25 TL'dir. Her üç proje için de planlanan proje bitiş tarihi 03.03.2019'dur. Toplam proje süresi ise 381 gün olarak hesaplanmış projelere 190. günde, yani 24.08.2018'de, 1.KDA uygulanmıştır.

Günümüz inşaat sektöründe kendisinden önceki imalatın teslimatı yapılmadan sonraki imalatlara başlanılmamaktadır.

Tablo 1. Kazanılmış Değer (EV) ile İlgili Tanımlar ve Formüller

İsim	Tanım	Formül
Planlanan Değer (PV)	Projenin/faaliyetin planlanan bütçesidir.	-
Gerçekleşen Değer (AC)	Gerçekleşen işin gerçekleşen maliyetidir.	-
Kazanılmış Değer (EV)	Gerçekleşen işin bütçelenen maliyetidir.	$EV = \text{Tamamlanma Yüzdesi} \times BAC$ (Tamamlanmadaki Bütçelenen Maliyet)
Program Sapması (SV)	Tamamlanmış olan işlerin değeri ile planlanmış olan işlerin değeri arasındaki farktır.	$SV = EV - PV$
Program Başarı Endeksi (SPI)	Tamamlanmış olan işlerin değerinin planlanan değere bölünmesiyle bulunur.	$SPI = EV / PV$
Maliyet Sapması (CV)	Tamamlanmış olan işlerin değeri ile gerçekleşen işlerin maliyetleri arasındaki farktır.	$CV = EV - AC$
Maliyet Başarı Endeksi (CPI)	Tamamlanmış olan işlerin değerinin gerçekleşen değere bölünmesiyle bulunur.	$CPI = EV / AC$
Toplam Bütçe (BAC)	Proje veya faaliyet için toplam planlanan bütçedir.	-
Tahmini Bitiş Maliyeti (EAC)	Projenin tamamlanma zamanı için öngörülen maliyettir.	$EAC = PV / CPI$
Tamamlanma Maliyetindeki Sapma (VAC)	Tahmini bitiş maliyeti ile toplam bütçe arasındaki farktır.	$VAC = EAC - BAC$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tablo 2'de imalatların başlangıç ve bitiş tarihleri görülmektedir. Bu tarihler üç proje için de geçerlidir. 24.08.2018 (190. gün) tarihine kadar geçen sürenin, imalat süresine oranı planlanan ilerleme yüzdelerini vermektedir. Tablo 2'de hesaplanan planlanan ilerleme yüzdelerinin Tablo 3'deki imalat

Örneğin; duvar imalatlarının teslimatı bitirilmeden alçı sıva imalatına veya şap ve zemin düzeltme imalatlarının teslimatı bitirilmeden seramik imalatlarına başlanılmamaktadır. Projenin planlanan seyrinde ilerleyebilmesi, teslimatların zamanında yapılması ve imalat kalitesinin istenilen düzeyde olmasına bağlıdır.

Bu çalışmada kalite faktörünün performans endekslerine etkisi araştırıldığı için, aynı günde (24.08.2018 tarihinde) yapılan iki analizden 1.KDA'ya teslimat sırasında harcanan süre ve maliyetler dahil edilmeyip, 2. KDA'ya ek süre ve maliyetler atanarak performans endekslerinin proje ve imalat düzeyinde nasıl değiştiği araştırılmıştır. İnce inşaat işlerinde imalatlar bittikten sonra işin teslimi sırasında müşteri beklentilerini karşılamak adına harcanan bu ilave süre ve maliyetler, aslında hedeflenen "kalite" için harcanmıştır. Bu çalışmada, KDA uygulamalarına dâhil edilmeyen, proje yönetiminin üç temel ayağından biri olan kalite faktörünün KDA'ya dâhil edilmesi amaçlanmıştır.

maliyetleriyle çarpılmasıyla 190. gündeki planlanan imalat maliyetleri bulunmuş, imalat maliyetlerinin toplanmasıyla da proje maliyetleri elde edilmiştir.

Tablo 3'de gösterilen planlanan maliyetler 1. ve 2. KDA uygulamaları için de kullanılmıştır. Çünkü planlanan maliyetler iş programına bağlı olduğundan değişmemektedir.

Tablo 2. İmalatların Başlangıç, Bitiş Tarihleri ve Planlanan İlerleme Yüzdeleri

İmalatlar	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	İmalat Süresi (gün)	190. Gün	190. Güne (24.08.2018) Kadar Geçen Süre (gün)	24.08.2019 Günü Planlanan İlerleme Yüzdesi (%)
Duvar imalatları	25.02.2018	10.10.2018	227,00	24.08.2018	180	79,30
Su ve ısı yalıtımı imalatları	5.05.2018	29.09.2018	147,00	24.08.2018	111	75,51
Alçı sıva imalatları	2.04.2018	12.10.2018	193,00	24.08.2018	144	74,61
Kara sıva imalatları	28.03.2018	21.09.2018	177,00	24.08.2018	149	84,18
Şap ve zemin düzeltme imalatları	5.05.2018	29.09.2018	147,00	24.08.2018	111	75,51
Alçıpan imalatları	17.05.2018	14.02.2019	273,00	24.08.2018	99	36,26
Boya imalatları	11.08.2018	3.03.2019	204,00	24.08.2018	13	6,37
Seramik imalatları	4.06.2018	7.11.2018	156,00	24.08.2018	81	51,92
Dış cephe kaplama imalatları	25.06.2018	16.11.2018	144,00	24.08.2018	60	41,67

Tablo 3. Projelere Ait Planlanan Maliyetler

	A Projesi		B Projesi		C Projesi	
	Proje maliyeti (BAC)	Planlanan maliyet (PV)	Proje maliyeti (BAC)	Planlanan maliyet (PV)	Proje maliyeti (BAC)	Planlanan maliyet (PV)
	2.327.831,68TL	1.323.851,38 TL	1.361.728,89 TL	821.592,19 TL	1.565.917,25 TL	960.357,76 TL
Duvar imalatları	640.749,65 TL	508.083,42 TL	434.462,61 TL	344.507,80 TL	508.285,57 TL	403.045,83 TL
Su ve ısı yalıtımı imalatları	33.631,17 TL	25.394,97 TL	20.921,34 TL	15.797,75 TL	19.812,80 TL	14.960,69 TL
Alçı sıva imalatları	374.183,88 TL	279.183,83 TL	220.871,09 TL	164.795,01 TL	230.215,67 TL	171.767,13 TL
Kara sıva imalatları	64.020,07 TL	53.892,60 TL	83.698,49 TL	70.458,05 TL	135.039,47 TL	113.677,29 TL
Şap ve zemin düzeltme imalatları	196.434,28 TL	148.327,93 TL	90.402,99 TL	68.263,48 TL	103.036,15 TL	77.802,81 TL
Alçıpan imalatları	539.668,39 TL	195.703,92 TL	206.075,11 TL	74.730,53 TL	200.147,71 TL	72.581,04 TL
Boya imalatları	262.635,52 TL	16.736,58 TL	152.858,36 TL	9.740,97 TL	173.890,16 TL	11.081,24 TL
Seramik imalatları	61.582,66 TL	31.975,61 TL	95.378,23 TL	49.523,31 TL	136.380,03 TL	70.812,71 TL
Dış cephe kaplama imalatları	154.926,06 TL	64.552,53 TL	57.060,67 TL	23.775,28 TL	59.109,69 TL	24.629,04 TL

Tablo 3'e göre 24.08.2018'de A, B ve C projelerine ait planlanan maliyetler sırasıyla; 1.323.851,38 TL, 821.592,19 TL ve 960.357,76 TL olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Tablo 3'te 24.08.2018'de güncel ilerleme yüzdelerine göre projelere ait

kazanılmış değerler ve gerçekleşen maliyetler de dikkate alınarak 1. KDA'nın performans endeksleri hesaplanmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi 1.KDA'ya teslimat aşamasında ilave harcanan süre ve maliyetler dâhil edilmeyip ilave süre ve maliyetler 2. KDA'da atanmıştır. Böylece iki analiz sonucunu karşılaştırabilme imkânı doğmuştur. İlave süre, projenin geç

bitmesi anlamına geldiğinden, 24.08.2018'de güncel ilerleme yüzdesi azalmaktadır. Bunun sonucunda da kazanılmış değerler değişmektedir. İlave maliyetler ise, gerçekleşen maliyetin artmasına yol açmıştır. Yeni hesaplanan kazanılmış değer ve gerçekleşen maliyet verilerinden 2. KDA'nın performans endeksleri hesaplanmıştır.

Tablo 4. Proje Düzeyinde SPI ve CPI Değerlerinin Karşılaştırılması

	A Projesi				B Projesi				C Projesi			
	SPI		CPI		SPI		CPI		SPI		CPI	
	1. KDA	2. KDA	1. KDA	2. KDA	1. KDA	2. KDA	1. KDA	2. KDA	1. KDA	2. KDA	1. KDA	2. KDA
Duvar imalatları	0,92	0,87	0,83	0,78	0,97	0,95	1,00	0,97	0,93	0,90	1,06	1,01
Su ve ısı yalıtımı imalatları	0,83	0,81	0,70	0,65	0,83	0,81	0,88	0,79	0,89	0,88	0,91	0,86
Alçı sıva imalatları	0,90	0,82	0,88	0,79	0,83	0,80	0,87	0,82	0,84	0,82	0,91	0,86
Kara sıva imalatları	0,84	0,80	0,73	0,61	0,89	0,89	0,90	0,86	0,99	0,98	1,03	1,01
Şap ve zemin düzeltme imalatları	0,90	0,88	0,81	0,77	0,83	0,82	0,92	0,91	0,87	0,86	1,02	0,98
Alçıpan imalatları	0,90	0,89	0,84	0,82	0,93	0,92	0,94	0,90	0,80	0,79	0,97	0,92
Boya imalatları	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	0,81	0,79	0,59	0,35	0,34	0,24	0,19
Seramik imalatları	0,78	0,75	0,75	0,60	0,74	0,71	1,08	0,93	0,89	0,87	0,93	0,89
Dış cephe kaplama imalatları	0,93	0,89	0,88	0,77	0,95	0,92	0,96	0,80	0,78	0,75	0,82	0,68
Kümülatif performans endeksleri	7,00	6,70	6,42	5,78	7,79	7,63	8,34	7,57	7,33	7,19	7,90	7,40
Artış oranı	-0,04		-0,10		-0,02		-0,09		-0,02		-0,06	
	%4 düşüş		%10 düşüş		%2 düşüş		%9 düşüş		%2 düşüş		%6 düşüş	

Tablo 4'te 1. ve 2. KDA sonuçlarına göre proje düzeyinde, kümülatif SPI ve CPI değerlerine bakıldığında A projesinin SPI değerinde %4, CPI değerinde %10 oranında düşüş gözlenmektedir. B projesinin SPI değerinde %2, CPI değerinde

%9 oranında düşüş gözlenmektedir. C projesinin ise SPI değerinde %2, CPI değerinde %6 oranında düşüş gözlenmektedir. Aynı çalışmalar aşağıda Tablo 5 ve Tablo 6'da imalat düzeyinde incelenmiştir.

Tablo 5. İmalat düzeyinde SPI Değerlerinin Karşılaştırılması

İmalatlar	Duvar		Su ve ısı yalıtım		Alçı sıva		Kara sıva		Şap ve Zemin Düzeltme		Alçıpan		Boya		Seramik		Dış cephe kaplama	
	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.
1. ve 2. KDA'lar																		
A Projesi	0,92	0,87	0,83	0,81	0,90	0,82	0,84	0,80	0,90	0,88	0,90	0,89	0,00	0,00	0,78	0,75	0,93	0,89
B Projesi	0,97	0,95	0,83	0,81	0,83	0,80	0,89	0,89	0,83	0,82	0,93	0,92	0,83	0,81	0,74	0,71	0,95	0,92
C Projesi	0,93	0,90	0,89	0,88	0,84	0,82	0,99	0,98	0,87	0,86	0,80	0,79	0,35	0,34	0,89	0,87	0,78	0,75
Kümülatif performans endeksleri	2,81	2,72	2,55	2,50	2,57	2,44	2,72	2,66	2,60	2,56	2,63	2,60	1,18	1,15	2,41	2,33	2,66	2,56
Artış oranı	-0,03		-0,02		-0,05		-0,02		-0,02		-0,01		-0,02		-0,03		-0,04	
	%3 düşüş		%2 düşüş		%5 düşüş		%2 düşüş		%2 düşüş		%1 düşüş		%2 düşüş		%3 düşüş		%4 düşüş	

Tablo 5'e göre imalat düzeyinde üç projenin verilerinden hareketle 1. ve 2. kazanılmış değer analiz sonuçlarının kümülatif performans endeksleri karşılaştırıldığında en fazla süre kaybına neden olan imalatın %5'lik düşüşle alçı sıva imalatı olduğu tespit edilmiştir. Bütün imalatlarda teslimat aşamasında ilave süre harcandığı için, bütün SPI değerinin düşeceği önceden söylenilebilir.

Tablo 6. İmalat düzeyinde CPI Değerlerinin Karşılaştırılması

İmalatlar	Duvar		Su ve ısı yalıtım		Alçısiya		Karasıya		Şap ve Zemin Düzeltme		Alçıpan		Boya		Seramik		Dış cephe kaplama	
	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.
1. ve 2. KDA'lar																		
<i>A Projesi</i>	0,83	0,78	0,70	0,65	0,88	0,79	0,73	0,61	0,81	0,77	0,84	0,82	0,00	0,00	0,75	0,60	0,88	0,77
<i>B Projesi</i>	1,00	0,97	0,88	0,79	0,87	0,82	0,90	0,86	0,92	0,91	0,94	0,90	0,79	0,59	1,08	0,93	0,96	0,80
<i>C Projesi</i>	1,06	1,01	0,91	0,86	0,91	0,86	1,03	1,01	1,02	0,98	0,97	0,92	0,24	0,19	0,93	0,89	0,82	0,68
Kümülatif performans endeksleri	2,89	2,76	2,48	2,30	2,66	2,46	2,66	2,48	2,76	2,67	2,76	2,64	1,03	0,79	2,77	2,41	2,67	2,25
Artış oranı	-0,05		-0,08		-0,07		-0,07		-0,03		-0,04		-0,23		-0,13		-0,16	
	%5 düşüş		%8 düşüş		%7 düşüş		%7 düşüş		%3 düşüş		%4 düşüş		%23 düşüş		%13 düşüş		%16 düşüş	

Tablo 6'ya bakıldığında, imalat düzeyinde üç projenin verilerinden hareketle analiz sonuçlarının kümülatif performans endeksleri karşılaştırılırsa, en fazla maliyet kaybına neden olan imalatın %23'lük düşüşle boya imalatı olduğu görülmüştür. Bütün imalatlarda teslimat aşamasında ilave maliyet artışı olduğu için, bütün CPI değerlerinin düşeceği önceden düşünülebilir.

4. Sonuç

Proje yönetiminde zaman-maliyet-kalite üçlüsü birbirinden ayrılmaz bir bütündür. Projelerin başarılı olabilmesi için zaman, maliyet ve kalite hedeflerinin bir bütün olarak yakalanması önemlidir. Proje yöneticileri çoğu zaman maliyet ve zaman hedeflerini kalite hedeflerinden önde tuttuğu için projelerde başarısızlıklar görülebilmektedir.

Günümüz inşaat sektöründe müşteri odaklı satış ve pazarlama politikaları geliştirilmiştir. İnşaat sektöründe müşteri beklentilerini ve gereksinimlerini karşılamak zorunlu hale gelmiştir. Çünkü küreselleşmeyle birlikte rakipleri artan şirketler bu rekabet ortamında ayakta kalabilmek için kaliteye maliyet ve zaman kadar önem vermek mecburiyetindedir. İnşaat şirketleri rekabet ortamında pazarda yerini koruyabilmek için proje tesliminden sonra 5 yıla kadar garanti vermektedir. Garanti süresince yapılan tüm bu harcamalar aslında kaliteli ürün veya mal satımının devamlılığını sürdürmek içindir.

KDA, projelerin maliyetini ve zamanını tahmin etmek için kullanılan performans ölçüm yöntemidir. KDA yönteminde sadece zaman ve maliyet unsurları dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır. Bu çalışmada, ince inşaat işlerinde proje teslimi ve sonrasında müşteri beklentilerini ve gereksinimlerini karşılamak adına yapılan harcamalar, ilave zaman ve maliyet olarak 2. KDA hesaplamalarına dâhil edilmiştir. 2. KDA uygulamasında, performans endekslerinin proje ve imalat düzeyinde nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bunun sonucunda 1. ve 2. KDA sonuçlarını karşılaştırma fırsatı doğmuş ve KDA yöntemine maliyet ve sürenin yanına kalite faktörü, dâhil edilerek daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Kalite faktörünün devreye girmesiyle performans endekslerinde belli yüzdelerde düşüş olduğu görülmüştür. Ayrıca, hedeflenen kaliteyi yakalamak için hangi imalatın en fazla süre kaybına, hangisinin en fazla maliyet kaybına neden olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma doğrultusunda, diğer sektörlerde de KDA yöntemine kalite faktörünün etkisi araştırılmalıdır. Bundan

sonraki çalışmalarda, KDA yöntemine zaman-maliyet-kalite üçlüsünü dâhil edecek tüm sektörlerde kullanılabilir ortak bir teknik geliştirilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- Aydın, M. K. (2014). "İnşaat Projelerinde Kalite Yönetimi Uygulamaları, Erişim Tarihi", 01.09.2019. http://www.mustafakemalaydin.com/wp-content/uploads/2014/08/Insaat_Projelerinde_Kalite_Yonemi_Uygulamalari.pdf.
- Bahar M., (2008). "Hizmet Alımı Tipli Sözleşmelerde Kazanılmış Değer Analizi Modeli ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Boukamp F. & Akinci B. (2007). "Automated processing of construction specifications to support inspection and quality control, *Automation in Construction*." Elsevier, New-York, USA, Vol. 17, No. 1, 90- 106.
- Dahlgaard, J. J., Kristensen, K., & Kanji, G. K. (1992). Quality costs and total quality management. *Total quality management (Print)*, 3(3), 211-221.
- Eirgash, M. A., Toğan, V., & Kazaz, A. (2017). "Application of Earned Value Based Metrics to Enhance the Performance Measurement of Engineering Project Management", *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (ICOCEE 2017 Özel Sayı), 431-439.
- Feigenbaum, A. V. *Total Quality Control*, 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill, Inc., 1991.
- Gupta, R. (2014). "Earned Value Management System", *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 2/4, 160-165.
- Gürbüz A. (2010). "Kazanılmış Değer Analizi Metodunun Bir Tersane Projesine Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknoloji Enstitüsü, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Hanna, A. S. (2011). "Using the Earned Value Management System to Improve Electrical Project Control", *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), 449-457.
- ISO 9000:2000: Kalite Yönetim Sistemleri – Temel Terimler ve Sözlük
- Kaplan O. (2012). "Proje Yönetiminde Maliyetlerin Minimasyonu ve İnşaat Sektöründe Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Koçak S. (2018). “İnşaat Projelerinde Kazanılmış Değer Analizi ile Primavera P6 Destekli Maliyet Kontrolü ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kwon, O., Kim, S., Paek, J., and Eom, S. (2008). “Application of earned value in Korean construction industry – a case study”, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 7, 69 – 76.
- Nassar, N. K. (2009). “An integrated framework for evaluation of performance of construction projects.” PMI Global Congress 2009, North America, Orlando, FL.
- Nkiwane, N. H., Meyer, W. G., & Steyn, H. (2016). “The Use of Earned Value Management for Initiating Directive Project Control Decisions: A Case Study”, *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(1), 192-203.
- Shaik, M. M., Devanand, R., & Harsha, H. N. (2014). “An Analysis on Resource Planning, Cost Estimation & Tracking of Project by Earned Value Management”, *International Journal of Engineering & Innovative Technology*, 4(4), 42-48.
- Solomon, P.J., and Young R.R. (2007). “Performance-based earned value.” J. Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Sower, V. E. ve Quarles, R. (2003). Cost of quality: Why more organizations do not use it effectively. In *ASQ World Conference on Quality and Improvement Proceedings* (pp. 625-637). Kansas: American Society for Quality.
- Susanty, A., Pekerti, A. L., & Sari, D. P. (2016). “Analisis Kinerja Proyek Pembangunan Rumah Sakit Banyumanik II Dengan Menggunakan Earned Value Analysis (Eva) Dan Project Evaluation Review Technique (Pert)”, *J@ ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 11(2), 61-72.
- Urgilés, P., Claver, J., & Sebastián, M. A. (2019). “Analysis of the Earned Value Management and Earned Schedule Techniques in Complex Hydroelectric Power Production Projects: Cost and Time Forecast”. Complexity. <https://doi.org/10.1155/2019/3190830>, alındığı tarih:20.06.2019.
- Waris, M., Khamidi, M. F., & Idrus, A. (2012). “The Cost Monitoring of Construction Projects through Earned Value Analysis”, *Journal of Construction Engineering and Project Management*, 2(4), 42-45.



Scanning the Industry 4.0 Ecosystem in Turkey: Digitization and Innovation Studies

Muhammet Arucu^{1*}

¹ Bandirma Onyedü Eylül University, Department of Computer Technology, Bandirma, Turkey (ORCID: 0000-0001-7620-9044), marucu@bandirma.edu.tr

(First received 7 May 2020 and in final form 12 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.733659)

ATIF/REFERENCE: Arucu, M. (2020). Scanning the Industry 4.0 Ecosystem in Turkey: Digitization and Innovation Studies. *European Journal of Science and Technology*, (20), 50-55.

Abstract

Recent technological developments and innovations across the world has led to significant increases in industrial productivity since the beginning of the industrial revolutions. Steam-powered factories in the 19th century started mass production in the early twentieth century, and in the 1970s the industry became automated. In the following years, the industrial sector has further developed, with advances of industrial technology, particularly information technology, mobile communications and e-commerce. By the end of the Industry 3.0 revolution, which was the period of electronics and informatics (1970-2000), digital technologies, intelligent robots, large database, internet of objects, cloud system composed the industrial revolution of today (industry 4.0 or digital transformation). In this way, it is ensured that the value chains are integrated to each other in production and as a result, high efficiency is achieved with low production costs and increased production. Therefore, countries have been able to gain global competitive advantage by increasing their growth rate with increasing investment. In our country's industry, it is aimed to provide that production, quality and efficiency are increased by cyber physical systems developed with industry 4.0, creating common data, design and production bases. In order to ensure positive results from these studies, relevant ministries have prepared industry strategy documents. In this study, industrial and technological activities carried out in the digital transformation process in Turkey were examined.

Keywords: Industry 4.0 implementations, Digital transformation, Smart production, Industrial strategy

Türkiye'de Endüstri 4.0 Ekosisteminin Taranması: Dijitalleşme ve Inovasyon Çalışmaları

Öz

Dünya genelinde teknolojiye son gelişmeler ve yenilikler endüstriyel devrimlerin başlamasından bu yana endüstriyel üretkenlikte önemli artışlara yol açmıştır. 19. yüzyılda buharla çalışan fabrikaların 20. yüzyılın başlarında seri üretime başlamasıyla 1970' lerde endüstri otomatik işlevsellik kazanmıştır. Takip eden yıllarda, sanayinin sektörünün gelişimi özellikle bilgi teknolojisi, mobil iletişim ve e-ticaret olmak üzere endüstriyel alanlarda kullanılan teknolojilerin daha ileri bir noktaya gelmesiyle artmıştır. 1970-2000 yılları arasında etkin olan elektronik ve bilişim dönemi olarak bilinen Endüstri 3.0 devriminin sonlanmasıyla, dijital teknolojiler, akıllı robotlar, büyük veri tabanı, nesnelerin interneti, bulut sistemi günümüzün endüstriyel devrimini yani endüstri 4.0 çağını başlatmıştır. Bu şekilde değer zincirlerinin üretimde birbirleriyle bütünleşmesi sağlanarak düşük üretim maliyetleri ve artan üretim ile yüksek verimlilik elde edilir. Bunun doğal bir sonucu olarak dünya genelindeki ülkeler, artan yatırımlarla büyüme oranlarını artırarak küresel rekabet avantajına sahip olmuşlardır. Türkiye endüstrisinde, endüstri 4.0 ile geliştirilen siber fiziksel sistemler ile üretim, kalite ve verimliliğin artırılmasıyla ortak veri, tasarım ve üretim üsleri oluşturulması ana hedef noktası olmuştur. Bu çalışmalardan pozitif sonuçlar elde etmek için ilgili bakanlıklar endüstri stratejisi belgeleri oluşturmuşlardır. Bu çalışmanın en temel amacı ülkemizde dijital dönüşüm sürecinde gerçekleştirilen endüstriyel ve teknolojik faaliyetleri incelemektir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0 uygulamaları, Dijital dönüşüm, Akıllı üretim, Endüstriyel strateji

* Corresponding Author: marucu@bandirma.edu.tr

1. Introduction

Industry 4.0 constitutes the most current of industrial revolutions; machines in production systems are connected to each other thanks to sensor technology, data exchange takes place and, in this way, the factories of the future are built with the conversion of software and algorithms in a whole system into instant reports. Developing technologies, varying customer expectations and competitive conditions have forced product and service providers to explore various solutions for design and processing of products in manufacturing systems [1-3]. It is of great importance for countries to provide innovation, localization and transfer of technology in the industry, to increase the dynamism of the domestic market and foreign trade, to create new markets in the international arena for the domestic industry, to increase the quality of employment and labor force, to reduce the current deficit by increasing foreign exchange inputs. Within this framework, it is possible to take positive steps in the industry with the development of key technologies by analyzing product and technology needs through the most up-to-date solution of basic components of industry 4.0 [4]. In today's world, changing consumer and customer behaviors, technology progression and increasing digitalization, as well as business models, products and services, the experience how customers do business are questioning. In this interaction, they change to become the company that decides or establishes the rules of the game and impacts on the ecosystem in which they live. Footsteps of digital conversion without sector discrimination are currently gaining important part [5-8] in Figure 1.

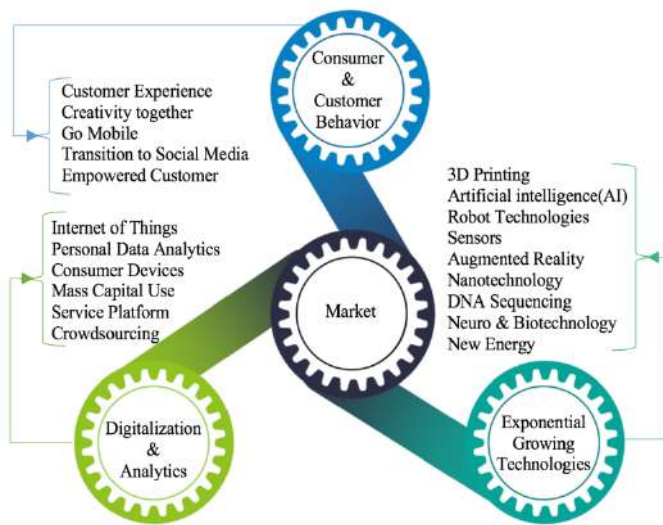


Figure 1: The Factors triggering digital conversion for industrial companies [6].

1.1. Industry 4.0 Ecosystem

Equipping the production lines with IoT-supported sensors in mechanization includes a wide range of areas, from automatically reporting the status of the system to notification/elimination of failures in the production line and from reducing production costs to improving digital marketing activities. Modern factories, which can be easily customized according to demand in the Industry 4.0, use artificial intelligence software that manages intelligent machines and robots equipped with sensors, cyber-physical systems monitoring physical processes and intelligent production lines for virtual copies of the physical world. As smart software

develops, it becomes easier to solve the problems on the production line immediately and on time. Thus, industry 4.0 establishes semi-centralized (distributed) structures in production, management and governance processes. This provides organizations with flexible manner in different areas, from competitiveness to production optimization and crisis management [9-10].

In future digital Technologies, Big Data, Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI) .etc will represent heart of the full industrial sector of production in Figure 2. For the industry 4.0 ecosystem, it is required to become supportive, common sense, collaborative, sensitive businesses. Industry 4.0 should not be an idea to be passed, it will actually constitute the entire infrastructure for the next generations. We need to build, support, experiment and invest in this ecosystem. Entrepreneurship should not be considered only in incubation centers, but also in the core of the company or in a room of house and in the drawings of notebooks [11-14].

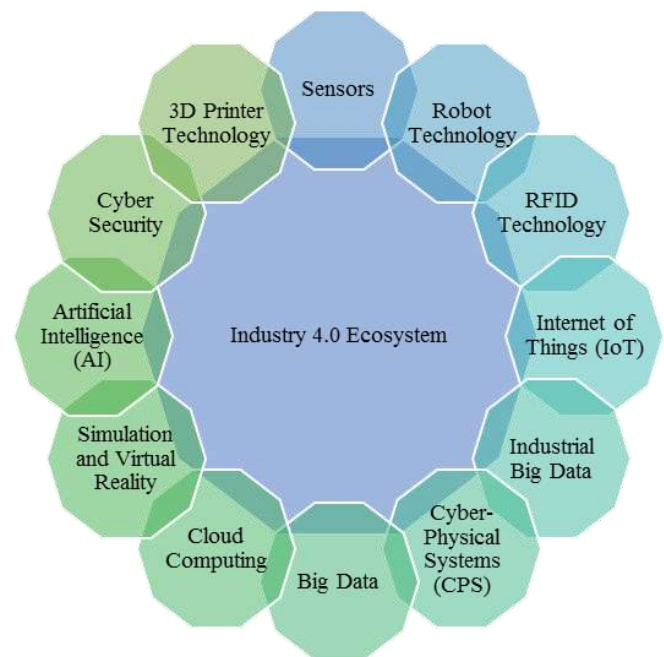


Figure 2: The key components of industry 4.0 digital manufacturing process

1.2. Sustainable Opportunities in Industry 4.0

In recent years, developing countries, which rely mostly on imports in their production, have also started to follow with this development. These countries need to further professionalize their industrial production to increase productivity, efficiency, quality and digitalization. The addition of digital technologies in production processes also fastens and grows production power. The growth of the economies, the change in the import-export balance, the formation of different business areas caused significant changes in the current system of life. Intelligent production processes, smart products and remotely intervenable systems will provide a high level of flexibility in production processes. Simultaneously, it will allow customers to be integrated into the system and pave the way for the production of products that can be customized at low costs in line with customer requests [15].

Offering advanced technology, virtual processes and high optimization, industry 4.0 has the potential to provide maximum

productivity at all stages, from product design to service ensuring economic growth, employment, social stability, lasting value, job security and greater productivity, and therefore high living standards. In addition, industry 4.0-based virtual 3D development, digital planning and monitoring, systematic identification of customer needs through virtually error-free production processes and the creation of new business processes makes production processes more efficient [15-16].

Globally, national economies are investing in large-scale initiatives to strengthen their manufacturing industries. Upon manufacturing technologies, emerging digital information processing paves new opportunities for industrial enterprises to be compatible with the future [17]. So that, it is comfortable that the concept of industry 4.0 is rapidly realizing itself. In the past years, the industries concentrating heavily on imports in their production have gathered around this concept and started to adapt to the processes step by step, facing the most significant problem as professionalization. As mentioned above, technological developments particularly focusing on digital computing increases the production speed of the industry continuously [18].

2. Methodology Mechanism

2.1. Industry 4.0 Studies in Turkey

The integration of production, design and administrative processes in the manufacturing sector with software, machines and robots is defined as industry 4.0. Industry 4.0 uses cyber-physical systems, sensors, artificial intelligence, analysis algorithms, IoT, cloud computing and cognitive analysis software. This section will present Turkey Current Status of Digital Conversion, needs, capabilities and industry 4.0 applications. It is seen that the western countries leading the digital transformation race in industry have made a significant progress in this area. Although it is thought that production will shift to western countries with digital transformation, China has become one of the countries that led the digital transformation by acting with foresight. Considering the ratio of Turkey's high-tech product exports and R & D investments to gross domestic product (GDP), it is seen that there is a long way to go in order to reach the leading countries in the digital transformation race in the industry [19-20].

Companies across the world are noticeably understanding that sustainable success is related to the adoption of new digital technologies within the scope of digital transformation in industry. In order to measure how quickly industrial companies in highly competitive economies can adapt to these new technologies, Boston Consulting Group (BCG) conducted a survey involving senior executives from some companies in Germany, USA, China, France and the UK [21].

Digital technologies to ensure the technological transformation that will enable production of higher value-added production and ecosystems as well as to integrate the entire value chain to produce these technologies are of great importance in Turkey. For this reason, technology producers and users in Turkey for measuring the competence level of the company and shortcomings of these companies is of great importance in the context of analysis of the current situation. In order to contribute to this purpose, extensive research has been conducted with technology users and suppliers within the framework of this study [22-23].

In the 10th development plan covering the years 2014-2018, it is stated that the importance of information increases gradually, especially in the countries such as India and China. The studies on technology export have increased and therefore the studies regarding technological development should be supported by the public without waiting for the private sector. In this regard, work has been started with technology centers [24].

In the latest development plan, it is stated that digital communication, nanotechnology, surface technologies, material sciences, metering devices, biotechnology and environmental technologies have been released especially in information technologies, automation and advanced production techniques and health technologies. In particular in these sectors, it is aimed to increase technological products as to improve productivity in all sectors. In order for this target, it is aimed to increase the production of technological products with technology incubation centers and techno parks. Additionally, strengthening the internet infrastructure of the country and increasing the number of people accessing the internet are among the targets. Developing technologies that increase productivity in production processes and support sustainable production, increasing the share of high technology sectors in manufacturing industry production and export, and increasing university industry cooperation are important for the transition to industry 4.0 [25].

2.2. Turkey Industrial Strategy Document and New Opportunities

Based on the analysis of economic developments in Turkey with a participative approach, Turkey Industrial Strategy Paper was prepared between 2015-2018. In this context; "Medium-high and high-tech products in Afro-Eurasia to the design and production base" as the overall objective of Turkey's Industrial Strategy, with its vision of "increasing the competitiveness of Turkish industry and productivity, higher share in world exports, mainly high value-added and accelerate the transformation of high-tech products into an industrial structure with a qualified workforce and at the same time sensitive to the environment and society. For the general purpose mentioned, three main strategic objectives have been determined in order to realize structural transformation in industry under the focus of industrial strategy [26-27].

Turkey to pioneer high-tech and value-added produce digitalized world, with the support of stakeholders has been prepared by the Ministry of Industry and Technology of 2023. Industry and Technology Strategy. This document Turkey's "National Technology and Strong Industry" for the vision of "High Technology and Innovation", "Digital Transformation and Industry Move" and "Entrepreneurship", "Human Capital" and "Infrastructure" including consists of five main components and twenty-three smart product goals in Figure 3 [27].



Figure 3: Industry and technology strategy for Turkey's 2023 targets for digital transformation in industry [27].

According to the report entitled "Turkey's Digital Transformation Capabilities in Industry", 61% of the company's employees in Turkey indicate that time is ready for digital conversion [21]. In the same report, the problems faced in the realization of digital transformation are high investment costs, uncertainty of return on investment, low demand for digital technologies of users. At the top of the difficulties encountered by technology user companies is the low level of awareness and the lack of qualified labor.

In this study, the awareness and investment plans of companies about digital transformation of manufacturing industry were investigated. While the firms are aware of the digital transformation in the field of additive manufacturing, it is found that the magnitude of awareness in the internet of things and big data areas is low and relatively less important for the future. In the methods of handling the financing demands of suppliers in digital transformation, equity is the first criteria while government supports are the second. In addition to benefiting mostly from government subsidies, financing deficiencies are defined as one of the main problems and expectations are determined to increase government policies.

Like in other countries, there are many effects of the fourth industrial revolution in Turkey. The industry sector, which aims to handle the sectoral requirements with a fast, reliable and innovative manner, is entering a new industrial reform period, industry 4.0, thanks to rapidly developing technology opportunities. In Turkey, due to the rapid industry currently in the automotive, industry 4.0 concept reduces the time to market by a considerable rate. Turkey due to its geopolitical position is expected to quickly complete the revolution transition [28-29]. Companies becoming a global brand leader (Siemens, Bosch, Festo, Mitsubishi etc.) in this revolution give importance to research and development (R & D) work in the factories located in Turkey.

With the growing economies and the parallel import-export balance, it is unlikely that many of the current business lines will continue in the coming period. The reason behind this is that rapidly developing advanced technological opportunities create new business lines. The most important difference between business lines is the adaptation of intelligent production processes to these systems. Together with intelligent production processes and the concepts of lower cost and more productivity, which can be considered as the essence of engineering, may also change equally. Industry 4.0 applications in Turkey focused on the automotive industry which is the fastest growing and emerging industry. Indeed, time taken to market the products in the automotive industry is significantly reduced because of usage of industry 4.0. With Turkey's emerging industrial facilities, it is necessary that Turkey must have a growth rate of 8.5% in economy to take part in the top 10 economies worldwide [27, 29]. This growth can be achieved by intelligent production processes and embedded system applications of advanced technological facilities, digital data processing capacity, the strongest communication between human to machine and the efficiency of the results obtained based on this communication. More flexible and efficient production, shortening time-to-market in Turkey which will gain Turkey to have a say in the use of advanced technology in the international arena but it will require effective and efficient use of technology.

3. Findings and Discussion

During the digitalization roadmap of Turkey's ministry of industry and technology in the industry, competence, research, infrastructure was extensively observed. These systems enable to test and optimize machine settings for the next product in the physical world, thus reducing machine installation times and improving quality. Industry 4.0 sensors are not just the Internet of Things and robots. The new generation of IoT-oriented industrial era concept, including the emergence of layered production (3D printing), robotics, enriched reality, artificial intelligence, has included exponential technologies that will reshape industries. Effective use of information can affect key business objectives such as your company's growth and business operations, enabling transformation across the value chain and its various stakeholders. The path to realizing industry 4.0 is clearly understood through how the physical can inform the digital or how the digital can inform the physical.

Effective usage of information determines critical business goals such as effective growth, and various stakeholders provide digital transformation in the value chain. On the road to realizing Industry 4.0, the process of conversion from physical to digital or digital to physical is well-understood. With the recent

improvements in the integration of information and operation technology, it is evaluated not only where the manufacturers are but also where they want to be in future. The digitalization of the sector will influence the growth of the production, thereby contributing to the growth of the company. Sectors with high-technology capabilities are most positively affected by digitalization. For this reason, it is absolutely necessary to digitize the sector in order to increase high technology productions and exports. Technologies, such as information and communication technology, to protect the security of basic resources (food, water and energy), new health technologies, new production and automation technologies will shape the digital transformation of the future.

Generally speaking, in the framework of industrial transformation in Turkey, the main focus should be particularly placed on high-tech and innovative technologies to robotics and automation, big data and analysis, artificial intelligence and intelligent systems topics. In this context, it is required to determine the digital transformation roadmap to point out the role of companies. In addition to the whole process, companies prone to some technological transformations are capable of making the necessary conversions within their own structure. There are important applications particularly in data security, robotics and IoT. These developments are not sufficient and companies need to take more steps to make efficient production using Industry 4.0 components.

Integration, one of the vital requirements of Industry 4.0, exports its products to many developed countries. Therefore, companies follow new road maps and workforce planning strategies in the digitization process. As digital and advanced production technologies have the potential to restore many jobs and professions, labor markets will also be affected by the Industry 4.0. The most important capital of the new age will be educated and qualified human resources. Therefore, the creation of a qualified workforce currently with the necessary skills to create a competitive workforce, Turkey aims to design and manage their own systems. The biggest challenge faced by technology manufacturers in Turkey, low awareness of the digital transformation of the sector, lack of funding, qualified manpower, are seen as major obstacles to digital conversion. In recent years, to overcome the obstacles with great emphasis on the IT sector in Turkey, programmers are trained and digitization work is accelerated for more research.

4. Conclusions

Turkey in 2023, country's industry towards industry 4.0 that aims to be a pioneer, as companies that want to offer a holistic approach for industry 4.0 services jointly aim to provide a common platform for the services. In addition to the prosperity gained in developed societies integrated into industry 4.0, the demographic structure of the world has changed as a result of the increase in unemployment, hunger and poverty in societies where common knowledge is not shared. There has been an increasing trend in the production processes and supply chains of companies that will increment the penetration of industry 4.0 concepts. The flow of information, advanced technologies and materials unlike IoT words of industry 4.0, it makes possible to produce completely new things in new ways and to revolutionize supply chains, production and business models. Business leaders should not think of one application without the other, and they must truly integrate and work together to inform each other in order to realize

all the benefits of industry 4.0. Effective use of information can affect key business objectives, such as business growth and business operations, and transformation between the value chain and its various stakeholders may be possible. The way to implement industry 4.0 requires a clear understanding of how physics can inform digital and vice versa.

Industry 4.0 taking into account the perspectives and awareness of the adaptation process improves the economic structure and strategic documents of Turkey to produce digital conversion systems, added value, facilitating the transition to high production and the competitiveness of the country. At the same time, developing Turkey's share in the global market will decline rapidly and producers will start to struggle in the domestic market. Integration products, one of the vital requirements of Industry 4.0, are high value added in smart production systems that facilitates the transition to production and sustainably increase the competitiveness of the country. As a result, this work examines industry leading companies with 4.0 adaptation process and sustainable industrial strategy document recognizes in Turkey.

In the digital age, industry 4.0 strategy and practices provide solutions to many different problems, and the results show that different types of problems can be found in this area. Industry 4.0 activities of Turkey in case of integration of strategic application is sufficient to make focus of the global market in the foreseeable future. The factories provided by the Internet of Things in Industry 4.0 and the completely unmanned production system, where the human element is scarce and integrated into all production processes, is to make the world more livable, to use all solutions developed for human life and to shape the society with this awareness. Companies should have a more competent workforce to effectively manage new production systems around digital technologies. Therefore, it is very important to create long-term training programs to gain additional qualifications that create value for the current workforce. With the transformation, increasing demand for specialized workforce in different disciplines will create new employment opportunities for qualified workforce.

References

- [1]. Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 11(5), 77-90.
- [2]. Özdoğan, O. (2017). Endüstri 4.0: Dördüncü Sanayi Devrimi ve Endüstriyel Dönüşümün Anahtarları. *Pusula*.
- [3]. Bauernhansl, T. (2016). WGP-Standpunkt Industrie 4.0. WGP, Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik.
- [4]. Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp, J. (2018). The role and impact of industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain—The case of Hungary. *Sustainability*, 10(10), 3491.
- [5]. Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). Industry 4.0: managing the digital transformation. Springer
- [6]. Deloitte, S. (2016). Türkiye'deki Dijital Değişime CEO Bakışı.
- [7]. Alper Can, İnovasyon Ekosistemi & Endüstri 4.0'a Geçiş, <https://medium.com> Nov 9, 2017. access date: 07.05.2020
- [8]. Möller, D. P. (2016). Digital manufacturing/industry 4.0. In *Guide to Computing Fundamentals in Cyber-Physical Systems* (pp. 307 375). Springer, Cham.
- [9]. Tuğçe Aslan, Kozan Demircan, Özlem Ayaz Arda, Endüstri 4.0 Neden Önemli ve Türkiye'de Nasıl Uygulanmalı?, Harvard

- Business Review Türkiye, 2018.
<https://hbrturkiye.com/blog/endustri-4-0-neden-onemli-ve-turkiye-de-nasil-uygulanmali> access date: 07.05.2020
- [10]. BAĞCI, E. (2018). Endüstri 4.0: Yeni Üretim Tarzını Anlamak. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi, 9(24), 122-146.
- [11]. Sniderman, B., Mahto, M., & Cotteleer, M. J. (2016). Industry 4.0 and manufacturing ecosystems: Exploring the world of connected enterprises. Deloitte Consulting.
- [12]. Büyükkalaycı, G., & Karaca, H. M. (2019). Pazarlama 4.0: Nesnelerin İnterneti. Third Sector Social Economic Review, 54(1), 463-477.
- [13]. Ulusoy, G., Kılıç, K., Özlü, E., Altekin, F. T., Çatay, B., Budak, E., ... & Varandi, S. (2017). Sanayide Dijitalleşme Stratejileri Çalıştayı-Taslak rapor.
- [14]. Nadir Elibol, Industry Period (4.0) And The Ministry Of Customs And Trade(Turkey), Gümrük ve Ticaret Dergisi, 9, 2017
- [15]. Tecim, V., & Tarhan, C. (2020). Turkey's Industry 4.0 Adventure: Dream or Realization. KnE Social Sciences, 426-437.
- [16]. Bilim, S., & Bakanlığı, T. (2015). Türkiye Sanayi Stratejisi Belgesi 2015-2018.
- [17]. Aytuğ, H. K. (2011). Küresel Rekabetin İşletmelerin Üretim Ve İstihdam Yapısı Üzerindeki Etkileri. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 2(2), 45-77.
- [18]. Kiliç, S., & Alkan, R. M. (2018). Dördüncü sanayi devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye değerlendirmeleri. Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, 2(3), 29-49.
- [19]. Genç, S. (2018). Sanayi 4.0 Yolunda Türkiye. Sosyoekonomi, 26.
- [20]. Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında türkiye analizi. ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi, 4(7), 55-77.
- [21]. Industry, T., & Business Association. (2017). Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği. TÜSİAD.
- [22]. TUSİAD, R. (2016). Türkiye 'nin Küresel Rekabetçiliği için Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0 Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi.
- [23]. MÜSİAD-Müstakil Sanayici ve İşadamları Derneği, Endüstri 4.0 ve Geleceğin Lojistiği, 2017 Lojistik Sektör Raporu, İstanbul, Kasım 2017 978-605-4383-56-6
- [24]. Bakanlığı, K. (2013). Onuncu kalkınma planı (2014-2018).
- [25]. Strateji, T. C., & Başkanlığı, B. (2019). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023).
- [26]. Bakanlığı, T. K. (2014). İmalat Sanayinde Dönüşüm Özel İhtisas Komisyonu Raporu (2014). Yayın No: KB. 2913 – ÖİK: 750, Ankara.
- [27]. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 2023 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi, <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/stratejik-planlar> access date: 07.05.2020
- [28]. Endüstri 4.0 Yolunda Türkiye'de Endüstri 4.0'ın Rehberi Olmak ve Endüstri 4.0 Yolunda: Dijital Fabrikalar, <http://www.siemens.com.tr/dijitalfabrikalar> access date: 07.05.2020
- [29]. Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu, <https://www.endustri40.com/endustri-4-0-surecinde-neredeyiz/> access date: 07.05.2020



A decision support model for unmanned aerial vehicles assisted disaster response using AHP-TOPSIS method

Abdullah Yıldızbaşı^{1*}, Lütfü Gür²

^{1*} Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8104-3392), ayildizbasi@ybu.edu.tr

² Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2011-6751), lutfugur33@gmail.com

(First received 15 May 2020 and in final form 12 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.737764)

ATIF/REFERENCE: Yıldızbaşı, A. & Gür, L. (2020). Unmanned Aerial Systems Assisted Disaster Response Decision with AHP and TOPSIS Method, (20), 56-66.

Abstract

The main objective of disaster response is to secure lives and livelihoods at first. However, policymakers need accurate information regarding disaster areas to make a quick decision right after the disaster. Especially at a large scale disaster, it is much more important to respond to it quickly due to the number of affected people. In the uncertain atmosphere of the disaster, decision-makers can utilize UAV (Unmanned Aerial Vehicles) to gather instant images of the disaster area for Search and Rescue Mission (SAR) and damage assessment. Also, it will be used as a communication tool between emergency units and the command center. This paper discusses the usage of UAV in a possible İstanbul earthquake. Considering the damages that may occur after a possible İstanbul earthquake, five criteria have been determined. These criteria have been weighted within the AHP (Analytic Hierarchy Process) method, and the TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) method has prioritized the districts of İstanbul according to these criteria (number of casualties, number of injured people, number of damaged buildings, number of hospitals and number of critical facilities). With the help of this ranking, when the İstanbul earthquake occurs, if a different duty was not given to UAVs, it was tried to be determined which districts should first look for the UAVs SAR mission.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles, Earthquake, Disaster Management, AHP, TOPSIS.

İnsansız hava araçları destekli afet müdahalesi için bir karar destek modeli: AHP-TOPSIS metodu

Öz

Afete müdahalenin temel amacı, öncelikle yaşamları ve yaşam kaynaklarını güvence altına almaktır. Bunu başarmak için, politika yapımcıların afetten hemen sonra hızlı karar verebilmeleri, bu sebeple afet bölgesi hakkında doğru bilgiye ihtiyaçları vardır. Özellikle büyük çaplı bir felakette, etkilenebilecek insan sayısı nedeniyle, daha hızlı bir şekilde cevap vermek çok daha önemlidir. Felaketin belirsiz atmosferinde karar vericiler, Arama ve Kurtarma Görevi (AVK) ve hasar değerlendirmesi için felaket alanının anlık görüntülerini toplamak için İHA'yı (İnsansız Hava Aracı/Vehicles) kullanabilirler. Ayrıca acil durum birimleri ile komuta merkezi arasında bir iletişim aracı olarak kullanılabilir. Bu makalede İHA'nın olası İstanbul depreminde kullanımı tartışılmaktadır. Olası bir İstanbul depreminden sonra meydana gelebilecek zararlar göz önüne alındığında, 5 kriter belirlenmiş (ölebilecek insan sayısı, yaralanabilecek insan sayısı, hasar görebilecek bina sayısı, hastane sayısı ve kritik tesisler), bu kriterler AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemiyle ağırlıklandırılmış ve TOPSIS yöntemi ile de bu ilçelerin önem sıralaması yapılmıştır. Bu sıralamanın yardımıyla, İstanbul depremi meydana geldiğinde, İHA'lara farklı bir görev verilmemişse, ilk olarak hangi bölgelerin AVK faaliyetinin yapılması gerektiği belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Deprem, Afet Yönetimi, AHP, TOPSIS.

* **Sorumlu Yazar:** 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

From 1900 to 2015, 35,000 natural disasters happened, approximately 8 million people died, and more than 7 trillion dollar damages occurred worldwide (Technology, 2018). If human-made disasters were added to this number, it would increase considerably. According to the studies of the International Disaster Database(Em-Dat), the total number of people affected by disaster is rising, but disasters related deaths are decreasing, costs of disasters are increasing, disasters are affecting emerging countries disproportionately, and the number of disasters is increasing annually (Gutierrez, 2008). All these make disaster management more important than ever. Although the importance of disaster mitigation and risk management preparedness increases day by day, the ability to respond after a disaster is the most important element. The period until the start of disaster is “risk management,” and the period after a disaster is “crisis management” (Tiwari, 2015).

The first and most important task during a disaster response is the protection of human life. Especially when a large-scale disaster occurs, its response should be large-scale, like the national or international level, to minimize loss. The first 72 hours after the disaster is vitally important, especially for the SAR mission, so disaster response must be fast and effective (Erdelj & Natalizio, 2016).

Policymakers, who have to manage a complex situation like disaster response, need to get accurate data about the disaster area in order to make the right decisions and then distribute the resources correctly. Inconsistency of information gathered from different stakeholders makes it almost impossible to make and apply the right decisions. Even the disaster might be a terrorist attack using a nuclear or chemical weapon. In those conditions, it is almost impossible to get reliable information about the contaminated area and it will be very difficult to assess the damage and apply the SAR mission (Spiers, 1986).

Therefore, after any disaster, decision-makers can use UAVs to watch disaster areas instantly and steer stakeholders expeditiously. Even if transportation and energy infrastructures are damaged, and the area is contaminated by flood, earthquake, avalanche, or any other disaster, UAVs can send live images of the disaster area to the command center. With the help of this, evacuation points, logistic routes, critical infrastructures' conditions, priority SAR areas can be decided. At the preparedness stage of the disaster, in a proactive way, possible damage of a disaster is predicted, and disaster drills are applied according to prepared scenarios. Yet all the possibilities can not be planned in the fuzzy atmosphere of the disaster. For that reason, disaster management must be flexible under all circumstances, and being flexible is possible with quick decision making.

Although each disaster has its own unique variables, in this study it is aimed to lead decision-makers quickly decide where to look first after the İstanbul earthquake through UAV. Therefore, 5 criteria; the number of casualties, the number of injured people, the number of damaged buildings, the number of hospitals, and the number of critical facilities were determined. Later, these criteria were weighted by the AHP method. According to these criteria, with the help of the report prepared by JICA in 2002 (JICA, 2002), the importance ranking was made with the TOPSIS method considering the damages that may occur in the districts after the earthquake according to these criteria.

The rest of the paper is organized as followed. Section two is prepared for related studies about UAV and disaster management. In the third section is the methodology of the paper. In this chapter, there is a brief summary of AHP and TOPSIS methods. The fourth part of the study is the findings of the paper, and there are results of the study, which are found by AHP and TOPSIS methods, and the final part of the work is the conclusion part, where the importance of this paper explained.

2. Literature Review

UAV(Unmanned Aerial Systems) is an autonomous or remote commanded aircraft that can carry loads and aerial photography. One of the most important features of UAV is that they can be used remotely or autonomously in dangerous and dangerous missions. In this context, UAV has many different uses such as geological surveys, international border patrols, exploration and surveillance, search and rescue, scientific research, and construction management. In addition, UAVs are used in disaster operations management for post-disaster. The initial assessment may include the damage level of the damaged areas in the disaster area and the condition of the transportation routes. Thus the situation after the disaster resource distribution planning can also be done more effectively as it can be better observed (Liu, Huang, Chen, & Han, 2014). Also, UAV can be used in disaster operations management to establish a makeshift communication network to create current maps of the disaster area and to find areas where rescue teams have more opportunities to save the victims (Camara, 2014).

Application areas frequently seen in the management of disaster operations of UAV are mapping affected areas after disasters, analyzing the images gathered, coordinating UAV networks, integrating UAV with other communication tools, and providing rapid and high-quality information transfer. However, when studies on UAV in the area of disaster management are analyzed, it is seen that UAVs are mostly used in post-disaster operations (Zurli, Leiras, & Bravo, 2015). For instance, Quaritsch et al. (Quaritsch, Kruggl, Wischounig-Strucl, & Bhattacharya, 2010), an air sensor network design and use of it in case of a disaster are discussed, and the use of integer linear programming model, instead of air sensor model, for the coverage problem of the optimum placement of these sensors, is discussed.

Mukherjee proposed a high altitude aerial platform that serves as a signal replenisher to increase the line of sight communication of UAV in post-disaster operations and developed data transfer between UAV and command center within a certain range (Mukherjee, ve diğerleri, 2014). Tuna et al., a UAV supported communication network was proposed to establish communication of UAV between employees in the field of search and rescue management in post-disaster scenarios (Tuna, Nefzi, & Conte, 2014). Luo et al. proposed a new cloud-supported UAV implementation framework to address the difficulties caused by network conditions where the connection was broken, disconnected and limited, by taking into consideration the post-disaster condition where the telecommunications infrastructures were damaged (Luo, Nightingale, Asemota, & Grecos, 2015). In the study conducted by Restas, the use of UAV for different disaster situations (earthquake, flood, forest fire, nuclear accident, and hazardous substance release) at operational and tactical levels was studied (Restas, 2015).

In order to establish efficient search and rescue systems with UAV support, some critical parameters need to be considered,

including the energy limitations of UAV, the quality of gathered data, and hazards in the environment in which UAV systems operate. Mario et al. studied a multifunction UAV for mountain search and rescue operations. They aim to determine which properties UAVs should have. For example, in a mountainous terrain search and rescue mission, UAVs could be working low temperatures, high altitude, various payloads, and weather conditions. Also, UAV must be equipped with a high-resolution performance camera to gather better visual and thermal data (Silvagni, Tonoli, Chiaberge, & Zenerino, 2016).

UAVs are used in many different areas, as mentioned above, including the management of disaster search and rescue operations. Various problem types for the use of UAV in these areas are discussed in the field, and this study focuses on UAV route planning (route planning, routing) problems in disaster management. There are many studies addressing the UAV route planning problem in different aspects. For example, Lee presented a path planning strategy for a UAV to track a vehicle that could change its speed and waypoint (Zennaro, 2003). A decision support system was developed by using an integer programming model for route planning of UAVs (Gencer, Aydoğan, & Kocabaş, 2009).

Mufalli proposed a mathematical programming model for simple missions and various heuristic algorithms for problems, taking into account the selection of sensors used in UAVs and routing of UAVs from the targets set in military reconnaissance tasks (Mufalli, Batta, & Nagi, 2012). Ercan and Gencer proposed an integer programming model for route planning with different capabilities (Ercan & Gencer, 2013). UAV used in military operations aim to make the most appropriate planning or scheduling to fulfill various mission demands of different locations at different times using fixed-wing various types of UAV. Accordingly, the authors proposed a two-step approach, a graph-based search algorithm for UAV path planning, and a mixed-integer linear programming model for task scheduling.

Di Franco and Buttazzo, on the other hand, take a different approach to path planning for UAV, considering energy consumption. They proposed a road planning algorithm that minimizes energy consumption, considering the problem of coverage path planning, a pathfinding process that covers all points of a particular area (Cabreira, Di Franco, Ferreira, & Buttazzo, 2018). Yakıcı has developed a new ant colony-based method for solving the problem by formulating the problem of positioning and routing the small UAVs at the tactical level with integer linear programming (Yakıcı, 2016).

Although many studies related to the UAV route problem are included in the literature, a limited number of studies addressing this problem have been encountered in disaster operations management. For example, Mersheeva and Friedrich (Mersheeva & Friedrich, 2012) proposed a method based on the variable neighborhood search approach for route planning of UAVs used in disaster operations to display the disaster area. To Nedjati et al. (Nedjati, Vizvari, & İzbirak, 2016), on the other hand, an intervention system was presented for rapid damage assessment after the earthquake. In this system, the authors proposed mixed-integer linear programming models regarding the problem of grid-based coverage path planning to collect images from the earthquake area and obtain useful information.

With the introduction of UAVs in disaster operations management, it is observed that the interest in research in this field has increased. In this context, the use of UAVs in disaster

operations management for earthquake disaster was discussed in the study. Since the earthquake, which is one of the types of disasters, is a disaster whose effect increases rapidly, it is necessary to make aerial exploration many times for post-earthquake due diligence. Rapid damage assessment in post-earthquake situations plays an important role in response activities (such as the evacuation of injured persons, debris removal, and aid distribution), as in other disasters. While the survival rate is 91% in the first 30 minutes after the earthquake, this rate decreases to 36.7% in the second day. Therefore, due diligence becomes an important factor. After the earthquake, ground-based correction studies are widely used for investigations, especially since it takes a lot of time in heavily damaged locations (Macintyre, Barbera, & Smith, 2006).

In addition to search and rescue missions, UAVs also can be used for logistic transportation. When a disaster happened, the roads and streets will be blocked or collapsed. It is critical to delivering first aid and primary needs. For this reason, it is aimed to deliver medicines, food, and living materials to areas that are not particularly accessible or far away (Carlsson & Song, 2017).

Deployment of UAV's into disaster management could be more useful once difficulties and limitations associated with integration is overcoming through technologies, procedure, and policy issues. Besides, there should be laws and regulations for UAV usage in disaster management (Naser & Kodur, 220).

In this study, the use of UAVs for disaster location due diligence is discussed in cases where transportation to the disaster area cannot be achieved by using ground vehicles after a possible earthquake. Within the scope of post-disaster response activities of UAVs, a clustering and mathematical programming-based approach has been proposed with the aim of making route planning for surveillance of designated disaster areas. In the proposed approach, clusters should be created in order to determine the departure and landing ground stations of UAVs in the areas to be monitored. For this purpose, it is recommended to use three different methods within the scope of the study. In addition to the k-means algorithm and p-center problem model, which are frequently used in the literature, Cavdur et al. Temporary Disaster Response (GAM) facilities offered also focus on the solution of the settlement problem. The clustering result obtained by different methods is considered as the input of the Traveler Sales Problem (GSP) model, which is recommended to be used in the route planning of UAVs. The proposed approach is described in the next section of the study. In the third section, there are sample practices and results related to the proposed approach. In the fourth section, results and suggestions are given (Cavdur, Küçük, & Sebatlı, 2016).

3. Material and Method

3.1. AHP Method

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is one of the multiple criteria decision-making tools for organizing and analyzing complex decisions and developed by Thomas L. Saaty (Saaty, 1987). AHP addresses how to determine the relative importance of a set of activities in a multi-criteria decision problem. The process makes it possible to include decisions on intangible qualitative criteria as well as concrete quantitative criteria (Badri, 2001). The AHP method is based on three rules: first, the structure of the model; second, the comparative judgment of the alternatives and the criteria; last one, synthesis of the priorities

(Dağdeviren, 2008). To obtaining the relative importance degree of the criteria at each level, a pairwise comparison matrix is developed using the “Saaty preference scale,” as shown in Table 1.

The stepwise procedure of AHP is presented as follows:

Step 1: Construct the structural hierarchy.

Step 2: Construct the pairwise comparison matrix.

Assuming n attributes, the pairwise comparison of attribute i with attribute j yields a square matrix $A_{n \times n}$ where a_{ij} denotes the comparative importance of attribute i with respect to attribute j.

In the matrix, $a_{ij} = 1$ when $i = j$ and $a_{ji} = 1/a_{ij}$.

$$A_{n \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Step 3: Construct normalized decision matrix

$$c_{ij} = a_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

$$j = 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

Step 4: Construct the weighted, normalized decision matrix

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$W = \begin{pmatrix} w_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ wn \end{pmatrix}$$

Step 5: Calculate Eigenvector & Row matrix

$$E = N^{\text{th}} \text{rootvalue} / \sum N^t \text{rootvalue}$$

$$\text{Rowmatrix} = \sum_{j=1}^n a_{ij} * e_j$$

Step 6: Calculate the maximum Eigenvalue, λ_{\max} .

$$\lambda_{\max} = \text{Rowmatrix} / E$$

Step 7: Calculate the consistency index & consistency ratio.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

$$CR = CI / RI$$

3.2. TOPSIS Method

One of the MCDM methods, named TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) was first developed by Hwang and Yoon (Hwang & Yoon, 1981). In the TOPSIS method, the best alternative would be the one that is nearest to the ideal solution and farthest from the negative ideal solution. The ideal solution is the solution that maximizes the benefit criteria and minimizes the cost criteria, whereas the negative ideal solution maximizes the cost criteria and minimizes the benefit criteria (Wang & Elhag, 2006).

Step 1: Establish a normalized decision matrix for the ranking

$$r_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^J x_{ij}^2} \quad j = 1, 2, 3, \dots, J; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Where x_{ij} and r_{ij} are original and the normalized score of decision matrix respectively.

Step 2: Construct the weighted normalized decision matrix by multiplying the weights w_i of evaluation criteria with the normalized decision matrix r_{ij} .

$$v_{ij} = w_i * r_{ij} \quad j = 1, 2, 3, \dots, J; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Step 3: Determined the positive ideal solution (PIS) and negative ideal solution (NIS)

$$A^* = \left\{ v_1^*, v_2^*, v_3^*, \dots, v_n^* \right\} \quad \text{maximum values}$$

$$\text{Where } v_i^* = \left\{ \max(v_{ij}) \text{ if } j \in J; \min(v_{ij}) \text{ if } j \in J - \right\}$$

$$A^- = \left\{ v_1^-, v_2^-, v_3^-, \dots, v_n^- \right\} \quad \text{minimum values}$$

$$\text{Where } v_i^- = \left\{ \min(v_{ij}) \text{ if } j \in J; \max(v_{ij}) \text{ if } j \in J - \right\}$$

Step 4: Calculate the separation measures of each alternative from PIS and NIS

$$d_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, J$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, J$$

Step 5: Calculate the relative closeness coefficient to the ideal solution of each alternative

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \quad i = 1,2,3, \dots \dots n$$

Step 6: Closeness coefficient values of alternatives are ranked from most valuable to worst. The alternative having the highest closeness coefficient (CC_i) is selected (Wang & Elhag, 2006).

Table 1. Saaty's pairwise comparison scale

Definition	Intensity of Importance
Equally important	1
Moderately more important	3
Strongly more important	5
Very strongly more important	7
Extremely more important	9
Intermediate values	2,4,6,8

3. Results and Discussion

Earthquake, flood, landslide, heavy rain etc. are natural events occurring at certain intervals. If these events happen in areas where people do not live, it is just a natural event that people are not affected. However, if such an incident occurs in human settlements, it can seriously affect human life as well as many social situations, and this event becomes a natural disaster.

It is too often to face a natural disaster in Turkey, and the high financial losses occur as a result. Lack of legal, administrative and technical conditions and awareness further increases disaster losses.

An earthquake disaster that can be counted among these natural disasters mentioned in Istanbul is expected, and this is a fact accepted by scientists. Being aware of the damages to be caused by any disaster in the settlement, the Japanese International Cooperation Agency (JICA) and Istanbul Metropolitan Municipality prepared "The Republic of Turkey Istanbul In the Disaster Prevention / Mitigation Basic Plan". This plan includes Seismic Micro-Zoning of the Province scenario earthquakes and possible losses in Istanbul were prepared (Ajansı, 2002).

Considering the damages that may occur after a possible Istanbul earthquake, 5 criteria; the number of casualties(C1), the number of injured people(C2), the number of damaged buildings(C3), the number of hospitals(C4), and the number of critical facilities(C5) were determined. Later, these criteria were weighted by the AHP method. According to these criteria, with the help of the report prepared by JICA (Ajansı, 2002), the importance ranking was made with the TOPSIS method considering the damages that may occur in the districts after the earthquake. AHP and TOPSIS have been calculated by using MATLAB as a tool.

In Table 2, a double comparison was made between the criteria. As a result of the binary comparison, the consistency rate is 1%. Since this ratio is less than 10%, it means that the binary comparison is consistent.

Table 2. Pairwise Comparison Matrix

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
C ₁	1	2	3	5	7
C ₂	1/2	1	2	3	5
C ₃	1/3	1/2	1	2	3
C ₄	1/5	1/3	1/2	1	2
C ₅	1/7	1/5	1/3	1/2	1

Table 3 shows the weighted version of the criteria and the order of importance among them. While determining the criteria, potential human losses are taken into consideration primarily. Because the first and most important aim of disaster response is securing human lives, for that reason, possible death numbers and injured people numbers are the most important criteria. Besides, the possible number of damaged buildings is taken as criteria because UAVs can easily make damage assessment of buildings and guide rescue units. Hospitals are also taken into consideration, due to quick response is vital, especially to wounded people right after the earthquake. For that reason, UAVs can determine damaged or undamaged hospitals quickly, and it helps decision-makers to plan rapid and more effective first aid services. Critical facilities are one of the other criteria because, after the earthquake, critical facilities estimated damages might be worse than expected, or it will be impossible for ground units to determine the damage because of the biological, chemical, or great fire etc.

Table 3. Results obtained with AHP

Criteria	Weights
C ₁	0,444
C ₂	0,262
C ₃	0,053
C ₄	0,230
C ₅	0,049

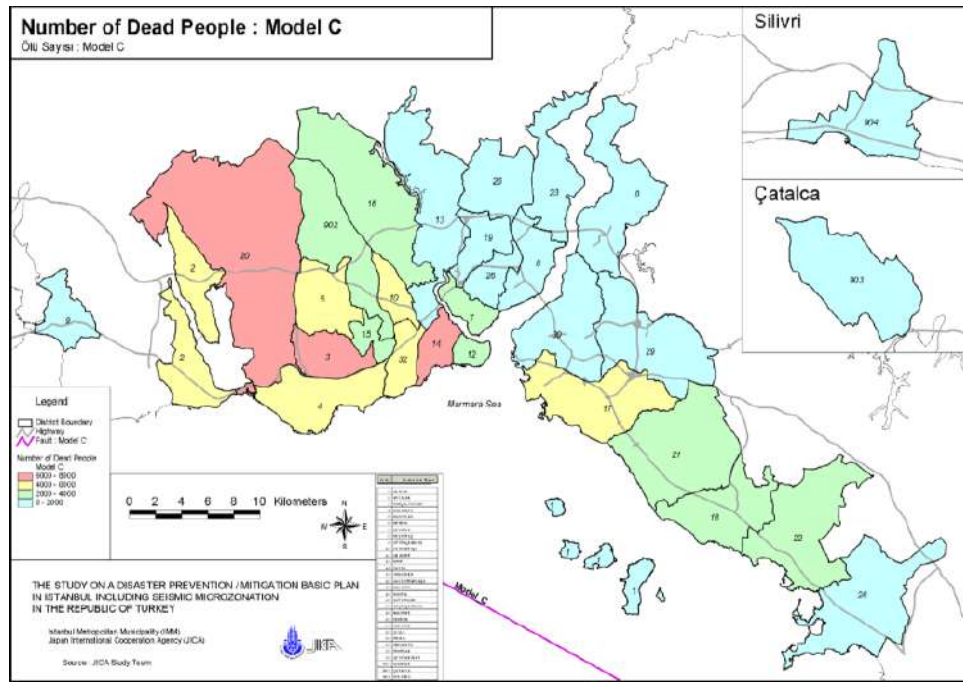


Figure 1. Number of Dead People

According to the worst-case scenario for Istanbul in the JICA report, loss of life will be 87,000 at an earthquake. This is 1.0% of the population in the Study Area. It is estimated that

more than 6,000 people in Bahçelievler, Fatih, and Küçükçekmece districts will die right after an earthquake in İstanbul (Ajansı, 2002).

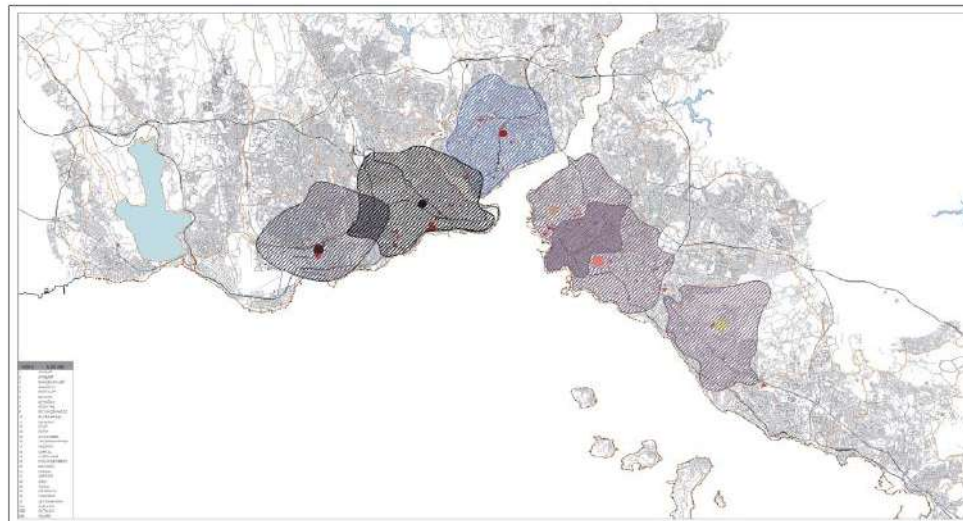


Figure 2. Number of Injured People

According to the JICA report, the number of seriously injured people is estimated to be 135,000. Existing medical care facilities in the metropolitan area are 19,433 beds, 201 hospitals, and 267 polyclinics. Current medical care facilities will be insufficient at the time of disaster due to the following reasons;

- More than half of the existing number of beds (12,000) will be used by permanent patients,
- Seven thousand extra beds must be distributed to public areas within hospitals, and tents should be set up in and around its premises. According to these two factors, only about 10% of severely injured people will use medical care facilities effectively (Ajansı, 2002).

Therefore the number of injured people that could occur after the earthquake is taken as a second criterion.

Over 17,000 people in the 1999 Izmit earthquake lost their lives due to building collapses. When taking into consideration the weakness of the buildings in Istanbul, the most important cause of the casualties of a future earthquake is building (Ajansı, 2002). For that reason, the third criterion is heavily damaged buildings because unmanned aerial vehicles are considered to be able to easily spot from the sky and direct search and rescue units more quickly. Heavily damaged buildings shows in Figure 3.

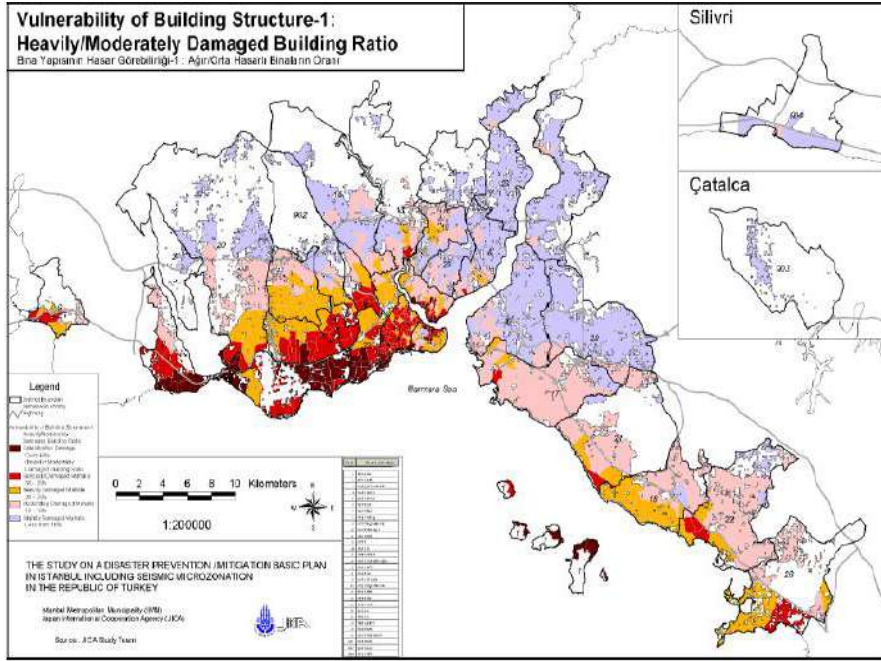


Figure 3. Heavily Damaged Building Ratio

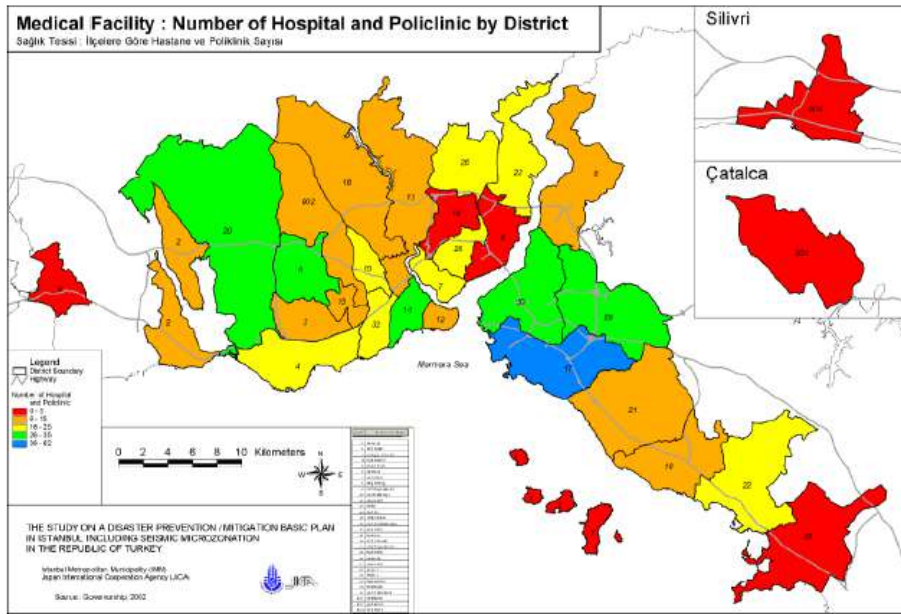


Figure 4. Number of Hospital and Polyclinic by Districts

Because of the insufficient hospital numbers, it is vital to check undamaged hospitals. For that reason, hospital numbers are taken as the fourth criterion which is presented in Figure 4. Because it is evaluated that determining the hospital conditions in the districts after the earthquake will increase the effectiveness in intervening the injured people.

In an earthquake, flammable and combustible material facilities lead to a secondary disaster. According to JICA Report (Ajansı, 2002) 882 hazardous material facilities, including large LPG warehouses, factories producing paint / polish materials, chemical material tanks, Fuel / LPG filling places, and fuel storage locations are located in İstanbul. Due to the high

number of critical facilities, it is taken as the fifth criterion. Because critical facilities damages during the earthquake could cause great harm, like a secondary disaster, to the environment and first aid teams would not approach right after the disaster. Number of hazardous facilities by district highlighted in Figure 5.

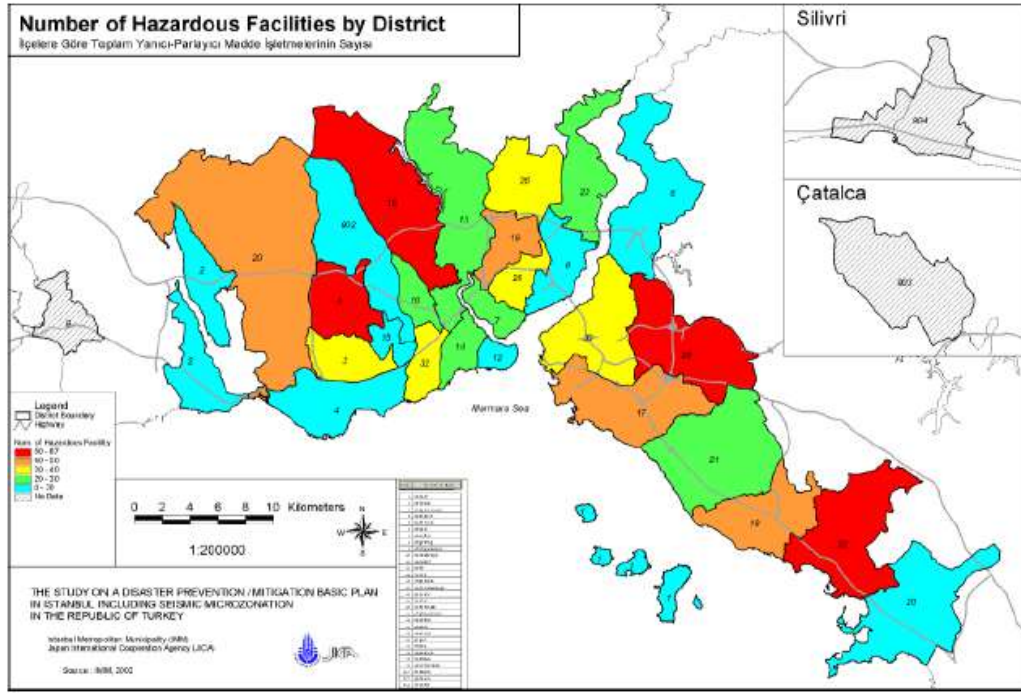


Figure 5. Number of Hazardous Facilities

Table 4. District of İstanbul with Weighted Criteria

Locations	Weights				
	0,444	0,262	0,053	0,23	0,049
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Adalar	1648	3255	1710	2	0
Avcılar	4678	6841	2311	5	17
Bahçelievler	6724	8165	3184	12	36
Bakırköy	4204	6310	2119	10	19
Bağcılar	5167	7294	2899	1	61
Beykoz	374	807	521	3	13
Beyoğlu	3464	5482	2644	8	22
Beşiktaş	1226	2547	692	4	18
Bayrampaşa	4180	6283	2846	6	21
Eminönü	2871	4820	2156	3	7
Eyüp	1938	3742	2044	4	29
Fatih	6866	8245	5776	16	29
Güngören	3703	5750	1550	6	18
G.osmanpaşa	2526	4435	2183	11	59
Kadıköy	4040	6127	2321	20	46
Kartal	2905	4858	2236	6	46

According to the JICA report, 16 districts(alternatives) in İstanbul province were included in the study. As seen in Table 4, there are 16 districts, weighted criteria and values belonging to districts.

Table 5. Normalized Matrix

Locations	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Adalar	0,154	0,221	0,304	0,119	0,000
Avcılar	0,438	0,464	0,411	0,297	0,223
Bahçelievler	0,629	0,553	0,567	0,713	0,471
Bakırköy	0,393	0,428	0,377	0,594	0,249
Bağcılar	0,483	0,494	0,516	0,059	0,798
Beykoz	0,035	0,055	0,093	0,178	0,170
Beyoğlu	0,324	0,372	0,471	0,476	0,288
Beşiktaş	0,115	0,173	0,123	0,238	0,236
Bayrampaşa	0,391	0,426	0,507	0,357	0,275
Eminönü	0,269	0,327	0,384	0,178	0,092
Eyüp	0,181	0,254	0,364	0,238	0,380
Fatih	0,642	0,559	1,028	0,951	0,380
Güngören	0,346	0,390	0,276	0,357	0,236
G.osmanpaşa	0,236	0,301	0,389	0,654	0,772
Kadıköy	0,378	0,415	0,413	1,189	0,602
Kartal	0,272	0,329	0,398	0,357	0,602

In Table 5 the squares of each of the alternative values are squared, and the column totals of these values are obtained, and normalization is performed by dividing each value by the square root of the column to which it belongs.

Table 6. Weighted Normalized Matrix

Weighted Normalized Matrix					
Weights	0,444	0,262	0,053	0,23	0,049
Locations	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Adalar	0,068	0,058	0,016	0,027	0,000
Avcılar	0,194	0,121	0,022	0,068	0,011
Bahcelievler	0,279	0,145	0,030	0,164	0,023
Bakırköy	0,175	0,112	0,020	0,137	0,012
Bağcılar	0,215	0,130	0,027	0,014	0,039
Beykoz	0,016	0,014	0,005	0,041	0,008
Beyoğlu	0,144	0,097	0,025	0,109	0,014
Beşiktaş	0,051	0,045	0,007	0,055	0,012
Bayrampaşa	0,174	0,112	0,027	0,082	0,013
Eminönü	0,119	0,086	0,020	0,041	0,004
Eyüp	0,080	0,066	0,019	0,055	0,019
Fatih	0,285	0,146	0,054	0,219	0,019
Güngören	0,154	0,102	0,015	0,082	0,012
G.osmanpaşa	0,105	0,079	0,021	0,150	0,038
Kadıköy	0,168	0,109	0,022	0,273	0,030
Kartal	0,121	0,086	0,021	0,082	0,030

According to Table 6, each value of the normalized matrix is weighted. The weighting process reveals the subjective aspect of the TOPSIS method. Because weighting process is done, according to the importance of the factors. The only subjective parameter of the TOPSIS method is the weights.

Table 7. Positive Ideal Distance Table

Positive Ideal Distances					
Locations	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Adalar	0,044	0,008	0,000	0,000	0,000
Avcılar	0,007	0,001	0,000	0,003	0,000
Bahcelievler	0,000	0,000	0,000	0,023	0,001
Bakırköy	0,011	0,001	0,000	0,015	0,000
Bağcılar	0,004	0,000	0,000	0,000	0,002
Beykoz	0,070	0,017	0,001	0,001	0,000
Beyoğlu	0,018	0,002	0,000	0,009	0,000
Beşiktaş	0,052	0,010	0,001	0,002	0,000
Bayrampaşa	0,011	0,001	0,000	0,005	0,000
Eminönü	0,026	0,004	0,000	0,001	0,000
Eyüp	0,040	0,006	0,000	0,002	0,000
Fatih	0,000	0,000	0,001	0,042	0,000
Güngören	0,016	0,002	0,000	0,005	0,000
G.osmanpaşa	0,030	0,004	0,000	0,019	0,001
Kadıköy	0,012	0,001	0,000	0,067	0,001
Kartal	0,025	0,003	0,000	0,005	0,001

After the weighted normalized matrix is obtained, the maximum values of each column are determined if the purpose is maximization, provided that it adheres to the structure of the problem. These maximum values are ideal solution values. In Table 7, The closest distance to the ideal solution is determined.

The minimum values of each column are calculated. These are the negative ideal solution values which are shown in Table 8

Table 8. Negative Ideal Distances Table

Negative Ideal Distances					
Locations	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Adalar	0,003	0,002	0,000	0,019	0,002
Avcılar	0,032	0,011	0,000	0,009	0,001
Bahcelievler	0,070	0,017	0,001	0,000	0,000
Bakırköy	0,025	0,010	0,000	0,001	0,001
Bağcılar	0,040	0,013	0,001	0,023	0,000
Beykoz	0,000	0,000	0,000	0,015	0,001
Beyoğlu	0,016	0,007	0,000	0,003	0,001
Beşiktaş	0,001	0,001	0,000	0,012	0,001
Bayrampaşa	0,025	0,009	0,000	0,007	0,001
Eminönü	0,011	0,005	0,000	0,015	0,001
Eyüp	0,004	0,003	0,000	0,012	0,000
Fatih	0,073	0,017	0,002	0,003	0,000
Güngören	0,019	0,008	0,000	0,007	0,001
G.osmanpaşa	0,008	0,004	0,000	0,000	0,000
Kadıköy	0,023	0,009	0,000	0,012	0,000
Kartal	0,011	0,005	0,000	0,007	0,000

The relative proximity to the ideal solution is calculated in Table 9. In calculating the relative proximity of each decision point to the ideal solution, distances to ideal and non-ideal points are used.

Table 9. Relative Closeness Table

Locations	s*	s-	C*
Adalar	0,158	0,158	0,500
Avcılar	0,230	0,232	0,502
Bahcelievler	0,296	0,296	0,500
Bakırköy	0,190	0,191	0,502
Bağcılar	0,278	0,276	0,498
Beykoz	0,123	0,127	0,507
Beyoğlu	0,165	0,165	0,500
Beşiktaş	0,120	0,122	0,505
Bayrampaşa	0,205	0,206	0,501
Eminönü	0,177	0,180	0,505
Eyüp	0,139	0,140	0,500
Fatih	0,310	0,310	0,500
Güngören	0,185	0,185	0,500
G.osmanpaşa	0,118	0,112	0,487
Kadıköy	0,213	0,211	0,498
Kartal	0,155	0,153	0,496

According to 5 criteria (number of casualties, number of injured people, number of damaged buildings, number of hospitals, and number of critical facilities), the order of importance is made between 16 districts of İstanbul are presented in Table 10. With high C* value has priority than the others for SAR mission with UAV. As seen in Table 10, the most critical districts are; Beykoz, Beşiktaş, and Eminönü. The least important ones are; Bağcılar, Kartal, and Gaziosmanpaşa.

Table 10. Ranking of the districts.

Locations	C*	Rank
Beykoz	0,5070	1
Beşiktaş	0,5054	2
Eminönü	0,5046	3
Bakırköy	0,5020	4
Avcılar	0,5016	5
Bayrampaşa	0,5014	6
Eyüp	0,5005	7
Fatih	0,5001	8
Adalar	0,5000	9
Beyoğlu	0,5000	10
Güngören	0,5000	11
Bahçelievler	0,4996	12
Kadıköy	0,4978	13
Bağcılar	0,4975	14
Kartal	0,4959	15
G.osmanpaşa	0,4865	16

4. Conclusions and Recommendations

The period until the earthquake occurs is the risk management period, and the period after the earthquake is the crisis management period. Especially the first hours after the earthquake are very important to save human lives. Technological developments are also used to disasters that respond in a fast and effective way.

In the earthquake in Elazığ, which was happened on January 20, 2020, UAVs were used for damage assessment first time. However, this use was limited to detecting what local authorities wanted. In addition, the limited number of damaged areas facilitated the use of UAVs.

It is considered that if the earthquake occurs in a more crowded city like Istanbul and more severe, it should be done in a system for the use of UAVs. For this reason, this study has been carried out by considering the number of deaths, number of injured people, number of heavily damaged buildings, number of hospitals, and critical facilities that may occur in a possible Istanbul earthquake.

As a result of the study, five criteria were weighted by the AHP method. Then, 16 districts in Istanbul were ranked by the TOPSIS method in order of importance, considering these five criteria.

It is aimed at the officials who are in charge of crisis management after the Istanbul earthquake to use unmanned aerial vehicles more effectively and efficiently.

In this study, the JICA report, which was made in 2002 used, because it is the most comprehensive report ever made related possible İstanbul earthquake. But it is a fact that, while the population of Istanbul was estimated at around 11 million in 2002, but it is estimated to exceed 16 million in 2020. However, this is just evidence that an earthquake that will occur

in İstanbul will cause more severe damages and human losses than expected.

5. 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 thanks our decision-makers for their so-called insights and valuable comments.

References

- Ajansı, J. U., (2002). *İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması*. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- Badri, M. A., (2001). A combined AHP-GP model for quality control systems. *International Journal of Production Economics*, 72(1), 27-40. doi:DOI: 10.1016/S0925-5273(00)00077-3
- Cabreira, T., Di Franco, C., Ferreira, P., & Buttazzo, G. (2018). Energy-Aware Spiral Coverage Path Planning for UAV Photogrammetric Applications. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(4), s. 3662-3668. doi:10.1109/LRA.2018.2854967
- Camara, D., (2014). Cavalry to the Rescue: Drones Fleet to Help Rescuers Operations over Disasters Scenarios. *International Conference on Antenna Measurements & Applications*. Juan Les Pins: 2014 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications. doi:DOI: 10.1109/CAMA.2014.7003421
- Carlsson, J., & Song, S., (2017). Coordinated Logistics with a Truck and a Drone. *Management Science*, 64(9).
- Cavdur, F., Küçük, M., & Sebatlı, A., (2016). Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*(19), 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.08.009>
- Dağdeviren, M., (2008). Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of Intelligent Manufacturing*(19), 397-406. doi:<https://doi.org/10.1007/s10845-008-0091-7>
- Ercan, C., & Gencer, C., (2013). An Integer Programming Model for the Heterogeneous UAV. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 12(2), s. 119-144. July 6, 2020 tarihinde <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/180237>
- Erdelj, M., & Natalizio, E., (2016). UAV-assisted disaster management: Applications and open issues. *2016 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)* (s. 1-5). IEEE.
- Gencer, C., Aydoğan, E., & Kocabaş, S., (2009). İnsansız Hava Araçlarının Rota Planlaması İçin Bir Karar Destek Sistemi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 8(1). Accessed July 6, 2020 <https://dergipark.org.tr/tr/pub/khosbd/issue/19230/204343>
- Gutierrez, D., (2008). *Natural Disasters Up More Than 400 Percent in Two Decades*. July 06, 2020 tarihinde Natural News Web site: https://www.naturalnews.com/023362_natural_disasters_floods.html
- Hwang, C.-L., & Yoon, K., (1981). *Multiple Attribute Decision Making*. doi:10.1007/978-3-642-48318-9
- Liu, P., Huang, Y.-N., Chen, A. Y., & Han, J.-Y., (2014). A review of rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering.

- SMART STRUCTURES AND SYSTEMS(13(6),. 1065-1094.
- Luo, C., Nightingale, J., Asemota, E., & Grecos, C., (2015). A UAV-Cloud System for Disaster Sensing Applications. *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 1-5 doi: 10.1109/VTCSpring.2015.7145656
- Macintyre, A., Barbera, J., & Smith, E., (2006). Surviving collapsed structure entrapment after earthquakes: A "time-to-rescue" analysis. *Prehospital and disaster medicine*, 21(1), 4-17. doi:10.1017/S1049023X00003253
- Mersheeva, V., & Friedrich, G., (2012). Routing for Continuous Monitoring by Multiple Micro UAVs in Disaster Scenarios. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. doi:10.3233/978-1-61499-098-7-588
- Mufalli, F., Batta, R., & Nagi, R., (2012). Simultaneous sensor selection and routing of unmanned aerial vehicles for complex mission plans. *39(11)*, s. 2787-2799. July 6, 2020 tarihinde <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.02.010>.
- Mukherjee, A., Chakraborty, S., Azar, A. T., Bhattacharyay, S., Chatterjee, B., & Dey, N., (2014). Unmanned aerial system for post disaster identification. *International Conference on Circuits, Communication, Control and Computing*, (s. 247-252). Bangalore. doi:doi: 10.1109/CIMCA.2014.7057799
- Naser, M., & Kodur, V., (2020). Concepts and applications for integrating Unmanned Aerial Vehicles (UAV's) in disaster management. *Advances in Computational Design*, 5(1).
- Nedjati, A., Vizvari, B., & İzbirak, G., (2016). Post-earthquake response by small UAV helicopters. *Natural Hazards*(80), 1669-1688. July 6, 2020 tarihinde <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2046-6>
- Quaritsch, M., Kruggl, K., Wischounig-Strucl, D., & Bhattacharya, S., (2010). Networked UAVs as Aerial Sensor Network for. *Elektrotechnik und Informationstechnik*(127), 56-63.
- Restas, A., (2015). Drone Applications for Supporting Disaster Management. *World Journal of Engineering and Technology*(3(3), 316-321.
- Saaty, R. W., (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Silvagni, M., Tonoli, A., Chiaberge, M., & Zenerino, E., (2016). Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events. *Journal Geomatics, Natural Hazards and Risk*(8), 18-33.
- Spiers, E. M., (1986). *Chemical Warfare*. Palgrave Macmillan UK.
- Technology, K. I., (2018). *Natural disasters since 1900: Over 8 million deaths, 7 trillion US dollars*. Karlsruhe Institute of Technology Web Sites: <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/04/160418092043.htm>
- Tiwari, A., (2015). *The Capacity Crisis in Disaster Risk Management*. Springer International Publishing.
- Tuna, G., Nefzi, B., & Conte, G., (2014). Unmanned aerial vehicle-aided communications system for disaster recovery. *Journal of Network and Computer Applications*, s. 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.10.002>
- Wang, Y.-M., & Elhag, T., (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 31(2), 309-319. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.09.040>
- Yakıcı, E., (2016). Solving location and routing problem for UAVs. *Computers & Industrial Engineering*, (102), 294-301. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.10.029>
- Zennaro, M., (2003). Strategies of Path-Planning for a UAV to Track a Ground Vehicle. *Proceedings of the AINS 2003 conference*. https://www.researchgate.net/publication/229091471_Strategies_of_Path-Planning_for_a_UAV_to_Track_a_Ground_Vehicle
- Zurli, R., Leiras, A., & Bravo, B., (2015). Literature Review Of The Applications Of UAVs In Humanitarian Relief. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza. Accessed July 06, 2020 https://www.researchgate.net/publication/303938866_LITERATURE_REVIEW_OF_THE_APPLICATIONS_OF_UAVS_IN_HUMANITARIAN_RELIEF_XXXV_ENCONTRO_NACIONAL_DE_ENGENHARIA_DE_PRODUCAO



Aşırı Beslenmeye Bağlı Oluşan İnsülin Direncinin Biyokimyasal Gelişimi ve AMP-ile Aktive Edilmiş Protein Kinaz (AMPK)'ın Fonksiyonu

Mustafa Yaman^{1*}, Cemalettin Kişimiroğlu², Halime Uğur³, İsmail Belli⁴, Bahtiyar Özgür⁵

^{1*}İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9692-0204)

²İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9492-9069)

³İstanbul Medipol Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2932-4215)

⁴İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9546-0207)

⁵İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7147-3230)

(İlk Geliş Tarihi 31 Mayıs 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.746132)

ATIF/REFERENCE: Yaman, M., Kişimiroğlu, C., Uğur, H., Belli, İ. & Özgür, B. (2020). Aşırı Beslenmeye Bağlı Oluşan İnsülin Direncinin Biyokimyasal Gelişimi ve AMP-ile Aktive Edilmiş Protein Kinaz (AMPK)'ın Fonksiyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 67-76.

Öz

Aşırı beslenme ve obezitenin, insülin direnci, diyabet, hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi birçok kronik hastalığa neden olduğu bilinmektedir. İnsülin direnci, glikozun kas ve diğer dokulara taşınmasında hücrelerin insülininin etkisine yanıt verme yeteneğinin azalması olarak tanımlanır. Obezitenin gelişmesiyle birlikte yağ dokusundan salınan esterlenmemiş yağ asitleri, gliserol ve proinflatuar sitokinler insülin direncine neden olur. Özellikle MCP-1 ve TNF- α gibi sitokin ve kemokinler adipositlerde trigliseridlerin hidrolizine neden olur. Ortaya çıkan serbest yağ asitleri dolaşım yoluyla kas, karaciğer ve beta hücrelerine taşınır ve DAG, TAG ve seramid olarak depolanır. Bu yağ asitleri türevlerinin birikimi hem IRS'yi bloke ederek insülin direncine, hemde hücre içi enerji sensörü olan AMPK'nin aktivasyonunun azalmasına neden olur. AMPK'nin aktivasyonunun azalması sonucu glukoz taşıyıcı proteininin translokasyonu azalır ve insülin direnci gelişir. Bunun yanında, AMPK'nin aktivasyonunun azalması dokularda lipit birikimine, hücresel işlev bozukluklarına ve birçok kronik hastalığın gelişmesine neden olur. Egzersizin yanında metformin, AICAR ve TZDs gibi bazı farmasötik ilaçların hem lipit birikimini azalttığı hem de AMPK'nin aktivasyonunu artırarak insülin direncini engellediği bildirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Obezite, İnsülin direnci, AMPK, Sitokinler.

Biochemical Development of Insulin Resistance due to Excess Nutrition and the Function of AMP-Activated Protein Kinase (AMPK)

Abstract

Overnutrition and obesity are known to cause many chronic diseases such as insulin resistance, diabetes, and cancer. Insulin resistance is defined as a decrease in the ability of cells to respond to the effect of insulin in the transport of glucose to muscle and other tissues. With the development of obesity, nonesterified fatty acids, glycerol, hormones, pro-inflammatory cytokines released from adipose tissue are known to play a role in the development of insulin resistance. Especially cytokines and chemokines such as MCP-1 and TNF α cause hydrolysis of triglycerides in adipocytes, causing high levels of free fatty acids in circulation. These free fatty acids are then stored by the muscle and liver and beta cells again as DAG, TAG, and ceramide, blocking the IRS receptor causing its resistance. In addition, as a result of excessive fat nutrition, the accumulation of toxic lipid derivatives causes the inactivation of the intracellular energy sensor AMPK. Depending on the inactivation of AMPK, the glucose carrier protein (GLUT4) translocation decreases, and insulin resistance improves. Also, reduced activation of AMPK causes lipid accumulation in tissues, cellular dysfunctions, and, consequently, many chronic diseases. In addition to exercise, it is seen that some pharmaceutical drugs such as metformin, AICAR, and TZDs both reduce lipid accumulation and increase the activation of AMPK and prevent insulin resistance.

Keywords: Obesity, Insulin resistance, AMPK, Cytokines.

* Sorumlu Yazar: mustafayaman1977@gmail.com, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9692-0204)

1. Giriş

Aşırı beslenme ve obezitenin, insülin direnci, diyabet, hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi birçok kronik hastalık için kritik risk faktörleri olduğu bilinmektedir (Jeon, 2016). İnsülin direnci, glikozun kas ve diğer dokulara taşınmasında hücrelerin insülininin etkisine yanıt verme yeteneğinin azalması olarak tanımlanır. İnsülin direnci obezite ile gelişir ve Tip 2 diyabetin başlangıcını haber verir. İnsülin direncine pankreasın beta hücrelerinin fonksiyon bozukluğu da eşlik ettiğinde kan glukoz seviyelerinin kontrol edilememesi durumu ortaya çıkar. Beta hücrelerinin fonksiyonundaki anormallikler Tip 2 diyabetin gelişmesine neden olur (Reaven, 2002; Kahn ve Flier, 2000; Gizlici ve Çatak, 2019). Obezitenin gelişmesiyle yağ dokusundan salınan esterleşmemiş yağ asitleri, gliserol ve proinflatuar sitokinler insülin direncinin oluşumuna yol açar (Khan vd., 2006). Bunun yanında diyetle aşırı glikoz ve dallı-zincirli amino asitlerin insülin sinyal yollarını inhibe ederek de insülin direncine neden olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir. Bu derlemede ilk olarak, insülin direncinin aşırı beslenme ile gelişimi üzerinde durulacaktır. Daha sonra ise insülin direncinin hücre içi enerji sensörü olan AMPK'nin mekanizmaları üzerine etkisi anlatılacaktır.

2. Obezite ile İnsülin Direncinin Gelişimi

Obez bireylerin vücut yağ kütlesi normal bireylerden daha yüksek olduğundan dolaşımında yüksek seviyede serbest yağ asitleri bulunur. Bu nedenle obez bireylerde insülin direnci görülme sıklığı yüksektir (Savage vd., 2007). Yapılan çalışmalar, obeziteye bağlı olarak dolaşımda yüksek miktarda serbest yağ asitleri bulunmasının insülin direncine neden olduğunu göstermektedir (Boden, 1997; Kelley vd., 1993). Bu durumun aksine, antilipolitik ilaçların serbest yağ asidi seviyelerini azaltarak insülinin duyarlılığını ve kaslarda glikozun alımını arttırdığı bildirilmiştir (Santomauro v., 1999). Obez bireylerde kas gibi yağsız dokularda yağ asitlerinin birikmesi insülin direncine neden olabilmektedir (Perseghin vd., 1999; Krssak vd., 1999). Adipositlerin işlev bozukluğu adipokinlerin sekresyonunu etkileyeceğinden, insülin direnci oluşabilmektedir (Oral vd., 2002). Bireylerde vücut yağ kütlelerinin normal sınırlar içerisinde olması, insülin duyarlılığını ve glikoz alımını arttırır. Adipoz dokulardan salgılanan leptin ve adiponektin gibi hormonlar hem vücut metabolizmasını hem de besin alımını düzenleyen nöroendokrinlerin kontrolünde görev alır (Ahima ve Flier, 2000; Berg vd., 2002).

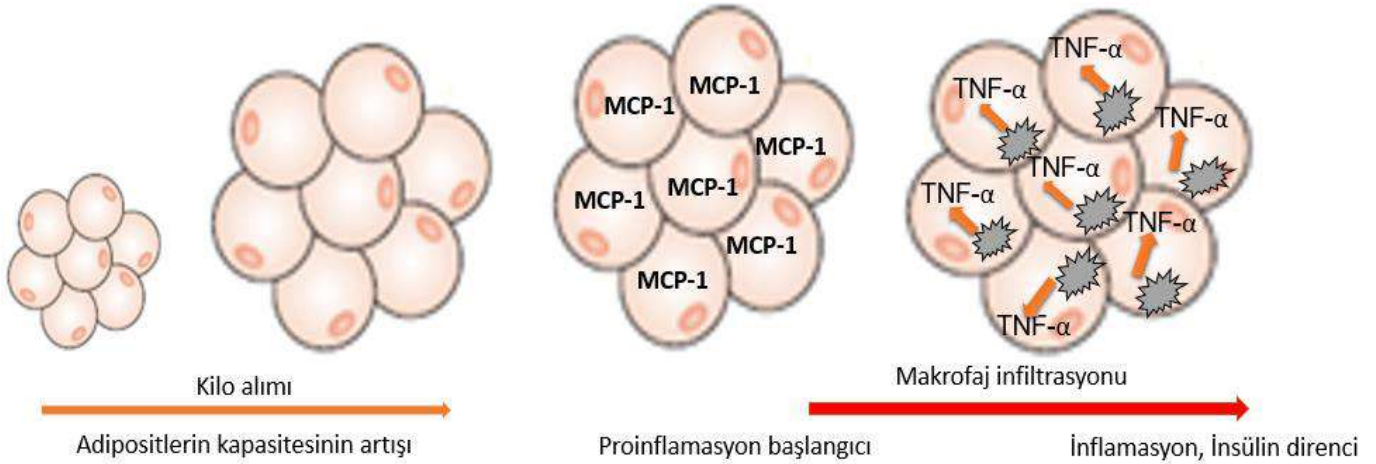
2.1. Adipositlerde Proinflatuar Sitokin ve Kemokinlerin Oluşumu ve İnsülin Direncinin Gelişimi

Adipositlerde trigliseritlerin sentezlenmesi ve depolanmasının yanı sıra enerji ihtiyacına bağlı olarak triaçilgliseroller (TAG) serbest yağ asitlerine ve gliserole hidrolize olur (Rosen ve Spiegelman, 2006; Kalderon vd., 2000). Adipositlerde bulunan yağ asitlerinin açlık durumunda periferik dokular tarafından kullanılmasında dinamik bir denge söz konusudur. Yüksek kalori alımına bağlı olarak yağ asitlerinin salınımı ve kullanımında bu denge bozulabilmektedir. Açlık durumunda dolaşımdaki yağ asidi konsantrasyonu yaklaşık 0.4-0.8 mM'dir. Normal vücut yağ kütlelerine sahip bireylerde kas hücreleri enerji ihtiyacına göre yağ asitleri depolardan alır ve mitokondride doğrudan ATP üretmek üzere kullanır. Vücut yağ

kütlesi normal sınırlar içinde olan bireylerde insülin duyarlılığı yüksek olduğundan iskelet kasları tarafından glikoz alımı obez bireylere göre daha yüksektir. İştah metabolizmasının bozulması diyetle kalori alımını artırır, bu durum adipositlerin genişlemesine ve obezitenin oluşmasına neden olur (Şekil 1). Adipositlerin kapasitesinin artması, iştah kontrolünü düzenleyen leptin gibi endokrin hormonların fonksiyonlarını ve salınımlarını bozar (Christianson vd., 2007; Frayn vd., 1994). Adipositlerin kapasitesinin artmasına bağlı olarak, Monosit Kemoatraktan Protein-1 (MCP-1) ve Tümör Nekroz Faktör Alfa (TNF- α) gibi protein yapısındaki adipokinlerin salgılanması artar (Sartipy ve Loskutoff, 2003; Curat vd., 2004). Proinflatuar bir sitokin olan MCP-1, makrofajların dokuya göçünü ve infiltrasyonunu düzenleyen bir kemokindir. TNF- α ise anti-tümör ve bağışıklık fonksiyonlarına sahip bir proinflatuar sitokindir (Zidi vd., 2010). TNF- α , yaralanma, enfeksiyon, anjiyogenez, apoptoz ve diğer fizyolojik süreçlere verilen yanıtta karmaşık bir role sahiptir (Borst, 2004; Bazzichetto vd., 2019). Normal vücut kütlelerine sahip bireyler de yağ dokusundaki makrofa oranı %5-10 arasında iken obez bireylerde bu oran %50'nin üzerindedir (Weisberg vd., 2003). Yüksek yağ kütlelerine sahip obez bireylerde proinflatuar faktörü MCP-1'in daha çok salgılandığı görülmektedir (Inouye vd., 2007). Bu sitokinler adipositlerde trigliseridlerin hidrolizine neden olduğundan dolaşımda yüksek miktarda serbest yağ asitleri taşınır (Lagathu vd., 2006). Bu yağ asitleri kas, karaciğer ve beta hücreleri tarafından alınır ve tekrar uzun zincirli yağ asitlerinin ester formuna dönüştürülerek trigliserit olarak depolanır. Artan trigliserit miktarına bağlı olarak hücrelerin normal metabolik fonksiyonu bozulur (Unger, 2002). Yağ dokuları tarafından MCP-1 ve TNF- α 'nın salgılanması insülin direncine ve inflamasyona neden olur (Unger, 1995; Guilherme vd., 2008).

2.2. Kaslarda İnsülin Direncinin gelişimi

Yüksek yağlı diyetle beslenen fareler üzerinde yapılan bir çalışmada, obezitede görülen MCP-1 ve TNF- α 'nın insülin direncine neden olduğu görülmüştür (Kanda vd., 2006; Uysal vd., 1997). Yağ dokularının kapasitelerinin büyümesine bağlı olarak, makrofajlar tarafından proinflatuar TNF- α sitokini üretilir. Bu sitokinin üretimi için IKK β -NF- κ B (nükleer faktör (NF- κ B (I κ B) kinaz- β -NF- κ B) ve JNK-MAP4K4-AP1 (Jun N-terminal kinaz-mitojenikleştirilmiş protein kinaz -4- aktivatör protein-1) sinyal yolağı gereklidir. Yapılan bir çalışmada JNK1'in makrofajlardan ve diğer hücrelerden yok edilmesi, obezite kaynaklı inflamasyonları azaltarak yüksek yağlı diyet sonucu oluşan insülin direncine karşı koruma sağlamıştır (Solinas vd., 2007). Kaslarda insülin sinyal yollarındaki Ser/Thr protein kinazların serbest yağ asitleri tarafından fosforile edilmesiyle de insülin direnci oluşur (Kraegen vd., 2001). Bunun yanında TNF- α 'nın da doğrudan insülin reseptör substratı'nın (IRS) sinyal yolunu zayıflatarak insülin direncine neden olabileceği belirtilmiştir (Bouzakri ve Zierath, 2007). TNF- α kaslarda MAP4K4 ve JNK kinazları aktive ederek insülin sinyal yolunu bloke eder ve glukoz taşıyıcı proteinin (GLUT4) sentezini durur. Yüksek yağlı diyetlerde JNK, IKK β , protein kinaz C θ (PKC θ), rapamycin complex-1 (mTORC1) ve p70 ribosomal/ribozomal S6 kinaz (p70S6K)'ın aktive edilmesiyle insülin sinyal yolları bozulur ve insülin direnci oluşur (Aguirre vd., 2000; Hirosumi vd., 2002).



Şekil 1. Kilo alımına bağlı adipositlerin kapasitesinin artışı ve makrofajların infiltrasyonu.

Kaslarda aşırı miktarda serbest yağ asitleri ve diaçilgliserollerin (DAG) birikmesi Protein kinaz C (PKC)'yi aktive eder. PKC'nin aktivasyonu ile IRS1/2'nin, Ser/Thr yönünden fosforile edilmesiyle insülin sinyal yolları bloke olur ve insülin direnci gelişir (Şekil 2) (Griffin vd., 1999). Bazı farmakolojik ilaçların yüksek yağlı beslenme sonucu oluşan protein kinazların fosforilasyonunu inhibe ederek insülin direncini azaltabileceği gösterilmiştir. Örneğin, obez farelere ve diyabetik bireylere yüksek miktarda salisilat verildiğinde IKKβ'nin aktivitesi inhibe olarak insülin duyarlılığı ve glukoz alımının arttığı görülmüştür (Yuan vd., 2001; Hundal vd., 2002). Dolaşımdaki serbest yağ asitleri, DAG ve yağ açıl CoA tarafından Toll benzeri reseptörlerin (TLR'ler) aktivasyonu ile insülin direnci oluşabilir (Suganami vd., 2007). TLR4 insülin reseptörünü (IRS1/2) Ser/Thr'in yönünden fosforile eder ve IRS inhibe olur. IRS'nin inhibisyonu ile insülin sinyal yolları bozulacağından kaslara glukoz alımı azalır. Yüksek yağlı diyetle beslenen farelerde TLR4 reseptörünün fonksiyonu inhibe olduğunda, kaslarda biriken serbest yağ asitlerinin neden olduğu insülin direncinin azaldığı bildirilmiştir (Tsukumo vd., 2007).

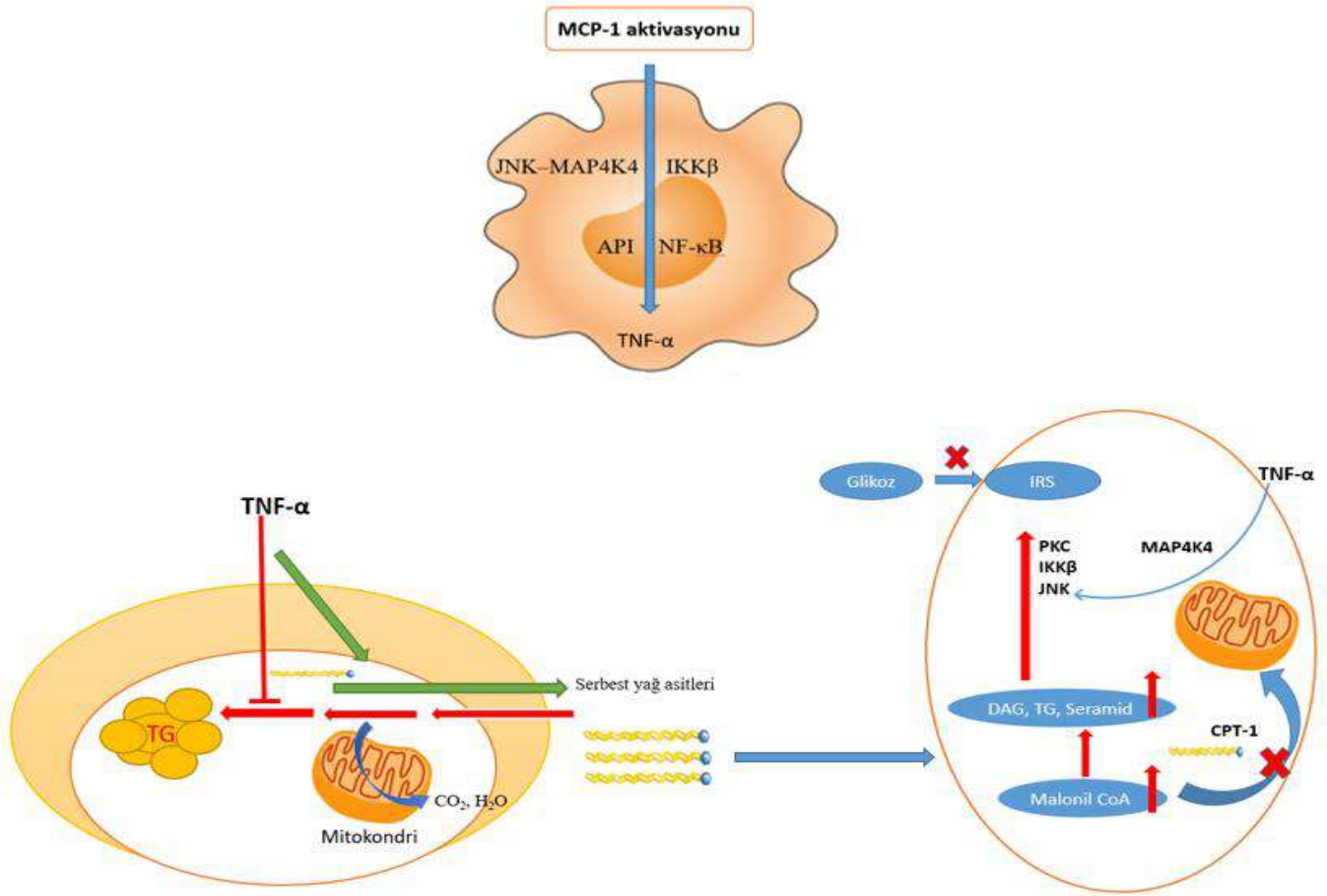
Diğer bir lipid metaboliti olan sfingolipid seramidin de insülin direncine neden olan bir diğer etken olarak görülmektedir. Seramidin biyosentezi palmitoil-CoA ve serin amino asitleri arasında olur. Görüldüğü gibi seramid biyosentezi uzun zincirli yağ asitlerinin varlığına bağlıdır (Shimabukuro vd., 1998). Doymuş yağ asitleri, glukokortikoidler ve TNF-α seramid biyosentezini artırmaktadır. Seramid insülin uyarı yolağındaki AKT/protein kinaz B (PKB)'yi inhibe etmesiyle insülin sinyal yolağını bozar ve hücrelere glikoz alımı düşer (Summers ve Nelson, 2005). Bazı farmasötik ilaçların seramid biyosentezini durdurduğu bildirilmiştir (Holland vd., 2007).

2.3. İnflamasyon ve Adipositlerin Fonksiyonu

Yağ dokusunda oluşan kronik inflamasyonda TNF-α gibi sitokinlerin aşırı üretimi, çoğunlukla makrofajların yanı sıra adipositler tarafından da yapılır. Birçok çalışma TNF-α'nın adipositleri önemli derecede etkilediğini ve insülin sinyalinin zayıflamasına ve adipogenezin inhibisyonuna neden olduğunu göstermiştir. TNF-α hem adipositlerin yapısını bozarak lipogenezin inhibe eder hem de insülin sinyal yollarını bozarak insülin direncine neden olur. İnflamasyon sonucu oluşan sitokinler, lipogenezin önemli bir transkripsiyonel regülatörü olan nükleer hormon reseptörü "peroksizom proliferatör ile aktive edilmiş

reseptör-γ (PPARγ)"yı inhibe eder ve böylece trigliseridlerin sentezi ve depolanması durur (Imai vd., 2004). TNFα PPARγ'nin transkripsiyonuna, translasyonuna ve mRNA turnover sayısına etki ederek aktivasyonunu düşürür. Aynı zamanda TNFα, NF-κB'nin gen ekspresyonunu artırarak IKKβ (for NF-κB) ve MAP4K4'yi aktive eder ve böylece PPARγ inhibe olur (Stephens vd., 1997). PPARγ aktivatörlerinden steroid reseptör ko-aktivatörü-2 (SRC-2) ve C-terminal bağlayıcı protein (CBP), adipogenez ve enerji depolanmasını desteklerler (Feige ve Auwerx, 2007). Besin alımı ile birlikte yağ hücrelerinde insülin reseptörleri, fosfatidylinositol 3-kinase (PI3K)-AKT/ PKB-phosphodiesterase-3 (PDE3) yolunu uyararak cAMP'yi inhibe eder. Açlık durumunda ise, katekolaminler adrenoreseptörleri aktive etmesiyle adenil siklaz aktive olur ve cAMP seviyesi artar. cAMP ise hormona duyarlı lipazın protein kinaz A (PKA)'ya bağımlı fosforilasyonunu düzenler. Aktif hale gelen hormona duyarlı lipaz trigliseridleri hidroliz ederek yağ asitlerine ve gliserole ayırır (Granneman ve Moore, 2008).

İnsülin karaciğerde lipogenezin artırırken adipositlerde ise hormona duyarlı lipazı inhibe ederek lipolizi azaltır (Engelking vd., 2004). Enerji ihtiyacı durumuna göre adipositlerden trigliseridler hidroliz olur ve dolaşıma serbest yağ asitleri ve gliserol verilir (Cooney vd., 2006). Adipositlerde metabolik bozukluk sonucu oluşan ve dolaşıma katılan serbest yağ asitleri, periferik dokularda Asetil-CoA karboksilaz (ACC) enzimi aracılığıyla malonil-CoA'ya dönüşür (Hardie ve Carling, 1997). Periferik dokularda malonil-CoA seviyesinin artışına bağlı olarak karnitin palmitoil-CoA transferaz-1 (CPT-1) enziminin inhibe olmasıyla yağ asitlerinin mitokondriye girişi engellendiğinden, yağ asitlerinin beta oksidasyonu gerçekleşmez (McGarry, 2002). Yağ asitlerinin karaciğerde ve diğer dokularda birikmesi, insülin direncine ve insülin direnci ile ilişkili metabolik hastalıklara neden olur (Ruderman vd., 1999). Periferik dokularda malonil CoA sentezine bağlı olarak artan uzun zincirli yağ asitleri, DAG, trigliseritler ve seramid'in dokularda birikimi, PKC ve NFκB'un aktivasyonundaki değişiklikler, oksidatif strese neden olur. Oluşan oksidatif stres sonucu aktive olan JNK ve IKK, IRS reseptörünü (IRS serin 485, 491) fosforile ederek durdurur ve böylece kas, adipoz ve diğer dokularda insülin direnci gelişir (Ruderman vd., 1999; Kraegen vd., 2006).



Şekil 2. Obeziteye bağlı olarak adipositlerde TG'lerin hidrolizi ile oluşan serbest yağ asitleri ve kaslarda insülin direncinin oluşum mekanizması.

3. AMPK /Malonil CoA ve İnsülin Direncinin Gelişimi

3.1. AMPK'nin Fonksiyonu

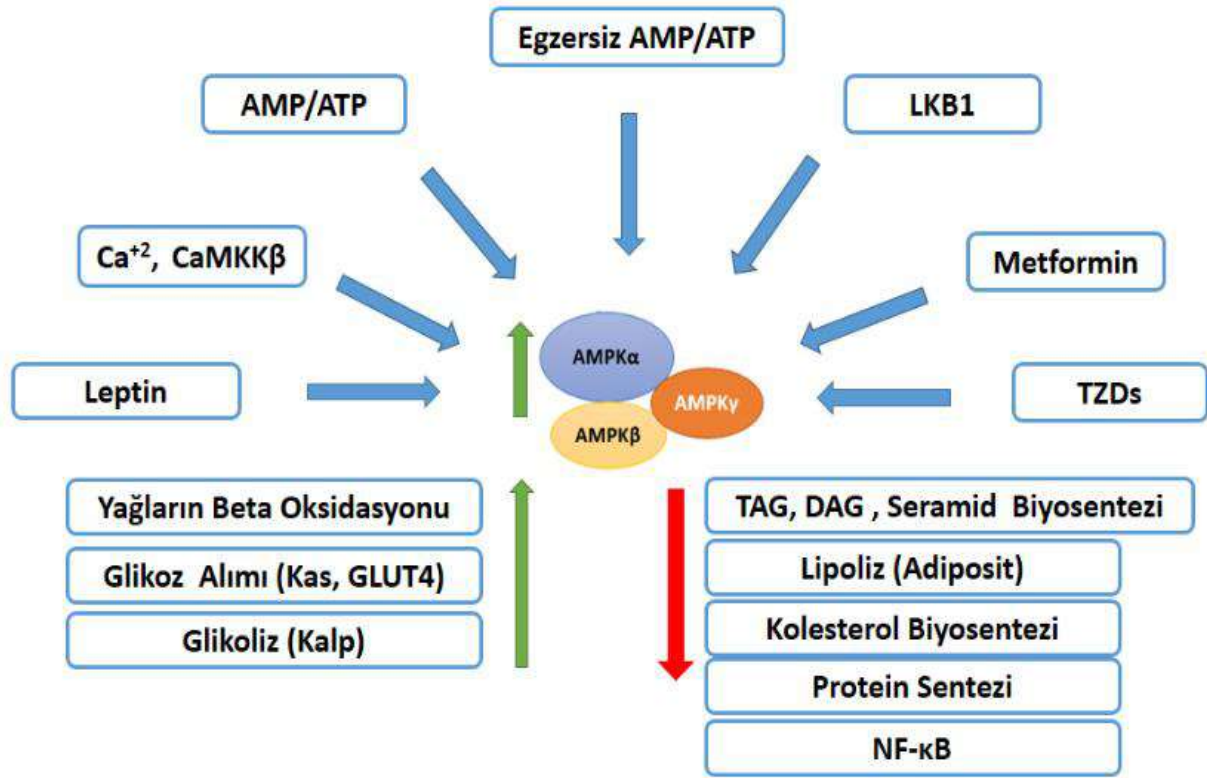
Bir serin/treonin kinaz enzimi olan AMPK (5'-adenosine monophosphate (AMP)-ile aktive edilmiş protein kinaz) katalitik α alt birimi ve düzenleyici β ve γ alt birimlerinden oluşur. AMPK hücre içi enerji gereksinimini AMP/ATP oranına göre düzenler. AMPK'nin aktivasyonu AMPK'nin α alt biriminde bulunan Thr172'ün fosforilasyonu ile başlar. Enerji tüketimine bağlı olarak AMP/ATP oranı arttığında AMP AMPK'yi uyarır ve ATP üretmek üzere ya depo enerji kaynaklarını kullanır ya da diyetle almış olduğumuz besinlerden enerji üretimi başlar (Şekil 3). AMPK'nin aktivasyonu egzersiz sonucu oluşan AMP, LKB1 ve hücre içi kalsiyum yoğunluğuna bağlı olarak CaMKK β (Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase β)'nin uyarılması ile de olur. Karbonhidrat metabolizmasında AMPK, insülinle bağımsız bir şekilde hücre glikoz alımını düzenler. AMPK, glikoz taşıyıcıları olan GLUT1 (kan, beyin ve böbrek) ve GLUT 4'ün (kas ve yağ dokusu) translokasyonunu artırarak hücre glikoz alımını sağlar (Hardie ve vd., 2001;Belli ve Yaman, 2020). AMPK'nin aktivasyonu ile karaciğerde lipit sentezi durur ve ATP üretmek üzere yağların beta-oksidasyonu başlar. AMPK aktive edildiğinde lipit sentezinde görevli olan Asetil-CoA karboksilaz 2 (ACC2) ve kolesterol sentezinde görevli olan 3-Hidroksi-3-Metilglutaril CoA (HMG-CoA) enzimleri inhibe olur. Bunun yanında AMPK'nin aktivasyonu ile mTOR inhibe edilir ve protein sentezi durur. Ayrıca AMPK'nin aktivasyonu ile otofaji aktive

edici kinaz 1 (ULK1) aktive edilir (Kışmiroğlu ve ark.,2020). Görüldüğü gibi AMPK aktivasyonu ile anabolik reaksiyonlar inhibe olurken katabolik reaksiyonlar aktive olur. AMPK'nin aktivasyonunun artması ile dokularda lipit birikimi, hücresel işlev bozuklukları, insülin direnci ve birçok kronik hastalığın gelişmesi önlenecektir.

3.2. AMPK /Malonil CoA ve İnsülin Direnci

İnsülin direnci, obezite, hipertansiyon, dislipidemi, pankreatik beta hücrelerinin bozukluğu ve tip 2 diyabet gibi birçok metabolik hastalığın AMPK ile malonil CoA arasındaki sinyal bozukluklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bozuklukların dokularda lipit birikimine ve hücresel işlev bozukluklarına neden olduğu varsayılmaktadır. Farmasötik ilaçların AMPK aktivasyonunu artırarak malonil CoA seviyesini düşürdüğü ve böylece birçok kronik hastalığın azaldığı bildirilmiştir (Ruderman ve Prentki, 2004). Klinik çalışmalar da pankreas, kas ve karaciğer hücrelerinde TGA miktarının artması ile insülin direnci ve hiperglisemi arasında bir korelasyon olduğu gösterilmiştir (Ruderman vd., 1999).

Malonil CoA, uzun zincirli yağ asitlerinin mitokondriye taşınmasından sorumlu CPT I'in allosterik bir inhibitörüdür (Ruderman ve Prentki, 2004). Sıçanlar üzerinde yapılan bir çalışmada egzersize bağlı olarak yağ asitlerinin sentezinden sorumlu asetil CoA karboksilaz (ACC)'in fosforilasyonu ile



Şekil 3. AMPK'nin aktivatörleri ve metabolizmadaki fonksiyonları.

aktivitesinin azalması sonucu, malonil CoA seviyesinin düştüğü görülmüştür (Kraegen vd., 2006). ACC'nin fosforilasyonunun ise AMP/ATP oranına bağlı olarak AMPK tarafından yapıldığı bildirilmiştir. Bunun yanında AMPK'nin malonil CoA dekarboksilazı aktive ettiği ve böylece malonil CoA seviyesinin de azaldığı görülmüştür (Ruderman vd., 2003).

Dokularda aşırı miktarda DAG, malonil CoA ve TG birikmesi PKC'nin aktivasyonuna neden olacağından IRS fosforile edilir ve insülin direnci oluşur. Ayrıca, TGA'nın beta hücrelerinde birikmesi toksititeye neden olmaktadır. Metformin ve TZDs gibi ilaçların yanında adiponektin ve leptin gibi hormonlarında AMPK'yı aktivite ettiği ve insülin direncini azalttığı bildirilmiştir (Ruderman vd., 1999). Sıçanlar üzerinde yapılan bir çalışmada AICAR ve egzersizin malonil CoA birikimini dokularda azalttığı ve buna bağlı olarak insülin direncinde azalma olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda, malonil CoA birikiminin azalmasıyla kaslarda yağ kütlesi artışının engellendiği ve buna bağlı olarak obezitenin azaldığı görülmüştür (Winder vd., 2000) Glikoz ve doymuş yağ asitleri miktarının kronik olarak artışı, beta hücrelerinin fonksiyon bozukluğuna ve apoptozuna neden olmaktadır (El-Assaad vd., 2003). AMPK'nin $\alpha 2$ alt biriminin inhibisyonu NF- κ B tarafından yapılmaktadır. Bu inhibisyonun egzersiz ve adiponektinin yanı sıra metformin ve TZDs gibi ilaçlar ile engellendiği bildirilmiştir (Ruderman ve Prentki, 2004).

4. Karaciğer Yağlanması ve İnsülin Direnci

Karaciğerde aşırı miktarda TG birikmesinin non-alkolik yağlı karaciğer hastalığı oluşturduğu (NAFLD) ve Amerikan toplumun yaklaşık %20'sinin bu hastalıktan etkilendiği bildirilmiştir. NAFLD daha sonra non-alcoholic steatotic hepatitis (NASH) hastalığına dönüşmektedir. NASH hastalığının gelişimi ile birlikte mitokondriyal bozuklukların, siroz ve kanserin yanı sıra hücre sitokinlerinin artmasıyla inflamasyonlar da ortaya çıkmaktadır (Neuschwander-Tetri ve Caldwell, 2003). Aşırı karaciğer yağlanmasına bağlı olarak oluşan NAFLD ve NASH Tip 2 diyabetliler ve obez bireylerde daha çok görülmektedir. Bu bireylerin genel olarak tümünde insülin direncinin de bulunduğu bildirilmiştir. NAFLD ve NASH'ın tedavisinde AMPK/malonil CoA arasındaki ilişki esas alınmaktadır. Diyet, egzersiz, leptin, adiponektinin yanı sıra metformin ve TZDs gibi sentetik ilaçlar ile malonil CoA sentezi durdurulmaktadır (Neuschwander-Tetri ve Caldwell, 2003; Ruderman ve Prentki, 2004).

Kas ve karaciğerde glukoz yoğunluğunun artışı üzerine yapılan bir çalışmada AMPK'nin seviyesinin azaldığı ve insülin direncinin olduğu görülmüştür. Glukoz artışına bağlı olarak kas ve karaciğerde malonil CoA, DAG ve TAG düzeylerinin artışının AMPK'nin fosforilasyonunu engellediği bildirilmiştir (Ruderman ve Prentki, 2004). DAG'ın kaslarda AMPK'nin α -2 izoformunu, karaciğerde ise α -1 izoformunu inaktive ettiği görülmüştür. Bunun yanında malonil CoA, NF- κ B ve oksidatif stresin AMPK'nin aktivasyonunu azalttığı da bildirilmiştir. Görüldüğü gibi tüm bu faktörler insülin direncine neden olmaktadır.

5. Hormonlar ve İnsülin Direnci

Adipositler dolaşıma serbest yağ asitleri sağladığından dolayı insülin direncine katkıda bulunur. Yağ dokusunda bulunan leptin ve adiponektin insülin hormonunun düzenlenmesinde görev alır. Bu iki hormonda AMPK'nin aktivasyonuna katkı sağlar (Yamauchi vd., 2002). Yağ dokusunda bulunan AMPK, izoproteronol (Moule ve Denton, 1998) ve adiponektin (Wu vd., 2003) tarafından aktive edilir. Yağ dokusunda AMPK aktif olduğunda TAG'ler oksidasyona uğrar. Hipotalamusta ise AMPK aktivasyonu ya da inhibisyonu ile besin alımı düzenlenir. Adipositlerden salgılanan leptin ve adiponektin hormonları hipotalamusta AMPK'nin aktivasyonunun engelleyerek beslenmeyi teşvik eden AgRP ve NPY gibi nöropeptitlerin ekspresyonunu azaltırken, CART ve POMC gibi beslenmeyi inhibe edici nöropeptitlerin ekspresyonunu artırır (Ruderman ve Prentki, 2004). Görüldüğü gibi hipotalamik AMPK aktivitesinin kontrol edildiği mekanizmaların anlaşılması, obezite gibi besin alımı ile ilgili bozuklukların tedavisi için etkili beslenme stratejilerinin geliştirilmesinde çok önemlidir.

6. Aşırı Glikoz, Yağ Asitleri ve Dallı Zincirli Amino Asitlerin Alımı, İnsülin Direnci ve AMPK

Aşırı besin alımı birçok dokuda insülin direncine neden olmaktadır. Glukoz, yağ asitleri ve dallı-zincirli amino asitler yönüden zengin beslenme AMPK'nin aktivasyonunun azalması ile sonuçlanmaktadır. Aşırı besin alımının yanında AMPK'nin aktivasyonu çok sayıda hormon ve inflamatuvar sitokinler tarafından da azaltılabilmektedir. Egzersiz ve bazı farmasötik ilaçlar AMPK'yi aktive ederek kan glukoz seviyesini düzenler ve insülin direncini kontrol ederler (Coughlan vd., 2013).

Aşırı yağlı beslenmeye bağlı olarak toksik lipid türevleri olan DAG ve seramidler kaslarda birikir (Amati, 2012). Diyetle alınan doymuş bir yağ asidi olan palmitat, seramid sentezine neden olur. DAG ve seramidin her ikisinin de birikimi sonucu dokularda lipotoksiteye bağlı insülin direnci gelişir (Şekil 4). Yüksek palmitat PP2A fosfataz enziminin aktivitesini arttırmasıyla AMPK'nin Thr172'deki fosforilasyonunu engeller. Görüldüğü gibi diyetle yüksek miktarda doymuş yağ asitlerinin alımı AMPK aktivitesini azaltmaktadır (Wu vd., 2007). PP2A'nın aktivasyonunun artması, insülin sinyal yolunda AKT'nin fosforilasyonunu engellediği düşünülmektedir (Cazzolli vd., 2001). Bunun yanında lipid birikimine bağlı olarak PP2A ve PKC izoformlarının aktivasyonunun artması ile AMPK'nin aktivasyonunun düştüğü ve insülin direncinin geliştiği bildirilmektedir (Kodiha ve Stochaj, 2011). Bu mekanizmanın ise PP2A ve PKC'nin aktivasyonunun artması ile AMPK'nin ser 485/491 kısmının fosforile edilerek, AMPK'nin aktivasyonunun engellenmesiyle oluştuğu düşünülmektedir.

İnsülin isleket kaslarına glukozun alınmasından %70-80 sorumludur. Dolayısıyla insülin eksikliği Tip 2 diyabete neden olmaktadır (Amati, 2012). Normal glukoz alımına bağlı olarak insülin AKT sinyal yolunu aktive etmekte ve hücre içine glikoz girişi sağlamaktadır. Fakat aşırı glikoz ve lösin amino asidi alımı bu sinyal yolunun aktivasyonunu engellemektir. Aşırı lösin alımı mTOR/p70S6K'yı uyarır ve IRS 1'de serin (S307, S635) kalıntıları fosforile olarak insülin sinyal yolu bloke edilir (Saha vd., 2011). Yüksek glikoz alındığında ise bir veya daha fazla protein kinaz C'in (PKC) izoformları aktive olur ve IRS fosforile

edilerek glukoz alım yolu inhibisyona uğrar. Görüldüğü gibi hem yüksek glikoz hemde yüksek lösin IRS'nin fosforilasyonuna neden olacağından insülin direnci oluşur (Coughlan vd., 2013). Bir AMPK aktivatörü olan AICAR ve alfa lipoik asit, mTOR/p70S6K'un aktivasyonunu engeller ve böylece insülin direncinin gelişimi azalır (Gleason vd., 2007). Ayrıca yüksek glikoz ve lösin kaslarda laktat/piruvat oranını artırır. Laktat/piruvat oranının artışı sonrası sitozolde glikoliz ile ATP üretiminin gerçekleştiği ve buna bağlı olarak NADH/NAD+ oranının da arttığı düşünülmektedir. NAD+ bağımlı histon/protein deasetilaz (SIRT1) bir AMPK aktivatörü olan LKB1'i uyarmaktadır (Saha vd., 2011). Bunun yanında hem glukoz hem de lösin SIRT'in aktivasyonunu sağlayan nicotinamide phosphoribosyltransferase (NAMPT)'i de inhibe etmektedir. Görüldüğü gibi hem lösin hemde glukoz bir AMPK aktivatörü olan SIRT1'i inaktivasyonunda rol oynamaktadır.

7. AMPK/malonil-CoA Düzensizliği ve Tedavi Yöntemleri

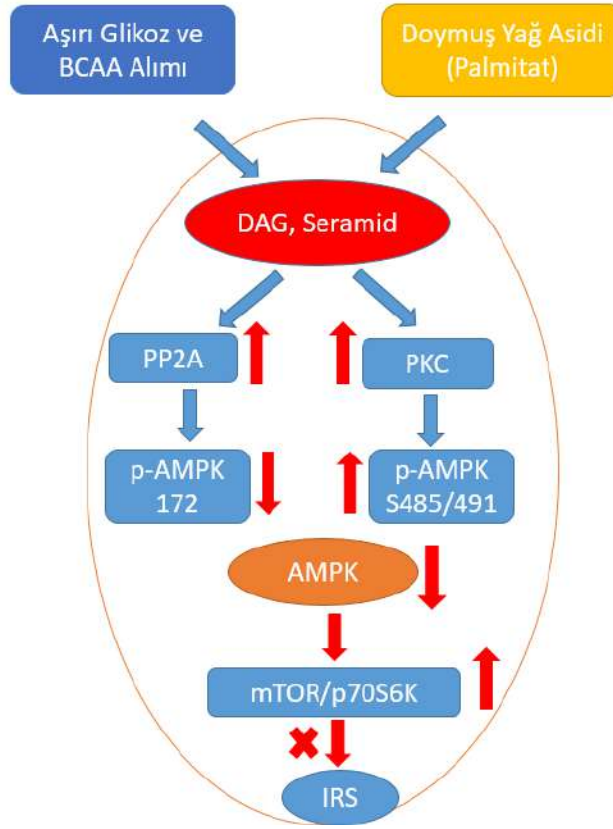
AMPK/malonil CoA sinyal ağının düzensizliği sonucu oluşan bazı metabolik sendromlar, AMPK'nin hormonlar, egzersiz ve bazı farmakolojik ilaçlar tarafından aktive edilmesiyle azaltılmaktadır. AMPK'nin aktive olmasıyla lipid birikiminin engellendiği, β -hücrelerinin fonksiyonunun düzenlendiği ve insülin duyarlılığının arttığı görülmüştür (Ruderman ve Prentki, 2004).

7.1. Egzersiz

Bilindiği gibi egzersizde hücre içi enerji kullanımına bağlı olarak AMP/ATP oranının artması ile AMPK aktive edilir. AMPK egzersiz ile aktive olduğunda kas, karaciğer ve yağ dokusunda malonil CoA birikimi azalır (Park vd., 2002). AMPK'nin aktivasyonu ile glukoz taşıyıcı protein olan GLUT4'ün translokasyonu artar ve böylece kan glukoz seviyesi insülin bağımsız olarak düzenlenmiş olur (Kışmıroğlu vd., 2020). Yapılan klinik çalışmalarda egzersizin hem insanlarda hem de hayvanlarda kaslarda insülin hassasiyetini arttırdığı bildirilmiştir. Normal fiziksel aktivitenin damar tıkanıklığına bağlı koroner kalp hastalığı, Tip 2 diyabet ve NAFLD/NASH hastalıklarının prevalansını azalttığı görülmüştür (Ruderman ve Prentki, 2004).

7.2. Hormonlar

Adipositlerden salgılanan adiponektin hormonu, TNF- α 'nın aktivasyonunu azaltarak proinflamatuvar sitokinlerin salınımını düşürür. Dolaşımda düşük seyreden adiponektin obezite, Tip 2 diyabet ve insülin direncine neden olmaktadır (Ruderman ve Prentki, 2004). NAFLD hastası farelere adiponektin hormonu verildiğinde hepatik lipid birikiminin engellendiği görülmüştür (Xu vd., 2003). Hem in vivo hemde in vitro yapılan çalışmalarda periferik dokularda leptinin AMPK'yi aktif hale getirdiği bildirilmiştir. Merkezi sinir sisteminde ise leptin AMPK'yi inhibe ederek besin alımını kontrol eder. Leptin eksikliğine bağlı olarak AMPK'nin aktivasyonunun düşmesiyle pankreatik beta hücreleri, kas ve karaciğerde lipid birikimi Tip 2 diyabete, kalpte birikimi ise kardiyomyopati'ye neden olur. AMPK'nin aktivasyonu ile hem Tip 2 diyabet hem de kardiyomyopati'de düzelme olduğu görülmüştür (Minokoshi vd., 2002).



Şekil 4. Aşırı glikoz, dallı-zincirli amino asitler ve doymuş yağlar ile beslenmeye bağlı insulin direncinin oluşumu.

7.3. Farmasötik İlaçlar

Sıçanlar üzerinde yapılan bir çalışmada TZDs'nin PPAR γ 'yı inhibe edip pankretik β hücreleri, kalp ve birçok hücrede lipid birikimi azaltarak diyabet ve lipotoksik kardiyomiyopatiyi engellediği görülmüştür (Unger, 2002). İnsanlarda ise TZDs'nin, insülin direncini ve karaciğerde lipid birikimini azalttığı bildirilmiştir (Ruderman ve Prentki, 2004). Metformin, TZDs'de olduğu gibi Tip 2 diyabet ve bozulmuş glikoz intoleransının tedavisinin yanında NAFLD/NASH'in tedavisinde de kullanılmaktadır (Neuschwander-Tetri ve Caldwell, 2003). Metforminin diyabetik hastalarda kas-AMPK aktivasyonunu arttırarak insülinde bağımsız bir şekilde glisemik kontrolü sağladığı da görülmüştür. Bunun yanında merforminin kardiyovaskular hastalıkların insidansını da azalttığı bildirilmiştir. Tip 2 diyabetliler de yüksek glukoz ve serbest yağ asitleri beta hücrelerinin apoptozisine neden olmaktadır. Hastalara metformin verilmesiyle beta hücrelerinin fonksiyonlarının düzeldiği görülmüştür (Ruderman ve Prentki, 2004).

Hiperglisemi ve artmış serbest yağ asitleri hücrelerde oksidatif stres, Tip 2 diyabet, insülin direnci ve beta hücrelerinin ölmüne ölmüyle sonuçlanmaktadır. Hastalara AICAR verildiğinde lipid peroksidasyonu sonucu oluşan serbest radikallerin azaldığı görülmüştür (Ido vd., 2002). Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda ise AICAR'ın AMPK'yi aktive etmesiyle lipid birikiminin dokularda engellendiği saptanmıştır (Ruderman ve Prentki, 2004). Dokularda seramid sentezi insülin direncine ve hücrelerin apoptozisine neden olmaktadır (Unger, 2002). Seramid, palmitat ve stearat'ın serin ile esterifikasyonu ile

oluşur. Bu reaksiyon ise serin palmitoil transferaz tarafından katalizlenir. Bu enzimin aktivasyonu AICAR ile AMPK aktive edildiğinde inhibe olmaktadır (Blázquez vd., 2001).

8. Sonuç

Aşırı beslenme ve obezitenin, insülin direnci, diyabet, hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi birçok kronik hastalık için kritik risk faktörleri olduğu görülmektedir. Aşırı beslenme ile birlikte adipositlerin kapasitesi artacağından MCP-1 ve TNF- α gibi proinflatuar sitokin ve kemokinler salgısı da artar. MCP-1 ve TNF- α adipositlerde TAG'lerin hidrolizine neden olacağından dolaşımda yüksek miktarda serbest yağ asitleri görülür. Bu serbest yağ asitleri daha sonra kas, karaciğer ve beta hücreleri tarafından tekrar DAG, TAG ve seramid olarak depolanarak IRS reseptörünü bloke eder ve kas, adipoz ve diğer dokularda insülin direnci gelişir. Bunun yanında adipositlerin kapasitesinin artmasıyla iştah kontrolünü düzenleyen leptin gibi endokrin hormonların fonksiyonlarının bozulduğu ve besin alımını teşvik ettiği görülmektedir. Aşırı beslenmeye bağlı glukoz, yağ asitleri ve dallı-zincirli amino asitlerin alımı hem AMPK'nin aktivasyonunun azalmasına hem de insülin direnci ile ilişkilendirilmektedir. AMPK'nin aktivasyonunun azalması dokularda lipid birikimine, hücresel işlev bozukluklarına ve sonuç olarak da birçok kronik hastalığın gelişmesine neden olur. Egzersizin yanında metformin, AICAR ve TZDs gibi bazı farmasötik ilaçların hem lipid birikimini azalttığı hem de AMPK'nin aktivasyonunun artırarak insülin direncini engellediği görülmektedir.

Kaynakça

- Aguirre, V., Uchida, T., Yenush, L., Davis, R., & White, M. F. (2000). The c-Jun NH2-terminal kinase promotes insulin resistance during association with insulin receptor substrate-1 and phosphorylation of Ser307. *Journal of Biological Chemistry*, 275(12), 9047-9054.
- Ahima, R. S., & Flier, J. S. (2000). Leptin. *Annual review of physiology*, 62(1), 413-437.
- Amati, F. (2012). Revisiting the diacylglycerol-induced insulin resistance hypothesis. *Obesity reviews*, 13, 40-50.
- Bazzichetto, C., Conciatori, F., Falcone, I., Cognetti, F., Milella, M., & Ciuffreda, L. (2019). Advances in Tumor-Stroma Interactions: Emerging Role of Cytokine Network in Colorectal and Pancreatic Cancer. *Journal of oncology*, 2019.
- Belli, İ., & Yaman, M. (2020). The Role of AMPK in the Regulation of Appetite and Energy Homeostasis. *International Journal of Innovative Research and Reviews*, 4(1), 25-31.
- Berg, A. H., Combs, T. P., & Scherer, P. E. (2002). ACRP30/adiponectin: an adipokine regulating glucose and lipid metabolism. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 13(2), 84-89.
- Blázquez, C., Geelen, M. J., Velasco, G., & Guzmán, M. (2001). The AMP-activated protein kinase prevents ceramide synthesis de novo and apoptosis in astrocytes. *FEBS letters*, 489(2-3), 149-153.
- Boden, G. (1997). Role of fatty acids in the pathogenesis of insulin resistance and NIDDM. *Diabetes*, 46(1), 3-10.
- Borst, S. E. (2004). The role of TNF- α in insulin resistance. *Endocrine*, 23(2-3), 177-182.
- Bouzakri, K., & Zierath, J. R. (2007). MAP4K4 gene silencing in human skeletal muscle prevents tumor necrosis factor- α -induced insulin resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 282(11), 7783-7789.
- Cazzolli, R., Carpenter, L., Biden, T. J., & Schmitz-Peiffer, C. (2001). A role for protein phosphatase 2A-like activity, but not atypical protein kinase C ζ , in the inhibition of protein kinase B/Akt and glycogen synthesis by palmitate. *Diabetes*, 50(10), 2210-2218.
- Christianson, J. L., Nicoloso, S., Straubhaar, J., & Czech, M. P. (2008). Stearoyl-CoA desaturase 2 is required for peroxisome proliferator-activated receptor γ expression and adipogenesis in cultured 3T3-L1 cells. *Journal of Biological Chemistry*, 283(5), 2906-2916.
- Cooney, G. J., Ruderman, N. B., Kraegen, E. W., Saha, A. K., Preston, E., Wilks, D., & Hoy, A. J. (2006). Increased malonyl-CoA and diacylglycerol content and. *J. Physiol*, 574(1), 17-31.
- Coughlan, K. A., Valentine, R. J., Ruderman, N. B., & Saha, A. K. (2013). Nutrient excess in AMPK downregulation and insulin resistance. *Journal of endocrinology, diabetes & obesity*, 1(1), 1008.
- Curat, C. A., Miranville, A., Sengenès, C., Diehl, M., Tonus, C., Busse, R., & Bouloumié, A. (2004). From blood monocytes to adipose tissue-resident macrophages: induction of diapedesis by human mature adipocytes. *Diabetes*, 53(5), 1285-1292.
- El-Assaad, W., Buteau, J., Peyot, M. L., Nolan, C., Roduit, R., Hardy, S., ... & Prentki, M. (2003). Saturated fatty acids synergize with elevated glucose to cause pancreatic β -cell death. *Endocrinology*, 144(9), 4154-4163.
- Engelking, L. J., Kuriyama, H., Hammer, R. E., Horton, J. D., Brown, M. S., Goldstein, J. L., & Liang, G. (2004). Overexpression of Insig-1 in the livers of transgenic mice inhibits SREBP processing and reduces insulin-stimulated lipogenesis. *The Journal of clinical investigation*, 113(8), 1168-1175.
- Feige, J. N., & Auwerx, J. (2007). Transcriptional coregulators in the control of energy homeostasis. *Trends in cell biology*, 17(6), 292-301.
- Frayn, K. N., Shadid, S. A. M. Y. A. H., Hamlani, R. O. O. H. I., Humphreys, S. M., Clark, M. L., Fielding, B. A., ... & Coppack, S. W. (1994). Regulation of fatty acid movement in human adipose tissue in the postabsorptive-to-postprandial transition. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 266(3), E308-E317.
- Gizlici MN, Çatak J. (2019) Diabetes Mellitus ve Çinko İlişkisi. *Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi*, 2: 107-113.
- Gleason, C. E., Lu, D., Witters, L. A., Newgard, C. B., & Birnbaum, M. J. (2007). The role of AMPK and mTOR in nutrient sensing in pancreatic β -cells. *Journal of Biological Chemistry*, 282(14), 10341-10351.
- Granneman, J. G., & Moore, H. P. H. (2008). Location, location: protein trafficking and lipolysis in adipocytes. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 19(1), 3-9.
- Griffin, M. E., Marcucci, M. J., Cline, G. W., Bell, K., Barucci, N., Lee, D., ... & Shulman, G. I. (1999). Free fatty acid-induced insulin resistance is associated with activation of protein kinase C θ and alterations in the insulin signaling cascade. *Diabetes*, 48(6), 1270-1274.
- Guilherme, A., Virbasius, J. V., Puri, V., & Czech, M. P. (2008). Adipocyte dysfunctions linking obesity to insulin resistance and type 2 diabetes. *Nature reviews Molecular cell biology*, 9(5), 367-377.
- Hardie, D. G., & Carling, D. (1997). The AMP-activated protein kinase: Fuel gauge of the mammalian cell?. *European journal of biochemistry*, 246(2), 259-273.
- Hardie, D. G., & Hawley, S. A. (2001). AMP-activated protein kinase: the energy charge hypothesis revisited. *Bioessays*, 23(12), 1112-1119.
- Hirosumi, J., Tuncman, G., Chang, L., Görgün, C. Z., Uysal, K. T., Maeda, K., ... & Hotamisligil, G. S. (2002). A central role for JNK in obesity and insulin resistance. *Nature*, 420(6913), 333-336.
- Holland, W. L., Brozinick, J. T., Wang, L. P., Hawkins, E. D., Sargent, K. M., Liu, Y., ... & Nelson, D. H. (2007). Inhibition of ceramide synthesis ameliorates glucocorticoid-, saturated-fat-, and obesity-induced insulin resistance. *Cell metabolism*, 5(3), 167-179.
- Hundal, R. S., Petersen, K. F., Mayerson, A. B., Randhawa, P. S., Inzucchi, S., Shoelson, S. E., & Shulman, G. I. (2002). Mechanism by which high-dose aspirin improves glucose metabolism in type 2 diabetes. *The Journal of clinical investigation*, 109(10), 1321-1326.
- Ido, Y., Carling, D., & Ruderman, N. (2002). Hyperglycemia-induced apoptosis in human umbilical vein endothelial cells: inhibition by the AMP-activated protein kinase activation. *Diabetes*, 51(1), 159-167.
- Imai, T., Takakuwa, R., Marchand, S., Dentz, E., Bornert, J. M., Messaddeq, N., ... & Chambon, P. (2004). Peroxisome proliferator-activated receptor γ is required in mature white and brown adipocytes for their survival in the mouse.

- Proceedings of the National Academy of Sciences, 101(13), 4543-4547.
- Inouye, K. E., Shi, H., Howard, J. K., Daly, C. H., Lord, G. M., Rollins, B. J., & Flier, J. S. (2007). Absence of CC chemokine ligand 2 does not limit obesity-associated infiltration of macrophages into adipose tissue. *Diabetes*, 56(9), 2242-2250.
- Jeon, S. M. (2016). Regulation and function of AMPK in physiology and diseases. *Experimental & molecular medicine*, 48(7), e245-e245.
- Kahn, B. B., & Flier, J. S. (2000). Obesity and insulin resistance. *The Journal of clinical investigation*, 106(4), 473-481.
- Kahn, S. E., Hull, R. L., & Utzschneider, K. M. (2006). Mechanisms linking obesity to insulin resistance and type 2 diabetes. *Nature*, 444(7121), 840-846.
- Kalderon, B., Mayorek, N., Berry, E., Zevit, N., & Bar-Tana, J. (2000). Fatty acid cycling in the fasting rat. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 279(1), E221-E227.
- Kanda, H., Tateya, S., Tamori, Y., Kotani, K., Hiasa, K. I., Kitazawa, R., ... & Kasuga, M. (2006). MCP-1 contributes to macrophage infiltration into adipose tissue, insulin resistance, and hepatic steatosis in obesity. *The Journal of clinical investigation*, 116(6), 1494-1505.
- Kelley, D. E., Mokan, M., Simoneau, J. A., & Mandarino, L. J. (1993). Interaction between glucose and free fatty acid metabolism in human skeletal muscle. *The Journal of clinical investigation*, 92(1), 91-98.
- Kismiroğlu, C., Cengiz, S., & Yaman, M. (2020). AMPK'nin Biyokimyası: Etki Mekanizmaları ve Diyabetin Tedavisindeki Önemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 162-170.
- Kodiha, M., & Stochaj, U. (2011). Targeting AMPK for therapeutic intervention in type 2 diabetes. Rijeka, Croatia: InTech.
- Kraegen, E. W., Cooney, G. J., Ye, J. M., Thompson, A. L., & Furler, S. M. (2001). The role of lipids in the pathogenesis of muscle insulin resistance and beta cell failure in type II diabetes and obesity. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes*, 109(Suppl 2), S189-S201.
- Kraegen, E. W., Saha, A. K., Preston, E., Wilks, D., Hoy, A. J., Cooney, G. J., & Ruderman, N. B. (2006). Increased malonyl-CoA and diacylglycerol content and reduced AMPK activity accompany insulin resistance induced by glucose infusion in muscle and liver of rats. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 290(3), E471-E479
- Krssak, M. F. P. K., Petersen, K. F., Dresner, A., DiPietro, L., Vogel, S. M., Rothman, D. L., ... & Roden, M. (1999). Intramyocellular lipid concentrations are correlated with insulin sensitivity in humans: a ¹H NMR spectroscopy study. *Diabetologia*, 42(1), 113-116.
- Lagathu, C., Yvan-Charvet, L., Bastard, J. P., Maachi, M., Quignard-Boulange, A., Capeau, J., & Caron, M. (2006). Long-term treatment with interleukin-1 β induces insulin resistance in murine and human adipocytes. *Diabetologia*, 49(9), 2162-2173.
- Minokoshi, Y., Kim, Y. B., Peroni, O. D., Fryer, L. G., Müller, C., Carling, D., & Kahn, B. B. (2002). Leptin stimulates fatty-acid oxidation by activating AMP-activated protein kinase. *Nature*, 415(6869), 339-343.
- Moule, S. K., & Denton, R. M. (1998). The activation of p38 MAPK by the β -adrenergic agonist isoproterenol in rat epididymal fat cells. *FEBS letters*, 439(3), 287-290.
- Neuschwander-Tetri, B. A., & Caldwell, S. H. (2003). Nonalcoholic steatohepatitis: summary of an AASLD Single Topic Conference. *Hepatology*, 37(5), 1202-1219.
- Oral, E. A., Simha, V., Ruiz, E., Andewelt, A., Premkumar, A., Snell, P., ... & Gorden, P. (2002). Leptin-replacement therapy for lipodystrophy. *New England Journal of Medicine*, 346(8), 570-578.
- Park, H., Kaushik, V. K., Constant, S., Prentki, M., Przybytkowski, E., Ruderman, N. B., & Saha, A. K. (2002). Coordinate regulation of malonyl-CoA decarboxylase, sn-glycerol-3-phosphate acyltransferase, and acetyl-CoA carboxylase by AMP-activated protein kinase in rat tissues in response to exercise. *Journal of Biological Chemistry*, 277(36), 32571-32577.
- Perseghin, G., Scifo, P., De Cobelli, F., Pagliato, E., Battezzati, A., Arcelloni, C., ... & Luzi, L. (1999). Intramyocellular triglyceride content is a determinant of in vivo insulin resistance in humans: a ¹H-¹³C nuclear magnetic resonance spectroscopy assessment in offspring of type 2 diabetic parents. *Diabetes*, 48(8), 1600-1606.
- Reaven, G. (2002). Metabolic syndrome: pathophysiology and implications for management of cardiovascular disease. *Circulation*, 106(3), 286-288.
- Rosen, E. D., & Spiegelman, B. M. (2006). Adipocytes as regulators of energy balance and glucose homeostasis. *Nature*, 444(7121), 847-853.
- Ruderman, N. B., Saha, A. K., & Kraegen, E. W. (2003). Minireview: malonyl CoA, AMP-activated protein kinase, and adiposity. *Endocrinology*, 144(12), 5166-5171.
- Ruderman, N. B., Saha, A. K., Vavvas, D., & Witters, L. A. (1999). Malonyl-CoA, fuel sensing, and insulin resistance. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 276(1), E1-E18.
- Ruderman, N., & Prentki, M. (2004). AMP kinase and malonyl-CoA: targets for therapy of the metabolic syndrome. *Nature reviews Drug discovery*, 3(4), 340-351.
- Saha, A. K., Xu, X. J., Balon, T. W., Brandon, A., Kraegen, E. W., & Ruderman, N. B. (2011). Insulin resistance due to nutrient excess: is it a consequence of AMPK downregulation?. *Cell cycle*, 10(20), 3447-3451.
- Santomauro, A. T., Boden, G., Silva, M. E., Rocha, D. M., Santos, R. F., Ursich, M. J., ... & Wajchenberg, B. L. (1999). Overnight lowering of free fatty acids with Acipimox improves insulin resistance and glucose tolerance in obese diabetic and nondiabetic subjects. *Diabetes*, 48(9), 1836-1841.
- Sartipy, P., & Loskutoff, D. J. (2003). Monocyte chemoattractant protein 1 in obesity and insulin resistance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(12), 7265-7270.
- Savage, D. B., Petersen, K. F., & Shulman, G. I. (2007). Disordered lipid metabolism and the pathogenesis of insulin resistance. *Physiological reviews*, 87(2), 507-520.
- Shimabukuro, M., Higa, M., Zhou, Y. T., Wang, M. Y., Newgard, C. B., & Unger, R. H. (1998). Lipoapoptosis in Beta-cells of Obese Prediabeticfa/fa Rats Role of Serine Palmitoyltransferase Overexpression. *Journal of Biological Chemistry*, 273(49), 32487-32490.
- Solinas, G., Vilcu, C., Neels, J. G., Bandyopadhyay, G. K., Luo, J. L., Naugler, W., ... & Karin, M. (2007). JNK1 in hematopoietically derived cells contributes to diet-induced inflammation and insulin resistance without affecting obesity. *Cell metabolism*, 6(5), 386-397.

- Stephens, J. M., Lee, J., & Pilch, P. F. (1997). Tumor necrosis factor- α -induced insulin resistance in 3T3-L1 adipocytes is accompanied by a loss of insulin receptor substrate-1 and GLUT4 expression without a loss of insulin receptor-mediated signal transduction. *Journal of Biological Chemistry*, 272(2), 971-976.
- Suganami, T., Tanimoto-Koyama, K., Nishida, J., Itoh, M., Yuan, X., Mizuarai, S., ... & Kamei, Y. (2007). Role of the Toll-like receptor 4/NF- κ B pathway in saturated fatty acid-induced inflammatory changes in the interaction between adipocytes and macrophages. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 27(1), 84-91.
- Summers, S. A., & Nelson, D. H. (2005). A role for sphingolipids in producing the common features of type 2 diabetes, metabolic syndrome X, and Cushing's syndrome. *Diabetes*, 54(3), 591-602.
- Tsukumo, D. M., Carvalho-Filho, M. A., Carvalheira, J. B., Prada, P. O., Hirabara, S. M., Schenka, A. A., ... & Saad, M. J. (2007). Loss-of-function mutation in Toll-like receptor 4 prevents diet-induced obesity and insulin resistance. *Diabetes*, 56(8), 1986-1998.
- Unger, R. H. (1995). Lipotoxicity in the pathogenesis of obesity-dependent NIDDM: genetic and clinical implications. *Diabetes*, 44(8), 863-870.
- Unger, R. H. (2002). Lipotoxic diseases. *Annual review of medicine*, 53(1), 319-336.
- Uysal, K. T., Wiesbrock, S. M., Marino, M. W., & Hotamisligil, G. S. (1997). Protection from obesity-induced insulin resistance in mice lacking TNF- α function. *Nature*, 389(6651), 610-614.
- Weisberg, S. P., McCann, D., Desai, M., Rosenbaum, M., Leibel, R. L., & Ferrante, A. W. (2003). Obesity is associated with macrophage accumulation in adipose tissue. *The Journal of clinical investigation*, 112(12), 1796-1808.
- Winder, W. W., Holmes, B. F., Rubink, D. S., Jensen, E. B., Chen, M., & Holloszy, J. O. (2000). Activation of AMP-activated protein kinase increases mitochondrial enzymes in skeletal muscle. *Journal of applied physiology*, 88(6), 2219-2226.
- Wu, X., Motoshima, H., Mahadev, K., Stalker, T. J., Scalia, R., & Goldstein, B. J. (2003). Involvement of AMP-activated protein kinase in glucose uptake stimulated by the globular domain of adiponectin in primary rat adipocytes. *Diabetes*, 52(6), 1355-1363.
- Wu, Y., Song, P., Xu, J., Zhang, M., & Zou, M. H. (2007). Activation of protein phosphatase 2A by palmitate inhibits AMP-activated protein kinase. *Journal of Biological Chemistry*, 282(13), 9777-9788.
- Xu, H., Barnes, G. T., Yang, Q., Tan, G., Yang, D., Chou, C. J., ... & Chen, H. (2003). Chronic inflammation in fat plays a crucial role in the development of obesity-related insulin resistance. *The Journal of clinical investigation*, 112(12), 1821-1830.
- Yamauchi, T., Kamon, J., Minokoshi, Y. A., Ito, Y., Waki, H., Uchida, S., ... & Eto, K. (2002). Adiponectin stimulates glucose utilization and fatty-acid oxidation by activating AMP-activated protein kinase. *Nature medicine*, 8(11), 1288-1295.
- Yuan, M., Konstantopoulos, N., Lee, J., Hansen, L., Li, Z. W., Karin, M., & Shoelson, S. E. (2001). Reversal of obesity-and diet-induced insulin resistance with salicylates or targeted disruption of I κ k β . *Science*, 293(5535), 1673-1677.
- Zidi, I., Mestiri, S., Bartegi, A., & Amor, N. B. (2010). TNF- α and its inhibitors in cancer. *Medical Oncology*, 27(2), 185-198.



Serebral Palsili Çocukların Yürüme Karakteristiğinin Biyomekanik Değerlendirmesi

Yunus Ziya Arslan*

* Türk-Alman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Robotlar ve Akıllı Sistemler Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1861-9368), yunus.arslan@tau.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 4 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 12 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.747998)

ATIF/REFERENCE: Arslan, Y. Z. (2020). Serebral Palsili Çocukların Yürüme Karakteristiğinin Biyomekanik Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 77-84.

Öz

Serebral palsy (SP), kas iskelet sisteminde pek çok deformiteye neden olan ve çeşitli yürüme patolojileri ile kendini gösteren bir hastalıktır. Bükük diz yürüyüşü en çok karşılaşılan yürüme problemlerinden biridir. SP'li hastaların kinetik ve kinematik parametrelerinin sağlıklı kişilere göre farklılık gösterdiği bilinmektedir. Bu çalışmada, bükük diz yürüyüşüne sahip çocukların eklem kinematiği ve kinetiği ile alt ekstremitte kas kuvvetleri açısından sağlıklı bireylere göre olan farklılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için OpenSim yazılımı kullanarak SP'li hastaların ve sağlıklı bireylerin yürüme hareketinin analizi yapılmıştır. Ters kinematik analiz ile kalça, diz ve ayak bileği fleksiyon / ekstansiyon açıları elde edilmiştir. Eklem momentlerinin hesaplanması için ters dinamik yöntemi kullanılmıştır. Statik optimizasyon yöntemi ile medial hamstring, biceps femoris, rektus femoris, gastrocnemius ve tibialis anterior kasları için kas kuvvetleri hesaplanmıştır. SP'li hastalardan kaydedilen elektromiyografi (EMG) verisi ile de kestirilen kas aktivasyonlarının zamanlamalarının deneysel veriyle örtüşüp örtüşmediği kontrol edilmiştir. SP'li çocuklarda kalça eklemi fleksiyon / ekstansiyon açılarında sağlıklı bireylere göre farklılık gözlenmemektedir. Ancak SP'li çocuklarda diz ve ayak bileği fleksiyon/ekstansiyon açılarının sağlıklı bireylerden anlamlı şekilde farklı olduğu belirlenmiştir. Kalça, diz ve ayak bileğindeki fleksiyon/ekstansiyon momentleri incelendiğinde maksimum kalça ekstansör momenti ve ikinci diz ekstansör momenti dışındaki diğer bütün parametreler için SP'li hastalar ve sağlıklı bireyler arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. SP'li çocuklarda biceps femoris ve semimembranosus kas kuvvetleri sağlıklı kişilere göre daha yüksek bulunurken, gastrocnemius, rektus femoris ve tibialis anterior kas kuvvetleri daha düşük bulunmuştur. Kestirilen kas kuvvetleri EMG verisi ile karşılaştırıldığında kasların aktivasyon zamanlarının deneysel olarak elde edilen aktivasyon zamanları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Serebral palsy, Bükük diz yürüyüşü, Kas-iskelet sistemi, Yürüme analizi.

Biomechanical Evaluation of Gait Characteristics of the Children with Cerebral Palsy

Abstract

Cerebral palsy (CP) is a disease that causes several deformities in the musculoskeletal system and it is manifested by various gait pathologies. Crouch gait is one of the most common gait problems. It is known that the kinetic and kinematic parameters of the patients with CP differ from healthy individuals. In this study, it was aimed to determine the differences in joint kinematics, joint kinetics, and muscle forces between healthy children and children with crouch gait. To do so, OpenSim was employed for the analysis of the patients with CP and healthy individuals during walking. Flexion/extension angles of the hip, knee, and ankle joints were obtained using the inverse kinematics approach. The inverse dynamics approach was applied for the calculation of the joint moments. Muscle forces of the medial hamstring, biceps femoris, rectus femoris, gastrocnemius, and tibialis anterior were calculated using the static optimization method. It was investigated whether the timings of the theoretically predicted muscle activations match with the experimental data by using electromyography (EMG) data recorded from patients with CP. There was no significant difference in the flexion/extension angle of the hip joint between children with CP and healthy individuals. However, flexion/extension angles of the knee and ankle joints of the children with CP were found to be significantly different from healthy individuals. Significant differences were also found between the patients with CP and healthy individuals for the hip, knee, and ankle joint moments in the sagittal plane.

* Sorumlu Yazar: yunus.arslan@tau.edu.tr

except for the hip extensor moment and second knee extensor moment. While biceps femoris and semimembranosus muscle forces of the children with CP were higher than those of healthy individuals, gastrocnemius, rectus femoris, and tibialis anterior muscle forces were lower. The activation patterns of the calculated muscle forces were found to be compatible with the experimentally obtained activation times.

Keywords: Cerebral palsy, Crouch gait, Musculoskeletal system, Gait analysis.

1. Giriş

Serebral palsi (SP) beyinde oluşan hasarın büyümesiyle birlikte kas-iskelet sisteminde çeşitli deformitelere neden olan bir hastalıktır [1]. Bu değişikliklerin bazıları, spastisite olarak adlandırılan kasın istemsiz kasılması ve kemiklerdeki deformitelere neden olur. Hastaların kas-iskelet sistemlerinde meydana gelen bu değişiklikler çeşitli yürüme patolojileriyle kendini göstermektedir. SP'li hastalarda tanımlanan patolojik yürüme bozuklukları içinde bükük diz yürüyüşü (crouch gait) en sık görülen tiplerden biridir [2, 3]. Bükük diz yürüyüşünün pek çok sebebi vardır. Bunlar hamstring kas grubunun aşırı aktivitesi, kuadriceps kas grubunun zayıflığı, ayak bileği plantar fleksör kaslarının zayıflığı ve kalça fleksör kaslarının aşırı aktivitesi olabilir [4]. Bükük diz yürüyüşüne sahip hastalarda birincil deformite çoğunlukla diz eklemine aşırı fleksiyon şeklinde kendini gösterir [5]. Postürü dengeyi sağlamak için bu durumun hastaların ayak bileği eklemine artmış dorsifleksiyon ve kalça eklemine artmış fleksiyona neden olduğu belirlenmiştir. Birincil deformitenin ayak bileğinde dorsifleksiyon artışından kaynaklanması durumunda ise yer tepki kuvvet vektörünün diz eklemine arkasından ve kalça eklemine önünden geçmesini sağlamak için kalça ve diz eklemlerinde fleksiyon artışı olmaktadır [6]. Her iki durum kendini aynı postür ile gösterse de uygulanacak tedavi yöntemi değişiklik gösterecektir.

SP gibi kas-iskelet sisteminde değişikliklere ve hareket bozukluklarına neden olan hastalıkların biyomekaniğinin doğrulukla anlaşılması, hastalığın ilerleyişini yavaşlatmak ve uygulanacak tedavi yöntemini doğrulukla belirlemek açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir. SP'li hastaların yürüme esnasında kinetik (eklem momenti) ve kinematik (eklem açısı) parametrelerinde değişiklikler meydana gelmektedir [7]. Bu parametrelerin belirlenebilmesi için hareket analizi yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Hareket analizi ile yürüme sırasındaki eklem parametrelerine ilişkin bilgi edinilmesinin yanında elektromiyografi (EMG) ile kasların elektriksel aktivasyonları ölçülebilmektedir [8]. EMG kullanılarak kasların aktif olduğu anlar belirlenebilmesine rağmen kas kuvvetleri tespit edilememektedir. Modelleme ve simülasyon programları kas kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır [2, 3]. Bu kapsamda OpenSim yazılımı, kullanıcıların kendi modellerini oluşturma, sistem hareketinin dinamik simülasyonunu yapabileceği ve analiz edilebilir olanağı sunan açık kaynak kodlu bir yazılımdır [9].

SP'li hastaların yürüme sırasındaki kinematik ve kinematik parametrelerindeki değişiklikler hakkında kapsamlı bir literatür bilgisi bulunmakla birlikte, kas koordinasyonları açısından elde edilen bilgi sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı, bükük diz yürüyüşüne sahip SP'li hastaların sağlıklı bireylere göre eklem kinematiği, kinetiği ve kas koordinasyonu açısından farklılıklarını değerlendirmektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel Protokol

Bu çalışmada, Steele ve diğ.'nin açık kaynak verisinden faydalanılmıştır [10]. Veri kümesi, hafif etkilenimli, spastik, diplejik 8 SP hastasının (yaş: 8.3 ± 1.6 , boy: 1.21 ± 0.11 m, kilo: 26.9 ± 9.2 kg) yürüme analizi ve EMG verisini içermektedir. Çalışmaya dâhil edilme kriterleri; i) basma fazında minimum diz fleksiyon açısının $15^\circ-40^\circ$ olması, ii) ayakta ekinus deformitesinin olmaması (klinik muayene esnasında 0° dorsifleksiyon açısının elde edilmiş olması), iii) cerrahi operasyon geçmişi olmaması, iv) iskelet sisteminde önemli deformitelerin olmaması (tibial torsiyon ve femoral anteversiyonun 30° 'den az olması) olarak belirtilmiştir.

Yürüme analizi verisi, 12 kameralı hareket kayıt sistemi (Vicon Motion Systems, Lake Forest, CA) ve 13 marker (belirteç) kullanılarak toplanmıştır. Belirteçler standart protokole göre yerleştirilmiştir. Ayrıca yer tepki kuvveti verisi de eş zamanlı olarak dört kuvvet platformu (AMTI, Watertown, MA) aracılığıyla kaydedilmiştir. Hastalar serbest yürüme hızında yürümüştür (0.92 ± 0.18 m/s). Kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin hareketine katkı sağlayan majör kaslardan EMG sinyalleri kaydedilmiştir (Motion Laboratory Systems, Baton Rouge, LA). Bu kaslar medial hamstring (SM), biceps femoris (BF), rektus femoris (RF), gastrocnemius (GAS) ve tibialis anterior (TA) olarak belirlenmiştir. EMG sinyallerinin örnekleme frekansı 1080 Hz'dir. Sinyaller 20-400 Hz aralığında bant geçiren filtre ile filtrelenmiştir [10].

2.2. Kas-İskelet Sistemi Simülasyonu

SP'li hastaların sağlıklı bireylere göre olan farklılıklarını belirlemek için eklem açıları, eklem momentleri ve kas kuvvetleri hesaplanmıştır. SP'li hastaların kas-iskelet sistemlerinin simülasyonları ve hareket analizi açık kaynak kodlu OpenSim programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, OpenSim'in kütüphanesinde bulunan ve Rajagopal ve diğ. tarafından oluşturulmuş tam vücut kas-iskelet sistemi modeli kullanılmıştır [11]. Kullanılan model 39 serbestlik derecesine, 22 segmente ve 80 kas-tendon birimine sahiptir. Öncelikle genel kas-iskelet sistemi modelinin her bir hastanın antropometrik ölçülerine göre ölçeklendirilmesi yapılmıştır. Bunun için hastaların statik pozda kaydedilen belirteç verisi kullanılmıştır. Ölçeklendirme işlemi haricinde modelin kas parametrelerinde ya da kemik geometrisinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Modelin hastanın ölçülerine uyarlanması işlemi tamamlandıktan sonra belirteçlerin 3 boyutlu pozisyon verisi kullanılarak ters kinematik yöntemi ile yürüme sırasındaki eklem açıları hesaplanmıştır. Analizlerde deneysel ve sanal belirteçler arasındaki hatanın minimize edilmesi amaçlanmıştır ve maksimum belirteç hatası 0.05 olacak şekilde analiz tamamlanmıştır. Yürüme sırasında kaydedilen yer tepki kuvvet vektörü ve eklem açıları dikkate alınarak kalça, diz ve ayak bileğinde momentler ters dinamik yöntemi ile hesaplanmıştır. Kas kuvvetlerinin hesaplanması için statik optimizasyon yöntemi kullanılmıştır [12]. Optimizasyonda amaç fonksiyonu olarak, kasların aktivasyonlarının (a) 2. dereceden

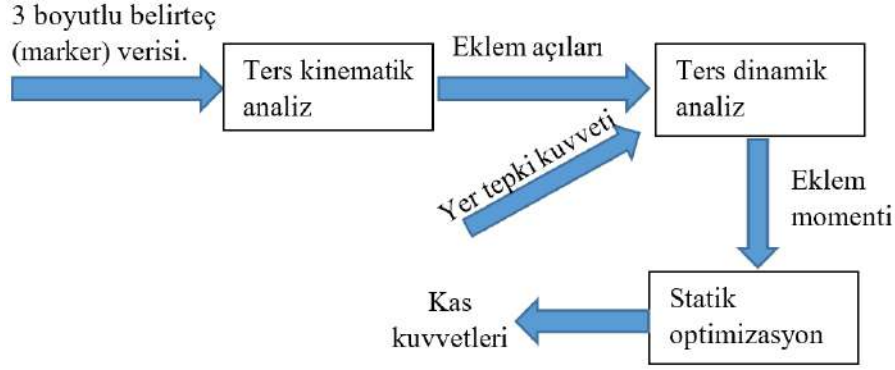
kuvvetlerinin toplamının minimize edilmesini sağlayan fonksiyon kullanılmıştır (Denklem 1) [13].

$$\min\{\sum_{n=1}^k (a_n)^2\} \quad (1)$$

Denklemde, k optimizasyon sırasında dikkate alınan kas sayısını göstermektedir.

Çalışmada kas kuvvetlerini hesaplamak için uygulanan aşamaların özetlendiği akış diyagramı Şekil 1’de gösterilmiştir.

Ayrıca, SP’li hastalardan elde edilen kuvvetlerinin değerlendirilebilmesi için Fukuchi ve diğ.’nin çalışmasında paylaşılan sağlıklı kişilere ait yürüme verisi kullanılmıştır [14]. Bu veri kullanılarak sağlıklı bireylerdeki kas kuvvetleri de OpenSim’deki statik optimizasyon yöntemi ile hesaplanmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kas kuvvetlerini hesaplamak için kullanılan yöntemleri gösteren akış diyagramı

2.3. Kas-İskelet Sistemi Simülasyonu

SP’li hastalardan elde edilen kas kuvvetlerinin sağlıklı kişilere göre olan farklılıklarını nicel olarak tespit etmek için sağlıklı ve hasta bireylerin kinematik, kinetik ve kas kuvvetleri sonuçları için ortalama karekök hatası (root mean square difference-RMSD) ve Pearson korelasyon katsayısı (Pearson correlation coefficient-PCC) hesaplanmıştır. RMSD değerinin 0.1 olması incelenen kuvvetler arasındaki ortalama hatanın %1 olduğunu gösterirken, PCC değerinin 0 olması incelenen kuvvetler arasında korelasyon olmadığını belirtmektedir [15].

Hasta bireylerin sağlıklı bireylere göre olan farklılıklarının belirlenmesi için eklem açıları ve eklem momentlerinin istatistiksel analizi yapılmıştır. İstatistiksel analiz için incelenen kinematik ve kinetik veri Tablo 1’de verildiği üzeredir. İstatistiksel farklılık SPSS programı (Versiyon 21.0; SPSS; Chicago, IL; USA) ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel anlamlılık seviyesi 0.05 olarak belirlenmiştir. Uygulanacak yönteme karar vermek için verinin normalitesi Shapiro-Wilk testi ile incelenmiştir. Test sonucuna göre normalitenin sağlanmadığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu nedenle verilerin istatistiksel olarak

değerlendirilmesi için non-parametrik bir test olan Mann-Whitney U yöntemi kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

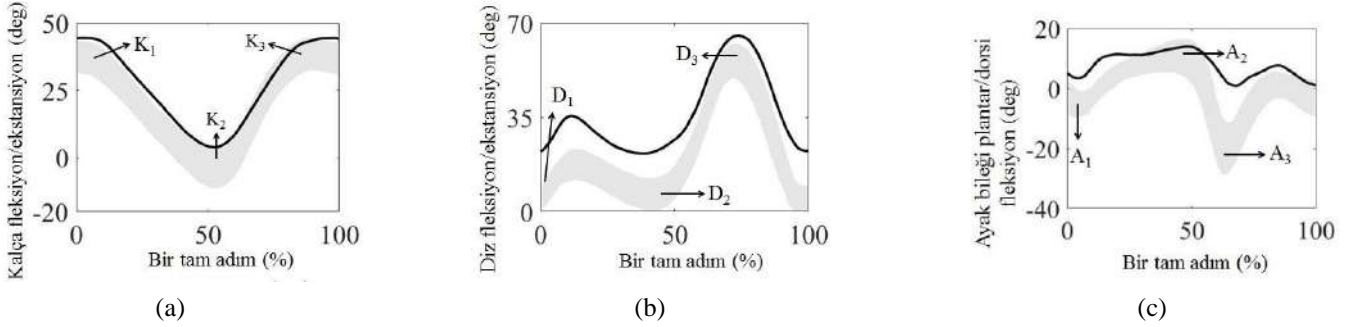
SP’li hastaların kalça, diz ve ayak bileği eklemlerine ait sagittal düzlemdeki ortalama eklem açı değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Tablo 1’de verilen tanımlamalar da şekil üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar bir tam yürüme adımına göre normalize edilerek verilmiştir. Ayrıca aynı şekil üzerinde eklem açılarının sağlıklı bireyler için literatürden elde edilen normal değer aralığı gri alan olarak gösterilmiştir [7]. Böylece hasta bireylere ait eklem açılarının sağlıklı bireylere göre nasıl farklılaştığı daha kolay anlaşılabilir.

Tablo 1. İstatistiksel Analiz için Seçilen Kinematik ve Kinetik Veri

Kinematik		Kinetik	
K_1	Topuk vuruşundaki maksimum kalça fleksiyonu	K_{m1}	Maksimum kalça ekstansör momentleri
K_2	Basma fazındaki maksimum kalça ekstansiyonu	K_{m2}	Maksimum kalça fleksör momentleri
K_3	Salınım fazındaki maksimum kalça fleksiyonu	D_{m1}	İlk diz ekstansör momentleri
D_1	Topuk vuruşundaki maksimum diz fleksiyonu	D_{m2}	Maksimum diz fleksör momentleri
D_2	Basma fazındaki maksimum diz ekstansiyonu	D_{m3}	İkinci diz ekstansör momentleri
D_3	Salınım fazındaki maksimum diz fleksiyonu	A_{m1}	Maksimum ayak bileği dorsifleksör momentleri
A_1	Topuk vuruşundan sonraki ayak bileği plantar fleksiyonu	A_{m2}	Maksimum ayak bileği plantar fleksör momentleri
A_2	Maksimum ayak bileği dorsifleksiyonu		
A_3	Maksimum ayak bileği plantar fleksiyonu		

Kalça eklem açısının karakteristiğinin sağlıklı veriyle uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 2a). SP'li çocukların topuk vuruş anındaki diz eklem açısı (D_1), basma fazındaki maksimum diz ekstansiyon açısı (D_2) ve salınım fazındaki maksimum diz fleksiyon açısı (D_3) normal veriye göre daha yüksektir (Şekil

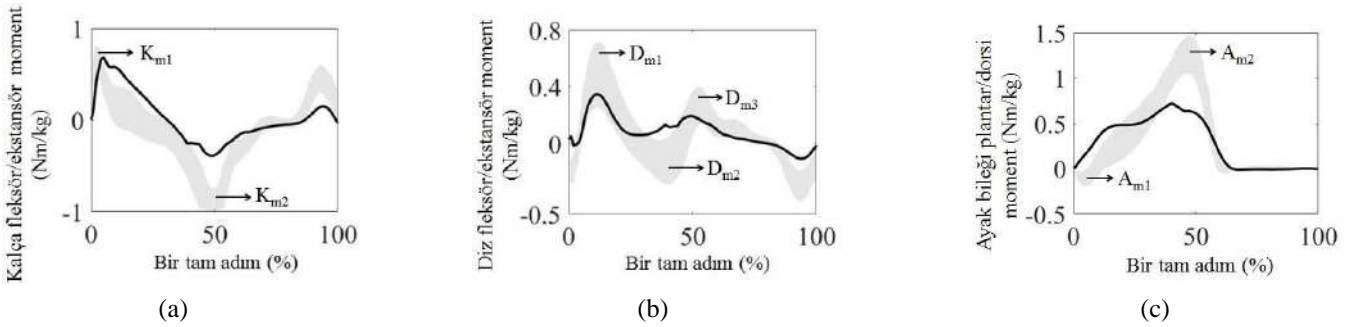
2b). Ayak bileği eklemının genel davranışı normal veriye göre farklılık göstermektedir (Şekil 2c). SP'li çocuklarda basma fazı boyunca dorsifleksiyon açısının sağlıklı bireylere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Bükük diz yürüyüşüne sahip hastaların eklem açılarının değişimi. a) kalça eklemi fleksiyon/ekstansiyon açısı, b) diz eklemi fleksiyon/ekstansiyon açısı, c) ayak bileği plantar fleksiyon/dorsifleksiyon açısı.

Hastaların kalça, diz ve ayak bileği eklemlerine ait moment değerleri Şekil 3'de verildiği üzeredir. SP'li çocuklarda her üç moment grafiğinin genel karakteri sağlıklı veriyle benzerlik göstermektedir. Ancak ayak bileği ekleminde basma fazı başlangıcında dorsifleksör momentinin eksik olduğu görülmektedir. Hasta bireylerde maksimum kalça fleksör momentini (K_{m2}) normal veriye göre daha düşüktür (Şekil 3a).

SP'li çocuklarda ilk diz ekstansör momentini (D_{m1}) ve maksimum diz fleksör momentini (D_{m2}) değişkenlerinin sağlıklı bireylere göre daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3b). Ayrıca hasta bireylerde maksimum ayak bileği dorsifleksör moment değeri (A_{m1}) sağlıklı bireylere göre daha yüksekken, maksimum ayak bileği plantar fleksör moment (A_{m2}) değerinin daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3c).



Şekil 3. Bükük diz yürüyüşüne sahip hastaların eklem momentlerinin değişimi. a) kalça eklemi fleksör/ekstansör momentini, b) diz eklemi fleksör/ekstansör momentini, c) ayak bileği plantar fleksör/dorsifleksör momentini.

Hastaların kalça, diz ve ayak bileği eklemlerine ait kinematik ve kinetik değişkenlerin normal veriyle istatistiksel olarak karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir. Karşılaştırma yapılırken normal verinin ortalama değerleri dikkate alınmıştır. SP'li çocuklarda topuk vuruşundaki maksimum kalça fleksiyonu (K_1), basma fazındaki maksimum kalça ekstansiyonu (K_2) ve salınım fazındaki maksimum kalça fleksiyonu (K_3) istatistiksel olarak farklılık göstermemektedir ($p>0.05$). Hastalarda diz eklemi kinematiği incelendiği zaman topuk vuruşundaki maksimum diz fleksiyonun (D_1), basma fazındaki maksimum diz ekstansiyonun (D_2) ve salınım fazındaki maksimum diz

fleksiyonun (D_3) sağlıklı kişilerden daha yüksek olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Hastaların topuk vuruşundan sonraki ayak bileği plantar fleksiyonu (A_1) ve maksimum ayak bileği plantar fleksiyonu (A_3) sağlıklı kişilere göre daha yüksek bulunurken ($p<0.05$), maksimum ayak bileği dorsifleksiyonunun (A_2) normal veriden anlamlı derecede farklı olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Kinetik değişkenler incelendiğinde görülmektedir ki SP'li çocuklarda kalça ekleminde maksimum kalça ekstansör momentini (K_{m1}) ve diz ekleminde ikinci diz ekstansör momentini (D_{m3}) haricindeki bütün değişkenler sağlıklı bireylere göre istatistiksel olarak farklıdır ($p<0.05$).

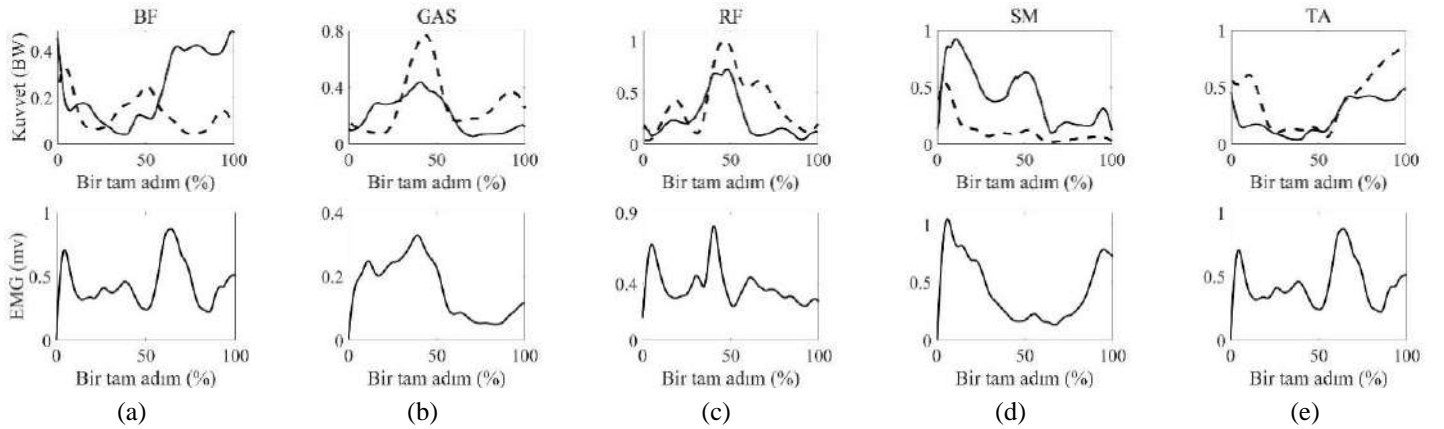
Tablo 2. Kinematik ve Kinetik Verinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

	Kinematik					Kinetik					
	SP'li hastalar	Ort	Min	Mak	<i>p</i>	SP'li hastalar	Ort	Min	Mak	<i>p</i>	
K_1	44.36	37.29	31.35	43.22	-	K_{m1}	0.69	0.61	0.41	0.81	-
K_2	4.25	-4.11	-11.09	2.94	-	K_{m2}	-0.39	0.87	-0.74	-0.99	0.021
K_3	43.21	37.52	30.48	44.05	-	D_{m1}	0.34	0.48	0.25	0.71	0.042
D_1	22.28	6.24	1.12	11.35	0.035	D_{m2}	0.05	-0.14	-0.29	0.03	0.038
D_2	21.55	6.37	0.24	12.51	0.032	D_{m3}	0.19	0.25	0.12	0.38	-
D_3	65.38	56.18	50.01	63.35	0.043	A_{m1}	0.01	-0.11	-0.19	-0.02	0.044
A_1	4.45	-5.23	-9.51	0.946	0.042	A_{m2}	0.71	1.27	1.06	1.47	0.026
A_2	13.88	10.51	4.58	16.42	-						
A_3	1.15	-20.08	-28.78	-11.37	0.026						

Ort: Ortalama; Min: Minimum, Mak: Maksimum, *p*: istatistik anlamlılık değeri

SP'li hastalardan elde edilen ortalama kas kuvvetleri Şekil 4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçların kişinin ağırlığından bağımsız değerlendirilebilmesi için kuvvet değerleri vücut ağırlığına (body weight-BW) normalize edilmiştir. Hastalardan kaydedilen EMG verisi de Şekil 4'te gösterilerek kestirilen kas aktivasyonlarının zamanlamalarının deneysel veriyle örtüşüp örtüşmediği kontrol edilmiştir. Sağlıklı bireylerden elde edilen kas kuvvetleri de aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Kas kuvveti sonuçları kontrol edildiğinde SP'li çocuklarda biceps femoris kasının salınım fazında sağlıklı kişilere göre daha fazla kuvvet ürettiği görülmektedir. Hastaların gastroknemius kası basma fazı başlangıcında sağlıklı kişilere göre daha fazla kuvvet üretirken, basma ortasından itibaren sağlıklı kişilere göre daha az kuvvet

üretmiştir. SP'li çocukların rektus femoris kasının ise sağlıklı kişilere göre daha az kuvvet ürettiği görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere SP'li bireylerde semimembranosus kas kuvveti yürüme boyunca sağlıklı kişilere göre daha fazla kas kuvveti üretmektedir. Tibialis anterior kasına bakıldığında SP'li çocuklar basma fazı başlangıcında ve salınım fazı boyunca sağlıklı kişilere göre daha az kas kuvveti üretmektedir. Kestirilen kas kuvvetlerinin aynı kasların deneysel olarak elde edilen aktivasyon zamanları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Sadece rektus femoris kasında basma fazı başlangıcında aktivasyon gözlenmesine rağmen kas kuvvetinin düşük olduğu ve semimembranosus kasında basma ortasında düşük aktivasyon olmasına rağmen yüksek kas kuvveti olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Bükük diz yürüyüşüne sahip hastaların kas kuvvetleri ve EMG sinyalleri. a) BF: biceps femoris, b) GAS: gastroknemius, c) RF: rektus femoris, d) SM: semimembranosus, e) TA: tibialis anterior. Düz siyah çizgi (—): SP'li hastalar. Kesikli siyah çizgi (---): sağlıklı bireyler.

SP'li hastalardan ve sağlıklı kişilerden elde edilen kas kuvvetleri için hesaplanan RMSD ve PCC değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Her kas için RMSD değerleri 0.20'nin üzerindedir. Tibialis anterior hariç diğer kasların PCC değerleri 0.80'nin

altındadır. En düşük RMSD değeri 0.35 ile rektus femoris kasından elde edilirken, en büyük fark 1.09 ile semimembranosus kasında ortaya çıkmıştır. En düşük PCC değeri 0.38 ile BF kasından, 0.83 ile TA kasından elde edilmiştir.

Tablo 3. SP'li ve Sağlıklı Kişiler için Hesaplanan Kas Kuvvetlerinin Ortalama RMSD ve PCC Değerleri

	BF	GAS	RF	SM	TA
RMSD	0.56	0.49	0.35	1.09	0.37
PCC	0.38	0.65	0.78	0.55	0.83

4. Sonuç

SP'li hastaların kinetik ve kinematik parametrelerinin sağlıklı kişilere göre farklılık gösterdiği bilinmektedir [16]. Bu çalışmada büyük diz yürüyüşüne sahip SP'li hastaların eklem kinetiği, eklem kinematiği ve kas kuvvetlerinin sağlıklı bireylere göre olan farklılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.1. Eklem Açıları

Kinematik sonuçlar incelendiğinde, SP'li hastaların kalça eklemine ait her üç parametre (topuk vuruşundaki maksimum kalça fleksiyonu K_1 , basma fazındaki maksimum kalça ekstansiyonu K_2 , salınım fazındaki maksimum kalça fleksiyonu K_3) için normal veri dikkate alındığında istatistiksel bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Bu çalışmaya dahil edilen hastalar hafif etkilenimli SP hastaları olduğu için K_1 , K_2 ve K_3 parametreleri normal veriden anlamlı derecede farklı çıkmamıştır ve bu sonuç Hicks ve diğ.'nin çalışmasıyla da uyumludur [6]. Hicks ve diğ.'nin çalışması göstermiştir ki hafif etkilenimli büyük diz yürüyüşü karakteristiğine sahip hastalarda kalça fleksiyon açısı sağlıklı bireylere göre farklılık göstermemektedir. Ancak büyük diz yürüyüşünün şiddeti arttıkça kalça eklemi fleksiyon açısı da hastalığın karakterine uygun şekilde artmaktadır. Topuk vuruşundaki maksimum diz fleksiyonu (D_1) değerinin normale göre daha yüksek bulunması ($p<0.05$) hastanın topuk vurma anında büyük diz yürüyüşü karakterine sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 2b). Ayrıca hastaların basma fazındaki minimum diz fleksiyon açısı (maksimum diz ekstansiyon açısı) ve salınım fazındaki maksimum diz fleksiyon açısı sağlıklı kişilere göre daha yüksektir ($p<0.05$). Bu sonuç, literatürdeki diğer çalışmalara benzer olarak hastaların diz eklemine yürüme boyunca aşırı fleksiyonda olduğunu göstermektedir [17, 18]. Yürüme boyunca diz eklemine fleksiyon açısındaki artış büyük diz yürüyüşünün karakterini doğrudan yansıtmaktadır. SP'li hastalarda ayak bileği eklemine normal veriden farklı bir karaktere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2c). Basma fazı başlangıcında dorsifleksiyon açısının ve topuk vuruşundan sonraki ayak bileği plantar fleksiyonun (A_1) sağlıklı veriye göre daha yüksek olması, diz fleksiyon açısındaki artışa bağlı olarak ayak bileğinin dorsifleksiyon açısında artışa işaret etmektedir. Ayrıca SP'li hastalarda sağlıklı bireylerden farklı olarak basma fazını takip eden plantar fleksiyonun hemen ardından dorsifleksiyon hareketi meydana gelmektedir. Basma fazında iki dorsifleksiyon tepesi (double bump) olarak kendini gösteren bu davranış, hastalarda sıçrama yürüyüşü (bounce gait) karakteri olduğunu da göstermektedir. Büyük diz yürüyüşünün karakteristik belirtilerinden biri olan sıçrama yürüyüşü, plantar fleksör kasların refleksif kasılması nedeniyle meydana gelmektedir [6, 19, 20].

4.2. Eklem Momentleri

Kinematik sonuçlar göstermektedir ki SP'li hastalarda basma fazında kalça ekstansör momenti sağlıklı bireylerden farklılık göstermezken, salınım fazında kalça fleksör momenti sağlıklı

bireylere göre anlamlı derecede azalma göstermektedir. Bu sonuç literatürle uyumludur [3]. Klinik açıdan değerlendirildiği zaman özellikle salınım fazında kalça fleksör momentinin azalma eğiliminde olması, hastaların daha fazla kalça ekstansör momentine ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Kalça fleksör kasları, kuadricepsler, aynı zamanda diz ekstansör kasları olarak rol oynamaktadır. Kuadriceps kas grubundaki zayıflığın büyük diz yürüyüşünün temel sebeplerinden biri olduğu bilinmektedir [21]. Hasta kişilerde diz fleksör momentinin salınım fazında sağlıklı bireylere göre daha düşük olması da diz ekstansör momentine ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir. Bu sonuç, kalça eklemine de bulguyla da uyumludur. Literatürde de büyük diz yürüyüşünün tedavisi için diz ekstansör momentinin artırılması en etkin tedavi yollarından biri olarak sıklıkla önerilmektedir [22]. SP'li hastaların ayak bileği eklem momenti incelendiğinde sağlıklı bireylerden farklı olarak basma fazı başlangıcında maksimum dorsifleksör momentin eksik olduğu görülmektedir. Literatürdeki çalışmalar, bu durumun sıçrama yürüyüşü (bounce gait) sebebiyle oluştuğunu göstermektedir [3, 23]. Ayak bileği eklem açısı incelendiğinde yukarıda da açıklandığı üzere hastalarda sıçrama yürüyüşü olduğu görülmektedir (Şekil 2c). Bu patoloji plantar fleksör kasların refleksif kasılması ile ilgili olup, basma fazı başlangıcındaki dorsi fleksör momentin oluşmasına engel olmaktadır [24].

4.3. Kas Kuvvetleri

Literatürde büyük diz yürüyüşünün birincil sebepleri arasında diz fleksör kaslarının aşırı aktivitesi yer almaktadır [6]. Özellikle hamstring kas grubunun aktivitesinin diz ekstansiyonunda azalmaya neden olduğu bilinmektedir. Kuvvet sonuçları incelendiğinde BF ve SM kas kuvvetlerinin SP'li çocuklarda sağlıklı bireylere göre daha yüksek olduğu (Şekil 4, Tablo 3) ve bununla uyumlu olarak önceden belirtildiği üzere SP'li çocuklarda diz ekstansiyon açısının sağlıklı bireylere göre daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3, Tablo 2). Steele ve diğ.'nin çalışması büyük diz yürüyüşüne sahip hastalarda kuadriceps kas grubunun da hamstringler gibi aktif olması gerektiğini, aksi takdirde hastalığın şiddetinin arttığını göstermiştir [3]. Bu çalışmadaki hasta grubu hafif etkilenimli olduğu için hasta ve sağlıklı kişilerin rektus femoris kas kuvvetleri arasındaki fark düşük çıkmıştır (Tablo 3). Diz fleksör kası olan gastroknemius SP'li çocuklarda daha az kuvvet üretmiştir. Bunun sebeplerinden biri gastroknemius kasının aynı zamanda ayak bileği plantar fleksör kası olmasıdır. Gage, ayak bileği plantar fleksör kaslarındaki zayıflığın büyük diz yürüyüşüne neden olduğunu belirtmiştir [4]. Ayak bileği plantar fleksör momentindeki azalma ile bu sonucun uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 3c). Ayrıca gastroknemius kasının basma fazı başlangıcındaki normalden farklı aktivitesi parmak ucu yürüyüşüne neden olmaktadır (Şekil 2c). SP'li çocuklarda tibialis anterior kas kuvveti sağlıklı bireylere göre daha düşüktür. Hasta bireylerde ayak bileği dorsifleksör momentinin, basma fazının başlangıcı haricinde, sağlıklı verilerden daha düşük olmadığı görülmektedir (Şekil 3c). Dolayısıyla tibialis anterior kas kuvvetindeki bu azalma, literatürde de belirtildiği üzere,

plantar fleksör kaslardaki kuvvet azalmasının kompanzasyonu sonucunda oluşmuştur [25].

4.4. Kısıtlar

Çalışmanın sonuçları değerlendirilirken kısıtlarının da belirtilmesi gerekmektedir. Bunlardan bir tanesi, OpenSim kütüphanesinde mevcut olan ve bu çalışmada kullanılan kas-iskelet sistemi modelinin, çalışmada dikkate alınan tüm hasta ve sağlıklı bireylerin kas-iskelet sistemi yapılarını tam doğrulukla temsil edemeyeceği gerçeğidir. Çünkü her insan vücudu farklı antropometrik özelliklere ve kas-iskelet sistemine sahiptir. Dolayısıyla her insana özgün olan fizyolojik karakteristiğinin genelleştirilmiş bir vücut modeli aracılığıyla tüm gerçekliği ile temsil edilebilmesi mümkün değildir. Bununla birlikte EMG ölçümü yapılan kas sayısının artırılması, sağlıklı ve hasta bireylerin kas koordinasyon farklılıklarının, daha fazla kas grubu için de değerlendirilebilmesine olanak sağlayacaktır. Bundan sonraki çalışmada, kas-iskelet sistemi modeli hastalar için özelleştirilecek ve sağlıklı ve hasta kişiler arasındaki kas koordinasyonu farkı, özelleştirilmiş modeller kullanılarak değerlendirilecektir.

Sonuç olarak, SP'li çocuklarda kalça eklemi fleksiyon / ekstansiyon açısında sağlıklı bireylere göre farklılık gözlenmemiştir. Ancak SP'li çocuklarda diz ve ayak bileği fleksiyon/ektansiyon açılarının sağlıklı bireylerden anlamlı şekilde farklı olduğu belirlenmiştir. Maksimum kalça ekstansör momenti ve ikinci diz ekstansör momenti dışındaki diğer bütün parametreler için SP'li hastalar ve sağlıklı bireyler arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. SP'li çocuklarda biceps femoris ve semimembranosus kas kuvvetleri sağlıklı kişilere göre daha yüksek bulunurken, gastroknemius, rektus femoris ve tibialis anterior kas kuvvetleri daha düşük bulunmuştur. Kestirilen kas kuvvetleri EMG verisi ile karşılaştırıldığında kasların aktivasyon zamanlarının deneysel olarak elde edilen aktivasyon zamanları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışmamızda ortaya konulan bulguların, SP'li çocuklar için uygulanan tedavi yöntemlerinin etkilerinin objektif bir açıdan değerlendirilebilmesine katkı sağlayacağı beklenmektedir.

Kaynakça

- [1] Bar-On, L., Molenaers, G., Aertbelien, E., Monari, D., Feys, H., & Desloovere K. (2014). The relation between spasticity and muscle behavior during the swing phase of gait in children with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities*, 35, 3354–3364. DOI: 10.1016/j.ridd.2014.07.053
- [2] Correa, T. A., Schache, A. G., Graham, H. K., Baker, R., Thomason, P., & Pandy, M. G. (2012). Potential of lower-limb muscles to accelerate the body during cerebral palsy gait. *Gait & Posture*, 36, 194–200. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.02.014
- [3] Steele, K. M., van der Krogt, M. M., Schwartz, M. H., & Delp, S. L. (2012). How much muscle strength is required to walk in a crouch gait? *Journal of Biomechanics*, 45, 2564–2569. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2012.07.028
- [4] Gage, J. R. (1990). Surgical treatment of knee dysfunction in cerebral palsy. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 253, 45–54. PMID: 2317990
- [5] Sutherland, D. H., & Davids, J. R. (1993). Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 288, 139–147. PMID: 8458127
- [6] Hicks, J. L., Schwartz, M. H., Arnold, A. S., & Delp, S. L. (2008). Crouched postures reduce the capacity of muscles to extend the hip and knee during the single-limb stance phase of gait. *Journal of Biomechanics*, 41, 960–967. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.01.002
- [7] Sangeux, M., & Armand, S. (2015). Kinematic deviations in children with cerebral palsy. In F., Canavese & J., Deslandes (Ed.). *Orthopedic management of children with cerebral palsy: A comprehensive approach* (pp. 241–256). New York, NY: Nova Science Publishers Inc.
- [8] De Luca, C. J. (2002). Surface electromyography: Detection and recording. *DelSys Incorporated*, 10, 1–10. <https://www.delsys.com/downloads/TUTORIAL/semg-detection-and-recording.pdf>
- [9] Delp, S. L., Anderson, F. C., Arnold, A. S., Loan, P., Habib, A., John, C. T., Guendelman, E., & Thelen, D. G. (2007). OpenSim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54, 1940–1950. DOI: 10.1109/TBME.2007.901024
- [10] Steele, K. M., Seth, A., Hicks, J. L., Schwartz, M. S., & Delp, S. L. (2010). Muscle contributions to support and progression during single-limb stance in crouch gait. *Journal of Biomechanics*, 43, 2099–2105. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2010.04.003
- [11] Rajagopal, A., Dembia, C., DeMers, M., Delp, D., Hicks, J., & Delp, S. (2016). Full body musculoskeletal model for muscle-driven simulation of human gait. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63, 2068–2079. DOI: 10.1109/TBME.2016.2586891
- [12] Arslan, Y. Z., Jinha, A., Kaya, M., & Herzog, W. (2013). Prediction of muscle forces using static optimization for different contractile conditions. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 13, 1350022. DOI: 10.1142/S021951941350022X
- [13] Anderson, F. C., & Pandy, M. G. (2001). Static and dynamic optimization solutions for gait are practically equivalent. *Journal of Biomechanics*, 34, 153–161. DOI: 10.1016/S0021-9290(00)00155-X
- [14] Fukuchi, C. A., Fukuchi, R. K., & Duarte, M. (2018). A public dataset of overground and treadmill walking kinematics and kinetics in healthy individuals. *PeerJ*, 6, e4640. DOI: 10.7717/peerj.4640
- [15] Arslan, Y. Z., Adli, M. A., Akan, A., & Baslo, M. (2010). Prediction of externally applied forces to human hands using frequency content of surface EMG signals. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 20, 36–44. DOI: 10.1016/j.cmpb.2009.08.005
- [16] Johnson, D. C., Damiano, D. L., & Abel, M. F. (1997). The evolution of gait in childhood and adolescent cerebral palsy. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 17, 392–396. DOI: 10.1097/01241398-199705000-00022
- [17] Steele, K. M., Damiano, D. L., Eek, M. N., Unger, M., & Delp, S. L. (2012). Characteristics associated with improved knee extension after strength training for individuals with cerebral palsy and crouch gait. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*, 5, 99–106. DOI: 10.3233/PRM-2012-0201
- [18] Klotz, M. C. M., Krautwurst, B. K., Hirsch, K., Niklasch, M., Maier, M. W., Wolf, S. I., & Dreher, T. (2018). Does additional patella tendon shortening influence the effects of multilevel surgery to correct flexed knee gait in cerebral

- palsy: A randomized controlled trial. *Gait & Posture*, 60, 217–224. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.12.004
- [19] Putz, C., Wolf, S. I., Mertens, E. M., Geisbusch, A., Gantz, S., Braatz, F., Döderlein, L., & Dreher, T. (2017). Effects of multilevel surgery on a flexed knee gait in adults with cerebral palsy. *The Bone and Joint Journal*, 9, 9-B (1256-64). DOI: 10.1302/0301-620X.99B9.BJJ-2016-1155.R1
- [20] Sossai, R., Vavken, P., Brunner, R., Camathias, C., Graham, H. K., & Rutz, E. (2015). Patellar tendon shortening for flexed knee gait in spastic diplegia. *Gait & Posture*, 41, 658-665. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2015.01.018
- [21] Lotman, D.B. (1976). Knee flexion deformity and patella alta in spastic cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 18, 315–319. DOI: 10.1111/j.1469-8749.1976.tb03653.x
- [22] Lenhart, R. L., Brandon, S. C. E., Smith, C. R., Novacheck, T. F., Schwartz, M. H., & Thelen, D. G. (2017). Influence of patellar position on the knee extensor mechanism in normal and crouched walking. *Journal of Biomechanics*, 51, 1–7. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2016.11.052
- [23] Ma, Y., Liang, Y., Kang, X., Shao, M., Siemelink, L., & Zhang, Y. (2019). Gait characteristics of children with spastic cerebral palsy during inclined treadmill walking under a virtual reality environment. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2019, 1-9. DOI: 10.1155/2019/8049156
- [24] Lin, C. J., Guo, L. Y., Su, F. C., Chou, Y. L., & Cherng, R. J. (2000). Common abnormal kinetic patterns of the knee in gait in spastic diplegia of cerebral palsy. *Gait & Posture*, 11, 224-232. DOI: 10.1016/S0966-6362(00)00049-7
- [25] Blazkiewicz, M., & Wit, A. (2018). Compensatory strategy for ankle dorsiflexion muscle weakness during gait in patients with drop-foot. *Gait & Posture*, 68, 88–94. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.011



Federelerin Yüksek Seviye Mimari Standart Uyumluluğunun Denetlenmesi İçin Çözüm Önerisi

Arzum Berrak Arıbal^{1*}, Tülin Erçelebi Ayyıldız²

^{1*} Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9834-5802), arzumberrakaribal@gmail.com

² Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7372-0223), ercelebi@baskent.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 9 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.749583)

ATIF/REFERENCE: Arıbal, A.B. & Ayyıldız, T.E., (2020). Federelerin Yüksek Seviye Mimari Standart Uyumluluğunun Denetlenmesi için Çözüm Önerisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 85-92.

Öz

Bu çalışma bir federasyona dahil olan federelerin Yüksek Seviye Mimari (High Level Architecture, HLA) uyumluluk sınavının gerçekleştirilmesi için bir temel teşkil etmektedir. Federelerin HLA uyumunun denetlenmesi için mevcut yöntemler analiz edilmiş ve bu analiz sonrası HLA uyumluluğu ile beraber birlikte çalışabilirlik problemlerinin çözümü için bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem geliştirilen araç seti ile desteklenerek geliştirilmesi devam eden bir Koşum Zaman Altyapısı (Run-Time Infrastructure, RTI) ürünü ile birlikte denenmiş: birlikte çalışabilirlik problemleri en aza indirilmiş ve simülasyonların birlikte çalışabilirliği için gerekli olan HLA uyumluluğu test edilmiştir. Araştırma sonucunda birlikte çalışabilirlik faaliyetleri kapsamında karşılaşılan uyumluluk problemlerine bir çözüm üretilmiştir. Gerçekleştirilen birçok projede HLA kurallarının sadece belirli bir kısmı uygulanmakta olup bu yaklaşım simülasyon sistemlerinin birlikte çalışabilirliğini sağlamak açısından çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle federelerin HLA uyumlu tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Özellikle askeri amaçlı olmak üzere farklı kuruluşlar tarafından farklı teknolojiler kullanılarak geliştirilmiş HLA uyumlu simülasyonlar mevcuttur. Müşterek hareket konseptinin gelişmesine paralel olarak farklı simülasyonların entegre bir şekilde çalışması ihtiyacı doğmuştur. Bununla birlikte HLA uyumlu simülasyonların entegrasyonu ve birlikte çalışabilirliği için standart uyumluluğu gözetmek kaçınılmaz hale gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Seviye Mimari, Modelleme ve Simülasyon, Birlikte Çalışabilirlik.

Solution Proposal to Check High Level Architectural Standard Compliance of Federate's

Abstract

This study is the basis for performing the High Level Architecture (HLA) compatibility test of federates included in a federation. Existing methods were analyzed to check the HLA compliance of federates, and after this analysis, a method was proposed for the solution of interoperability problems with HLA compatibility. This method has been tested with a Run-Time Infrastructure (RTI) product that is still being developed by supporting it with the developed toolkit: interoperability problems are minimized and the HLA compatibility required for simulations interoperability has been tested. As a result of the research, a solution has been produced for compatibility problems encountered within the scope of interoperability activities. Only a certain part of the HLA rules are implemented in many developed projects, and this approach is often insufficient to ensure the interoperability of simulation systems. For this reason, it is very important to design the federates in compliance with HLA. There are HLA compatible simulations developed by different organizations using different technologies, especially for military purposes. In parallel with the development of the joint operation concept, the need for different simulations to work integrately. However, it has become inevitable to observe standard compatibility for the integration and interoperability of HLA compatible simulations.

Keywords: High Level Architecture, Modelling and Simulation, Interoperability.

* Sorumlu Yazar: arzumberrakaribal@gmail.com

1. Giriş

Modelleme ve Simülasyon (Modelling & Simulation, MODSIM) sistemleri için birlikte çalışabilirlik, birden fazla benzer sistemin fiziksel olarak birbirine bağlı olması, birbirlerine mesaj, veri veya hizmet sunması ve sunulan bu mesaj, veri ve hizmetlerin bir arada çalışmaları için etkin bir biçimde kullanılması olarak tanımlanabilir. Böylece farklı simülasyon çözümlerinin güçlü yanları birleştirilerek, bu alanda kullanıcı ihtiyaçlarının daha iyi karşılanması hedeflenmektedir. Birlikte çalışabilirlik; “bir sistemin ya da sürecin, ortak standartlar çerçevesinde diğer bir sistemin ya da sürecin bilgisini ve/veya işlevlerini kullanabilme yeteneği” olarak da tanımlanabilir (IEEE Standard Computer Dictionary, 1990) (Tolk ve Muguira, 2003). Birlikte çalışabilirlik için sadece veri değişimi değil, simülasyonlar arası senkronizasyonda önem taşımaktadır. Bu amaçla birçok uluslararası standart tanımlanmıştır ve geliştirilen standartlardan en önemlisi Yüksek Seviye Mimari (High Level Architecture, HLA)’dır. HLA, 1995 yılında Amerikan Savunma Bakanlığı (Department of Defense, DoD) Savunma Modelleme ve Simülasyon Ofisi (Defense Modeling and Simulation Office, DMSO) tarafından askeri projelerin ihtiyaçlarına uygun olarak önerilmiştir. Amacı, DIS, ALSP gibi önceki standartlardan öğrenilmiş dersleri uygulayarak, çoklu donanım, yazılım ve ağ mimarilerini destekleyecek fonksiyonel bir mimariyi tanımlayarak mevcut simülasyon sistemlerinin birlikte çalışabilirliği ve yeniden kullanılabilirliğini sağlamak için genel bir simülasyon çerçevesi oluşturmaktır. HLA üç versiyona sahiptir: 1998’de DMSO tarafından yayınlanan HLA 1.3, 2000 yılında IEEE (Institute of Electrical and Electronics) tarafından yayınlanan HLA1516-2000 ve 2010 yılında IEEE tarafından yayınlanan ve HLA Evolved olarak bilinen HLA1516-2010 (IEEE Standard for Modeling and Simulation High Level Architecture, 2000). Başlangıçta tamamen askeri uygulamaların ihtiyaçlarına uygun olarak geliştirilmiştir. Fakat günümüzde simülasyon sistemlerinin kullanıldığı bir çok farklı alanda uygulanmaktadır (Dahmann, Kuhl ve Weatherly, 1998) (Yılmaz, Durak, Taylan ve Oğuztüzün, 2014).

Bir simülasyon sisteminin HLA standardı ile uyumluluğu, “RTI Uyumluluğu” ve “Federe Uyumluluğu” olmak üzere iki farklı adım ile test edilmektedir. RTI Uyumluluğu, DMSO tarafından HLA standardı ile uyumluluk için 2000 civarında test ile gerçekleştirilir. Federe Uyumluluğu ise HLA servislerinin testi yapılarak sağlanabilir. Uyumluluk (Sertifikasyon) için temel adımlar şu şekildedir;

- Web üzerinden test uygulamasının çalıştırılması
- Federe geliştiricisinin web üzerinden FUT (Federate Under Test) için bir uygunluk çizelgesi göndermesi
- Arayüz çevre verilerinin sunulması
- Arayüz dokümantasyonu ve raporlamanın sunulması

Öte yandan DoD Ocak 2015’te bütçe kısıtları nedeniyle RTI sertifikasyon faaliyetlerini durdurduğunu açıklamıştır. Bu tarihten sonra simülasyon alanında gerçekleştirilen ürünler standartta tanımlanan servisleri gerçekleştirilmesine rağmen sertifikalanmış «certified» veya doğrulanmış «verified» olarak tanımlanamamakta, ancak bu standartla uyumlu «compliant» olduğundan bahsedilebilmektedir. Bu nedenle de günümüzde HLA Evolved (IEEE 1516-2010) standardı ile sertifikalanmış

veya doğrulanmış herhangi bir ürün bulunmamakta, geliştiriciler ürünlerini bu standartla uyumlu olarak geliştirmektedir.

Simülasyonun çok uzun bir geçmişi olmamasına rağmen, son yıllarda dünyada ve ülkemizde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan modelleme ve simülasyon teknolojilerinin artan önemine bağlı olarak, ülkemizde özellikle savunma sanayiinde bu konuda ciddi çalışmalar yapılmaktadır ve dünyada bu işle uğraşan diğer kurum ve kuruluşlarla rekabet edecek HLA uyumlu birçok taktik, operatif ve stratejik seviye simülasyon sistemi geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam etmektedir. Geliştirilen bu modelleme ve simülasyon projelerinde de standartlara uyumluluk konusuna önem verilmekte, bu amaçla geliştirilen sistem ve projelerin uluslararası standartlara uyumluluk kapsamında bazı hazır çözüm yazılım ve altyapılar kullandıkları görülmektedir. Bununla birlikte literatürde yapılan araştırmalar doğrultusunda bilindiği kadarıyla, bir simülasyonun HLA standardına uyumluluğunu test eden bir çalışmaya rastlanamamıştır.

Bu çalışmada simülasyon projelerinde yer alan federelerin HLA uyumluluğunun sınanması için mevcut yönetimleri analiz edilmiştir. Yöntemler, HLA Standardı’nda yer alan federe kurallarına dayanarak analiz edilmiştir. Giriş bölümünde HLA’yı odakta tutan Modelleme ve Simülasyon temel kavramlarına genel bakıştan bahsedilmiştir. Bu makalenin geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2’de Yüksek Seviye Mimari ile ilgili konulara genel bir bakış sağlayarak, federenin uyumluluğunun denetlenmesi ile ilgili yöntemler listelenmiş, Bölüm 3’te, stadarda uygun federe geliştirimi ile ilgili mevcut çalışmalar incelenmiş ve Bölüm 4’te ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yüksek Seviye Mimari (High Level Architecture, HLA) Bileşenleri

HLA’yı Tablo 1 üzerinde görüldüğü gibi (i) HLA Çerçeve ve Kurallar (IEEE Std 1516-2000); (ii) Federe Arayüz Spesifikasyonu (IEEE Std 1516.1-2000); (iii) Nesne Modeli Şablonu (OMT) (IEEE Std 1516.2-2000); (iv) Federasyon Geliştirme ve Çalıştırma Süreci (IEEE Std 1516.3-2003) kavramları oluşturmaktadır (IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA), 2000).

HLA Çerçeve ve Kurallar, federasyon iletimi sırasında, federelerin doğru şekilde etkileşimi için gerekli prensiplerdir. Kurallar, federelerin ve federasyonu tasarlayan kişilerin sorumluluklarını tanımlamaktadır.

Federe Arayüz Spesifikasyonu, federeler ve RTI arasındaki ara yüzü tanımlamaktadır. Simülasyonların birbirleriyle nasıl etkileştiğini açıklar.

Nesne Modeli Şablonu (Object Model Template, OMT), simülasyonda nesnelere, nitelikleri ve aralarındaki iletişim biçimini tanımlamaktadır (Falcone and Garro, 2019). FOM’un yapısını belirler. Federasyon Nesne Modeli (Federation Object Model, FOM) ve Simülasyon Nesne Modeli (Simulation Object Model, SOM) olmak üzere iki farklı modeldir.

Federasyon Geliştirme ve Çalıştırma Süreci, federasyonun geliştirilmesinde ve işletilmesinde uygulanması önerilen süreç adımlarını tanımlamaktadır.

Tablo 1. Yüksek Seviye Mimari (High Level Architecture, HLA)

Standart Tanımı	
IEEE 1516-2000	IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) HLA Framework and Rules, approved by IEEE on September 21st, 2000.
IEEE 1516.1-2000	IEEE Standard for M&S HLA Federate Interface Specification, approved by IEEE on September 21st, 2000.
IEEE 1516.2-2000	IEEE Standard for M&S HLA Object Model Template (OMT) Specification, approved by IEEE on September 21st, 2000.
IEEE 1516.3-2003	IEEE Recommended Practice for HLA Federation Development and Execution Process, approved by IEEE on April 23rd, 2003.

2.2. Modelleme ve Simülasyon Terimleri

Bu bölümde HLA standardına genel bir bakış verilmektedir.

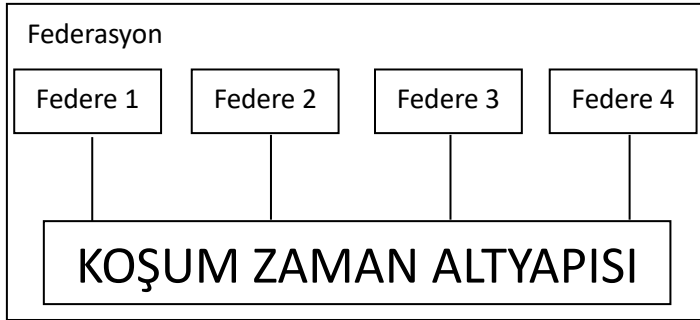
2.2.1. Federasyon

HLA standardında birlikte çalışan simülasyonların bütünü federasyon olarak ifade edilmektedir. Federasyon üç bileşenden oluşmaktadır (Gerlach, Durak and Knüppel, 2016).

Federe, federasyonun bir üyesidir ve tek noktadan RTI'ya bağlıdır.

FOM, federasyon geliştirici tarafından tanımlanan, federelerin kendi aralarında değiş tokuş yaptığı veriler arasındaki ilişkileri tanımlamaktadır. Bir kısmı RTI tarafından okunan federeler için tanımlanmış bir anlaşmadır.

Koşum Zaman Altyapısı (Run-Time Infrastructure, RTI), federasyonun işletilmesini sağlamaktadır. İleri ki bölümlerde detaylandırılacaktır (Şekil 1).



Şekil 1 – Koşum Zaman Altyapısı (Run-Time Infrastructure, RTI)

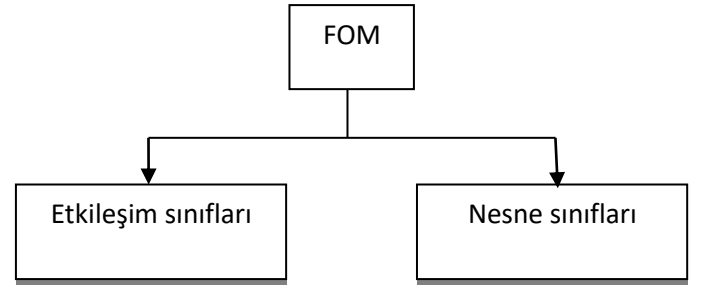
2.2.2. Federe

HLA standardında her bir simülasyon ise federe olarak isimlendirilmektedir. Federeler federasyon içerisinde işletilir (Federation Execution). Federe tek bir gemiyi, bir filoyu, bir ülkenin ordusunu temsil eden bir simülasyon vb. şeklinde olabilir.

2.2.3. Nesne Modeli Şablonu (Object Model Template, OMT)

Önceki bölümde de belirtildiği gibi, OMT tüm FOM'lar için bir yapı tanımlamaktadır Her bir federasyon, o federasyon için tanımlanmış FOM'u kullanmaktadır. FOM federeye özel bilgiler bulundurmaz; sadece, bir federasyon işletimi sırasında RTI üzerinden federelerin alıp vereceği veriyi tanımlamaktadır. Federasyon işletiminin başında FOM, RTI tarafından okunmaktadır. FOM, nesne sınıfları ve etkileşim sınıfları olarak iki temel bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2).

e-ISSN: 2148-2683



Şekil 2 – Federasyon Nesne Modeli (Federation Object Model, FOM)

2.2.4. Etkileşim Sınıfları (Interaction Class)

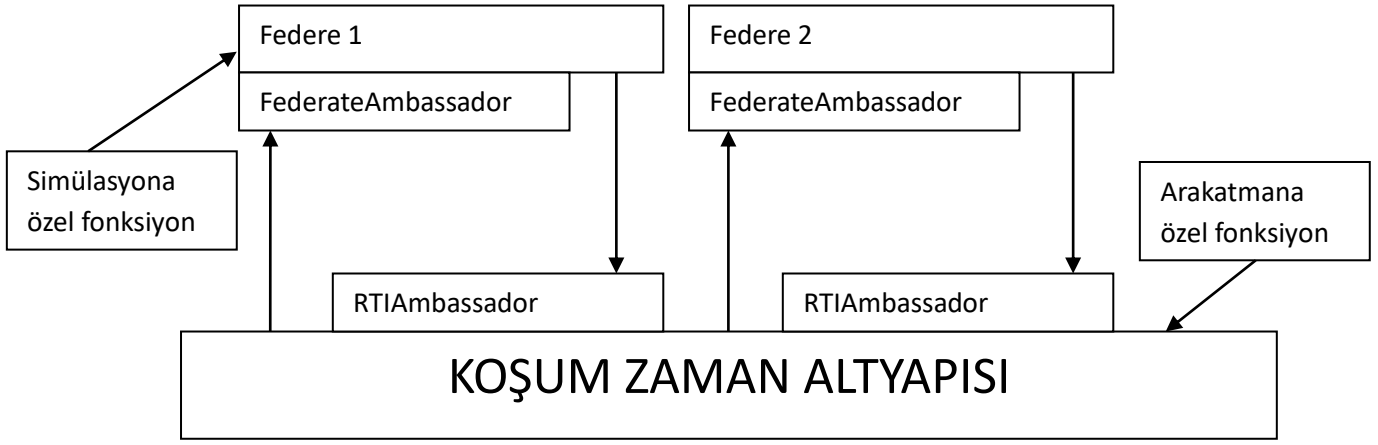
Etkileşim sınıfları, belirli bir anda bir bir federeye diğer federelere RTI üzerinden gönderilen veri bütününe verilen isimlerdir. Etkileşim sınıfları, simülasyonda oluşan ve diğer simülasyonların (federelerin) ilgilendiği bir oluşum ya da olaydır. Örneğin patlama olayı etkileşim kullanılarak diğer federelere iletilir. Bir federe etkileşimi gönderir (Send Interaction) ve ilgilenen diğer federeler etkileşimi alır (Receive Interaction). Etkileşim sınıflarında olay başlar ve biter, süreklilik içermez. Etkileşim sınıfları parametrelerden oluşmaktadır.

2.2.5. Nesne Sınıfları (Object Class)

Nesne sınıfları, simüle edilmiş varlıklardır. Birden fazla federenin ilgisi dahilinde tanımlanırlar. Etkileşim sınıflarından farklı olarak anlık değil, belirli bir süre boyunca kalıcılıklarını sürdürürler. OMT, nesne sınıflarını tanımlamaktadır. Etkileşim sınıflarının parametreleri içermesi gibi, nesne sınıfları da öznitelikleri (attribute) içerir. Federeler, nesnelere örneklerini (instance of objects) yaratabilirler. Her bir örnek farklı bir kimliğe (identity) sahiptir. Özniteliklerde o örnek için farklı kimliğe sahiptir. Federeler, bir nesne örneğinin durumunu, öznitelikleri güncelleyerek değiştirirler. Federeler birbirleriyle, RTI üzerinden etkileşim ve nesnelere aracılığıyla haberleşirler. Her bir federe kendi içinde tuttuğu simüle varlıkları, FOM içinde tanımlanmış nesnelere dönüştürmek zorundadır.

2.2.6. Koşum Zaman Altyapısı (Run-Time Infrastructure, RTI)

RTI, bir federasyonda tüm federelere iletişim hizmetleri sağlayan bir ara yazılımdır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** üzerinde görüldüğü gibi federeler birbirleri ile doğrudan konuşmazlar. RTI her bir federe için RTIambassador arayüzünü sunmaktadır ve federe bu arayüzü kullanarak RTI servislerini çağırır. Bu servisler federe tarafından başlatılan (federate-initiated) servisler olarak ifade edilmektedir. Her bir federe FederateAmbassador



Şekil 3 – FederateAmbassador & RTIAmbassador Arayüzü

arayüzünü sunar. RTI bu arayüzü kullanarak federe ile olan etkileşimini yürütür. Bu servislerde, RTI tarafından başlatılan (RTI-initiated) servisler olarak ifade edilir. FederateAmbassador ve RTIAmbassador kullanılarak çağrılan tüm servisler standartta tanımlanmıştır. FederateAmbassador soyut sınıftır ve federe bu soyut sınıftan türetilmek zorundadır.

2.3. Federasyon & Federe Kuralları

HLA standardı federeler için 5 kural ve federasyonlar için de yine 5 kural olmak üzere, toplam 10 kural tanımlanmaktadır. Bir simülasyon modelinin HLA uyumlu olduğunun söylenebilmesi için HLA standardında yer alan on kuralın hepsine uyması yeterli bir koşul olacaktır. Başka bir deyişle eğer simülasyon modeli bu on kuralın hepsini sağlıyorsa HLA uyumlu olduğu kabul edilmektedir.

Federasyon kuralları aşağıdaki gibidir;

Kural 1: Federasyonlar, OMT'ye göre tanımlanmış FOM'a sahip olmalıdır. OMT, RTI'ın ihtiyaç duyduğu bilgilerden daha fazlasını içerir. Bu ekstra bilgi, federasyon için tutarlılığı sağlamak için mühendisler tarafından kullanılır.

Kural 2: Bir federasyonda nesne örnekleri RTI yerine federelerde tutulmalıdır. Bu RTI'ın jenerik kalmasını sağlar. Bu beraberinde bir kısıtı da getirir. RTI hiçbir nesnenin özniteliğinin değerini saklamamalıdır.

Kural 3: Federasyon işletimi sırasında, federeler arasında alıp verilen ve FOM'da tanımlanan veri RTI aracılığı ile federelere ulaştırılmalıdır. Başka bir deyişle federeler birbirleri ile doğrudan haberleşemez. Bu kuralın amacı tekrar kullanılabilir simülasyon bileşenleri oluşturmaktır.

Kural 4: Federasyon işletimi sırasında federeler RTI ile Federe Arayüz Spesifikasyonu dokümanında belirtildiği üzere haberleşmelidir. Bu kuralın amacı farklı RTI implementasyonlarını kullanmanın yolunu açmaktır.

Kural 5: Federasyon işletimi sırasında bir nesnenin özniteliğine sadece tek bir federe sahip olabilir.

Federe Kuralları aşağıdaki gibidir.

Kural 6: Federeler, HLA Nesne Modeli Şablonu (OMT) dokümanına uygun olarak oluşturulmuş bir SOM'a sahip olmalıdır.

Kural 7: Federeler, Simülasyon Nesne Modeli (SOM)'da belirtilen nesne özniteliklerini almalı ya da vermelidir. Benzer şekilde SOM'da belirtilen etkileşimi almalı ya da göndermelidir. Bu kurala uyulduğu takdirde, federe veri açısından HLA standardı ile uyumlu olur.

Kural 8: Federeler dinamik olarak bir özniteliğin sahipliğini alıp verebilirler. Bu bilgi SOM'da bulunmak zorundadır.

Kural 9: Federeler öznitelikleri yayınlarken koşulları (örneğin threshold) değiştirebilirler. Bu bilgi SOM'da belirtilmek zorundadır.

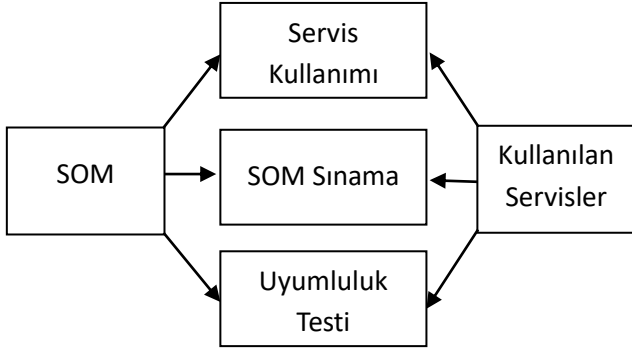
Kural 10: Federeler kendi lokal zamanlarını yönetebilirler.

2.4. Uyumluluğun Sınanması

Federenin HLA uyumluluğunu sınanması için "Test Simülasyonu" olarak adlandırılan bir test aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen test aracı yardımı ile test senaryoları hazırlanmaktadır. Bu araç simülasyon sistemleri birlikte çalışabilirliği için CEY Savunma bünyesinde geliştirilmesi devam eden HLA uyumlu, yüksek performanslı, yerli ve milli bir RTI yazılım çözümü testlerinde de kullanılmaktadır. Bu kapsamda federelerin HLA uyumluluğu HLA 1516 2000.1, 2000.2 ve 2000.3 standartına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. HLA standardında federelerin uyulması gereken kurallar belirtilmiştir. Federelerin SOM ile bu kurallara uyması beklenir. Bu kurallara uymadığı durumda federe amaçları bilinmediği için birlikte çalışabilirlik faaliyetlerini yürütmek zorlaşmaktadır (Özkaymak, Zorba, Arıbal and Sayın, 2019).

Federe kurallarında görüldüğü gibi Kural 10 dışındaki bütün kurallarda SOM'dan bahsedilmektedir fakat bir simülasyon altyapısı için SOM kullanımı zorunlu değildir. Zorunlu olmaması nedeniyle kullanılmaması durumunda federeler HLA uyumlu olamamaktadırlar. Bir federenin HLA uyumlu olmaması ise HLA standardı tarafından vurgulanan birlikte çalışabilirlik ve tekrar kullanılabilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmediği anlamına gelmektedir. Bu nedenle federenin HLA uyumluluğunu test etmek için SOM'un kullanılması gerekmektedir. Uyumluluğun sınanması için gerekli adımlar **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** üzerinde görülmektedir. Örneğin X Federesinin HLA uyumluluğunun sınanması için birtakım girdilere ihtiyaç vardır. Bunlardan ilki SOM girdisidir. SOM'a sahip federenin Gerçek Zamanlı Platform Referans FOM (Real-time Platform Reference FOM, RPR-FOM) uyumlu olması gerekmektedir.

SOM verisi simülasyonda mevcut ise bu sınama için ilk girdi sağlanmış olmaktadır. İkinci test girdisi olan Kullanılan Servisler, federenin kullandığı HLA servislerinin listesidir. Bu iki veri girdisi sağlanırsa sınama adımları başarılı şekilde işletilir.



Şekil 4 – Federe Uyumluluğunun Sınanması

2.4.1. SOM (Simulation Object Model) Sınama

İlk sınama adımı federenin 2000.1 HLA kuralları ve 2000.3 OMT kurallarına uygunluğunun sınanması ile gerçekleştirilir. Bunun için SOM sınaması yapılır. Bu sınama adımı statiktir. Örnek SOM verisi okunarak SOM dosyasının içeriğinin OMT standartındaki kurallara uygunluğu test edilir (Şekil 5).

SOM sınama işlemi için, Şekil 6 üzerinde yer alan adımlar uygulanır. 1 numaralı adımda yer alan SOM dosyası örneği Şekil 5 üzerinde yer almaktadır. SOM dosyası, federeler arasındaki etkileşimi/iletişimi açıklayan geçerli bir XML dosyası olmalıdır. Bölüm 2.2.4'te SOM dosyasında kullanılan etkileşimlerle ilgili, Bölüm 2.2.5'te ise nesne sınıfları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Geçerli bir SOM dosyası mevcut ise 2 numaralı adım kontrol edilmelidir. Şekil 5'te bulunan SOM dosyası birinci satırı üzerinde bir HLA nesne modeli (objectModel) yer almaktadır. HLA nesne modeli, model ismi, model tipi, model versiyonu, model referansı vb. gibi bilgiler barındırmalıdır. Eğer HLA nesne modeli içinde bulunan bir bilgi uygun değilse nesne modelinin ilgili bilgisine "NA" girilmelidir. 2 numaralı adımda yer alan nesne modeli kontrolü bu şekilde sağlanır. 3, 4, 5 ve 6 numaralı adımlarda, SOM dosyası üzerinde ikinci satırda ve daha sonraki satırlarda yer alan nesne sınıfları ve onların özniteliklerinin yapısı, etkileşim sınıfları ve onların parametrelerinin yapısı kontrol edilir. Nesne/Etkileşim/Öznitelik/Parametre isimlendirmeleri XML adlandırma kurallarına uygun olmalıdır. XML adlandırma kurallarında iki nokta üst üste ":" ve "hla" dizesiyle başlayan isimler veya ("H|h") ("L|l") ("A|a") ile eşleşen dizeler dahil edilmemelidir. 7 numaralı adımda lexicon kontrolü gerçekleştirilir. Bu adımda SOM dosyasında bulunan nesne sınıfları, etkileşim sınıfları ve parametre sınıflarının her birinin içerisinde "semantic" özelliği kontrol edilir. Eğer adımlar sonucunda HLA standardına uygun şekilde sonuçlar elde edilirse sınama işlemi başarılı kabul edilir (Şekil 6).

2.4.2. Servis Kullanımı

İkinci sınama adımı için geliştirilen test aracı kullanılarak bir test senaryosu hazırlanır. Test senaryosu federenin kullandığını beyan ettiği servislerden oluşmaktadır. Sınaması yapılan federe ve test federesi ile RPR-FOM verisi kullanılarak test senaryosu işletilir. Bu test sonrasında sınaması yapılan federenin beyan ettiği tüm servisler kullanılmış ise sınama adımı başarılı kabul edilir (Şekil 7).

Gerçekleştirilen bu sınama adımı aşağıdaki sorular ile yönetilir.

- Zorunlu olan servisler çağırılmış mı?
 - o Federasyonu Yarat (Create Federation Execution)
 - o Federasyonu Yoket (Destroy Federation Execution)
 - o Federasyona Katıl (Join Federation Execution)
 - o Federasyondan Ayrıl (Resign Federation Execution)
- Federenin kullandığını beyan ettiği diğer servisler çağırılmış mı?
 - o Nesne Sınıfına Abone Ol (Subscribe Object Class)
 - o Nesne Sınıfını Yayınla (Publish Object Class)

2.4.3. Uyumluluk Testi

Üçüncü sınama adımı ise SOM'da federe tarafından verilen bilgilerin sınanmasının denetlenmesidir. Bu sınama adımı 2. sınama adımı işletilirken RTI yazılımı vasıtasıyla toplanan veriler ile gerçekleştirilir (Şekil 8).

- Yayınlamayı ve Abone Olmayı beyan ettiği sınıfları yayınlayıp abone olmuş mu?
- Sahipliği devredebileceğini beyan etmiş ise öznitelikleri devredebiliyor mu?
- Göndereceğini beyan ettiği etkileşimleri göndermiş mi?
- Güncelleyeceğini beyan ettiği öznitelikleri güncellemiş mi, nesnelere yaratılmış mı?
- Abone olacağını beyan ettiği öznitelikleri almış mı, nesnelere keşfetmiş mi?
- Boyut (dimension) tanımı yaptığı öznitelikleri bölgelerle ilişkilendirmiş mi?

Uyumluluk testlerinde birkaç farklı adım gerçekleşmektedir. Standart servis grupları için ön koşullar sunmaktadır. Bu ön koşulları sağlayarak uyumluluk testleri işletilmiştir.

Nesne testleri için iki federe ve aralarındaki iletişimi sağlamak için RTI kullanılmaktadır. Test edilecek federe bir nesne yarattığı zaman (registerObjectInstance) eğer test uygulaması federesi yaratıldığı belirtilen nesneye abone işlemi gerçekleştirmiş ise RTI test uygulaması federesine keşfetme işlemi gerçekleştirmektedir (discoverObjectInstance).

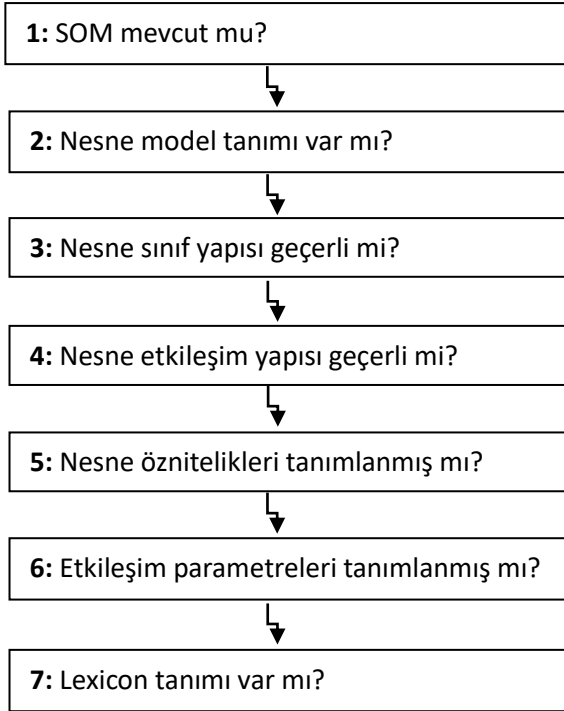
HLA standardına göre federeler birbirlerine doğrudan veri gönderemez ancak veriyi federasyon için erişilebilir hale getirebilirler. RTI bu veriyi ilgilenen federelere ulaştırmakla görevlidir. Bu işlem deklarasyon yönetimi servisleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu servisleri kullanarak federeler ilgilerini deklare edebilirler ve veriyi üretebilirler (publish) ya da veriyi tüketebilirler (subscribe to). RTI bu deklarasyonları kullanarak veriyi yönlendirir, değiştirir ve ilgi yönetimi yapar. Yönlendirme, RTI'nın abonelik (subscription) bilgilerini kullanarak hangi federelerin veriyi alacağına karar vermesi ile gerçekleştirilir. Değiştirme, verinin abonelik durumuna göre tekrar adlandırılması ile gerçekleştirilir. İlgi yönetimi, veriyi üreten (publish) federeler için yapılır. RTI, veriyi üreten federeye o veriye herhangi bir federenin abone olup olmadığını söyler. Aboneliğin olmadığı durumda federe veriyi üretmeyebilir. Nesne


```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE objectModel SYSTEM "hla.dtd"><objectModel DTDversion="1516.2" name="New FOM.xml" type="FOM" vers
<objects>
<objectClass name="HLAobjectRoot" sharing="Neither">
<attribute name="HLAprivilegeToDeleteObject" dataType="NA" updateType="NA" updateCondition="NA" ownership=
<objectClass name="GriddedData" sharing="PublishSubscribe" semantics="Depict global, spatially varying env
<attribute name="TotalValues" dataType="UnsignedLong3" updateType="Conditional" updateCondition="On change
<attribute name="RecordTotal" dataType="UnsignedShort4" updateType="Conditional" ownership="NoTransfer" st
<attribute name="CoordinateSystem" dataType="EnvironmentDataCoordinateSystemEnum16" updateType="Condition
<attribute name="GridDataInfo" dataType="GridDataStructArray1" updateType="Conditional" updateCondition="C
<attribute name="SampleTime" dataType="UnsignedLongLong1" updateType="Conditional" updateCondition="On cha
<attribute name="RecordNumber" dataType="UnsignedShort4" updateType="Conditional" ownership="NoTransfer" s
<attribute name="GridAxisInfo" dataType="GridAxisStructArray1" updateType="Conditional" updateCondition="C
<attribute name="FieldNumber" dataType="UnsignedShort4" updateType="Conditional" ownership="NoTransfer" st
<attribute name="ConstantGrid" dataType="EnvironmentGridTypeEnum8" updateType="Conditional" updateConditic
<attribute name="VectorDimension" dataType="HLAoctet" updateType="Conditional" updateCondition="On change'
<attribute name="GridID" dataType="EntityIdentifierStruct" updateType="Static" updateCondition="N/A" owner
<attribute name="Orientation" dataType="OrientationStruct" updateType="Conditional" updateCondition="On ch
<attribute name="EnvironmentType" dataType="EnvironmentTypeStruct" updateType="Static" updateCondition="N/
<attribute name="NumberOfGridAxes" dataType="HLAoctet" updateType="Conditional" updateCondition="On change
</objectClass>
<objectClass name="EmitterBeam" sharing="Subscribe" semantics="A sector of concentrated energy from a devi
<attribute name="BeamElevationCenter" dataType="Float1" updateType="Conditional" updateCondition="&gt;> EE
<attribute name="PulseRepetitionFrequency" dataType="Float12" updateType="Conditional" updateCondition="&g
<attribute name="BeamIdentifier" dataType="HLAoctet" updateType="Static" updateCondition="N/A" ownership='
<attribute name="EventIdentifier" nameNotes="27" dataType="EventIdentifierStruct" updateType="Conditional'
<attribute name="EmissionFrequency" dataType="Float12" updateType="Conditional" updateCondition="&gt;> EE F
<attribute name="PulseWidth" dataType="Float13" updateType="Conditional" updateCondition="&gt;> EE PW THRS

```

Şekil 5 – SOM Dosyası



Şekil 6 – SOM Sınama Adımları

ile veri göndermenin ilk koşulu, bir federenin yeni bir nesne örneği yaratmasıdır (register). Nesne örneği yaratılması RTI'ya yeni bir unsurun federasyona girdiğini anlatmaktadır. Bazı özniteliklere ya da özniteliklerin tamamına abone (subscribe) olan federe, yeni bir unsur yarattığında, nesneyi keşfeder (discover). Aynı zamanda etkileşim (interaction) gönderme ve alma yine bu servis grubunda yer alan servislerdir. Tüm bu

servislerin davranışı Deklarasyon Yönetimi servis grubunda bulunan yayımlama (publication) ve abonelik (subscription) servisleri tarafından kontrol edilir. Bu yöntemle simülasyon bileşenlerinin birbirlerine gereksiz mesaj göndermeleri engellenebilir. Etkileşim testleri de SOM dosyasında yer alan nesnelerin/etkileşimlerin abone ol/yayımla mekanizması ile uygulanan testler olarak gerçekleştirilmiştir.

Sahiplik testlerinde sahipliği devretmenin üç farklı yolu vardır. İlk olarak test edilecek federe FOM'da yer alan özniteliklerinin sahipliğini hemen elden çıkarabilir. Bunun için başka bir federe nesneyi alacak mı diye beklemesine gerek yoktur. Federe bu sahipliği elden çıkarır ve artık bu öznitelik sahipsiz olur (Divest Attribute Ownership Unconditionally). İkinci bir seçenek olarak test edilecek federe FOM'daki özniteliklerinin sahipliğini elden çıkarmak istediğini RTI'ya bildirir. RTI bu isteği diğer federelere haber verir. Diğer federeler tarafından bu öznitelige sahip olmak isteyen bir federe olursa RTI devir işlemini tamamlar ve tüm federelere haber verir (Divest Attribute Ownership By Negotiation). Son olarak test edilecek federe özniteliklerini elden çıkarmak istediğini diğer federelere bildirir almak isteyen olursa devri gerçekleştirir (Divest Attribute Ownership If Wanted). Burada sahipliği devretmek için test edilen adımlar şunlardır:

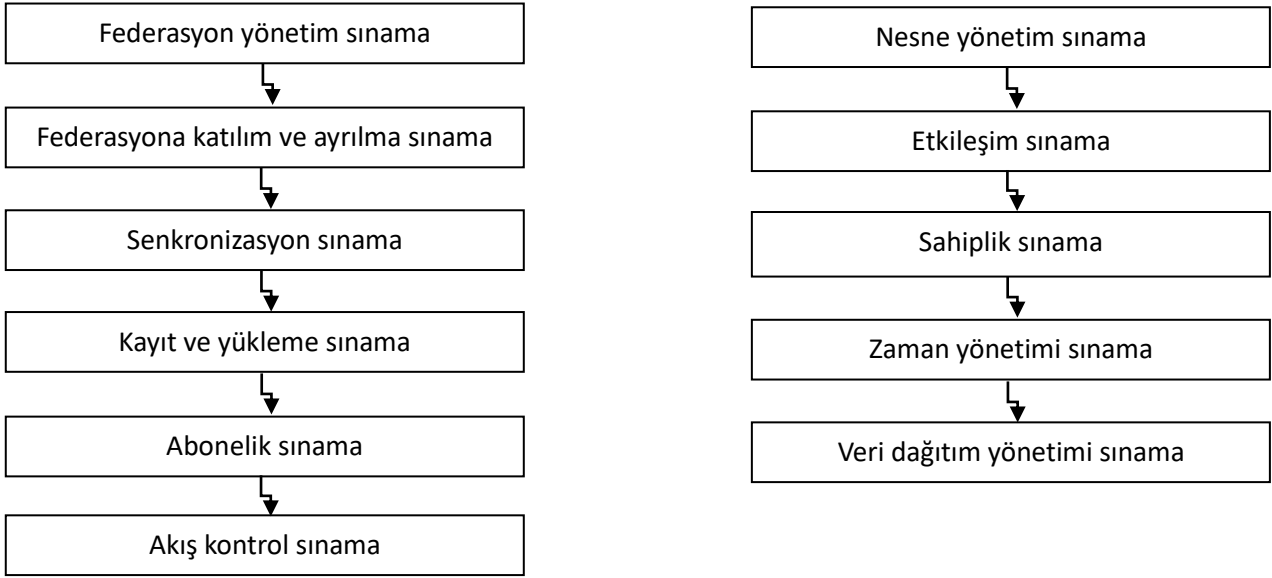
Her test için;

-Öznitelik yayımlanmış mı?

-Nesne yaratma (register) işlemi yapılmış mı? (Bu adımda register eden federe öznitelik'in sahipliğini almış demektir)

-Sahiplik, devretmek isteyen federede mi?

-Her notification servisi için geri dönüş var mı bakılır.



Şekil 7 – Servis Kullanım Aracı



Şekil 8 – Uyumluluk Testi Adımları

Sahiplik almak için test edilecek durumlar:

Her test için;

-Öznitelik yayınlanmış mı?

-Nesne yaratma (register) işlemi yapılmış mı?

-Sahipliği devralmak isteyen federe, almak istediği özniteliklere sahip olmamalı kontrolü (Olan bir öznitelik tekrar alınmaz)

-Her notification servisi için geri dönüş var mı bakılmalıdır.

Veri Dağıtım testleri verilerin tanımlanan belirli bir alan için paylaşılması ile gerçekleşmektedir. Burada güncelleme bölgesi (registrationRegion) ve abonelik bölgesi (subscriptionRegion) isimli iki ayrı bölge yaratılır. Bölgelerin alt ve üst limitlerinin ne olduğu RTI'a bildirilir. Bu test üzerinde güncelleme bölgesinin alt limit 2, üst limit ise 4 olarak verilir. Abonelik bölgesinin ise alt limiti 5, üst limiti 7'dir. Güncelleme ve abonelik bölgeleri kesişmediği için test uygulaması federasyonun yaptığı güncellemeler test edilecek federe tarafından alınmamaktadır. Daha sonra güncelleme bölgesinin alt limiti 2, üst limit 6 olarak güncellenerek RTI'a bildirilir. Bu güncelleme sonucunda güncelleme bölgesi ve abonelik bölgesi 5 ve 6 aralığında kesiştiği için test uygulaması federasyonun yaptığı bu bölge içinde bulunan güncellemelerin test edilecek federe tarafından alındığı görülür.

Zaman Yönetimi testleri federasyonun kendi kontrol zincirlerinde yürüttükleri, federasyon arasındaki olayların doğru sıralanmasının gerektiği önemli bir sorundur. HLA'da olayların sıralanması "mantıksal zaman" olarak ifade edilir. Mantıksal zaman soyut bir kavramdır; herhangi bir temsile veya zaman birimine bağlı olması gerekmez. Zaman yönetimi hizmetleri iki şey için kullanılır:

• Her federasyonun diğer federasyonlarla koordineli olarak mantıksal zamanını iletmesine izin verir.

• Zaman damgalı olayların dağıtımını kontrol eder, böylece federasyonun "geçmişinde" diğer federasyonlardan hiçbir zaman, yani mantıksal zamanından daha az mantıklı zamanı olan olayları almaması gerekir.

RTI, bir federasyonun zaman yönetimine katılacağı zamanı seçmesine izin verir. Bir federe zaman kısıtlı olabilir, bu durumda mantıksal zaman ilerlemesi diğer federasyonlar tarafından kısıtlanır. Bir federe zaman düzenleyici olabilir, bu durumda mantıksal zaman ilerlemesi diğer federasyonları düzenler. Bir federe zaman kısıtlı olabilir ve zaman düzenleyici olabilir veya hiçbiri olmayabilir. Federasyonun amaçlarına ve federasyonun ihtiyaçlarına bağlı olarak farklı seçimler yapılır. Hem düzenleyici hem de kısıtlı olan federasyonların yerel saatlerini, federasyonun değeri belirli federasyonların yerel saatinden daha az zaman damgalı bir olay alabilecek şekilde iletmesine izin verilir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Standarda Uygun Federe Geliştirimi

Bölüm 2.4'te gerçekleştirilen test adımları işletilerek Federe Uyumluluğu sınanmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilen bu sınamaya işlemleri bir federasyonun HLA uyumluluğunun test edilmesi için yeterli adımlardır. Yine aynı bölümde verilen testler gözden geçirilerek bahsedilen ve gerçekleştirimi sağlanan testlerde olduğu gibi HLA federe kurallarına uyulduğu durumda federasyonların ihtiyaç duyduğu ve dışarıya servis ettiği veriler bilinmektedir. Federasyonların Uyumluluk Testi bölümünde bahsedildiği gibi sahiplik yönetimi ile ilgili bilgi almasını ya da Abone Ol/Yayınla mekanizmasında bahsedildiği gibi federasyonların bilgi değişimini nasıl yaptıklarını anlamak mümkündür.

Bahsedilen bölümde gerçekleştirilen sınamaya işlemleri gerçekleştirildikten sonra tanımlanan SOM ve Federe Uyumluluk verisi yeniden kullanılabilirlik açısından çok değerlidir. Yine aynı veriler ile başka bir simülasyon sistemi için şablon olarak kullanılarak birlikte çalışabilirlik sağlanabilir.

4. Sonuç

Bu makalede, federenin HLA uyumluluğunun denetlenmesi konusunda bir çalışma sunulmuştur. Federenin HLA uyumluluğunun sınanması ile ilgili adımlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Federenin birlikte çalışabilirliğini sağlamak; teknik, sözdizimsel, anlamsal ve pragmatik düzeyde çaba ve standardizasyon gerektirmektedir. Modelleme ve Simülasyon sektöründe ülkemizde simülasyonların birlikte çalışabilirliği için gerekli olan HLA uyumluluğuna duyulan ihtiyaç, bu çalışmada geliştirilen araç setleri ile CEY Savunma şirketi bünyesinde geliştirilmekte olan RTI ürünü ile test edilmiştir. Bu testin gerçekleştirilmesi, birlikte çalışabilirlik sorunlarının bir kısmının giderilmesine yardımcı olmuştur. Bu sayede HLA uyumlu federeyi oluşturan simülasyon bileşeninin tekrar kullanılması durumunda oluşabilecek birlikte çalışabilirlik problemleri en aza indirilmiştir.

Kaynakça

- IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. (1990). New York.
- Tolk, A. Muguira, J. (2003). The Levels of Conceptual Interoperability Model, *Fall Simulation Interoperability Workshop*. Paper 03F-SIW-007.

- IEEE Standard for Modeling and Simulation HighLevel Architecture (HLA)-- Framework andRules. (2000). IEEE Std 1516-2010, 1-38.
- Dahmann, J.S., Kuhl, F., Weatherly, R. (1998). Standards for Simulation: As Simple As Possible But Not Simpler The High Level Architecture For Simulation, *SIMULATION*, 71, 378-387.
- Yılmaz, F. Durak, U. Taylan, K. Oğuztüzün, H. (2014). Adapting functional mockupunitsfor HLA-compliant distributed simulation. *Proceedings of the 10th International Modelica Conference (247-257)* Lund, Sweden.
- IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA): 1516–2000 (Framework and Rules); 1516.1-2000(Federate Interface Specification); 1516.2–2000 (Object Model Template (OMT) Specification).
- Falcone, A., Garro, A., (2019). Distributed Co-Simulation of Complex Engineered Systems by Combining the High Level Architecture and Functional Mock-up Interface, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 97.
- Gerlach, T. Durak, U. Knüppel, A. (2016, June). *Running High Level Architecture in Real Time for Flight Simulator Integration*. Paper presented at the AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference. <https://doi.org/10.2514/6.2016-4130>
- Özkaymak, S. Zorba, H.O. Arıbal, A.B. Sayın, M.B. (2019) Birlikte Çalışabilirlik Sorunları ve ARTI ile Çözüm Yaklaşımı, *Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı (USMOS)*, ODTÜ, Ankara.



Elektrikli Otobüslerin Hızlı Şarj Sistemlerinde Kullanılan Pantograf Yapıları

Orhan Topal*

ASELSAN A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3857-5689), otopal@aselsan.com.tr

(İlk Geliş Tarihi 09 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.750221)

ATIF/REFERENCE: Topal, O. (2020). Elektrikli Otobüslerin Hızlı Şarj Sistemlerinde Kullanılan Pantograf Yapıları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 93-100.

Öz

Elektrikli araçların her alanda yaygınlaşması ile birlikte sektörün doğrudan ilintili olduğu şarj sistemi ve beraberindeki altyapı unsurlarında hergeçengün yeni gelişmeler yaşanmakta ve alternatif çözümler ortaya konulmaktadır. Dünya genelinde elektrikli araçların yaygınlaştığı en önemli kulvar şüphesiz elektrikli otobüs sektörüdür. Elektrikli otobüs genel tanımı içerisinde literatür baz alındığında bataryalı elektrikli otobüslerin haricinde trolleybüsler, plug in hibrit otobüsler ve de yakıt hücreli elektrikli otobüsler olmak üzere farklı kategorilerdeki konseptler de değerlendirilmektedir. Bu çalışmada dünya genelinde en çok kullanılan bataryalı elektrikli otobüs konseptine sari hızlı şarj sistemleri ele alınmıştır. Özellikle Avrupa genelinde yaygın olarak kullanılan patograf tipi hızlı şarj sistemlerine dair çok yönlü karşılaştırmalar yapılmış, ülkemizde olası yeni kurulacak elektrikli otobüs filoları için farkındalık sağlanılması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli otobüsler, hızlı şarj sistemleri, pantograf konseptleri.

Pantograph Structures on Fast Charging Systems Used in Electric Buses

Abstract

With the widespread use of electric vehicles in all areas, developments in the charging infrastructure sector, where the industry is directly related, accelerate and various alternative solutions are offered. Undoubtedly, the most important lane in which electric vehicles with rising trends spread across the world is the electric bus industry. Based on the literature within the general definition of the electric bus, it is seen that the vehicle concepts in different categories such as trolleybuses, plug-in hybrid buses and fuel cell electric buses are taken into consideration. In this study, fast charging systems wrapped in the battery-powered electric bus concept, which are the most widely used worldwide, are discussed. It is aimed to raise awareness for possible new electric bus fleets to be established in our country, versatile comparisons have been made of pathograph type fast charging systems, which are widely used throughout Europe.

Keywords: Electric buses, fast charging systems, pantograph concepts.

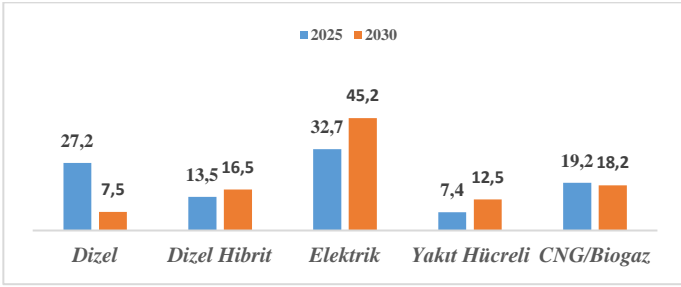
* Sorumlu Yazar: otopal@aselsan.com.tr

1. Giriş

Literatürde yer alan çeşitli çalışmalar ve pazar araştırma raporlarına göre Avrupa'da kamu ve özel toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan otobüsler için 2025 ve 2030 trendlerinin, araç bazlı öngörülmesi Şekil 1'de sunulmuştur. Bu kapsamda bataryalı elektrikli otobüslerin 2025 itibari ile mevcut otobüs filolarının içerisinde % 32,7'sine ve 2030 yılında ise % 45,2'sine karşılık gelmesi beklenirken; diğer taraftan ise toplu ulaşım hizmetlerinde kullanılan dizel otobüslerin ise 2020 yılında % 47,7 oranından 2030' gelindiğinde % 7,5 seviyelerine gerilemesi öngörülmektedir [1][4][5][11].



Şekil 2- Şarj Konseptine göre Elektrikli Otobüsler



Şekil 1. Avrupa'da Otobüslerin Ana Tahrik Sistemine göre Değişim Trendi

Bataryalı elektrikli otobüslerin, şehirlerdeki artan çevre sorunlarını hafifletmek adına otobüs filoları için ümit verici bir alternatif olarak kabul edildiği bu manada kesintisiz hizmet sağlamasına yardımcı olmak için bataryalı elektrikli otobüslere hızlı şarj teknolojisi getirildiği belirtilmektedir. Genel fikir birliği, hızlı şarjın yüksek elektrik talep ücretlerine yol açabileceği ve dolayısıyla elektrikli otobüs sistemlerinin rekabet gücünü tehlikeye atabileceği yönündedir [12].

He.Y ve arkadaşları tarafında yapılan çalışmada, bataryalı elektrikli otobüs sistemleri için hızlı şarj istasyonlarının elektrik talep ücretlerini de içine alan çok yönlü optimizasyon sonuçlarına yer verilmektedir. İlgili çalışmada otobüs bataryalarının, hızlı şarj istasyonlarının, enerji depolama sistemlerinin ve elektrik talep ücretlerinin toplam maliyetini en aza indirmek amacıyla geliştirilen modele dair detaylara yer verilmiştir [13].

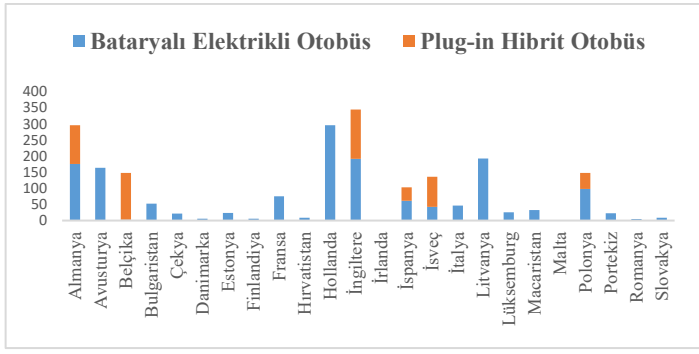
Hızlı şarj istasyonları, elektrikli aracın (EV) halk tarafından kabulü için çok temel bir bileşen olarak görülmektedir. Şarj istasyonu geliştirilmesi konusunda teknolojik yenilikler temel manada yasal düzenlemelerle de ilgilidir. Barzani S.P ve diğerleri tarafından hazırlanan çalışmada, hızlı şarj istasyonlarının en iyi şekilde yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için optimizasyon yaklaşımı sunulmaktadır [14].

Bütün dünya genelinde 2018 yılı verilerine göre çeşitli konseptlerden olmak üzere 157.000 adet elektrikli otobüs için şarj istasyonu kurulmuş gerçeğiştirildiği, bunlardan 153.000 adedinin sadece Çin'de olduğu belirtilmektedir. Yaklaşık olarak 3.000 adedinin Avrupa'da yer aldığı elektrikli otobüsler için kurulan şarj istasyonlarında farklı çözümler geliştirildiği bilinmektedir [2][4][11].

Özellikle şehiriçi toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan elektrikli otobüsler için öngörülen 3 ana tür şarj konsepti bulunmaktadır. İlk olarak dünya genelinde en yaygın olarak tercih edilen geceden şarj olma esasına dayanan yöntem olan yavaş şarj konsepti olup, özellikle Çin'de en çok tercih edilen yöntem olarak literatürde yer almaktadır [2]. Daha yüksek batarya kapasitesi ve daha düşük şarj sistem ve altyapı kapasitesi gereksinimi duyulan bu konseptte, genellikle toplu ulaşımında kullanılan elektrikli otobüslerin geceleri revizyon gereksinimleri sırasında şarj olması prensibi esas göz önünde bulundurulmaktadır. Bu konseptte şarj sistemleri ve otobüsler için sağlanan enerji maliyetleri düşük iken kullanılan yüksek kapasitedeki bataryalardan dolayı araç maliyetleri artmaktadır.

Diğer bir konsept olan hızlı şarj sistemleri için ise gerekli altyapı kurulum maliyeti oldukça yükselmekte, ancak araçların hızlı şarj olma kabiliyetine sahip olmasından dolayı da gerekli olan batarya kapasitesi azalmakta dolayısı ile batarya maliyetleri de düşmektedir.

Hızlı şarj sistemleri de literatürde kendi aralarında 2'ye ayrılmaktadır. İlki daha düşük menzil kapasiteli ve duraklarda şarj olma esasına dayanan ultra hızlı şarj sistemleri olup, durak bazlı şarj altyapısı gerektirirken, düşük batarya kapasitesi gereksinimleri ile kısa sürelerde, duraklardaki yolcu indirip/bindirme süresi içerisinde bataryaların doldurabilmesi mümkün kılınabilmektedir. Diğer hızlı şarj konsepti ise genellikle ilk ve son duraklarda konuşlandırılan şarj altyapı unsurları ile elektrikli otobüslerin işletme döngüleri içerisinde bir tam turunu tamamlanmasına imkân sunacak şekilde sistem çözümü sağlamaktadır. Bu farklı şarj konseptleri esas alındığında duraklarda kurulan sistemlerde -ultra hızlı şarj sistemi olarak da adlandırılmaktadır- gerekli araç topolojisi ve ilgili altyapı maliyeti göz önünde bulundurulduğunda en yüksek maliyetli seçenek olup, araç bazlı batarya kapasitesi yönünden ise makul maliyet perspektifi sunmaktadır. Diğer bir seçenek olan hızlı şarj sistemi ise filo bazında yapılacak karşılaştırmada ultra hızlı şarj sistemine göre, şarj istasyon ve altyapı maliyeti yönünden ekonomik olmakla birlikte araç bazında yavaş şarj sistemleri karşılaştırıldığında daha fazla maliyet gerektirmektedir. Ayrıca kullanılan enerji maliyetlendirmesi için geceden şarj konseptine sari yavaş şarj sistemlerinde elektrik birim fiyatlarında gece puant tarifesinden yararlanılmasından ötürü farklı bir fayda teşkil edilmesi söz konusu olmaktadır.



Şekil 3- Avrupa'da Toplu Ulaşım Hizmetlerinde Kullanılan Elektrikli Otobüs Sayıları

İngiltere'nin otomotiv sektöründe faaliyet gösteren Alexander Dennis Şirketi tarafından hazırlanan çalışmaya göre 2017 yılında Avrupa genelinde yer alan 980 adet elektrikli otobüsün toplam otobüs filolarının % 1,6 'sına karşılık geldiği belirtilmiştir. Toplam 687 adet² bataryalı elektrikli otobüsten; 58 adedinin plug-in hibrit model elektrikli otobüslerden ve son olarak 235 adedinin ise trolleybüslerden meydana geldiği belirtilmektedir. Bunlardan %56 'sı garajlarda geceden şarj konseptine sarı iken, % 44'ünün ise hızlı şarj konsepti ile faaliyet gösterdiği belirtilmektedir [2][4][11].

Bu anlamda elektrikli otobüslerde tercih edilen şarj sistemleri için dünya geneli göz önünde bulundurulduğunda ise 2018 yılında %52 oranla geceden uzun şarj konseptinin ön plana çıktığı görülmekte, onu filo bazında % 40 oranla depo ve hızlı şarj konseptlerinin bir arada kullandığı sistemler takip etmekte ve son olarak da % 8 oran ile sadece hızlı şarj sistemlerinin kullandığı konseptler gelmektedir. Burada en önemli etken dünyada kullanılan elektrikli otobüslerin % 90 'ından fazlasının Çin'de yer alması ve Çin'li üreticilerinin geceden şarjlı yöntemi benimsemesi olarak gösterilebilmektedir. [4] [6].

olma maliyetlerini esas alan yaklaşıma göre geceden şarj etme yönteminin km bazında hızlı şarj yöntemlerinden 0,05 Euro daha ekonomik olduğu; günlük 300 km işletme koşullarında ise bu farkın 0,1 Euro daha fazla maliyet gerektirdiği görülmektedir. Günlük ihtiyaç duyulan menzil değeri arttıkça, gereksinim duyulan batarya maliyeti armaktadır. Burada temel unsur hızlı şarj sistemleri kullanılarak ihtiyaç duyulan toplam araç bazlı batarya miktarları azaltılarak, toplam sahip olma maliyetlerde avantaj sağlanabileceğidir [5].

Avrupa'nın 90 şehri üzerinde gerçekleştirilen, yaklaşık 750 adet elektrikli otobüsün referans alındığı başka bir çalışmada ise, söz konusu kullanılan şarj sistemlerinin %90'nın da geceden yavaş şarj sistemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Aşağıda yer verilen Tablo 1'de, filoda 20'nin üzerinde elektrikli otobüs bulunan işletmeler için kurulan şarj istasyon türlerine yer verilmiştir [6]. Burada yer alan hızlı şarj sistemlerinde pantograf tipi şarj sistemleri tercih edilmiştir.



Şekil 4- Şarj Sistemlerine göre TSOM Analizi [5]

Diğer taraftan literatürde incelenen elektrikli otobüslerde toplam sahip olma maliyetleri yaklaşımlarında şarj sistemlerinin oldukça etkili olduğu görülmektedir [2]. Şarj sistem konseptlerine dair farklı seçenekleri göre maliyetlerin değiştiği belirtilmektedir. Yukarıda verilen grafikte elektrikli otobüslerle gerçekleştirilen bir çalışma sonuçları yer almaktadır. Günlük 150 km menzil koşullarında, 15 km'lik bir hattın esas alındığı işletme şartlarından elektrikli otobüsler için, içerisinde batarya, şarj istasyonu, araç şasisi ve de işletmeye sarı diğer unsurların yer aldığı toplam sahip

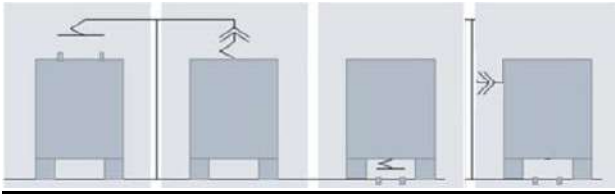
² Bu sayının içerisinde yakıt hücreli elektrikli otobüsler de dâhildir.
e-ISSN: 2148-2683

Tablo 1. Dünya Geneline Kullanılan Bazı Büyük Elektrikli Otobüs Filolarında Kullanılan Şarj Sistemleri

Ülke	Şehir	Araç Sayısı	OEM	Şarj Sistemi
Şili	Santiago	100	BYD	Garajda Geceden Şarj
Şili	Santiago	100	Yutong	Terminalde Hızlı Şarj
Hindistan	İndore	40	Tata	Rota üzerinde Hızlı Şarj
Hindistan	Kolkata	40	Tata	Garajda Geceden Şarj
Hollanda	Leiden	23	Volvo	Terminalde Hızlı Şarj
İngiltere	Nottingham	45	Optare	Terminalde ve Garajda Şarj
Fransa	Paris	23	BlueBus	Garajda Geceden Şarj
Hollanda	Schipol	100	VDL	Terminalde ve Garajda Şarj
Çin	Shenzhen	>16000	BYD, Nanjing, Golden Dragon	Garajda Geceden Şarj

2. Hızlı Şarj Sistem Yapıları

Elektrikli otobüsler için kullanılan hızlı şarj sistemleri için kullanıcılar nezdinde karşılaştırılabilecek temel husus şarj sistemi ile elektrikli otobüsün bataryası arasında enerji akışının sağlandığı pantograf yapılarının farklılığıdır. Bu anlamda sektörde şarj sistemi için sağlanan kontak noktasının esas alındığı 4 farklı elektrikli otobüs şarj konsepti bulunmaktadır.



Şekil 5. Kontak noktalarına göre hızlı şarj sistemleri

Elektrikli otobüs sektöründe hızlı şarj sistemlerine dair sunulan çözümler incelendiğinde; genel manada firmaların anahtar teslim olarak çözümler üzerinde hizmet verdiği görülmektedir. Bu kapsamda uluslararası sektöre incelendiğinde ABB, Heliox, Opbrid ve Siemens başta olmak üzere bu alanda kullanılan farklı yaklaşımlar göze çarpmaktadır.

Çalışmada elektrikli otobüslerde kullanılan hızlı şarj konseptlerinde yaygın olarak kullanılan pantograf yapıları hakkında çok yönlü olarak karşılaştırılma yapılmıştır. Bu minvalde elektrikli otobüslerde kullanılan hızlı şarj sistemlerinde tercih edilen pantograf yapıları 2'ye ayrılmaktadır. İlki elektrikli otobüs için gerekli olan enerjinin şebeke ya da sistemden bataryaya aktarımını sağlayan pantograf yapısının araca dâhil olduğu; ikincisi ise pantograf yapısının şarj istasyonuna dâhil olduğu sistem yaklaşımlarıdır. Bu anlamda pantograf yapısının araca dâhil olduğu ilk yaklaşım on board ya da roof mounted olarak; pantograf yapısının sistemin şarj istasyonuna dâhil olduğu diğer konseptte inverted pantograf olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 6. Farklı Marka ve Modellere ait Inverted & On-board Pantograf Sistemleri

Şarj sistemi çözümü sunan firmaların portfolyosu incelendiğinde güç aktarımı sağlanan pantograf yapısı ve bileşenlerinin farklı tedarikçiler üzerinden sağlandığı görülmektedir. Bu doğrultudan yapılan sektör incelemelerinde pantograf ürünleri için Shunk, Stemann - Technik, Furrey-Frey, Ekoenergetyka ve Saubli firmalarının ön plana çıkmaktadır. Bu ana firmaların, sunulan hızlı şarj konseptine dair sistemler için çözüm ortağı olarak hizmet sunduğu bilinmektedir. Örneğin sektörün en bilindik şarj istem çözüm sağlayıcılarından Heliox pantograf çözümlerinde Shunk'ı; Opbrid firması Furrey-Frey'i, benzer şekilde Siemens firması ise pantograf çözümünde Stemann - Technik'i tercih etmektedir.

Sektörde gerçekleştirilen hızlı şarj çözümlerinde kullanılan pantograf türleri incelendiğinde, firmalar tarafından ağırlıklı olarak inverted pantograf çözümler sunulduğu görülmektedir. Bu doğrultuda hızlı şarj çözümlerinde kullanılan pantograf çözümlerinin değerlendirilmesi adına sektörel bazda ürün sunan firmalara ait şarj sistemlerinin detaylı karşılaştırmalarına yer verilmiştir. Nihai olarak özellikle 2 farklı tür pantograf seçeneği sunan Shunk firmasına ait ürünler baz alındığı ve optimum çözüm seçeneklerine yer verilen yaklaşım sunulmuştur.



Şekil 7. Inverted & On-board Pantograf Sistemleri

Tablo 2. Farklı Marka modellere göre Pantograf Sistemleri

Marka	Model	Tür	Sistem	Mak.Çıkış Gücü	Kullanım Durumu	Kullanım Adedi ³
ABB	Heavy Vehicle Charger	inverted	opportunity	150 kW 300 kW 450 kW 600 kW	İç/dış mekan	51
	Tosa	on-board	opportunity	400 kW 600 kW	İç/dış mekan	26
EKOENERGETYKA	Quick point city Charger	inverted	opportunity	700 kW	İç/dış mekan	100
	Quick point Column Charger	inverted	opportunity	400 kW	İç/dış mekan	
HELIOX	300 kW Opportunity Charger	on-board/inverted	opportunity	300 kW	İç/dış mekan	>150
	450 kW Opportunity Charger	on-board/inverted	opportunity	450 kW	İç/dış mekan	
	600 kW Opportunity Charger	on-board/inverted	opportunity	600 kW (f)	İç/dış mekan	
JEMA ENERGY	I2E _ OC	on-board	opportunity	500 kW	dış mekan	6
SIEMENS	Siemens HPC	inverted	opportunity	300 kW, 450 kW, 600 kW (Planned)	İç/dış mekan	15
OPBRID	Furrer Frey	inverted	opportunity	150 kW- 300 kW	İç/dış mekan	

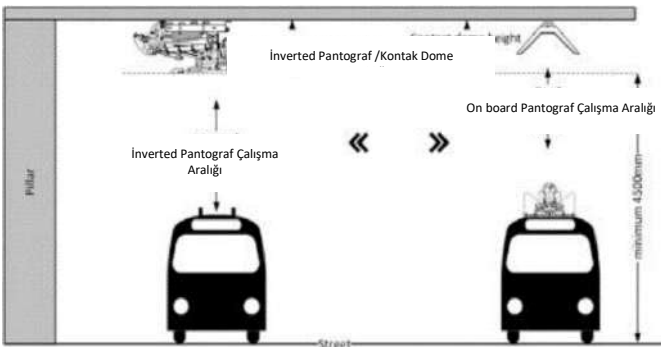
Yukarıda yer verilen Tablo 2’de dünya genelinde elektrikli otobüslerde kullanılan hızlı şarj sistem çözümlülerine dair yapı ve kullanım adetleri sunulmuştur.

2.1 Hızlı Şarj Sistemlerinde Kullanılan Pantograf Yapıları

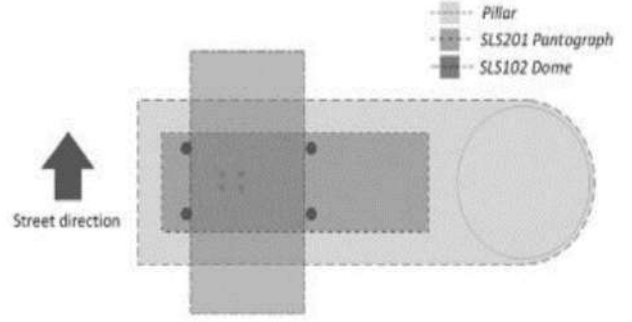
Şarj sistemlerinde kullanılan 2 farklı pantograf türüne dair ilk değerlendirme kriteri mekanik açıdan yapılmıştır. Söz konusu şarj konseptinde seçilecek pantograf türünde hem altyapı hem de araç tarafında bazı farklı gereksinimler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kapsamda ilk olarak her iki pantograf tipinin farklı çalışma yüksekliklerinde işletme sağlayabildiği bilinmelidir. İverted pantograflarda esnek çalışma yüksekliğine sahip olunurken, şarj sistemlerinde özellikle aynı şarj istasyonunu kullanan farklı araç konseptleri için fayda sağlamaktadır. Özellikle elektrik tahrikli çift katlı otobüsler, çöp kamyonları vb. farklı araç konseptleri için tek şarj sistemi ile entegre çözüm imkanı sunulabilir. Diğer taraftan on-board pantografli şarj sistemlerinde bu durum sadece belirlenen araç konseptine sari olarak ve tek tip, araç odaklı olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca şarj sisteminde pantograf monte edilen veya kontak uçlarının yer aldığı direk kol uzunlukları ve de direk kol genişlikleri seçilen pantograf türüne göre değişiklik arz ederken, özellikle aracın şarj için gerekli olan yanaşma mesafelerini doğrudan etkileyen bir unsur olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer mekaniksel karşılaştırma parametresi ise pantografların ve de ilgili komponentlerinin (mekanik aksam ve rayların) ağırlıkları konusudur zira farklı ağırlıkta olan bu 2 pantograf yapısı, araç konfigürasyon ve dizaynını etkileyen bir öncelik olarak değerlendirilmeli; yapılacak tercihe göre ilgili yapıların oluşturacağı ilave ağırlıklar, montajının gerçekleştirileceği direk veya otobüs için ekstra ağırlık teşkil etmesi durumu için gerekli dayanım sağlayacak konfigürasyonlar göz önünde bulundurulmalıdır [8][9][10].



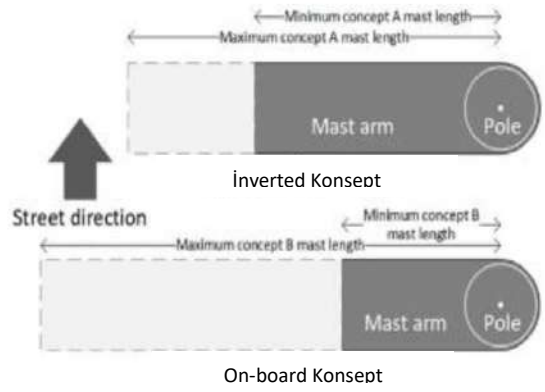
Şekil 8.a On board & Inverted Pantograf Yapıları [7]



Şekil 8.b Direk yükseklik ile kolu uzunlukları [7]

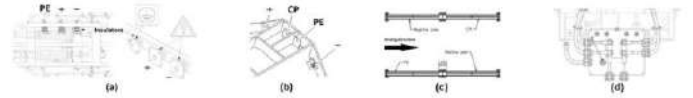


Şekil 8.c Altyapıdaki boşluk boşluğu ve sabitleme noktaları [7]



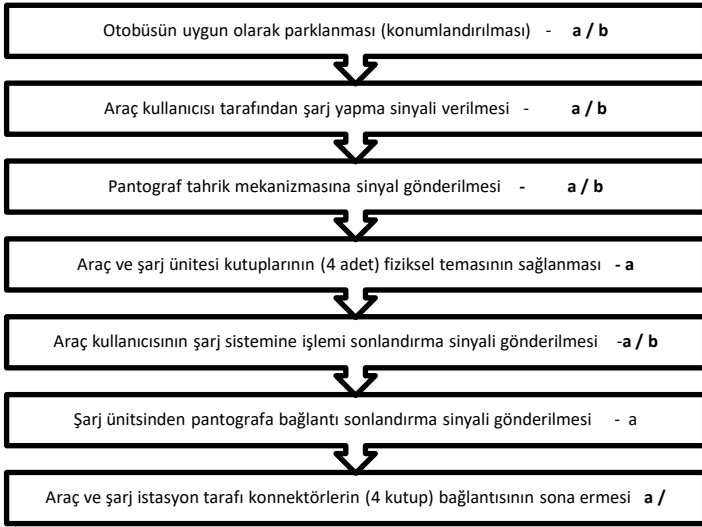
Şekil 8.d Sabitleme Noktaları için Gerekli Mekanik Hususlar [7]

Pantograf yapıları bazında diğer ana değerlendirme kriteri ise elektriksel bağlantı konusudur. Her iki pantograf konseptine dair yapılan karşılaştırmada ihtiyaç duyulan kablo uzunluğu, kablo tipi, konektörü ve izolatörleri dikkate alınmalıdır. Temel olarak, 4 uç bulunması gereken pantografların temas noktaları için (DC +, DC-, PE ve CP) kabloları şarj cihazından / araçtan pantograflara doğru konfigürasyonu sağlanmalıdır. Aşağıda her iki pantograf türüne dair araç tarafında veya altyapı tarafındaki güç bağlantılarındaki farklılıklar gösterilmektedir [7][8][9][10].

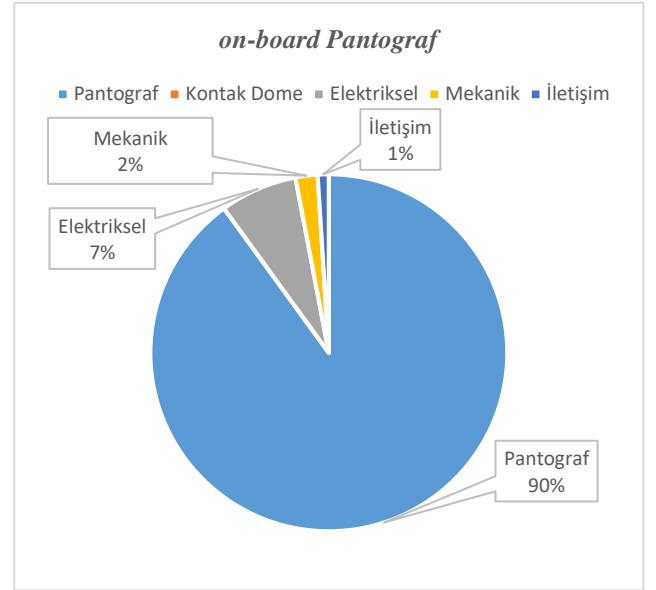


Şekil 9. Pantograf Konseptlerine dair elektriksel bağlantılar (a) On board pantograph infrastructure side, (c) vehicle side; (b) inverted pantograph infrastructure side, (d) vehicle side [7]

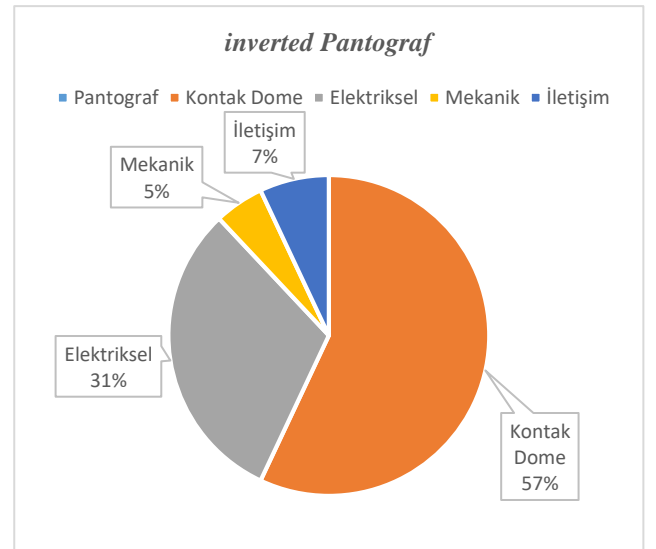
Diğer bir değerlendirme kriteri ise şarj sistemleri ile araç arasındaki iletişim konusudur. Buradaki temel unsur ise şarj işlemi sürecinin başlatılması ve sonlandırılması olarak değerlendirilebilir. Aşağıda her iki pantograf türüne dair araç-şarj sistem iletişimine dair süreçlerine yer verilmiştir.



Şekil 10. Bağlantı Konfigürasyonları (a) inverted concept (b) on board concept



Şekil 11.a On board Pantografların Maliyet Dağılımları



Şekil 11.b Inverted Pantografların Maliyet Dağılımları

Tablo 3. Inverted ve on board Pantografların Temel Özellikleri [9] [10]

Parametreler	On-board Pantograf	İnverted Pnatograf	Birim
Maksimum Gerilim	1500	1000	V dc
Nominal Gerilim	750	750	V dc
Şarj Akımı	500	500	A
Maksimum Akım (<10dak.)	600	800	A
Temas Kuvveti	500	250	N
Ağırlık	175-180	85	kg
Çalışma Sıcaklığı	-30 + 65	-30 + 65	°C

Ayrıca her iki pantograf türünde de pantograf ve şarj sistemi veya araç ile gerekli olan iletişim için ISO 15118-2, IEC 61851 standartları esas alınmaktadır.

Son değerlendirme kriteri ise her iki pantograf türüne dair maliyet analizleri olmaktadır. Bu konuda da yaklaşım sunmak adına aşağıda detaylı ve karşılaştırmalı maliyet analizlerine yer verilmiştir [7]. Söz konusu maliyet analizlerinde dünyada yaygın olarak kullanılan ve her iki tür pantograf yapısını ürün gamında bulunduran Shunk pantograf sistemleri refrans alınarak ortaya konulmuştur.

Burada verilen Şekil 11 'de on board pantograf konseptinde araç tarafında ve şarj istasyonu tarafında yer alan maliyet kırılımlarıdır. İkinci grafik ise inverted pantograf konseptine dair araç tarafında ve şarj istasyonu tarafında yer alan maliyet kırılımlarıdır. Grafiklerde görüleceği üzere on board pantograf türünde araç bazında maliyet kalemleri armaktadır. Özellikle filo bazında değerlendirildiğinde söz konusu inverted pantograf daha ekonomik olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak müşteri odaklı ve operasyonel gereksinimlere bağlı olarak hızlı şarj sistemlerinde kullanılacak pantograf türüne karar verilmelidir.

3. Değerlendirme ve Sonuçlar

Toplu ulaşım hizmeti sunan işletmeleri için gerçek manada % 100 sıfır emisyonlu bir toplu ulaşım sistemine geçmek, yeni otobüs satın almaktan çok daha fazlasıdır. Gereksemin duyulan enerji altyapısı baz alınarak tüm işletme operasyonunun yeniden düşünülmesini gerektirir. Buna tedarik, şarj sistemi, araçların bakım & onarımı, sürücü eğitimi ve kurulacak yenilenebilir enerji entegrasyonu vb. konuları dahildir.

Şehirler özelinde toplu ulaşım işletmeleri bu dönüşümü büyük ve yıllara sari projeler olarak değerlendirmelidir. Bu kapsamda teknoloji ve finansman seçeneklerinin derinlemesine fizibilite edilerek, baz alınacak pilot çalışmalarla elektrikli otobüslerin ve altyapı gereksinimlerinin kademeli olarak karşılanması adına çalışmalar yürütülmelidir. Sorunsuz ve makul bütçeli geçiş süreci sağlamak için performans analizlerinde devamlılık göz önünde bulundurulmalıdır.

Elektrikli otobüs konseptlerinde üzerinde önemle durulması gereken en önemli hususlardan biri de öngörülen ya da kurulan şarj sistemleridir. Mevcut altyapıyı kullanmaya devam ederken, şehirlerin farklı otobüs üreticilerinden araç temin etmesini olanak sağlayan, standartlaştırılmış şarj sistemleri tercih edilmesi önemlidir. Bir üretici veya markaya özel teknoloji, standart dışı kullanım imkânı sunan şarj sistemleri, gelecekte rekabetçi bir elektrikli otobüs tedariki için oluşacak fırsatları engelleyecek ve toplu ulaşım işletmeleri için finansal ve teknolojik risk oluşturacaktır. Bu konuda dünya genelinde toplu ulaşım işletmeleri tarafından her geçen gün artan elektrikli otobüs alımları, şarj sistemlerini standartlaştırmak için artan bir baskı teşkil etmektedir. Ülkemizde de yerel yönetimler nezdinde, şarj teknolojisinin çalışabilirliğini gerektiren tedariki konusunda olası alım şartnamelerinde bu konuya yer verilmeli ve yalnızca bir üretici tarafından kullanılabilen tescilli şarj sistemleri tedarik etmekten kaçınılmalıdır.

Elektrikli otobüs konseptlerinde üzerinde önemle durulması gereken en önemli hususlardan biri de öngörülen ya da kurulan şarj sistemleridir. Mevcut altyapıyı kullanmaya devam ederken, şehirlerin farklı otobüs üreticilerinden araç temin etmesini olanak sağlayan, standardize edilmiş şarj sistemlerinin tercih edilmesi önemlidir. Bir üretici veya markaya özel teknoloji, standart dışı kullanım imkânı sunan şarj sistemleri, gelecekte rekabetçi elektrikli otobüs tedariki için oluşacak fırsatları engelleyecek ve toplu ulaşım işletmeleri için finansal ve teknolojik risk teşkil edecektir. Bu konuda dünya genelinde toplu ulaşım işletmeleri tarafından her geçen gün artan elektrikli otobüs alımları, kullanılan şarj sistem ve teknolojilerinde standart uygulamaların tercih edilmesi açısından baskı unsuru olmaktadır.

Ülkemizde de yerel yönetimler tarafından gerçekleştirilen elektrikli otobüs alımlarında tercih edilen şarj teknolojileri konusunda, tip teknik şartnameler oluşturulmalıdır. Sadece bir marka yada üretici tarafından kullanılabilen tescilli şarj sistem/teknolojilerinin tedarikinden kaçınılmalıdır. Son olarak tercih edilecek elektrikli otobüslerde şarj olma süresi, özellikle otobüslerin garajlarda ne kadar sürede kaldığı ile birlikte araçların işletme koşullarına da bağlı olarak toplu ulaşım idarelerinin tercih

edecekleri şarj sistemleri açısından çok önemlidir. Bu durum en yalın hali ile eğer garajlarda revizyon için beklenen süre, şarj edilmesi için gerekli olan süreden daha kısa ise toplu ulaşım hizmetinin aksamasına neden olur ki elektrikli otobüs konseptine geçişi en başında mümkün kılınmaz hale getirir.

Bu anlamda günümüzün yükselen eğilimi olan hızlı şarj konseptleri değerlendirilirken bu çalışmada yer verilen birçok değişkenin doğru analiz edilerek, etkin ve işletme koşullarına sürdürülebilir kılan, toplam sahip olma maliyet unsurlarına göre karar mekanizmaları belirlenmelidir. Daha da önemlisi ülkemizde elektrikli otomobil konseptleri için var olan şarj sistem tedarik ve üreticileri gibi elektrikli otobüs konseptleri için uygun, pantograf tipi hızlı şarj sistem teknolojilerine dair yatırım ve teşvik mekanizmaları oluşturulmalıdır.

Kaynakça

- [1] TOPAL O. (2019), Türkiye’de Elektrikli Otobüsler, Efe Akdemi, İstanbul 2019.
- [2] Topal, O. Nakir, İ. Total Cost of Ownership Based Economic Analysis of Diesel, CNG and Electric Bus Concepts for the Public Transport in Istanbul City. *Energies* 2018, 11, 2369.
- [3] TOPAL O., “ Türkiye Toplu Ulaşım Sistemlerinde Elektrikli Otobüsler”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019,15,155-167
- [4] BNEF Research Services, Electric Vehicle Outlook Report “Global EV Outlook 2019”
- [5] European Electrification Global Insights, Interact Analysis & McKinsey Company
- [6] ZeEUS eBus Report #1 An overview of electric buses in Europe ve ZeEUS eBus Report #2 An updated overview of electric buses in Europe.
- [7] Pirooza, A., Heidari F., at all “ Feasibility Study Of Reconfigurability Between Different Power Transmission Concepts For Electric Bus Charging”, *Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA 2020, April 27-30, 2020, Helsinki, Finland.*
- [8] Assured Project, Fast and Smart Charging Solutions for Full Size Urban Heavy Duty Applications.
- [9] OPPCharge, Common Interface for Automated Charging of Hybrid Electric and Electric Commercial Vehicles 2nd Edition.
- [10] Schunk Smart Charging. Retrieved from <https://www.schunk-carbontechnology.com/en/smart-charging>.
- [11] UITP Tarafından Hazırlanan Elektrikli Otobüsler üzerine Raporlar
- [12] TOPAL O., Elektrikli Otobüsler Konusunda Yerel Yönetimler için Tavsiyeler
- [13] He, Y., Song, Z., & Liu, Z. (2019). Fast-charging station deployment for battery electric bus systems considering electricity demand charges. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101530
- [14] Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A., & Kazemi-Karegar, H. (2014). Optimal fast charging station placing and sizing. *Applied Energy*, 125, 289-299.



PLC Tabanlı Uygulamalar: Mill Makinelerinde Oluşacak İş Kazalarının PLC Kullanılarak Önlenmesi

Mehmet Ali Öner¹, Serdar Solak^{2*}

¹ Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1918-6645), onermehmetali@gmail.com

² Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1081-1598), serdars@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 8 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.754688)

ATIF/REFERENCE: Öner, M.A. & Solak S. (2020). PLC Tabanlı Uygulamalar: Mill Makinelerinde Oluşacak İş Kazalarının PLC Kullanılarak Önlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 101-110.

Öz

Günümüzde otomasyon sistemlerinin kullanımı giderek artmakta ve bu otomasyon sistemlerinin temelini genellikle Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) tabanlı uygulamalar oluşturmaktadır. PLC, pek çok gelişmiş makine ve cihazın bulunduğu endüstride otomasyon amaçlı kullanılmaktadır. Endüstriyel otomasyon sistemlerinde PLC ile beraber kullanılan, merkezi denetim ve veri toplama (Supervisory Control and Data Acquisition SCADA), insan makine arayüzü (Human- Machine Interface HMI) sistemleri, insan hatalarını ve müdahalesini en aza indirgeyerek güvenli, kaliteli ve hızlı üretim yapmasını sağlamaktadır. Endüstrilerde kullanılan bu sistemler sayesinde, geliştirilen otomasyon yazılımları 7/24 çalışarak yüksek kalite ve düşük maliyetli seri üretime olanak tanımaktadır. Büyük işletmeler insan gücünü ve hatasını en aza indirmek, iş kazalarını önlemek, maliyeti düşürmek, kaliteli ve hızlı üretim yapmak amacıyla otomasyon sistemleri kullanmayı tercih etmektedirler. PLC'ler özellikle gıda, kimya lastik, otomotiv sektörlerinde ambalajlama paketleme sistemlerinde, çimento fabrikalarında, havalandırma ve soğutma tesislerinde, tekstil fabrikalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstrilerde yaygın olarak kullanılan bu sistemler, basit programlama yapısı, kurulum, kullanım ve montaj kolaylığı, zor çalışma ortamlarında dayanıklı bir şekilde çalışması, fazla arıza çıkarmaması, az bakım istemesi ve enerji tüketimlerinin düşük olması sebebiyle tercih edilmektedirler. Makale çalışmasında, PLC tabanlı otomasyon sistemleri incelenerek uygulandığı alanlar ele alınmıştır. Ayrıca kamyon lastik üretim fabrikasında yer alan Mill makinelerinin çalışması PLC ve HMI kullanılarak güvenli hale getiren örnek bir çalışma sunulmaktadır. Bu makinelere, güvenliği otomatik olarak sağlamak amacıyla giriş ve çıkış kartları eklenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda üretimin hızlı ve kaliteli yapılarak çalışanların iş kazasına uğrama riskinin azaltılması sağlanmıştır. Bunun yanı sıra geliştirilen HMI arayüzü sayesinde ek bir bakımcı personele ihtiyaç duymadan makinalardaki arızanın ve güvenlik durumlarının kontrol ve takibi gerçekleştirilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: PLC, HMI, SCADA, İş güvenliği. Otomasyon.

PLC Based Applications: Prevention of Work Accidents to Occur on Mill Machines Using PLC

Abstract

In recent years, the use of automation systems has been increasing, and the basis of these automation systems is generally Programmable Logic Controller (PLC) based application. PLC is used for automation in the industry where there are many advanced machines and devices. In industrial automation systems, it is also used Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), Human - Machine Interface (HMI) systems to ensure safe, quality, and fast production by minimizing human errors and intervention. Because of these systems used in the industries, the automation software developed enables 24/7 production with high quality and low cost. Large-scale companies prefer to use automation systems in order to minimize worker labor and error, prevent work accidents, reduce costs, and make high quality and fast production. PLCs are widely used in packaging systems, especially in the food, chemical, tire, automotive industries, as well as in cement plants, ventilation and cooling facilities, and textile factories. These systems, which are widely used in industries, are preferred due to simple programming structure, ease of setup, use and assembly, durable operation in difficult working

* Sorumlu Yazar: Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye ORCID: 0000-0003-1081-1598, serdars@kocaeli.edu.tr

environments, low failure, low maintenance cost, and low energy consumption. This article presents the usage and application areas of PLC based automation systems. In addition, a case study is presented that Mill machines, commonly found in truck tire manufacturing factories, are secured using PLC and HMI. Input and output cards have been added to these machines to provide security automatically. As a result of the case study, the production is made faster and with higher quality, and employees are provided with a safer environment. In addition, thanks to the developed HMI interface, Mill machines are able to control and monitor malfunctions and safety situations without the need for additional maintenance personnel.

Keywords: PLC, HMI, SCADA, Safety, Automation systems.

1. Giriş

Eskiden otomasyon sistemlerinin kontrolü genellikle insanların kontrolünde elle veya otomatik kumanda elemanlarıyla yapılıyordu. Kontrolün bu şekilde yapılması çeşitli hataların oluşmasına, zaman ve enerji kaybına sebep olmaktadır. Günümüzde bu insan kaynaklarından oluşan etkileri azaltmak amacıyla, teknoloji ve bilimde yaşanan gelişmelerinde desteğiyle yeni otomasyon sistemleri geliştirilmiştir. İşletmelerde ve sanayi sektörlerinde üretimden yönetime kadar olan her yerde insan faktörü olmadan tamamen otomatik veya yarı otomatik olan üretim sürecine otomasyon denilmektedir. Endüstriyel otomasyon sistemlerinin etkinliğini arttırmak amacıyla, Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) (Kaloyan, 2018), merkezi denetim ve veri toplama (Supervisory Control and Data Acquisition SCADA) ve insan makine arayüzü (Human-Machine Interface HMI) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler insan hatalarını ve müdahalesini en aza indirgeyerek, güvenli ve kaliteli üretim yapmasını sağlar. İnsan nüfusunun artmasıyla doğru orantılı olarak ihtiyaçlarda meydana gelen artış sonucunda, tüketim ve üretimde artmaktadır. Üretimde hızlı bir şekilde verimliliği ve kaliteyi arttırmak için işletmeler otomasyon sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Otomasyonlu üretim sistemleri teknolojinin de ilerlemesiyle sanayi sektörünün vazgeçilmezleri arasına girmektedir. Endüstriyel otomasyon sistemleri elektrik, elektronik, mekanik, hidrolik, pinomatik sistemlerini barındırmakta olup hız, sıcaklık, basınç ve sinyal dönüştürücü sistemlerini de kullanılmaktadır (Bolton, 2015). Endüstrilerde otomasyon sistemleri 7/24 çalışarak yüksek kalite ve düşük maliyetli seri üretime olanak tanımaktadır. Büyük işletmeler otomasyon sistemleri, insan gücünü en aza indirmek, maliyeti düşürmek, iş kazalarını azaltmak, kaliteyi arttırmak ve hızlı üretim yapmak sebebiyle tercih etmektedirler. Otomasyon sistemleri insan gücü ile yapılması zor veya imkânsız olan ürünleri icra etme özelliğine sahiptir. Otomasyon, Gerovitch' in ifade ettiği şekliyle “ Bir üretim sürecinin, bir akış diyagramının veya bu durumda ki materyallerin insansız kontrol ve otonom şekle dönüşmesidir.” tanımlanabilir (Salihoğlu, 2012). Otomasyon sistemleri teknolojinin gelişmesiyle birlikte üretimden ziyade işletmelerin tüm elemanlarının kontrolünü, analizini ve denetimini yüklenmişlerdir. PLC sistemleri otomasyon sistemlerinde en çok tercih edilen uygulamalardır.

PLC'ler 1968 yılında, röle kullanılarak yapılan kontrol sistemlerinin pahalı ve bakımlarının zor olması sebebiyle icat edilmiştir. PLC fikri ilk olarak otomotiv şirketi olan GM'de çalışan Bill Stone tarafından Westinghouse isimli seminerde ortaya koymuştur. Normal bir kontrol sistemlerinde yüzlerce ve binlerce röleler bulunmakta ve çok büyük alanlar kaplamaktaydı. Eskiden kullanılan röleli kumanda sistemlerinin en büyük sorunlardan birisi, sisteminde arıza oluştuğunda yüzlerce röle içinde arızanın bulunma zorluğu ve zaman almasıydı. Bu işlem uzun süreli üretim, iş ve emek kayıplarına sebebiyet vermekteydi. Fazla maddi kayıplara uğrayan otomotiv firmaları daha az arıza yapan güvenilir dayanıklı ve

hızlı PLC'li kumanda devrelerini geliştirmişlerdir (Erdoğan, 2019)

PLC'ler genellikle gıda, kimya lastik, otomotiv sektörlerinde ambalajlama paketleme sistemlerinde, çimento fabrikalarında, havalandırma ve soğutma tesislerinde, tekstil fabrikalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Altın, 2011). Endüstride kullanılan kumanda kontrol sistemlerine göre PLC'ler çok fazla avantaja sahiptir. Bunları sıralamak gerekirse (MEGEB, 2011);

- Diğer sistemlere göre PLC'lerin programlanması daha kolaydır.
- Hataların giderilmesi diğerlerine göre PLC programında daha basittir.
- Eski kumanda sistemlerinde çözülemeyen problemler PLC'ler tarafından çok kısa zamanda çözülebilir.
- Endüstrideki zor ortam koşullarında çalışmaya göre tasarlanmıştır.
- Otomasyon sistemlerine montajı gayet kolaydır.
- Eski kumanda sistemlerine nazaran gayet dayanıklı sağlam ve uzun ömürlüdürler.
- PLC'lerin üzerinde gelen mevcut I/O modüllerine ek olarak başka modüllerde eklenebilir.
- PLC'ler mevcut haberleşme modülleriyle kendileri veya başka ürünlerle de haberleşebilirler.
- PLC'ler çok hızlı çalışan sistemlere uyum sağlayabilirler.
- PLC'lerin arıza oranları düşüktür ve çok sık bakım istemezler.
- PLC'lerin enerji tüketimleri çok tasarrufludur.
- PLC'ler kullanıcı dostudur, gereken yerlerde kullanıcının müdahalesi kolaydır.
- PLC'ler sınırsız zamanlayıcı, sayıcı, kontak, kullanımına imkân tanır.

Şekil 1'de endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan kumanda devrelerini gösteren örnek görüntüler sunulmaktadır. Şekil 1(a), eskiden kullanılan röleli kumanda sistemini, Şekil 1(b) PLC dönüşümü yapılmış kumanda sistemini sunmaktadır. Eski kumanda devrelerinde kullanılan rölelerin yerine sanal olarak girdi, çıktı, zamanlayıcı, mantıksal ve (and) / veya (or) kapıları gibi çeşitli bileşenler kullanılarak yerden ve zamandan tasarruf sağlanmıştır.

Literatürde PLC kullanılarak gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışma yer almaktadır. Termal simülasyon kontrol sistemlerinde kapalı döngü kontrol görevleri için termal simülasyonun kontrol sistemini tasarlamada PLC kontrol cihazı, servo kontrol sistemi ve yeni nesil gerçek zamanlı haberleşme teknolojisi kullanılmıştır. Tüm kontrol sistemi, kırıcının pozisyon kontrolünü, doğrudan dirençli ve indüksiyon ısıtma altındaki sıcaklık kontrolünü, yüksek hızlı veri toplama, veri analizi ve işleme görevlerini verimli bir şekilde tamamlar (Su ve ark., 2019).



(a) Röleli kumanda sistemi



(b) PLC dönüşümü yapılmış kumanda sistemi

Şekil 1. Endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan kumanda devreleri

PLC otomasyon sistemleri mevcut manuel üretim sistemini geliştirmek için tamamen kendinden kontrollü yeniden yapılandırılabilir süreçlerle değiştirmeye çalışır. Endüstri 4.0 (Endüstri 4.0 bir hedeftir ve bilişim teknolojileri ile tüm yaşamsal mekanizmaları bir araya getirmeyi amaçlamaktadır.) temel kavramlarını uygulayarak üretimi yakından izlemek, manuel kontrolü azaltmak ve küçük bir içecek tesisinin şişeleme sürecini verimli bir şekilde izlemek için bir strateji geliştirmektedir. Geliştirilen strateji, günlük üretimi zamanın bir fonksiyonu olarak yapılandırarak ve hedefe ulaşılmadığında sistemi otomatik olarak artırmak için programlama koşulları uygulayarak üretimi günlük hedefe mümkün olduğunca yakınlaştırır. Otomatik parametre yapılandırma stratejisi, üretim sonuçlarının ve izleme bilgilerinin yalnızca testteki merkezi bir SCADA sisteminde mevcut olduğu kapalı bir ağda oluşturulmuştur. Bunun için ZENON SCADA ve HMI ile Ethernet TCP / IP üzerinden iletişim kuran bir Siemens S7-1200 PLC kullanılmıştır. Gelecekteki çalışmalar için, merkezi olmayan bir sunucudan veya internet servislerini kullanarak tesis bilgilerinin izlenmesine izin verecek şekilde gerekli uygulamalar ve protokoller yapılandırılabilir (Kingala ve ark., 2019).

Bir ağ uygulamasına dayalı modüler bir üretim tesisinin tasarımı için ürün odaklı bir ağ sunucu üzerinden OPC (OLE for Process Control) UA tabanlı kontrol sistemi, üretilen reçete bilgilerinin (çalışma zamanı, hız ve adet bilgileri) kodunu PLC otomasyon sistemi okuyarak yorumlayıp üretim hattını çalıştırmaktadır. Bu şekilde bu üretim tesisinde hibrit karbon fiber koltuk ürünü sorunsuz bir şekilde üretilmiştir (Schäfer ve ark., 2019).

PLC ve SCADA tabanlı otomasyon kontrol sistemleri sayesinde dozajlaması yapılan malzemenin anlık bilgileri, çalışma parametrelerini önemli ölçüde etkilediğinde, bu

parametrelerin PLC ile kontrol edilmesi sonucu akıllı ve hassas sistemler oluşturularak yüksek verimli dozajlama makineleri üretilmektedir. Bu sayede endüstriyel boyaların istenilen oranlarda ve farklı aralıklardaki renklerin dozajlama sistemiyle karıştırılmasına olanak sağlamıştır (Kafalı, 2019).

Bir tesiste açık ve düşük voltajlı elektrik şebekelerinin veri iletişimi amacıyla karakterize edilmesi ve modellenmesi için yürütülen kapsamlı bir ölçüm yapılmaktadır. Bu bağlamda, ortalama kanal zayıflaması, kök-ortalama-kare gecikme yayılımı, tutarlılık süresi, tutarlılık bant genişliği ve ulaşılabilir veri hızı istatistikleri dikkate alınarak analiz edilir. Bu düşük voltajlı elektrik şebekelerinin periyodik değişimi ölçülür ve ortalama kanal zayıflamasının geçici bir fonksiyonu olarak sunulur. Sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar, veri iletişimi amacıyla Brezilya da dış mekân ve düşük voltajlı elektrik şebekeleri hakkında önemli bilgiler PLC aracılığıyla kontrol edilmektedir (Picorone ve ark., 2020). Diğer bir çalışmada ise, Waijung blok setleri ve STM32FT Mikro denetleyicisi kullanarak bulanık mantık temelli PLC tarafından kontrol edilen oda sıcaklık kontrolü çalışması yapılmıştır. Yapılan bu simülasyon çalışmasında bulanık teoriye dayalı bir odanın sıcaklık ve nem kontrolü sağlanmıştır (Tosun ve ark., 2019).

Giriş ve çıkış parametrelerinin PLC tarafından alınıp sayısal verileri bulanıklaştırılması, bulanık mantığın kural seti sayesinde araba sayısına göre yeşil ışığın süresi ve cadde seçiminde akıllı bir kontrol sistemi elde etmemizi sağlayabilmiştir. Aynı verileri klasik yöntemde de kullanarak, bulanık mantık ve PLC kontrol yönteminin klasik yönteminden daha etkin olduğu görülmüştür (Anas ve ark., 2019). Literatürde yer alan bazı endüstriyel uygulamada görüntü işleme teknikleri ve PLC ile senkron çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, endüstriyel otomasyon sektöründe vazgeçilmez ürünler arasında yer alan PLC'ler, bir konveyör sisteminde gerçek zamanlı olarak veya bir robot kol kullanılarak renkli nesnelere ayırıştırma yapmak amacıyla da kullanılmıştır (Şengül ve ark., 2020; Hız, 2019).

Yapılan bir tez çalışmasında engelli bireylerin başka kimseye ihtiyaç duymadan kendi ihtiyaçlarını giderebilmesi için otomasyonlu akıllı ev sistemleri yapılmıştır. Tasarlanan sistemde birinci derece omurilik felçli bireyler göz bebeklerini hareket ettirerek evlerinin ihtiyaç duydukları aksamalarını kontrol edebilecek otomasyon sistemi tasarlanmıştır. Bu işlemleri gerçekleştirebilmek için tasarlanan sistemde PLC S7-1200, yazılım olarak WinCC SCADA ve kamera kullanılmıştır (Kıvılcım, 2019).

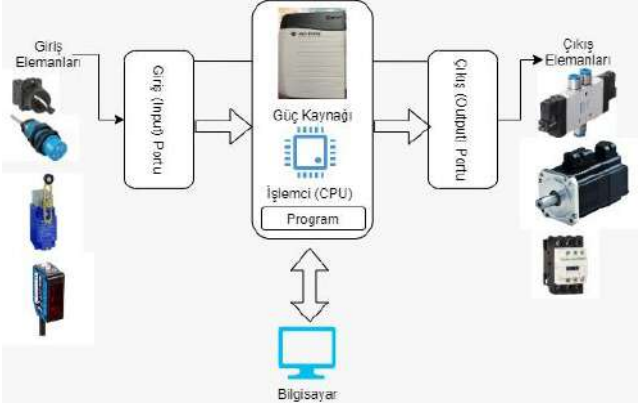
Yapılan çalışmada yerden insanlı fırlatma uzay araçlarının fırlatma öncesi aşamasındaki acil kaçış kontrol tasarımı yüksek güvenilirlikli PLC tarafından sağlanmıştır. "Veri giriş modülü", "mantık kontrol modülü" ve "işlev modülü" oluşturularak, acil durum kaçış komutları doğru bir şekilde iletilebilir; aynı zamanda, yedeklilik tasarımı, filtreleme tasarımı ve diğer güvenilirlik tasarım önlemleri ile birlikte, astronotların ilk tehlike anında hızlı ve güvenilir bir şekilde kaçmasını garanti edebilecek daha az sistem kaynağı ve yüksek verimlilik hedefi gerçekleştirilmiştir (Wang, Z. Y., & Ren, Y. H. 2020).

Makale çalışması kapsamında, PLC yapısı, kullanım avantajları, geliştirme ortamları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, lastik üretim tesislerinde yer alan Mill makinelerinin güvenli bir şekilde çalışması amacıyla PLC, HMI ve giriş/çıkış kartları kullanılarak örnek çalışma gerçekleştirilmiştir. Makalenin ikinci bölümünde PLC genel yapısı, üçüncü bölümde

programlama dilleri, dördüncü bölümde gerçekleştirilen çalışma ve son bölümde elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

2. PLC Genel Yapısı

PLC giriş ve çıkış cihazlarının durumunu sürekli olarak izleyen ve kontrol eden içinde yüklü olan programa dayalı kararlar veren bir mikro bilgisayardır (Aydoğdu ve ark., 2019). PLC lerin içinde verileri işlemek için bir işlemci (CPU), verileri saklamak için bir geçici belleği (RAM) ve yazdığımız programları saklamak için de kalıcı bellek (ROM) bulunmaktadır. PLC'ler genellikle karmaşık otomasyon problemlerini çok hızlı ve güvenilir bir şekilde çözdüğü için kullanılmaktadır. PLC'lerde otomasyon sistemlerini kontrol etmek ve yönetmek için birçok giriş (input) ve çıkış (output) bulunmaktadır (Nazım, 2020). PLC ler mikroişlemci tabanlı otomasyon sistemlerinde problemleri hızlı ve güvenilir şekilde çözmeye yarayan mükemmel sistemlerdir. Şekil 2'de PLC ye ait genel yapı ve bileşenleri sunulmaktadır.



Şekil 2. PLC genel yapısı ve bileşenleri

Şekil 2'de görüldüğü üzere PLC'ler temel prensip olarak üç birimden oluşmaktadır. Bunlar merkezi işlem birimi (CPU), bütün sinyal elemanlarının bağlandığı giriş belleği ve kumanda edilecek elemanların bağlandığı çıkış belleğidir (Eminoğlu, 2013).

Giriş belleği, kontrol edilen otomasyon sistemlerinden algılayıcılar, düğmeler, sınır anahtarları gibi cihazlardan alınan basınç, sıcaklık gibi elektriksel sinyalleri mantıksal değerlere dönüştürerek CPU'ya aktaran sistemlerdir (Eminoğlu, 2014). PLC'lerin bu girişten alınan elektrik sinyalleri hem sayısal hem de analog olabilir. PLC'lerin model marka ve yapılarına göre giriş sinyalleri 24V veya 110V olabilir. Sayısal giriş sinyalleri CPU tarafından 1 ve 0 olarak yorumlanmaktadır (Karayel, 2013). PLC'lerde giriş belleği, opto kuplörler kullanılarak izole edilmektedir.

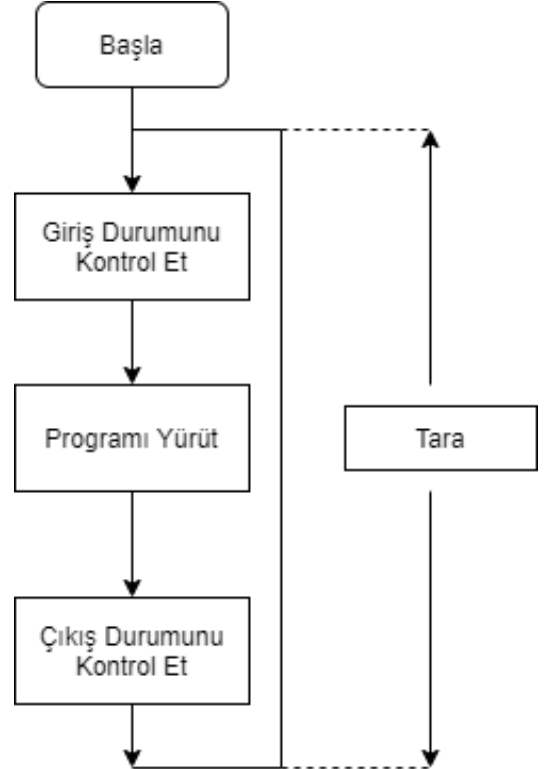
CPU, PLC, program ve sistemin çalışmasını düzenleyen ve kontrol eden birimdir. Giriş belleğinden aldığı sayısal veya analog programın yapısına göre yorumlamaktadır. Sonrasında, çıkış belleği aracılığı ile kontrol aygıtlarına uygun komutları göndermektedir (Kafalı, 2019). CPU hızlı PLC'lerin marka ve modeline göre değişim göstermektedir.

Çıkış belleği, kendine gelen sayısal veya analog sinyalleri, elektriksel sinyallere dönüştürülerek çıkış birimlerinde yer alan motorlar, bobin valfler, kontaktörler, röleler gibi cihazları kontrol etmektedir. Cihazlara gönderilen çıkış sinyalleri doğru akımda DC. transistör veya alternatif akımda AC. triyak çıkışlı olmaktadır (Özer, 2016). Voltaj aralığı cihazın yapısına göre doğru akım 24V veya alternatif akım 110V olmaktadır. Çıkış belleğinden çekilen

akım değerleri kontak çıkışlı devreler için 1 ve 8 Amper, triyak ve transistörlü devreler için 0,1 - 2 amper arasında değişmektedir (Çetin, 2004).

PLC bekleme durumundan, çalışma durumuna alındığında ilk olarak çıkış belleği sıfırlanır, daha sonra giriş belleğindeki verileri okur ve hafızasına kaydeder. PLC yazılmış olan programı sürekli yukarıdan aşağıya doğru taramaktadır (Thompson, 1996). Bu tarama döngüsü temel üç adımda gerçekleşir. PLC tekrar bekleme durumuna alınan kadar bu döngü sürekli devam etmektedir. Tarama döngüsü, Şekil 3'ün sunulduğu üzere, Giriş Belleğinin kontrol edilmesi, Programın yürütülmesi ve Çıkış Belleğinin kontrol edilmesinden oluşmaktadır.

PLC'lerde röle, triyak ve transistör olmak üzere farklı çıkış türleri bulunmaktadır. Kurulacağı sisteme göre PLC çıkış türlerinin seçimine dikkat etmek gerekmektedir. Röle çıkışlı PLC'lerde, hem doğru akımda hem de alternatif akımda kullanılabilir. Bu çıkışların akımları maksimum 2 amperdir. Cevap verme hızının düşük olması, mekanik hareket olmasından dolayı röle kontaktlarının zamanla aşınması dezavantaj olarak görülmektedir. Triyak çıkışlı PLC'ler kontaklı olup, 85V – 242V alternatif gerilim arasında değişmektedir. Tepki süresi röle çıkışlı PLC lere göre daha hızlı ama transistör çıkışlı PLC ler göre de daha yavaştır. Maksimum çıkış akımı 0,3 amperi geçmemektedir (Kurtulan, 2008). Transistör çıkışlı PLC, optokuplör kullanmakta olup çıkış akımları maksimum 0,5 amper ve tepki süreleri 0,2ms'dir. Bu PLC'lerde transistör kullanıldığı için çıkışında kutuplar mevcuttur. Genellikle otomasyon sistemlerinde çıkışları çok hızlı olduğu için transistör çıkışlı PLC'ler tercih edilmektedir.



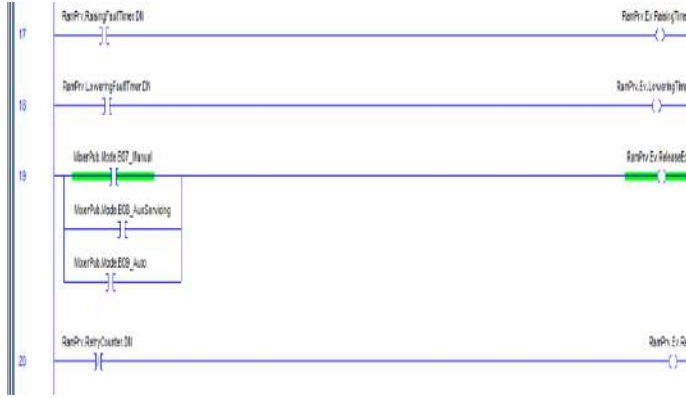
Şekil 3. Tarama döngüsüne ait akış şeması

3. PLC Programlama Dilleri

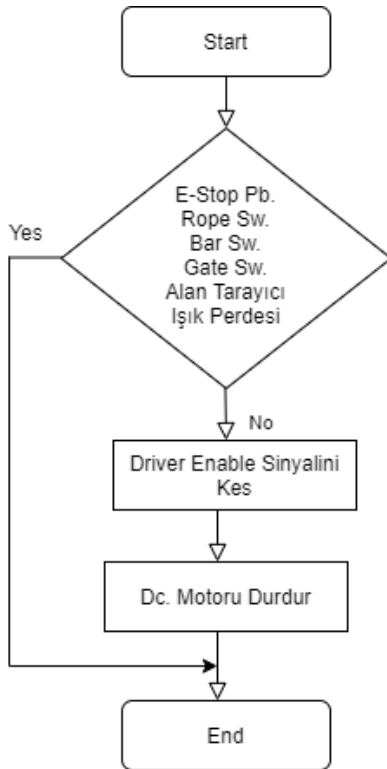
PLC'ler, kontrol ve kumanda sistemlerini uygun bir programlama dili kullanarak istenildiği gibi kontrol etmektedir. PLC'ler kullanıcıların kolayca uyum sağlayıp yazabilecekleri birçok programlama dillerine sahiptirler. Yaygın olarak

kullanılanlar, Merdiven Diyagramı (LAD: Ladder Diagram), Fonksiyon Blok Diyagramı (FBD: Function Block Diagrams), Komut (STL: Statement List, IL: Instruction List), Yapısal Metin Dili (ST: Structured Text), Ardışıl Fonksiyon Gösterimi (SFC: Sequential Functions Charts) dır (Eminoğlu, 2013).

Merdiven diyagramı normal elektriksel kumanda devrelerine benzemektedir. Program soldan sağa doğru açık / kapalı kontak, çıkış röle gibi şekiller konularak yazılır. Merdiven diyagramının çalışma mantığı sol taraftan enerji verilerek sağ taraftan çıkış elde edilmesine dayanmaktadır. Elektriksel kumanda devrelerine benzediğinden kolay ve çok tercih edilen program türüdür (Nguyen, 2020). Şekil 4. RSLogix 5000 PLC de Mill makinasının acil durdurma program merdiven diyagramı ve akış şeması gösterilmiştir.

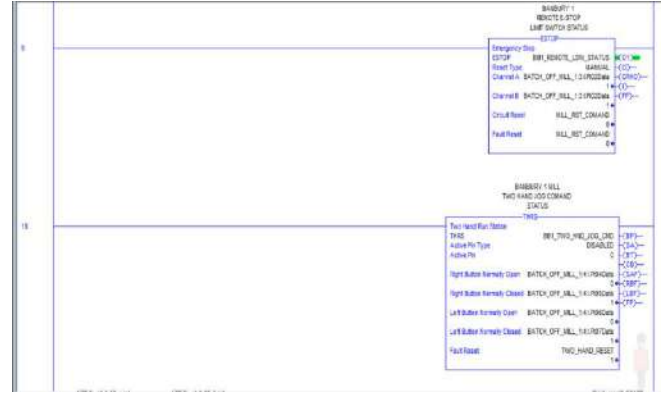


(a) Merdiven diyagramı



(b) Akış Diyagramı

Şekil 4. Mill makinasının acil durdurma program merdiven ve akış diyagramı



Şekil 5. Fonksiyon blok diyagramı

Fonksiyon blok diyagramı genellikle mantıksal ve lojik kapıların kullanıldığı görsel bir programlama dilidir. FBD programlama dilinde kutularla simgelenen mantık kapıları kullanılmaktadır. Bu programlama dilinde ise giriş sinyalleri soldan başlar çıkış sinyalleri sağda biter. Kontrol sistemi algoritmalarını ve mantığını birbirine bağladığından kullanışlı bir programlama dilidir (Eminoğlu, 2013). Şekil 5'te fonksiyon blok diyagramı kullanılarak gerçekleştirilen örnek bir program parçası sunulmaktadır.

Yapısal metin dili, Pascal veya C programlama diline benzeyen yüksek düzeyli bir programlama dilidir. Her PLC programında kullanılmaz. Ardışıl fonksiyon gösterimi programlama dili, kumanda devrelerinin doğrudan gerçekleşmesi için oluşturulmuş bir programlama dilidir. Fransa da kullanılan Grafcet programlama diline benzer ve her PLC programında kullanılmaz. Tüm PLC türlerinde programlama dilleri benzer özellikler taşımaktadır.

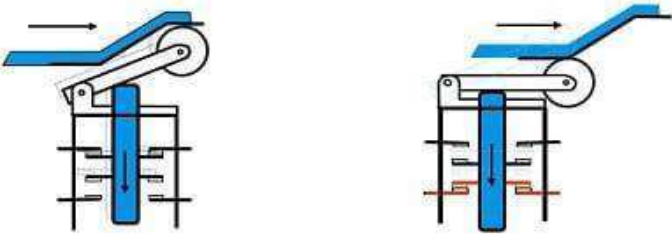
4. Mill Makinesinde İş Kazalarının PLC Kullanılarak Önlenmesi

Makale kapsamında, lastik üretim tesisinde lastiğin ham maddesi olan kauçuğun karışım hale getirilerek hamur halinde büyük ebatlardaki Mill makinalarının eski otomasyon kumanda sisteminin PLC dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Mill makinesine, PLC, giriş, çıkış kartları ekleyerek yeni otomasyon sistemine dönüştürülmüş ve iş kazası yapma riskini minimum seviyeye getirilmiştir. Ayrıca bu yeni sisteme uygun yeni nesil güvenlik cihazları eklenerek PLC ile haberleşmesi sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmadaki amaç üretimin kaliteli, hızlı yapılması ve çalışanların iş kazasına uğrama riskinin azaltılması sağlanmıştır. Bu makinalarda güçlü DC motorlar (TECO-Westinghouse Direct Current DC motors 22-inch 250 hp) yardımıyla büyük ebatlardaki iki milin arasındaki lastik hamurlar ezilerek istenilen inceliğe getirilmektedir. Mill makinaları 1960 yapımı olduğu için o zamanın şartlarına göre üzerindeki kullanılan mevcut ekipmanlar iş güvenliği kategori 4 standartlarına uygun değildi. Önceki sistemde iş güvenliği ekipmanı olarak mill makinasının önünde uzun bir basınca duyarlı limit anahtara basan metal bar, operatörün kumanda panelinde mantar başlı buton ve çekmeye duyarlı tel limit anahtarlar bulunmaktaydı. Basınca duyarlı metal barın bastığı limit anahtarlar iş güvenliği standartlarına uygun değildi. Bu ekipmanlar zamanla toz ve nemin etkisiyle kontakları oksitlenmekte ve gereken giriş değeri iletilemez duruma gelmekteydi. Bu ekipmanlar iş kazası riskini minimuma indirecek seviyede değildi. Operatör çalışırken barın altından veya üstünden kapılırsa sistemi durduracak ekipman mevcut değildi. Mevcut ekipmanların hepsi iş güvenliğine uygun kategori 4

standartlarında ekipmanlar ile değiştirilip ek olarak ışık perdeleri ve alan tarayıcı ilave edildi. Bu ekipmanların durumları PLC tarafından gözlemlenebilir hale getirilip arıza yapma durumları halinde çalışan sistemi durdurması sağlanmış oldu. Yapılan bu çalışmada yukarıda bahsedilen tehlikeler ortadan kaldırılmış olup iş kazası yapma riski minimuma indirilmiştir. Sistemde kullanılan ışık perdeleri ve alan tarayıcılar her zaman etkin durumdadır. Operatörün gövdesi ışık bariyerini 270 mm'den fazla yaklaşırsa taranan alandan çıktıktan sonra sistemi sıfırlamak gerekir. Eğer sistem sıfırlanmazsa operatörün mülle kapıldığını düşünüp makinayı durdurmaktadır. Operatör, taranan alandan sisteme sıfırlamadan ayrılırsa, mill motoru durmaktadır. Operatör taranan alanın üzerinden atlamaya çalışırsa, ışık perdesi algılanır ve mill motoru doğrudan durur. Sistemin güvenliğini sağlamak için tasarlanan senaryolar iş kazası riskini en aza indirmek için kullanılmaktadır.

Limit anahtarlar bir makine parçasının ya da bir nesnenin hareketi, dokunması, çarpması ile çalışan elektromekanik cihazlardır. Mekanik bir etkiyi elektriksel bilgiye çevirirler. Standart bir limit anahtar, bir aktüatör ve buna seri olarak bağlı kontaklardan oluşur. Bir cisim aktüatöre dokunduğunda limit anahtarın kontakları konum değiştirmekte ve bağlı olduğu devrenin elektrik bağlantısını kesmektedir (Waugh, 2020).

Şekil 6 deki gibi kullanılan limit anahtarlar in normalde açık (no) ve normalde kapalı (nc) kontakları bulunmaktadır. Bu kontaklara bağlı elektrik kabloları emniyet rölesine bağlanmaktadır. Limit anahtarlar in kontaklarının konum değiştirmesiyle bağlı olduğu emniyet rölesi millin dönmesini sağlayan DC motoru süren sürücünün bağlı olduğu çalışmasına izin veren kontaktörü düşürmektedir. Böylece sürücü sürdüğü DC motoru dolayısıyla makinayı durdurmaktadır.



Şekil 6. Limit anahtar çalışma prensibi (Anon., 2020a)

Gerçekleştirilen çalışmada Mill makinasına, temassız güvenlik anahtarları, güvenlik lazer alan tarayıcıları ve güvenli ışık bariyerleri eklenmiştir. Şekil 7(a)'da sunulduğu üzere RE1 manyetik güvenlik anahtarları açık/kapalı kontaklarla veya kodlanmış manyetik aktüatörlerle doğrudan etkileşime giren, eşdeğer açık kontaklarla donatılmaktadır. Bu manyetik güvenlik anahtarları, yüksek toleranslara izin verdiği için, güvenlik cihazlarının tam olarak idaresinin zor olduğu yerler için uygundur. Şekil 7(b)'de yer alana microScan3 güvenli lazer alan tarayıcı, basitten karmaşığa kadar çok farklı sabit ve mobil uygulamanın korunmasını sağlamaktadır. Kompakt yapı şekli ve yüksek tarama mesafesi sunan teknoloji sayesinde, microScan3'ün zorlu ortam koşullarında da bakış açısını korumasını sağlanmaktadır. Şekil 7(c)'de sunulan C4000 Advanced ATEX II 3G/3D güvenli ışık bariyeri tehlikeli noktaları ve alanları, patlama riski oluşan atmosferlerde dahi ekonomik ve güvenilir biçimde emniyete almaktadır (Anon., 2020b).



(a) Temassız güvenlik anahtarı

(b) Güvenlik lazer alan tarayıcı

(c) Güvenli ışık bariyeri

Ayrıca çalışmada oluşturulan PLC konfigürasyonu, PLC CPU Safety özelliklerine sahip Rockwell 1756-L73S ve Partner CPU 1756-L7SP eklenmiştir. Bu cihazlar, üretim için akıllı makinelerin ve ekipmanların artan taleplerini karşılamaya yardımcı olmak üzere artırılmış performans, kapasite, verimlilik ve güvenlik sağlamaktadır. Cihazlar verimliliği optimize eden, hizmete alma süresini kısaltan standart çerçeve olarak Studio 5000 tasarım ortamını kullanmaktadır. Bu çerçeve, yüksek hızlı hareket uygulamaları ve SIL2 / PLd ve SIL3 / PLE güvenlik çözümleri için EtherNet / IP üzerinden bütünsel hareketi yönetmektedir. Bu kontrolörler 256 eksene kadar yüksek performanslı iletişim, I / O ve hareket kontrolü gerektiren uygulamalar için idealdir. Bunların yanı sıra, 7 adet 1734-IB8S güvenli giriş kartı, 1 adet 1734-OB8S güvenli çıkış kartı, 3 adet 1734-OB8 sayısal çıkış kartı ve 1 adet 1734-IB8 sayısal giriş kartı eklenmiştir.

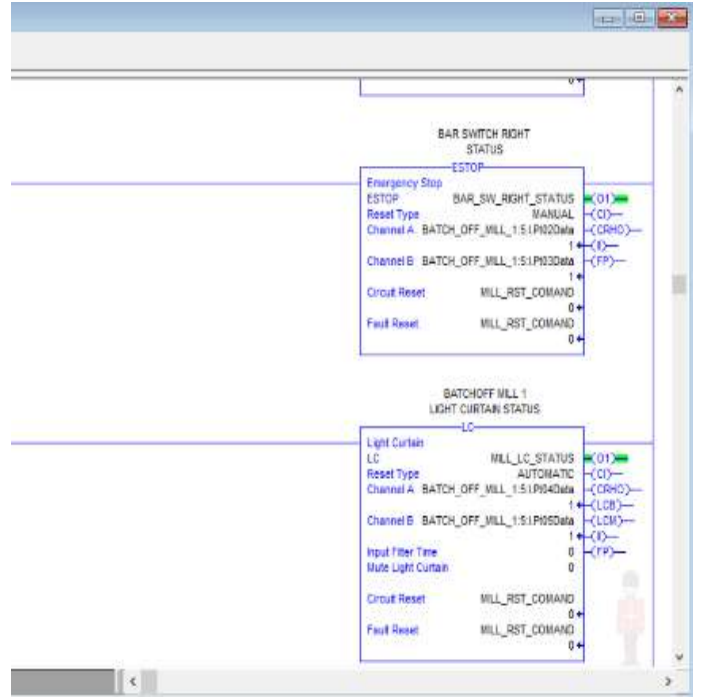


Şekil 8. Mill Makinesi güvenli PLC I/O paneli

Şekil 8'de Mill makinesinin güvenli PLC giriş ve çıkışların bulunduğu panel sunulmaktadır. Burada makineye eklenen PLC giriş elemanları ve çıkış elemanları bağlanmaktadır. Ana PLC ile iletişimi Rockwell 1734-AENTR kartı kullanılarak EtherNet / IP haberleşmesi üzerinden yapılmaktadır. Mill makinesinde kullanılan PLC giriş ve çıkış güvenlik ekipmanları maddeler halinde sunulmaktadır.

1. Wigvag operatör acil durdurma butonu
2. Wigvag alt kat ipli emniyet anahtarı
3. Soğutma konveyör mal dayandı limit anahtarı
4. Wigvag kapı plak güvenlik anahtarı
5. Soğutma konveyör kapı anahtarı
6. Soğutma konveyör alt kat kapı anahtarı
7. Soğutma konveyör alt kat ipli emniyet anahtarı
8. Işık Perdesi
9. Mill çarpmalı emniyet sensörü sağ taraf
10. Ayak pedalı
11. Mill çarpmalı emniyet sensörü sol taraf
12. Diğer mill durdurma ipli emniyet anahtarı
13. Mill üstü aktarma konveyör ipli emniyet anahtarı
14. Mill kontrol panel acil durdurma butonu
15. Alt kat soğutma konveyör panel acil durdurma butonu
16. Çit el butonu

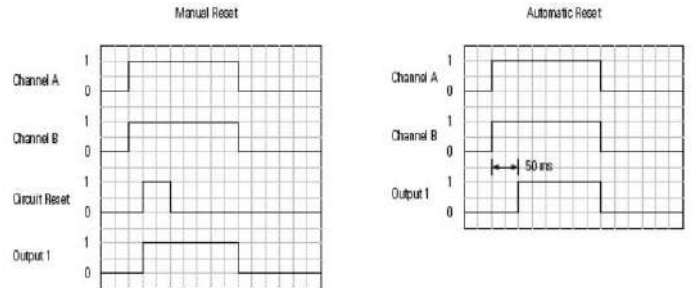
Şekil 9(a)'da Mill makinasında PLC güvenlik dönüşüm projesinde yazılan programa toplamda 13 adet giriş / çıkış kartlarının dizilimi görülmektedir. PLC'de program yazmaya başlamadan önce sisteme, kullanılacak giriş/çıkış kartları tanıtılması gerekmektedir. Sonrasında planlanan senaryoya göre programın yazılımına başlanmaktadır. Şekil 9(b)'de görüldüğü üzere program Merdiven diyagramı üzerine yazılmıştır. PLC girdileri ESTOP fonksiyonun da oluşturulmaktadır. Güvenlik uygulamalarında kullanılması amaçlanan yazılım programlanabilir bir ortamda güvenlik rölesinin giriş işlevselliğini taklit etmek için acil durdurma (ESTOP) talimatını kullanmaktadır. Bu operasyonda, iki giriş kanalının durumunu izlemekte ve resetleme koşulları gerçekleştiğinde Çıkış 1'i açmaktadır.



(b) Programın yazılması

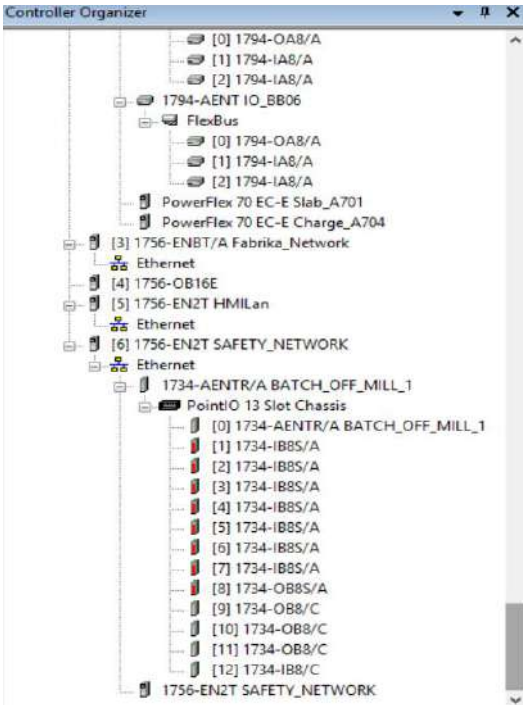
Şekil 9. Güvenli PLC giriş/çıkış dizilimi ve programın geliştirilmesi

Acil resetleme kullanılırken, her iki giriş de aktif durumdadır ve devre resetleme girişi sıfırdan bire geçmektedir. Otomatik resetleme kullanılırken, her iki giriş de 50ms boyunca aktif durumdadır. Bu fonksiyonun giriş kanallarından biri veya her ikisi de güvenli duruma döndüğünde Çıkış 1 kapatılmaktadır. Acil durdurma (ESTOP) komutu için her iki giriş kanalı normalde durumda açık olmaktadır. Bu, her iki kanaldaki girdilerin güvenli durumunu ve her iki kanalın da aktif durumunu temsil ettiği anlamına gelmektedir. Normal çalışma durumu değişiklikleri şekil 10'da zamanlama şemalarında gösterilmiştir.

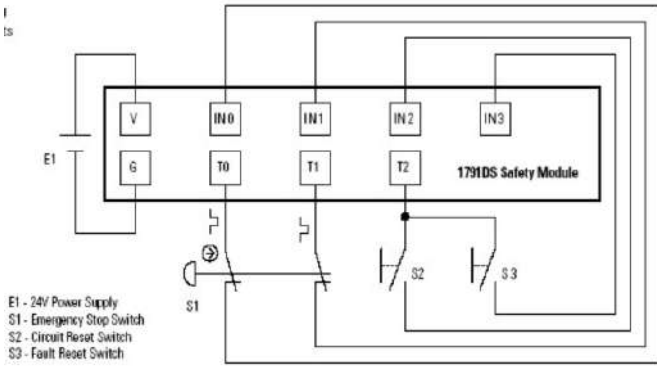


Şekil 10. Acil durum resetleme zaman grafiği

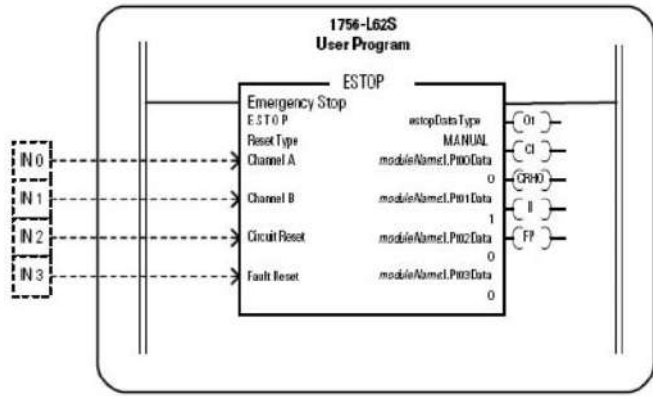
Acil resetleme kablolanması ve programlanması ile acil durdurma şekil 11(a)'da sunulan şemadaki gibi yapılmaktadır. Makinada bulunan normalde açık iki kontağı olan 2 kanallı acil durdurma anahtarının EN954-1 kategori 4'e uymak için 1791DS güvenlik giriş / çıkış modülüne nasıl bağlanacağı şekil 11(a)'da gösterilmiştir. Şekil 11(b)'de acil durdurma fonksiyon bloğu sunulmaktadır.



(a) Giriş/çıkış kartları dizilimi



(a) Acil durdurma şeması



(b) Acil durdurma fonksiyon bloğu

Şekil 11. Acil durdurma şeması ve fonksiyon bloğu

Gerçekleştirilen ESTOP fonksiyon bloğunda ESTOP parametresine kullanılacak veri türü etiketi tanımlanmaktadır. Reset tipi kısmında komutun çıkışı bir için manuel veya otomatik resetleme kullanıp kullanmadığını belirlenir. Kanal-A ve B giriş kısmı normalde açık kontak olmalıdır. Acil durdurma butonuna basıldığında sayısal değer bir den sıfıra düşmektedir. Manuel resetleme kısmına Kanal A ve B'nin güvenli durumdan etkin duruma geçmesinden ve devre resetleme girişinin sıfırdan bire geçişinden sonra çıkış bir olarak ayarlanmaktadır. Hata resetleme parametresi komut için arıza koşulları düzeltildikten sonra, bu giriş kapalı durumdan açık konuma geçerken komut için hata çıkışları silinmektedir. Çıkış 1 parametresi, giriş koşulları sağlandığında çıkış 1 aktif durumuna ayarlanır. Acil durum söz konusu olduğunda çıkış sıfıra düşer, emniyetli duruma geçtikten sonra resetlenip çıkış bir konumuna geçmektedir.

RSLogix 5000 programında ışık perdeleri ve lazer tarayıcılar için LC (Light Curtain) fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu fonksiyonun çalışma prensibi, programlanabilir bir kontrolörden SIL3, PLe / Kategori 4 güvenlik uygulamalarında kullanılan bir ışık perdesine manuel ve otomatik devre resetleme arayüzü sağlamak için ışık perdesi (LC) talimatını kullanmaktadır. Birçok ışık perdesi OSSD1 ve OSSD2 olan iki çıkışı test etmektedir. Bu çıkışlar doğrudan güvenlik kontrolörü girişlerine bağlanırsa, pals testinin filtrelenmesi gerekir. Bu fonksiyon, iki giriş kanalının durumunu izler ve manuel/otomatik resetleme koşulları gerçekleştiğinde çıkış 1'i açmaktadır.

PLC, giriş/çıkış ve güvenlik ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilen yazılımın kontrolünün ve takibinin etkili bir

şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla HMI arayüz oluşturulmuştur. HMI ekran içinde işletim sistemi barındıran ve insan-makine arayüzü olarak da nitelendirilen bilgisayarlardır. PLC ile kullanıcı arasındaki gerekli bilgilendirme ve kontrol işlemleri için kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan PanelView Plus 1000 Grafik Terminali, uygulama durumu bilgilerini grafiksel olarak izlenmesini, kontrol edilmesini ve görüntülenmesini sağlamaktadır. Operatör bu ekranlar sayesinde makinenin bütün güvenlik ekipmanlarını görmekte, ekrana gelen alarmlar sayesinde işlerini etkin bir şekilde takip edebilmektedir. Ayrıca Mill makinesinde arıza olması durumunda veya başka sebeplerden dolayı durma meydana geldiğinde, meydana gelen imalat duruşlarında bakımcı gelene kadar nerde ihlalin yapıldığını görüp orda düzeltme yapabilir. Örnek olarak güvenli tel limit anahtarı çekildiğinde daha öncesinde nereden çekildiğini operatör göremiyordu. Makinada arıza olduğunu düşünüp bakımcıyı çağırıyordu. Yapılan bu çalışmada ise HMI ekran sayesinde telin nereden çekildiği görüp teli kurup çalışmasına devam edilebilmektedir.

Çalışma kapsamında mill makinesine ait iş güvenliği riskleri 5x5 matris metoduna göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme için kullanılan 5x5 matris metodu genellikle iki veya çok sayıda değişken arasındaki ilişkinin sebep sonuç değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Tablo 1'de risk kontrol planını ve kontrol hiyerarşisini gösteren risk değerlendirme tablosu sunulmaktadır.

Tablo 1. Risk Değerlendirme Tablosu

Risk Kontrol Planı			Kontrol Hiyerarşisi	
1 - 2	Önemsiz Risk	Önlem Gerektirmez	A	Kaynağında Önleme
3 - 4	Düşük Risk	Önlem Gerektirmez Ancak Sürekli Gözlemlenmeli	B	İkame
5 - 9	Orta Risk	Maliyetler Gözönüne Alınarak Gerekli İyileştirmeler Değerlendirilmelidir	C	Mühendislik Kontrolleri
10 - 15	Yüksek Risk	7 Çalışma Günü İçinde Önlem Alınmalı	D	Uyarı İşaretleri/ İdari kontroller
16 - 25	Çok Yüksek Risk	24 Saat İçinde Önlem Alınmalı	E	Kişisel Koruyucu Ekipman

Tablo 2'de olasılık ve etki değerlerini gösteren 5x5 matris metoduna ait tablo sunulmaktadır. Tablo içerisinde yer alan farklı renklerle belirtilmiş değerler risk katsayısını ifade etmektedir. Risk olasılık ve etki katsayılarının çarpımı ile elde edilir.

Tablo 2. 5x5 Matris Metodu Tablosu

Etki \ Olasılık	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

Tablo 3'de Mill makinesine ait 5x5 matris metoduna göre gerçekleştirilen risk analizi sunulmaktadır. Sıkışma tehlikesi, sıcak/soğuk yüzeye temas ve kesilme tehlikesi gibi Mill makinesinde görülebilecek tehlikeler incelenmiştir. PLC kullanılması sonucunda risk puanlarında ve risk derecelerinde iyileşme gerçekleştiği gözlenmektedir.

Tablo 3. Mill makinesi 5x5 Matris Metodu Risk Analizi Tablosu

	Faaliyet Tanımı/ Faaliyet Bölgesi	Görülen Tehlikele r	Risk	Tehlike Kaynağı	Mevcut İşlem Kontrolleri	Durum	Yasal Mevzuatlar	Ciddiyet Derecesi	Olasılık / Maruziyet	Risk Puanı	Risk Derecesi	Alınacak Önlemler	Ciddiyet Derecesi	Olasılık / Maruziyet	Maruziyet Risk Puanı	Risk Derecesi
1	Kampound mille çalışması	Sıkışma tehlikesi	Mali verirken, milleden operasyonu sırasında milleden kapılma riski	İnsan Davranışı Makine Malzeme	*Mil barı *Emniyet teli *Acil stop butonu *İSG turları *İSG eğitimleri *Çekme halatı	Rutin/Non-Rutin	İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kanunu	4	4	16	ÇOK YÜKSEK RISK	*Alan Tarayıcı *Işık perdesi *Çift kontaklı digital switchler	3	2	6	ORTA RISK
2	Kampound mille çalışması	Sıcak / soğuk yüzeyle temas	Milleden operasyonu sırasında	İnsan Davranışı Makine Malzeme	*Mil barı *Emniyet teli *Acil stop butonu *İSG turları *İSG eğitimleri *Çekme halatı	Rutin/Non-Rutin	İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kanunu	3	3	9	ORTA RISK	*Alan Tarayıcı *Işık perdesi *Çift kontaklı digital switchler	3	2	6	ORTA RISK
3	Kampound mille çalışması	Kesilme tehlikesi	Kampound milleden konveyöre verirken	İnsan Davranışı Makine Malzeme	*Mil barı *Emniyet teli *Acil stop butonu *İSG turları *İSG eğitimleri *Çekme halatı	Rutin/Non-Rutin	İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kanunu	3	3	9	ORTA RISK	*Alan Tarayıcı *Işık perdesi *Çift kontaklı digital switchler	3	2	6	ORTA RISK

5. Sonuç

PLC tabanlı uygulamalar endüstriyel firmalar tarafında günümüzde hala yaygın olarak tercih edilmektedir. Özellikle kolay programlanabilir olması, zor ortam koşullarında problem yaratmadan etkin bir şekilde çalışması, kullanım ve montajının kolay yapılması, haberleşme modülleri sayesinde diğer cihazlarla iletişim kurabilmesi, arıza ve bakım maliyetinin düşük olması, enerji tüketiminin düşük olması ve kullanıcı dostu olması sebebiyle tercih edilmektedir. Makale çalışmasında, PLC tabanlı otomasyon sistemleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve uygulandığı alanlar ele alınmıştır. Endüstriyel otomasyon sektöründe vazgeçilmez ürünler arasında yer alan PLC'ler üretimin hızlı, kaliteli, düşük maliyette ve güvenli bir şekilde yapılmasını sağlamak için kullanılmaktadır. Bu kapsamda, endüstriyel firmalarda kullanılan ve bazı durumlarda çalışanlar için tehlikeli olan Mill makinesinin, PLC ve HMI ile güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayan örnek uygulama geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda üretimin hızlı ve kaliteli yapılması çalışanların iş kazasına uğrama riskinin azaltılması sağlanmıştır. Geliştirilen HMI arayüz sayesinde makinalarda oluşacak arızaların ve güvenlik ekipmanlarının durumlarının kontrol ve takibi gerçekleştirilebilmektedir. Geliştirilen PLC programı ve HMI operatör ekran arayüzü sayesinde zaman, ekipman ve iş gücü maliyetleri en aza indirilmiştir. Sonuç olarak, gerçekleştirilen endüstriyel uygulamalarda kullanılan PLC ve HMI otomasyon sistemleri, çalışanların üst düzey güvenli ortamda çalışmasına olanak tanımaktadır.

Kaynakça

- Altın, E. (2011). TIA portal ile simatic S7-1200 PLC programlama, PLC merkezi, İstanbul, www.plcmerkezi.com
- Anas, A. M., Durdu, A., & Terzioğlu, H. (2019). Kavşak Trafik Sinyalizasyon Kontrolü için Bulanık Mantık Yöntemi ile Gerçek Zamanlı Sistemin Tasarımı ve Uygulanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 490-497.
- Anonim, (2020a). <https://automationforum.co/working-principle-limit-switch/> Ziyaret Tarihi: 20.05.2020

- Anonim, (2020b). <https://www.sick.com/tr/tr/c/products#g191551/> Ziyaret Tarihi: 20.05.2020
- Aydoğdu, Ö., & Çatka, (2019). A. bir hidrolik derin çekme pres makinesinin PLC tabanlı bulanık mantık kontrolü ve endüstri 4.0 uygulaması. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(3), 573-584.
- Bolton, W. (2015). Programmable logic controllers. Newnes.
- Çetin, R. (2004). S7-200 PLC'lerle Otomasyon, Doğuşum Matbaacılık ve Tic. Ltd. Sti., Ankara, Türkiye, 11-431.
- Eminoğlu Y. (2013). PLC Programlama ve S7 1200. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Eminoğlu, Y. (2014). PLC programlama ve S7-300/400. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Erdoğan, F. (2019). Siemens S7-1200 ile PLC Programlama & Otomasyon Deniz Ofset Matbaacılık 4.Baskı 2019 Zeytinburnu/İstanbul
- Hız, O. (2019). Cisimleri renklerine göre seçen PLC kontrollü robot kol tasarımı ve uygulaması (Master's thesis, Kültür Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kafalı, A. (2019). PLC ve SCADA tabanlı sıvı boya dozajlama sisteminin gerçekleştirilmesi ve performansının incelenmesi Yüksek Lisans Tezi, T.C. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaloyan, (2018). <https://cyberx-labs.com/glossary/plc-programmable-logic-controller/>. Erişim Tarihi:15.05.2020
- Karayel, M. (2013). Mikrotip hidroelektrik santraller için PLC tabanlı SCADA sistem otomasyonu ve RTU/PLC ile frekans ve gerilim regülasyonunun gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Kiangala, K. S., & Wang, Z. (2019). An Industry 4.0 approach to develop auto parameter configuration of a bottling process in a small to medium scale industry using PLC and SCADA. Procedia Manufacturing, 35, 725-730.
- Kıvılcım, B. (2019). Omurilik Felçli Bireyler İçin SCADA Sistemi ve Güneş Paneli İle Desteklenmiş Akıllı Ev Model Uygulanması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kurtulan, S. (2008). PLC ile Endüstriyel Otomasyon, Birsan Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- MEGEB, (2011). Elektrik- elektronik teknolojisi temel PLC sistemleri, Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara, 5-16

- Nazım, İ. M. A. L. (2020). Su Şebeke Otomasyon Sistemi ve Uygulaması, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(100. Yıl Özel Sayı), 353-362
- Nguyen, T. (2020). PLC Controlling Program of an Elevator. Bachelor's Thesis Valkeakoski, Electrical and Automation Engineering, Häme University of Applied Sciences (HAMK).
- Özer, A. (2016). Endüstriyel sistemlerde plc ve scada uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Picorone, A. A., de Oliveira, T. R., Sampaio-Neto, R., Khosravy, M., & Ribeiro, M. V. (2020). Channel characterization of low voltage electric power distribution networks for PLC applications based on measurement campaign. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 116, 105554.
- Salihoğlu, R. (2012) Açık Kaynak Kütüphane Otomasyon Sistemlerinin Akademik Kütüphanelerde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bilgi ve Belge Yönetimi Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Schäfer, M., Moll, P., Brocke, L., Coutandin, S., & Fleischer, J. (2019). Model for Web-Application based Configuration of Modular Production Plants with automated PLC Line Control Code Generation. Procedia CIRP, 83, 292-297.
- Su, H., Luo, Z. A., Feng, Y. Y., & Liu, Z. S. (2019). Application of Siemens PLC in Thermal Simulator Control System. Procedia Manufacturing, 37, 38-45.
- Şengül, Ö., Öztürk, S., & Kuncan, M. (2020). Color Based Object Separation in Conveyor Belt Using PLC. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 18, 401-412.
- Thompson, S. (1996). Haskell: The Craft of Functional Programming https://www.cs.kent.ac.uk/people/staff/sjt/Haskell_craft/ Ziyaret Tarihi: 20.05.2020.
- Tosun, M. F., Gençkal, A. A., & Şenol, R. (2019). Modern Kontrol Yöntemleri ile Bulanık Mantık Temelli Oda Sıcaklık Kontrolü. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(3), 992-999.
- Waugh, A. (2020) <https://library.automationdirect.com/what-is-a-limit-switch/>, Ziyaret Tarihi: 20.05.2020.



V_{S30}-based Coherency Model: Istanbul case

Ebru Harmandar^{1*}

^{1*} Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9802-2993),
ebruharmandar@mu.edu.tr

(First received 22 June 2020 and in final form 12 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.756187)

ATIF/REFERENCE: Harmandar, E. (2020). V_{S30}-based Coherency Model: Istanbul case. *European Journal of Science and Technology*, (20), 111-119.

Abstract

Strong ground motion caused by earthquakes at every point of extended structures would not be same. This difference in ground movement has an important effect on the design of these types of structures. Meanwhile, the seismic resistant design has been lead to investigate the variability of earthquake ground motion over last decades. In this study, frequency domained variability named coherency is considered. Several coherency models have been proposed without considering soil effect. In this context, spatial variation of seismic ground motion based on the average shear wave velocity over the upper 30 m of depth, V_{S30} is analyzed. Initially, coherency values are calculated using data triggered during six earthquakes recorded by the Istanbul Earthquake Rapid Response System. Lagged coherency data is considered in the process to get the coherency model. Nonlinear regression analysis is used for the model to obtain a good-fit to observed data. A coefficient is defined based on V_{S30} values of the station-pairs. The cohereny model based on this coefficient of V_{S30} is derived for EW and NS components. It is expected that coherency function decreases with the increase of frequency and separation distance. The decrease in the coefficient of V_{S30} causes decrease in coherency. The reason is that the heterogenity in soil causes the scattering of the earthuqke waves. The variance in the coherency model between EW and NS components is small. This coherency model is used to simulate spatial variable ground motion for the accurate seismic design of extended structures for the future studies.

Keywords: Earthquakes, Istanbul Earthquake Rapid Response System, Coherency Model, V_{S30}.

V_{S30} değerine bağlı koherans modeli: İstanbul modeli

Öz

Depremlerin yol açtığı kuvvetli yer hareketi uzun yapıların her yerinde aynı olmayacaktır. Yer hareketindeki bu farklılığın, uzun yapıların tasarımı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Depreme dayanıklı tasarımın, son yüzyıllarda deprem yer hareketinin değişkenliğini araştırmada etkisi olmuştur. Bu çalışmada, koherans adı verilen frekans tanım alanı yönünden deprem yer hareketlerinin değişkenliği ele alınmıştır. Bugüne kadar genelde, zemin etkisi dikkate alınmadan çeşitli koherans modelleri oluşturulmuştur. Bu bağlamda, 30 m derinliğin üstündeki ortalama kayma dalgası hızına (V_{S30}) bağlı olarak deprem yer hareketinin mekansal değişimi analiz edilmiştir. İlk olarak, koherans değerleri İstanbul Deprem Acil Müdahale Sistemi tarafından kaydedilen altı depremin verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Koherans modelini elde etmek için duraklamalı koherans verileri dikkate alınmıştır. Modelin kayıtlı verilerde en iyi sağlaması için doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılmıştır. İkili istasyon gruplarının V_{S30} değerlerine dayanarak bir katsayı tanımlanmıştır. Bu V_{S30} katsayısına bağlı koherans modeli; EW, NS ve dikey bileşenler için oluşturulmuştur. Beklendiği üzere, frekans ve istasyonlar arası mesafesinin artmasıyla koherans fonksiyonunun azaldığı gözlenmiştir. V_{S30} katsayısındaki azalma, koherans değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Bunun nedeni, zemindeki heterojenliğin deprem dalgalarında saçılma neden olduğudur. EW ve NS bileşenleri için üretilen koherans modelleri arasındaki fark oldukça küçüktür. Düşey bileşen için üretilen model yatay için üretilenden farklıdır. Gelecekteki çalışmalarda, elde edilen koherans modeli mekansal geniş yapıların depreme dayanıklı tasarımı için mekansal değişen yer hareketlerini simüle etmek için kullanılır.

Anahtar Kelimeler: Depremler, İstanbul Deprem Acil Müdahale Sistemi, Koherans Modeli, V_{S30}.

* Corresponding Author: ebruharmandar@mu.edu.tr

1. Introduction

One of the most significant natural disasters affecting people is earthquakes especially considering fatality (Dilmaç and Demir, 2019). A very important feature of earthquake loads on extended structures such as bridges and buried pipelines is the spatial variability of seismic ground motion (SVGM). Several parameters are used to define this variability: Fourier amplitude spectra, peak ground acceleration (Bayrak, 2019), peak ground velocity, pseudo-velocity response spectrum. Additionally, coherency in frequency domain is used to describe the spatial variability. Abrahamson (1993), Harichandran and Vanmarcke (1986), Harichandran (1988), Harichandran (1991), Loh and Yeh (1988), Loh and Lin (1990), Novak (1987), Oliveira et al. (1991), Ramadan and Novak (1993), Zerva and Zhang (1997) and Cacciola and Deodatis (2011) proposed coherency models. Zerva and Zervas (2002) and Zerva (2009) reviewed general properties of spatial variation of earthquake ground motion. Harmandar et al. (2006a, 2006b) studied on the statistical properties of spatial variability of ground motion data of two earthquakes recorded by Istanbul Earthquake Rapid Response System (IERRS). Harmandar et al. (2012) developed a new methodology for the interpolation of peak ground acceleration based on the spatial distribution of discrete array stations using data from IERRS.

As aforementioned, importance of spatial variability in modelling of earthquake ground motion is known for the design of above or under ground structures and systems where multiple-support excitation needs to be considered. Several methods have been used for the derivation of spatial variability. Spectral representation method (Rice, 1944;Shinozuka, 1972); auto-regressive, moving-average, and auto-regressive-moving-average models (Conte et al., 1992; Ellis and Cakmak, 1991; Mignolet and Spanos, 1992); local average subdivision method (Fenton, 1990) and the covariance matrix decomposition (Hao et al., 1989; Zerva and Katafygiotis, 2000) are some of the methods used for the simulation of spatially variable strong ground motion. Additionally, Abrahamson (1992) studied envelope functions considering random phase variability; Ramadan and Novak (1994) proposed coherency function estimation using a Fourier series. Moreover, Yamamoto (2011) proposed that for the probabilistic assessment of the performance of structures ground motion simulation with appropriate coherency is required.

The reasons for the spatial variation of ground motion are incoherence effect, path effect and local site effect. Incoherence effect is caused by the differences in the amplitudes and phases of earthquake waves. The time delay of the arrival time is the reason for wave passage effect. Local site effect is due to the variance of local soil profiles (Der Kiureghian, 1996). Schneider et al., 1992 studied the effect of the site on SVGM considering the data from rock sites and soil sites. The local site effects on the SVGM have been studied by Zerva and Harada (1997). Abrahamson, 2005 took into account the effect of local site condition on spatial coherency.

In this study, an empirical coherency model is derived considering the average shear wave velocity over the upper 30m of depth (V_{s30}). Data from six earthquakes recorded by Istanbul Earthquake Rapid Response System (IERRS) stations are used in the regression analysis. Furthermore, coherency model is constituted for EW and NS components. The proposed model

could be used in the simulation of non-stationary ground motion needed for the design of extended structures.

2. Materials and Method

2.1. Definition of Coherency

Coherency is the variation in Fourier phase and the loss of correlation between two ground motions. It decays generally exponentially in terms of frequency and station separation distances. It defines the degree of similarity of earthquake ground motion data from two stations. It is the ratio between the cross-power spectral density and auto-power spectral density of data taken from separated locations, mathematically. The power spectrum is the Fourier transform of cross covariance function that explains how two separate data are common. The cross power spectrum describes the degree of correlation of two stations under random ground motion.

$$\gamma_{ij}(f, d) = \frac{S_{ij}(f)}{\sqrt{S_{ii}(f) S_{jj}(f)}} \quad (1)$$

in which f is frequency, d is separation distance between the stations i and j , $S_{ij}(f)$ is the cross-power spectral density between stations i and j , $S_{ii}(f)$ is the power spectral density at station i and $S_{jj}(f)$ is the power spectral density at station j . Equation (1) calculates the complex form of coherency values. Therefore, the coherency is generally a complex function and can be written as:

$$\gamma_{ij}(f, d) = |\gamma_{ij}(f, d)| e^{-i\theta_{ij}(f)} \quad (2)$$

in which i in the exponential form denotes the complex number $\sqrt{-1}$ and the phase spectrum is

$$\theta_{ij}(f) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}|S_{ij}(f)|}{\text{Re}|S_{ij}(f)|} \right) \quad (3)$$

The real part of the coherency function, $\text{Re}|S_{ij}(f)|$ is commonly referred as unlagged coherency; absolute value of the coherency is named as lagged coherency, $|\gamma_{ij}(f, d)|$, (Zerva, 2009). The square of the lagged coherency is referred as coherence function, $|\gamma_{ij}(f, d)|^2$. It is obvious that $0 \leq |\gamma_{ij}(f, d)| \leq 1$. Lagged coherency is considered in the regression analysis. Abrahamson et al. (1991) stated that lagged coherency removes the effects of inclined plane wave propagation and generally is used in engineering purposes. Lagged coherency decreases with the increase of frequency and separation distance.

2.2. Data and local site conditions

To ensure the effect of site on SVGM, data from different earthquakes and soil profiles are selected. In this study, six earthquakes registered by the Earthquake Rapid Response System in Istanbul (IERRS) are utilized for the calculation of coherency values. The IERRS was consisting of 100 stations

until 2012. After then, 20 stations have been added. Detailed information of IERRS and data can be found in Harmandar et al. (2012). The epicenters of earthquakes utilized in the present work are shown in Figure 1. General properties of the chosen events are summarized in Table 1.

For the generation of coherency values, acceleration data are baseline-corrected and filtered with a butter-worth bandpass filter (4th order). To determine the filter range for the elimination of noise from real earthquake data, Fourier amplitude spectrum and signal to noise ratio are utilized. S-wave

window lengths are identified by inspection for each record and a five per cent cosine tapering is applied. After preprocessing and alignment operations, the coherency values are obtained by calculating the power spectral densities and cross-spectral density. Additionally, determination of smoothing windows is essential in the coherency procedure. An 11-point Hamming window is suggested when the data length is less than 2000 steps for the engineering purposes (Abrahamson et al., 1991). Therefore, in this study, coherency values are determined by using 11-point Hamming window for EW and NS components of earthquake ground motion data.

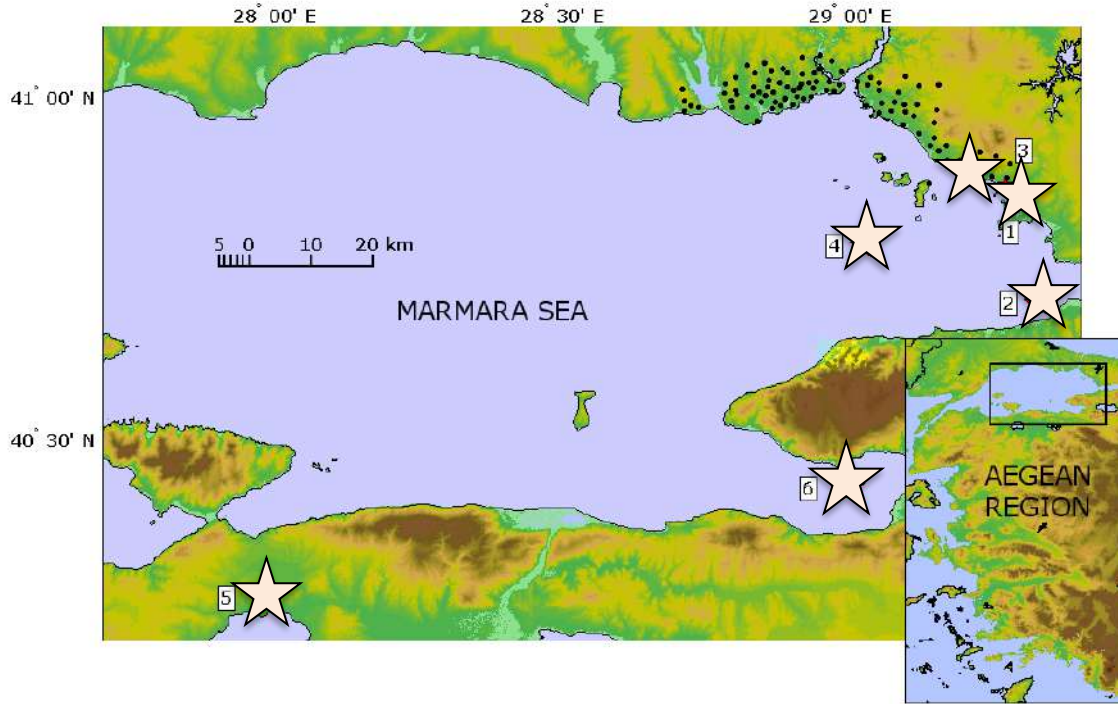


Figure 1. Epicenters of the selected earthquakes recorded by the Istanbul Earthquake Rapid Response System. Stars are the epicenters of the earthquake used in the regression analysis. Numbers correspond to the earthquakes mentioned in Table 1 (after Harmandar et al., 2012)

Table 1. Source properties of the earthquakes registered by IERRS (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/default.htm>) (after Harmandar et al., 2012)

Eq No	Earthquake	Date	Latitude N	Longitude E	GMT	M_L	M_d	Depth (km)	Fault mechanism	Number of recording stations	Maximum Epicentral Distance (km)	Minimum Epicentral Distance (km)
1	Güzelyalı	19/09/2003	40.8498	29.2867	00:51	3.1	3.2	10.3	Strike-slip	16	16	1
2	Yalova	16/05/2004	40.6957	29.3222	03:30	4.3	4.2	9.1	Strike-slip	72	58	14
3	Marmara Sea	29/09/2004	40.7797	29.0200	15:42	4.0	-	8.3	Strike-slip	86	34	14
4	Kuşğözü	20/10/2006	40.2635	27.9843	21:15	-	5.2	5.4	Strike-slip	43	130	101
5	Gemlik	24/10/2006	40.4240	28.9947	17:00	-	5.2	9.2	Strike-slip	47	70	52
6	Çınarcık	12/03/2008	40.6210	29.0110	20:52	4.8	-	8.9	Normal	54	50	30

M_d : Earthquake Duration Magnitude, M_L : Local Magnitude

The site classification map for Istanbul is prepared by OYO International Cooperation within the microzonation project of the Istanbul Metropolitan Municipality for the European and Asian parts of Istanbul. The distribution of average shear wave velocity for the top 30 m of soil (V_{S30}) distribution map is presented in Figure 2 and Figure 3. This map shows that most

part of the south part of the European side have low V_{S30} values. The Asian region has stiffer soil conditions and has comparatively high shear wave velocities. V_{S30} values for each station is obtained from the project and used in the regression analysis to obtain the empirical coherency model.

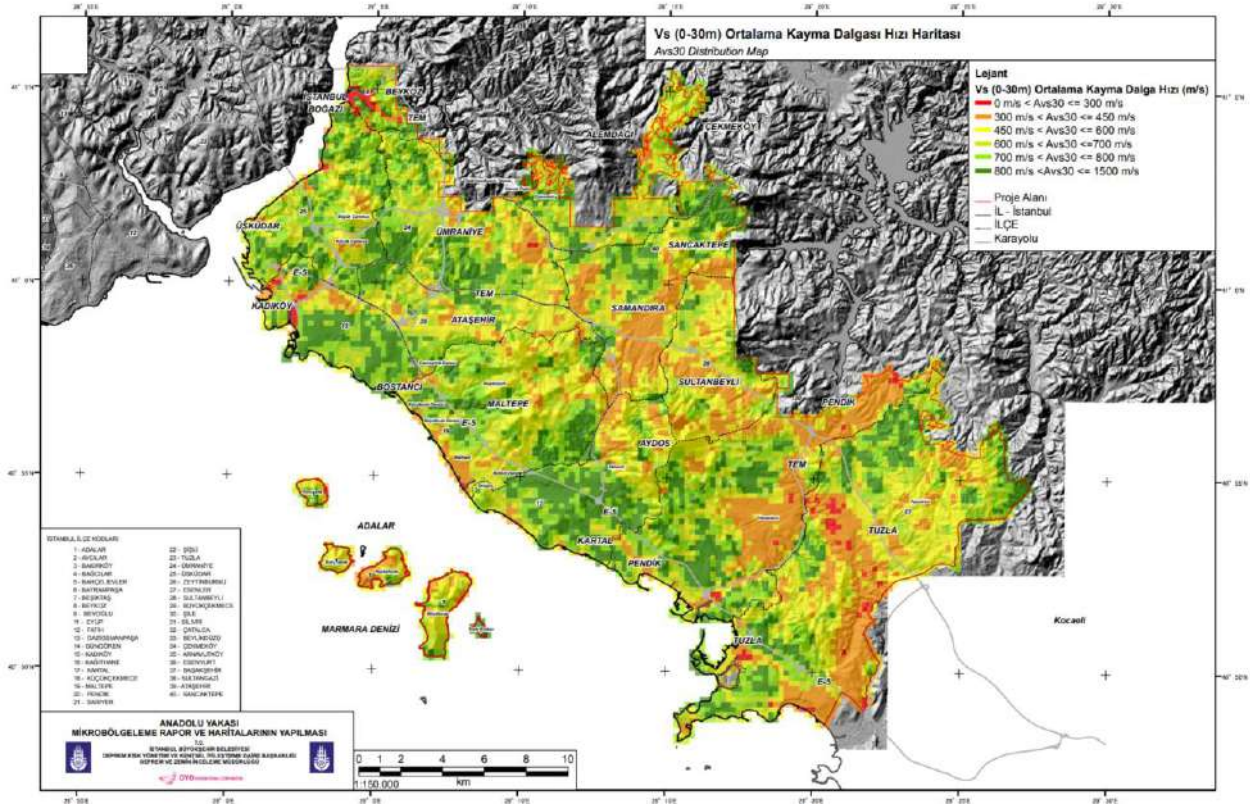


Figure 2. V_{S30} map of Istanbul - Asian Side (Istanbul Metropolitan Municipality-OYO)

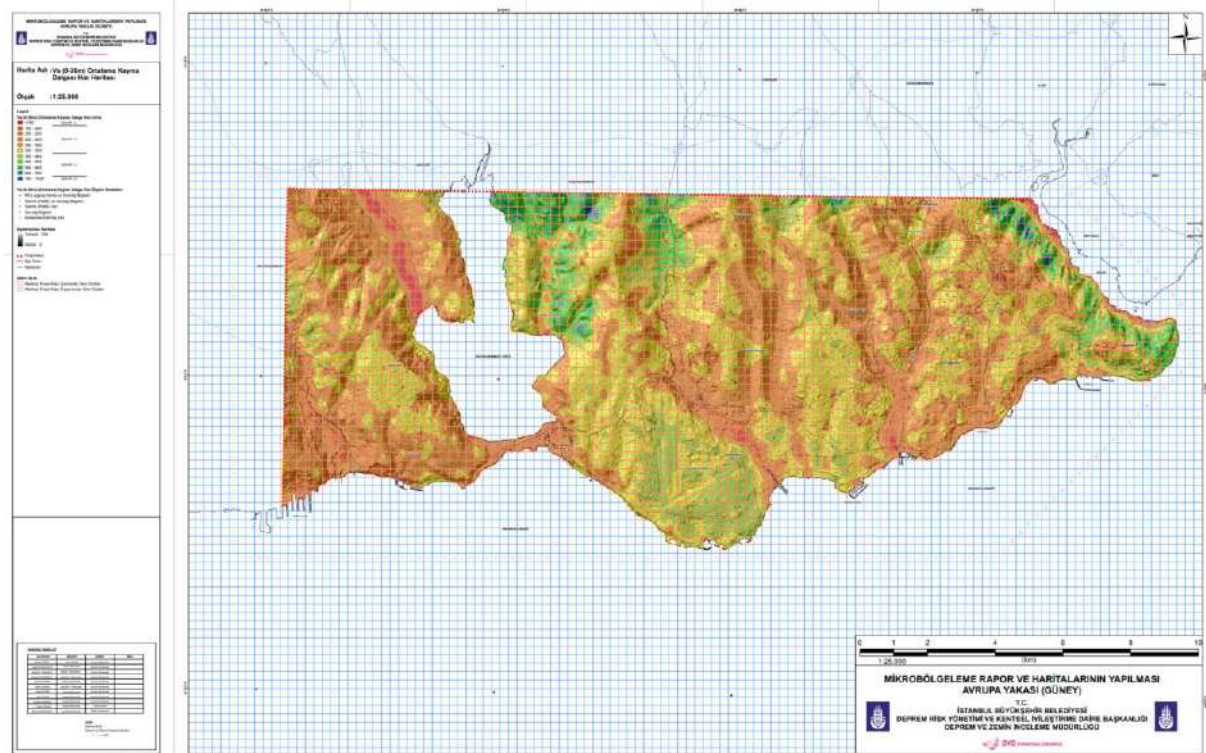


Figure 3. V_{S30} map of Istanbul - European Side (Istanbul Metropolitan Municipality-OYO)

3. Results and Discussion

3.1. Results and Discussion

The coherency values for distance bins (Less than 2.0 km; between 2.0 and 2.5 km; between 2.5 and 3.0 km; between 3.0 and 3.5 km; between 3.5 and 4.0 km; between 4.0 and 4.5 km; and between 4.5 and 5.0 km) associated with September, 19 2003; May 16, 2004; September, 29 2004; October 20, 2006; October 24, 2006; and March 12, 2008 earthquakes are calculated. 332 ground motion data are used, totally. 9837 sets are utilized to obtain the coherency values by Equation 1. For the brevity, only average coherency values of May 16, 2004 for EW component are demonstrated in Figure 4. The variation of coherencies with both distance and frequency in 3-D are represented in Figure 5 for September, 29 2004 earthquake. As expected, coherency values for all events generally decrease with the increase of separation distance and frequency. The coherency values in terms of distance and frequency is clearly presented. The reason is attributed to higher number of earthquake ground motion data in this earthquake. However, in some cases, this may change. Coherency values may increase when the separation distance increase for different frequency ranges. The reason is due to the lack of recorded data at some

earthquakes (Table 1) and variation of the station locations from earthquake to earthquake.

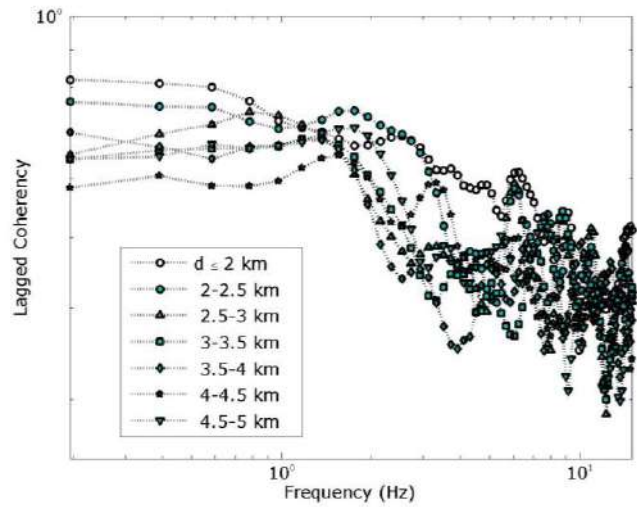


Figure 4. Average coherency values for EW direction (11-point) – May 16, 2004 earthquake

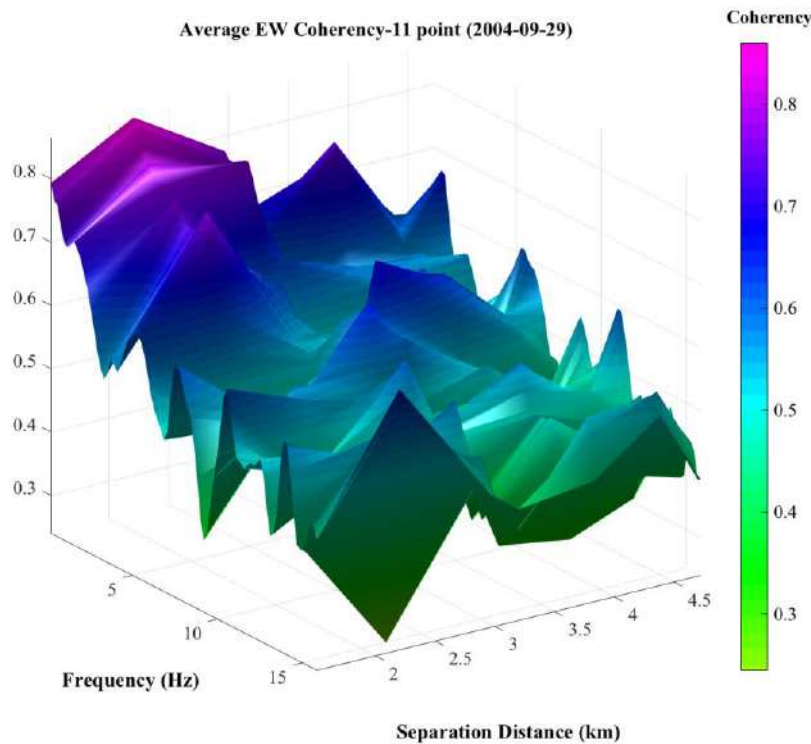


Figure 5. Average coherency values of September, 29 2004 earthquake recorded by IERRS with respect to separation distance and frequency

3.2. Nonlinear Regression Analysis

The decrease of coherency with respect to frequency is approximately exponential. Therefore, the formula is selected in exponential form. In this study, the purpose is to examine the dependency of coherency on V_{S30} , frequency and separation distance between the stations. Several trials of formula for nonlinear regression analysis have been done to select the

appropriate and accurate coherency function considering the bias and standard deviation. Eventually, the following lagged coherency function is established for EW and NS components of earthquake ground motion data:

$$\gamma_{ij}(f, d) = e^{-(b f d)^2 V_{S30ij}} + \sigma \quad (4)$$

where γ_{ij} is the coherency, b is the regression coefficient, d is the station separation distance, f is the frequency, V_{S30ij} is the multiplication of V_{S30} values of i^{th} and j^{th} stations and σ is the standard deviation. Firstly, regression analyses are achieved for six earthquakes, separately. Then, the analyses are carried out for whole data. The regression coefficient, b , is listed for each

earthquake and whole data set considering EW and NS components in Table 2. It is seen that the regression coefficients, b , are close to each other for every earthquake and whole earthquake dataset. Also, the values are nearly same for both EW and NS components.

Table 2. Regression coefficients based on Equation 4 for data recorded by IERRS

Regression Coefficient	2003.09.19 earthquake	2004.05.16 earthquake	2004.09.29 earthquake	2006.10.20 earthquake	2006.10.24 earthquake	2008.03.12 earthquake	All data
b_{EW}	0.0017	0.0017	0.0010	0.0015	0.0019	0.0013	0.0013
b_{NS}	0.0018	0.0018	0.0011	0.0019	0.0020	0.0014	0.0015

Comparison of observed coherency data with coherency model for separation distance less than 1 km is represented in Figure 6. As it is expected, coherency values decrease with the increase of frequency. The derived empirical model has a good fit with observed data with all distance bins. For the brevity, only the values for the separation distance less than 1 km is considered and shown. The difference between the EW and NS components is small. After then, only results from EW components are evaluated.

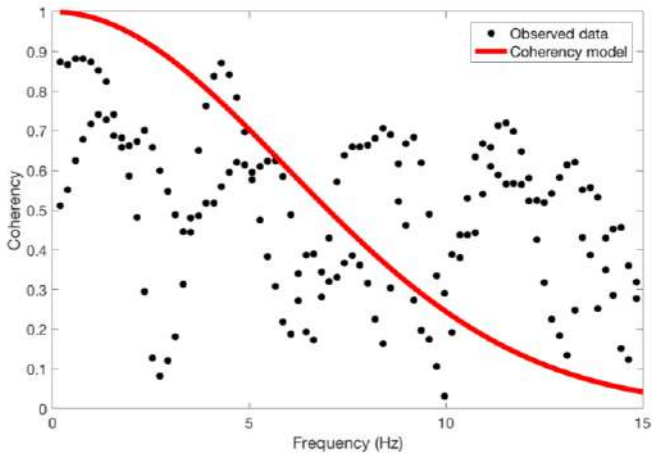


Figure 6. Comparison of coherency model with respect to observed coherency values of EW component for separation distance less than 1 km

3.3. Evaluation of change in separation distance

The derived empirical coherency model is tested for the variation of frequency and separation distance. Figure 7 represents the comparison of coherency in terms of different separation distances (500m, 1000m) and different V_{S30ij} values. When the V_{S30ij} values are stationary, the coherency model decays with the increase in the separation distance (Figure 7). The coherency values at 20 Hz differ dramatically when the separation distance scaled with 5. It is expected that the relation between two data is more coherent if the separation distance is less. Because the wave passage effect, incoherence effect and the difference between the soil profile, so the local site effects will be nearly similar.

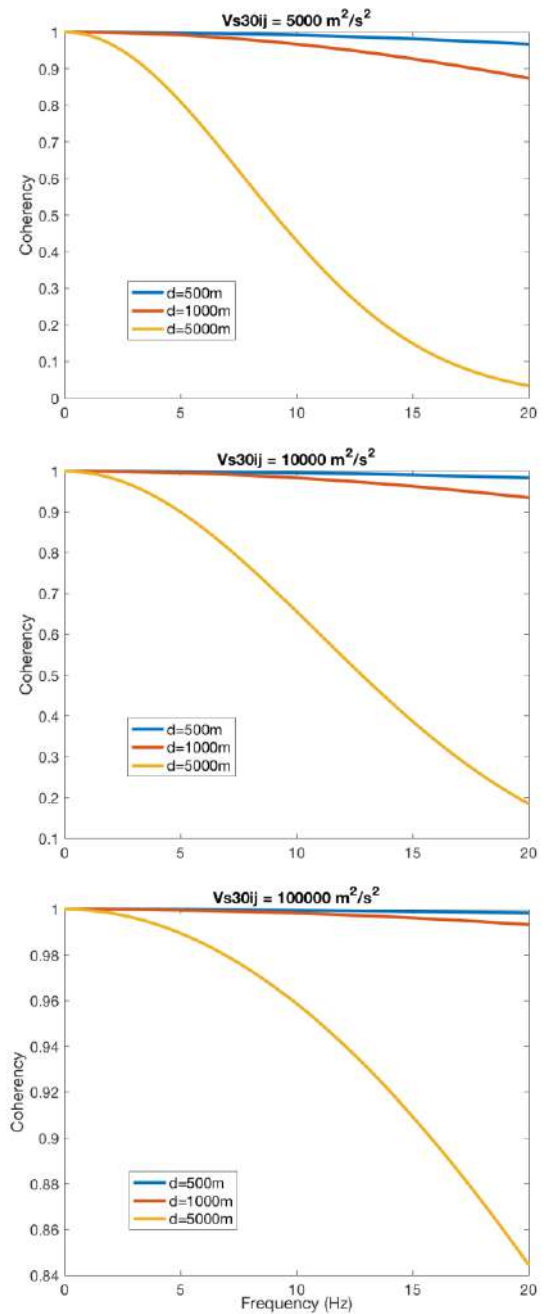


Figure 7. Comparison of coherency model in terms of separation distance considering V_{S30ij} values stationary. V_{S30ij} value is the multiplication of V_{S30} values of i^{th} and j^{th} stations.

3.4. Evaluation of change in V_{S30}

The derived coherency model is tested for the parametric analysis. To understand the change of coherency values in terms of V_{S30ij} values, Figure 8 is drawn in three parts considering the separation distance stationary for each, but this time V_{S30ij} values vary. Figure 8 represents the comparison of coherency in terms of different V_{S30ij} values ($5000 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $10000 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $100000 \text{ m}^2/\text{s}^2$). Only coherency model for EW components is demonstrated in Figure 8. Besides, the difference between the coherency model generated using data from EW and data from NS components is very small.

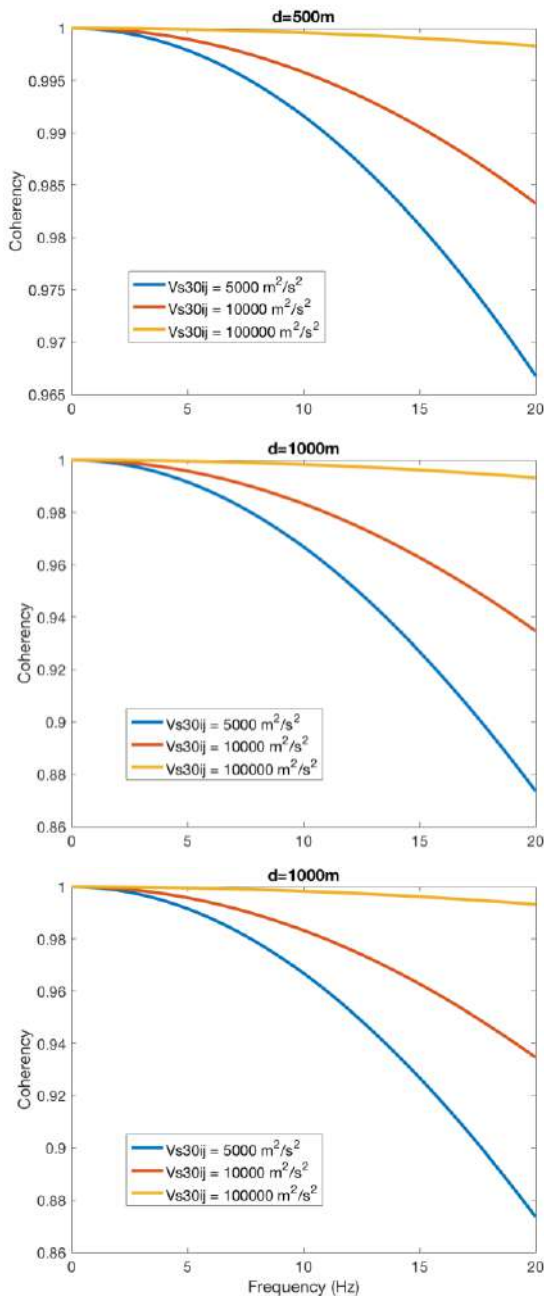


Figure 8. Comparison of coherency model in terms of V_{S30ij} values considering separation distance stationary. V_{S30ij} value is the multiplication of V_{S30} values of i^{th} and j^{th} stations.

Coherency values doesn't change dramatically when separation distance changes from $d=500\text{m}$ to $d=1000\text{m}$. However, when the separation distance taken as 500m , coherency values decreases related with V_{S30} , clearly. The

coefficient between V_{S30} values of i^{th} and j^{th} stations increases with increase of coherency values. The variation between V_{S30ij} values at low frequencies is small. It expands at high frequencies. In other words, coherency data is affected by V_{S30ij} at short periods much more than the long periods.

3.5. Comparison of model with Luco & Wong (1986)'s model

The proposed model is compared with Luco and Wong (1986) to investigate the relation between the model and literature. Luco and Wong (1986) proposed a model which is based on the analysis of shear waves considering the propagation in random medium. It has an exponential decay in terms of separation distance between stations and frequency. Additionally, Luco and Wong (1986)'s model is used and referenced mostly in literature. Also, their formula is based on shear waves which are related to the site properties of the region.

In the comparative analysis, same separation distance and V_{S30ij} parameter is selected. Figure 9 represents the comparison of these two models. The trend between both models is close to each other, generally. In details, proposed model has higher values at frequency approximately 6 Hz than Luco and Wong (1986)'s model. The reason for this is soil parameter used in the generation of model which changes. The derived model in this study uses V_{S30ij} . On the other hand, Luco and Wong's model is related with V_S . By the decrease and increase of frequency, the variation between those gets small.

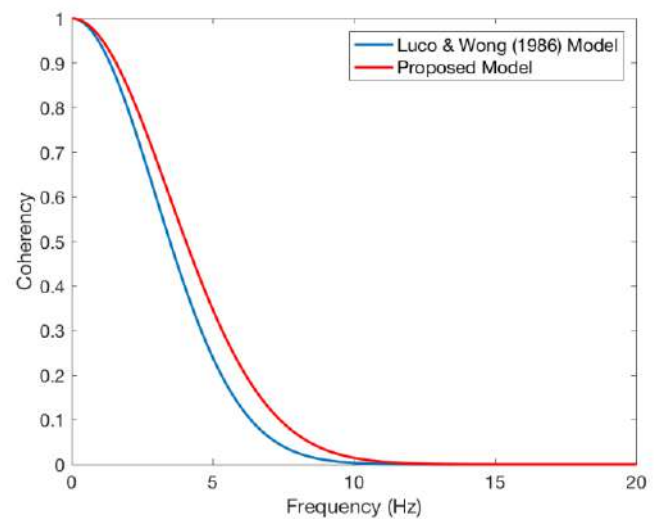


Figure 9. Comparison of proposed coherency model with the model by Luco and Wong (1986)

4. Conclusions

In this study, a coherency model based on V_{S30} is proposed as a function of frequency and separation distance for Istanbul. Data from Istanbul Earthquake Rapid Response System are used in the nonlinear regression analysis. Six earthquakes triggered by more stations are selected to derive the model. Nonlinear regression analysis is achieved for data from EW and NS components. Regression coefficient, b , is derived for each earthquake and component. Regression coefficient, b , for every earthquake differs, but not dramatically. This change is caused by the recorded earthquake data at each earthquake. Number of stations triggered during an earthquake is much more than the

other earthquake. This affects the separation distance. The model is valid for the magnitude range of 3 to 5 and the separation distance range of 0.5 km to 5 km.

As expected, the coherency model decreases with increase of separation distance and frequency. The influence of parameter V_{S30ij} is significant on coherency values. When the parameter V_{S30ij} decays, coherency values also decrease by separation distance and frequency. A significant change does not observed in the coherency model for one earthquake to another. Additionally, coherency model derived by using data from EW components does not have an extreme difference from the model created by data from NS component. The comparative study done with the literature shows that the proposed model has a good compatibility with the published model. The variation is high for medium frequencies. Meanwhile, the similarity increases for short and long periods. These observations are valid for both EW and NS components.

The proposed coherency model can be use for the regions exposed to moderate earthquakes. Considering a reference earthquake ground motion data, less coherent seismic data will obtain for soft soils; on the contrary, more coherent data for hard soils depending on V_{S30} values. Additionally, it may use to generate earthquake ground motion data compatible with design spectrum.

The main purpose of the derivation of coherency model here is to lead produce spatially variable ground motions for the design of earthquake resistant structures. The derived model based on V_{S30} can be utilized for the generation of non-uniform earthquake ground motion data. The comparative analysis shows that this model can be used at any region for the valid separation distance and frequency with specified V_{S30} values.

References

- Abrahamson, N. A., Schneider, J. F., & Stepp, J. C. (1991). Empirical Spatial Coherency Functions for Applications to Soil-Structure Interaction Analyses. *Earthq Spectra*, 7, 1-27.
- Abrahamson, N. A. (1992). Generation of Spatially Incoherent Strong Motion Time Histories. *Proc Tenth World Conf Earthq Eng*, Madrid, Spain.
- Abrahamson, N. A. (1993). Spatial Variation of Multiple Support Inputs. *Proc the First U.S. Semin Seism Eval Retrofit Steel Bridges*, San Francisco.
- Abrahamson, N. A. (2005). Effect of Local Site Condition on Spatial Coherency. Electric Power Research Institute, Rpt. No.RP2978-05.
- Bayrak, E. (2019). Doğu Anadolu Bölgesi için En Büyük Yer İvmesi Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 676-681.
- Cacciola, P., & Deodatis, G. (2011). A method for generating fully non-stationary and spectrum-compatible ground motion vector processes. *Soil Dyn Earthq Eng*, 2011; 31: 351-360.
- Conte, J. P., Pister, K. S., & Mahin, S. A. (1992). Non-Stationary ARMA Modeling of Seismic Ground Motions. *Soil Dyn Earthq Eng*, 11, 411-426.
- Der Kiureghian, A. (1996). A coherency model for spatially varying ground motions. *Earthq Eng Struct Dyn*, 25, 99-111.
- Dilmaç, H. & Demir, F. (2019). Earthquake Vulnerability Assessment of RC Structures with Variable Infill Wall Properties. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 176-189.
- Ellis, G. W., & Cakmak, A. S. (1991). Time Series Modeling of Strong Ground Motion from Multiple Event Earthquakes. *Soil Dyn Earthq Eng*, 10, 42-54.
- Fenton, G. A., & Vanmarcke, E.H. (1990). Simulations of Random Fields via Local Average Subdivision. *J Eng Mech*, 116, 1733-1749.
- Hao, H, Oliveira, C. S., & Penzien, J. (1989). Multiple-Station Ground Motion Processing and Simulation based on SMART-1 Array Data. *Nuclear Eng Des*, 111, 293-310.
- Harichandran, R. S., & Vanmarcke, E. (1986). Stochastic Variation of Earthquake Ground Motion in Space and Time. *J Eng Mech ASCE*, 112, 154-174.
- Harichandran, R. S. (1988). Local Spatial Variation of Earthquake Ground Motion, in: Von Thun, J. L. (editor), *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II - Recent Advances in Ground-Motion Evaluation*. American Society of Civil Engineers, New York, 203-217.
- Harichandran, R. S. (1991). Estimating the Spatial Variation of Earthquake Ground Motion from Dense Array Recordings. *Struct Saf*, 10, 219-233.
- Harmandar, E., Durukal, E., Erdik, M., & Özel, O. (2006a). Spatial Variation Strong Ground Motion in Istanbul: Preliminary Results based on Data from the Istanbul Earthquake Rapid Response System. *European Geosciences Union (EGU) General Assembly*, Vienna, Austria.
- Harmandar, E., Durukal, E., Erdik, M., & Ozel, O. (2006b). Spatial Variation of Strong Ground Motion in Istanbul. *First European Conf Earthq Eng Seism*, Geneva.
- Harmandar, E., Durukal, E., & Erdik, M. (2012). A method for spatial estimation of peak ground acceleration in dense arrays. *Geophys J Int*, 191, 1272-1284.
- Loh, C. H., & Yeh, Y. T. (1988). Spatial Variation and Stochastic Modeling of Seismic Differential Ground Movement. *Earthq Eng Struct Dyn*, 16, 583-596.
- Loh, C. H., & Lin, S. G. (1990) Directionality and Simulation in Spatial Variation of Seismic Waves. *Eng Struct*, 12, 134-143.
- Luco, J., & Wong, H. (1986) Response of a rigid foundation to a spatially random ground motion. *Earthq Eng Struct Dyn*, 14:891-908.
- Mignolet, M. P., & Spanos, P. D. (1992) Simulation of Homogeneous Two-Dimensional Random Fields: Part I—AR and ARMA Models. *J Appl Mech*, 59, 260-269.
- Novak, M. (1987). Discussion on Stochastic Variation of Earthquake Ground Motion in Space and Time by R. S. Harichandran and E. H. Vanmarcke. *J Eng Mech Div*, 113, 1267-1270.
- Oliveira, C. S., Hao, H., & Penzien, J. (1991). Ground Motion Modeling for Multiple-Input Structural Analysis. *Struct Saf*, 10, 79-93.
- Ramadan, O., & Novak, M. (1993). Coherency Functions for Spatially Correlated Seismic Ground Motions. Geotechnical Research Center Report No. GEOT-9-93, University of Western Ontario, London, Canada.
- Ramadan, O., & Novak, M. (1994). Simulation of Multidimensional Anisotropic Ground Motions. *J Eng Mechs*, 120, 1773-1785.
- Rice, S. O. (1944). Mathematical Analysis of Random Noise. *Bell Syst Technical J*, 23, 282-332.
- Schneider, J., Stepp, J., Abrahamson, N., (1992). The spatial variation of earthquake ground motion and effects of local

- site conditions, *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, A. A. Balkema, Rotterdam, 2, 967-972.
- Shinozuka, M. (1972). Monte Carlo Solution of Structural Dynamics. *Computers and Structs*, 2, 855-874.
- Yamamoto, Y. (2011). Stochastic model for earthquake ground motion using wavelet packets, PhD Thesis, Stanford University.
- Zerva, A., & Harada, T. (1997). Effect of surface layer stochasticity on seismic ground motion coherence and strain estimates. *Soil Dyn Earthq Eng*, 16, 445-57.
- Zerva, A., & Zhang, O. (1997). Correlation Patterns in Characteristics of Spatially Variable Seismic Ground Motions. *Earthq Eng Struct Dyn*, 1997, 26, 19-39.
- Zerva, A., & Kafatygiotis, L. S. (2000). Selection of Simulation Scheme for the Nonlinear Seismic Response of Spatial Structures. *Proc Fourth Int Colloq Computation of Shell and Spatial Structs*, Chania, Greece.
- Zerva, A. (2009). Spatial Variation of Seismic Ground Motions: Modeling and Engineering Applications. New York CRC Press.
- Zerva, A., & Zervas, V. (2002). Spatial Variation of Seismic Ground Motions: An Overview. *Appl Mech Rev*, 55 (3), 271-297.



Türkiye'nin Paleozoyik - Miyosen Jeolojik Zaman Aralığındaki Petrol ve Doğalgaz Kaynak Kaya Varlığının Paleocoğrafik ve Paleotektonik Veriler Işığında Kapsamlı Bir Değerlendirmesi

Adil Özdemir^{1*}, Yıldırım Palabıyık²

¹Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara, ORCID ID 0000-0002-3975-2846, adilozdemir2000@yahoo.com

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul, ORCID ID 0000-0002-6452-2858, palabiyiky@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 23 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 8 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.756702)

ATIF/REFERENCE: Özdemir, A. ve Palabıyık, Y. (2020). Türkiye'nin Paleozoyik - Miyosen Jeolojik Zaman Aralığındaki Petrol ve Doğalgaz Kaynak Kaya Varlığının Paleocoğrafik ve Paleotektonik Veriler Işığında Kapsamlı Bir Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 120-146.

Öz

Türkiye'nin içerisinde bulunduğu Alpin Mobil Kuşağı (Tetis Bölgesi), büyük bir petrol ve doğalgaz kuşağıdır. Tip-II kerojen içeren yüksek verimli kaynak kayalar, Gondwana ile kuzey kıta grupları (Boreal) arasında Siluriyen-Holosen döneminde bir deniz yolu olan Tetis Bölgesi'nde zengin petrol ve doğalgaz rezervlerini oluşturmuştur. Bölgedeki kaynak kaya depolanması, Paleotetis ve Neotetis'in art arda açılması ve kapanması ile sürekli olarak desteklenmiştir. Türkiye, Tetis tektoniği ile kökensel olarak bağlantılı kıtaönü (foreland) ve iç havzalar ile bindirme ve kıvrım kuşakları (kapanlar) içermektedir. Bu çalışmadaki paleocoğrafik ve paleotektonik verilere göre, Türkiye'de kırıntılı kayalara (kaynak kayalar) ilave olarak geniş yayımlı karbonat kayalar (kaynak ve rezervuar kaya) ve evaporitler (keçeler) bulunmaktadır. Sunulan paleocoğrafik ve paleotektonik veriler ve yorumları, Türkiye'nin Paleozoyik-Miyosen aralığında oluşmuş zengin bir petrol kaynak kaya varlığına sahip olduğunu göstermektedir. Ordovisiyen-Siluriyen, Devonyen-Karbonifer, Permian-Triyas, Jura-Kretase, Paleosen ve Oligosen-Miyosen kaynak kaya oluşumu açısından önemli jeolojik dönemlerdir.

Anahtar Kelimeler: kaynak kaya, paleocoğrafya, paleotektonik, Türkiye'nin petrol ve doğalgaz potansiyeli, petrol ve doğalgaz arama, Türkiye jeolojisi, Türkiye'nin jeolojik evrimi

A Comprehensive Evaluation of the Oil and Gas Source Rocks' Presence in Turkey in the Light of Paleotectonic and Paleogeographic Data through Paleozoic - Miocene Geological Time Interval

Abstract

Alpine Mobile Belt (Tethyan Region) is a huge oil and gas belt in which Turkey is located. Type-II kerogen-containing high-yield source rocks formed prosperous oil and gas reserves in the Tethyan Region, a marine route between the Gondwana and the northern continental groups (Boreal) during the Silurian-Holocene period. The source rock deposition in the region was continuously being supported by the successive opening and closing of Paleotethys and Neotethys. Turkey contains foreland and intermontane basins, and thrust-fold belts (traps) which are originally connected with the Tethyan tectonics. According to the paleogeographic and the paleotectonic data in this study, there are widespread carbonate rocks (source and reservoir rocks) and evaporites (seals) as well as clastic rocks (source rocks) in Turkey. The presented paleogeographic and paleotectonic data and their interpretations show that Turkey has prosperous petroleum source rocks that were formed in the Paleozoic-Miocene interval. Ordovician-Silurian, Devonian-Carboniferous, Permian-Triassic, Jurassic-Cretaceous, Paleocene, and Oligocene-Miocene are the important geological periods in terms of source rock occurrence.

Keywords: source rock, paleogeography, paleotectonics, oil and gas potential of Turkey, oil and gas exploration, geology of Turkey, geology evolution of Turkey

* Sorumlu Yazar: Adil Özdemir, Ankara, Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-3975-2846, adilozdemir2000@yahoo.com

1. Giriş

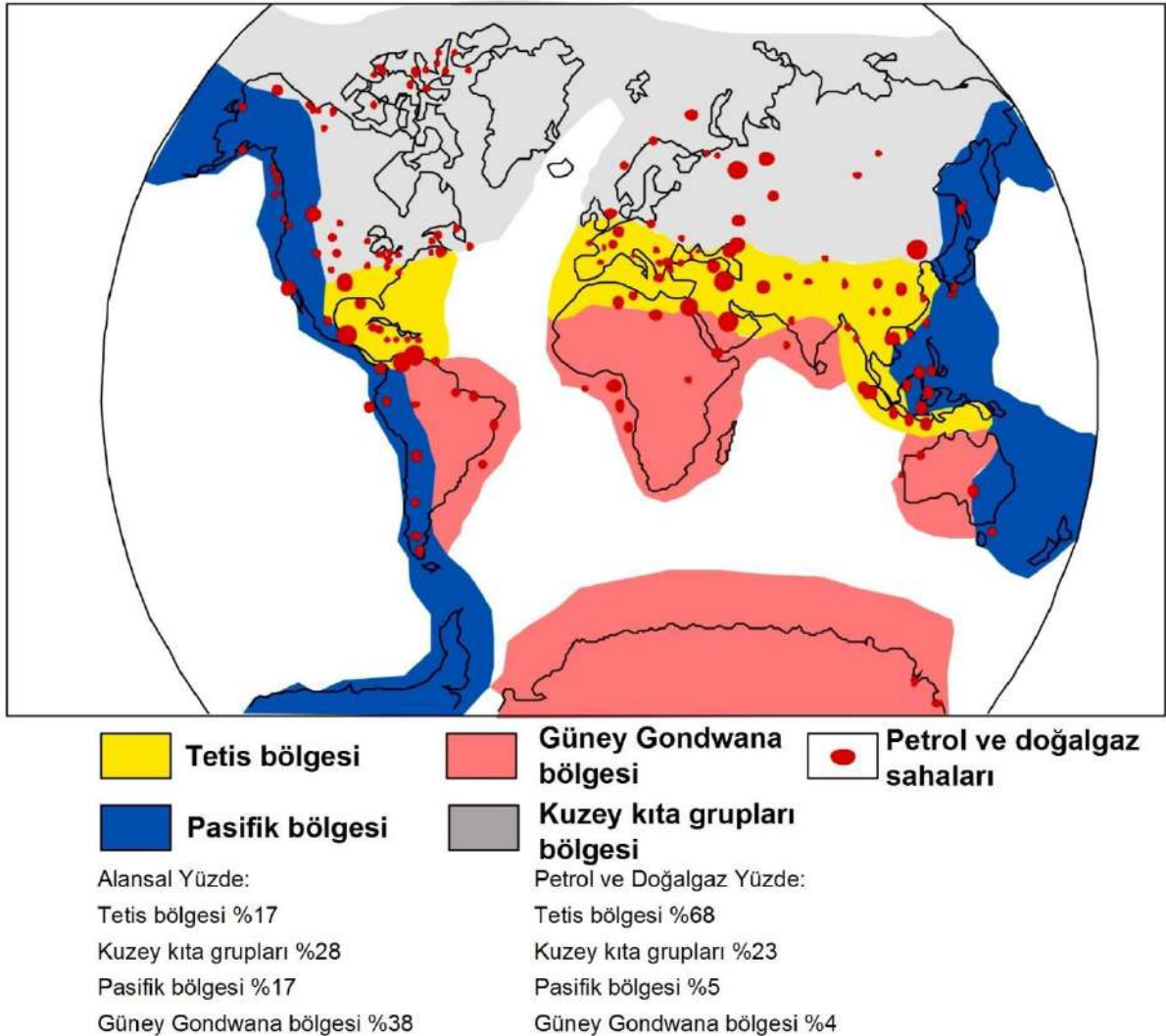
Türkiye'nin içerisinde bulunduğu Alpin orojenez kuşağı (Tetis bölgesi), büyük bir petrol ve doğalgaz kuşağıdır (Şekil 1). Tetis bölgesi, Meksika körfezi kıyısı ve Güney Amerika'dan Güneydoğu Çin ve Çin Denizi'nin güneyine kadar olan alanı kapsayan bölgedir. Kuzey Afrika'daki Sirte Havzası, Kuzey Amerika Meksika Körfezi Kıyı Havzası (Gulf Coast), Venezuela'nın Maracaibo, Doğu Venezuela ve Magdalena havzaları ve Ortadoğu'daki İran Kıyı-Zagros Havzası Kretase yaşlı kaynak kayaları ile ilişkili bu bölgedeki ana petrolü havzalarıdır (Yang ve diğ., 2014). Tip-II kerojen içeren yüksek verimli kaynak kayalar, Gondwana ile kuzey kıta grupları (Boreal) arasında Siluriyen - Holosen döneminde bir deniz yolu olan Tetis bölgesinde zengin petrol ve doğalgaz rezervleri oluşturmuştur. Kaynak kaya depolanması, Prototetis, Paleotetis ve Neotetis'in ardarda açılması ve çarpışarak kapanmaları ile sürekli olarak desteklenmiştir. Bölge, Tetis tektoniği ile kökensel olarak bağlantılı karaönü (foreland) havzaları içerir. Bölgede kırıntılı kayalara ilave olarak geniş yayımlı karbonat rezervuarları ve evaporit geçeleri bulunmaktadır. Ayrıca, sil içeren havzaların oluşumu için uygun rift/graben yapılarının gelişimini de sağlamıştır (Sorkhabi, 2010).

Tetis havzaları, dünya karalarının ve kıtasal şelflerinin beşte birinden daha az bir alanını kaplarken, dünya petrol ve doğalgaz

rezervlerinin üçte ikisinden fazlasını içermektedir (Klemme ve Ulmishek, 1991). Dünyadaki bilinen petrol ve doğalgaz rezervlerinin % 90'ından fazlası, 6 jeolojik zamanda oluşmuş kaynak kayalar tarafından türetilmiştir (Şekil 2) (Klemme ve Ulmishek, 1991):

1. Siluriyen (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 9'u),
2. Üst Devoniyen Alt Karbonifer (Turnasiyen) (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 8'i),
3. Üst Karbonifer (Pensilvaniyen) - Alt Permiyen (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 8'i),
4. Üst Jura (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 25'i),
5. Orta Kretase (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 29'u),
6. Oligosen-Miyosen (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 12.5'i).

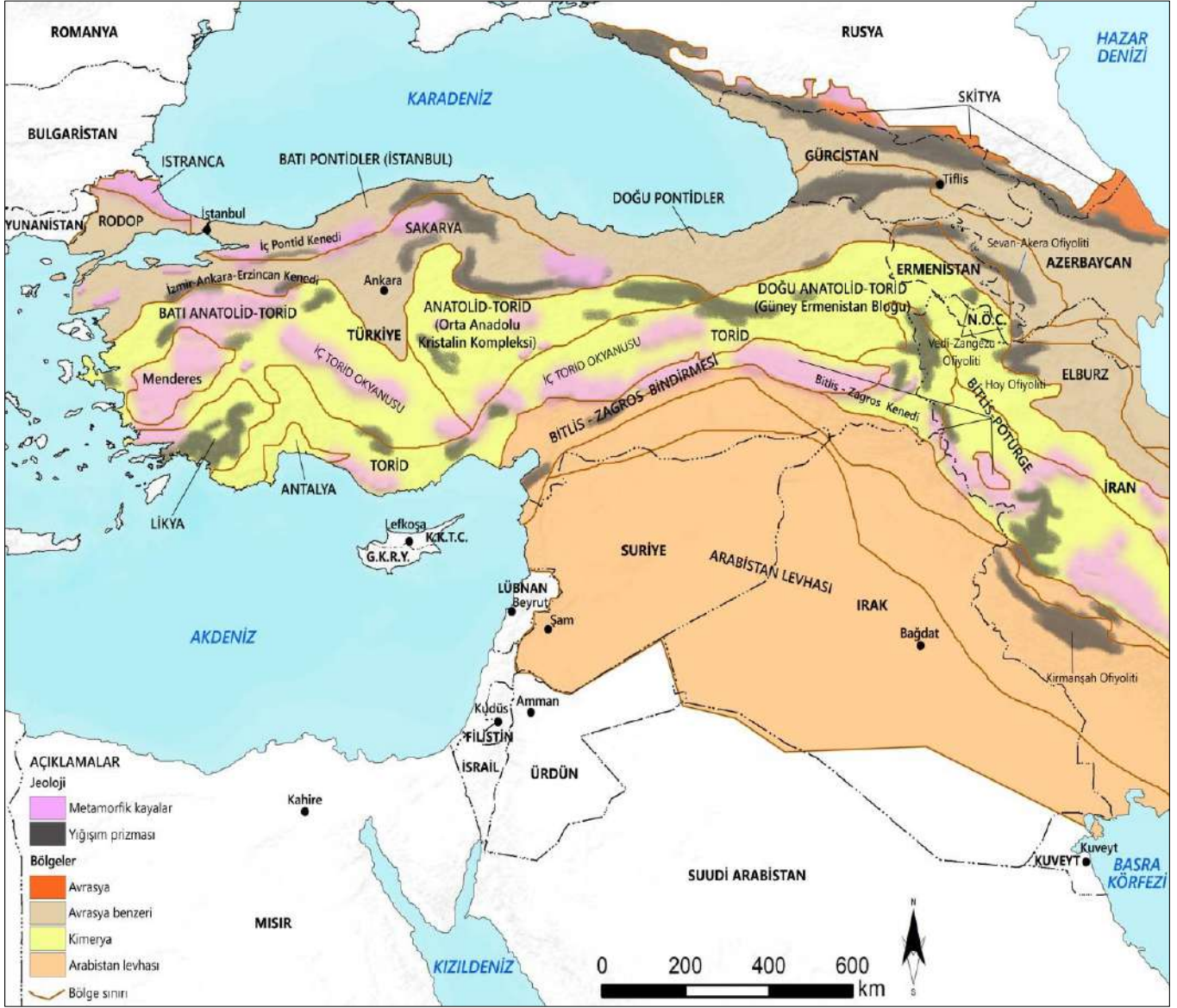
Kaynak kayaların olgunlaşma hızı, birikme hızları ile benzer şekilde jeolojik zaman içinde oldukça farklıdır. Paleozoyik kaynak kayalarının ana olgunlaşma evresi, Hersiniyen orojenezi ve kalın molas yayılımı ile ilişkilidir. Bir sonraki ana olgunlaşma evresi, Alpin orojenezi ve bu çağın kalın kırıntılı sediman birikimi ile ilişkili olarak Üst Kretase ve Senozoyik dönemidir (Şekil 2) (Klemme ve Ulmishek, 1991).



Şekil 1. Dünyanın petrol ve doğalgaz bölgeleri sınıflaması (Yang ve diğ., 2014; Klemme ve Ulmishek, 1991).

tekrarlanan çarpışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu çarpışmalar, Lavrasya ve Gondwana adlı iki eski kıtanın bugünkü eski dünya karalar topluluğunu oluşturan parçaların birbirlerine kaynamalarına neden olmuştur (Şekil 3) (Okay, 2008). Kıta parçaları, güneydeki Gondwana'dan Permien döneminden itibaren ayrılmaya başlamış, ayrılan bu kıta parçaları Tetis okyanusu boyunca kuzeye doğru sürüklenerek,

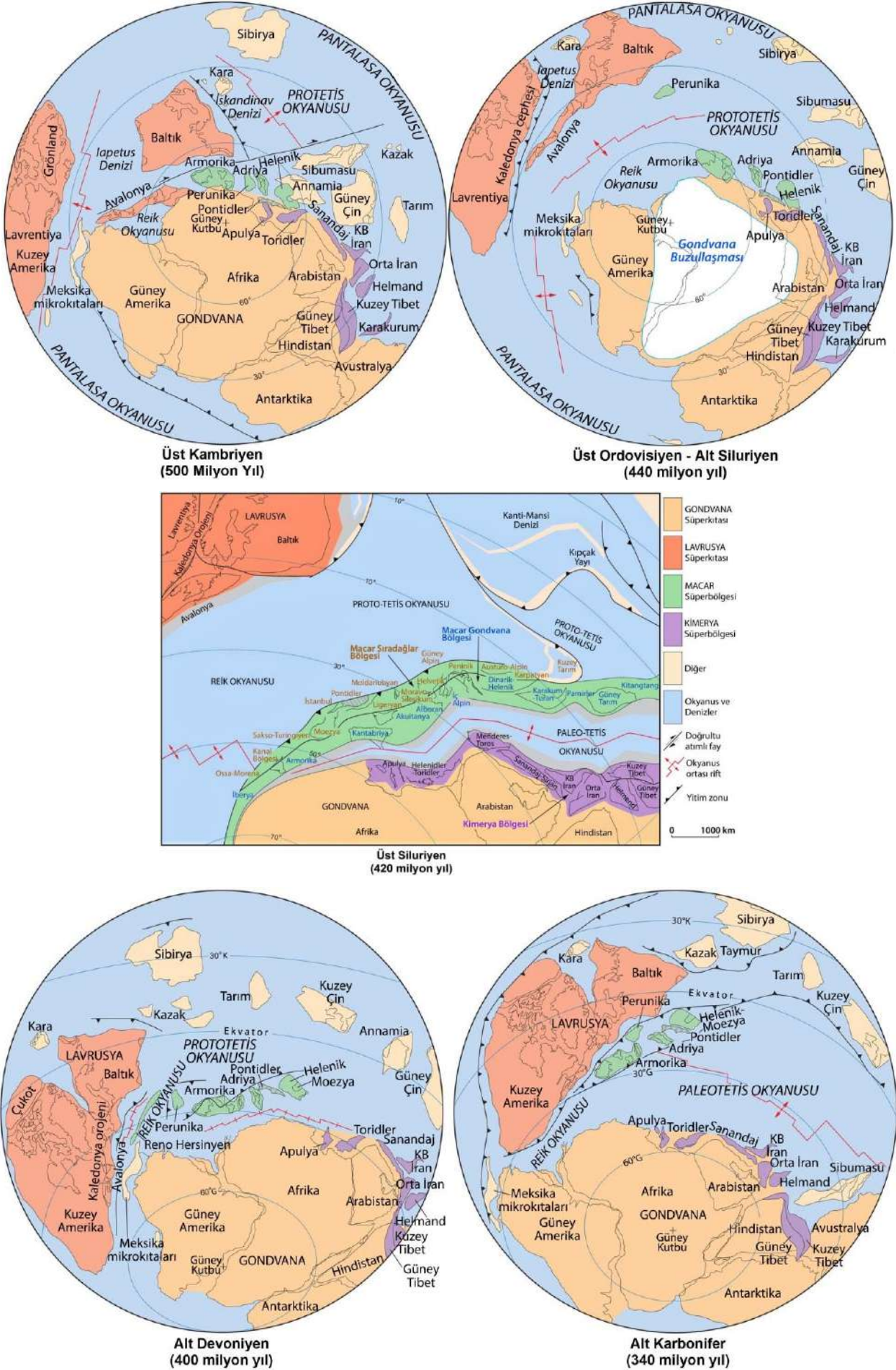
Üst Mesozoyik ve Senozoyik dönemlerinde kuzeydeki Lavrasya ile birleşmişlerdir (Şekil 4 - 7). Bölgenin karmaşık tektonik çerçevesinin anlaşılmasında önemli ilerlemeler kaydedilmesine karşın batı ve güney Asya Tetis bölgesinin jeodinamik evriminin birçok unsuru tartışma konusu olmaya devam etmektedir (Zürcher ve diğ., 2015).



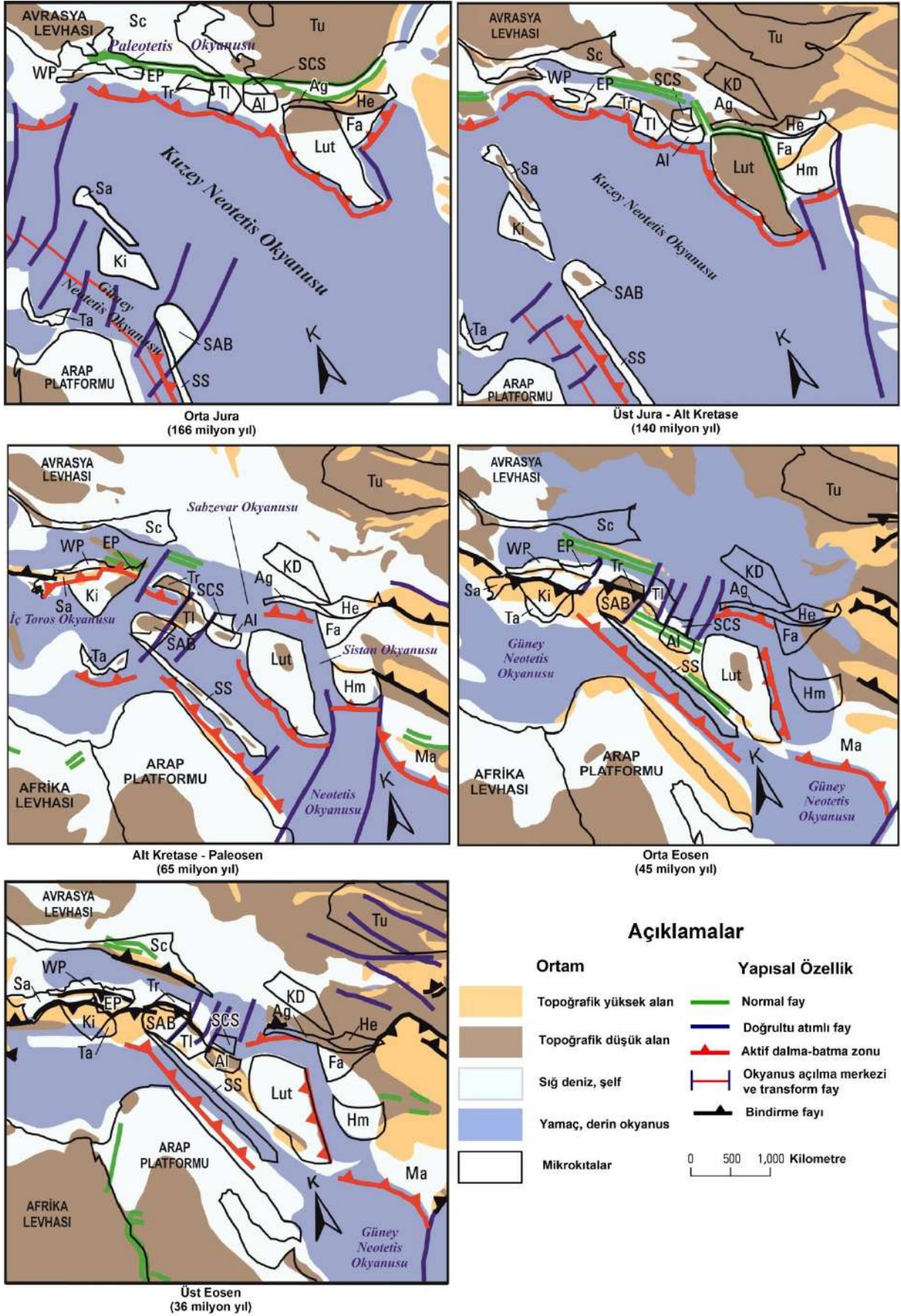
Şekil 3. Türkiye'nin tektonostratigrafik bölümleri (Zürcher ve diğ., 2015'den).

- Dünyanın paleocoğrafyası ve paleotektoniği (Türkiye kara ve deniz alanları dahil); Klemme ve Ulmişek (1991) ve Ulmişek ve Klemme (1990),
- Anadolu Mikrokıtası Erken Paleozoyik evrimi; Tolluoğlu ve Sümer (1995),
- Türkiye'nin Paleozoyik öncesi ve günümüz paleocoğrafik, paleoortamsal ve genel litofasiyes özellikleri; Brikman (1976),
- Cambriyen - Triyas paleocoğrafik ve paleotektonik evrimi; Ruban ve diğ. (2007),
- Triyas - Kuvaterner paleocoğrafik ve paleotektonik evrimi; Zürcher ve diğ. (2015),

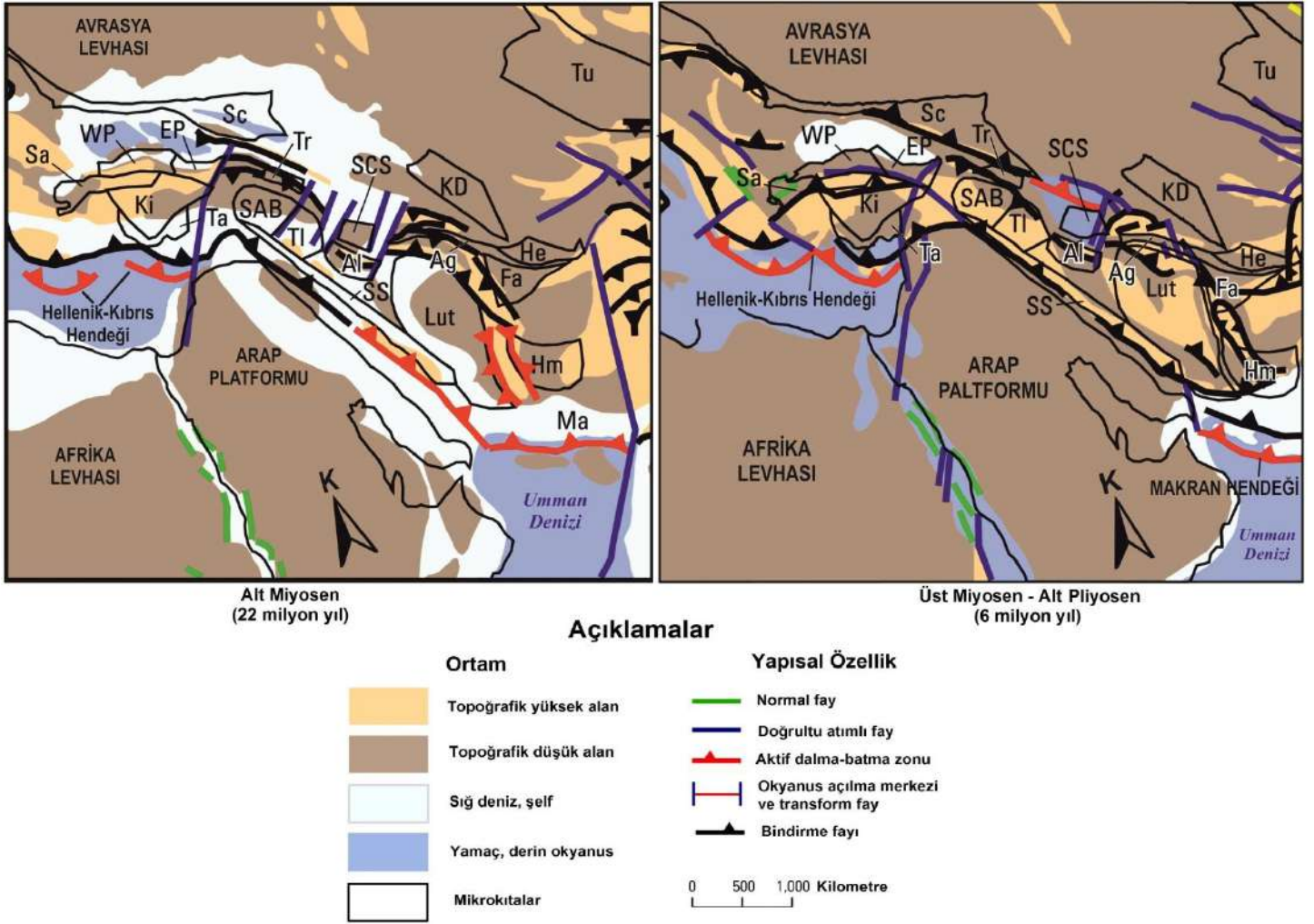
- Triyas - Kuvaterner dönemlerinin paleocoğrafik, paleoortamsal ve genel litofasiyes özellikleri; Golonka (2004),
- Üst Permien - Eosen paleocoğrafik ve paleotektonik evrimi; Moix ve diğ. (2008),
- Orta Eosen - Kuvaterner paleocoğrafik ve paleotektonik evrimi; Meulenkamp ve Sissingh (2003),
- Türkiye'nin Fanerozoik paleotektoniği; Şengör ve diğ. (2019),
- Güneydoğu Anadolu Havzası'nın paleocoğrafyası; Perinçek ve diğ. (1992) ve Utmanoğulları (2012), otokton ve allohton birimlerinin stratigrafik adlanması; Yılmaz ve Duran (1997) tarafından incelenmiştir.



Şekil 4. Türkiye'nin Üst Cambriyen-Alt Karbonifer paleocoğrafyası (Ruban ve diğ., 2007'den).



Şekil 6. Türkiye'nin Orta Jura - Üst Eosen jeolojik evrimi. Mikrokıtalar; Ag: Güney Kopet Dağ (Aghdarband), Al: Alborz, EP: Doğu Pontidler (Doğu Sakarya), Fa: Farah, He: Herat, Hm: Helmand - Arghandab, KD: Kopet Dağ, Ki: Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (Kırşehir), Lut: Doğu - Orta İran (Lut, Tabas, Kashmar - Kerman, Yazd), Ma: Makran, SAB: Doğu Anadolid - Torid (Güney Ermeni Bloğu), Sa: Sakarya (Batı Sakarya), Sc: Sikitya, SCS: Güney Hazar Denizi, SS: Sanandaj - Sirjan, Ta: Toros (Bitlis - Pötürge dahil), TI: Taliş, Tr: Transkaşkas, Tu: Turan ve WP: Batı Pontidler (İstanbul, Istranca) (Zürcher ve diğ., 2015'den).



Şekil 7. Türkiye'nin Alt Miyosen - Alt Pliyosen jeolojik evrimi. Mikrokıtalar; Ag: Güney Kopet Dağ (Aghdarband), Al: Alborz, EP: Doğu Pontidler (Doğu Sakarya), Fa: Farah, He: Herat, Hm: Helmand - Arghandab, KD: Kopet Dağ, Ki: Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (Kırşehir), Lut: Doğu - Orta İran (Lut, Tabas, Kashmar - Kerman, Yazd), Ma: Makran, SAB: Doğu Anadolu - Torid (Güney Ermeni Bloğu), Sa: Sakarya (Batı Sakarya), Sc: Sikiya, SCS: Güney Hazar Denizi, SS: Sanandaj - Sirjan, Ta: Toros (Bitlis - Pötürge dahil), Tl: Taliş, Tr: Transkaftkas, Tu: Turan ve WP: Batı Pontidler (İstanbul, Istanca) (Zürcher ve diğ., 2015'den).

Bugünkü Türkiye'nin Avrasya kıta kenarı, Avrasya benzeri İstanbul (Batı Pontid), Doğu Pontid ve Sakarya karalarından oluşmaktadır (Şekil 3). Avrasya benzeri bu karalar, Avrasya ile Paleozoyik dönemde birleşmiştir. Avrasya'dan Üst Karbonifer - Orta Triyas döneminde ayrılmış ve Üst Triyas - Erken Jura döneminde Kimmeriyen orojenezi ile de tekrar çarpışmışlardır. Sakarya karasının çarpışması ile bölgenin batısında, Gondwana türevi karaların çarpışması ile Kimmeriyen orojenezi sonlanmıştır. Paleotetis okyanusu, bu çarpışma olayları ile Orta Jura'da kapanmıştır. Permien - Orta Jura döneminde, güneyde Neotetis okyanusunun açılması, kuzeydeki Paleotetis okyanusunun tüketilmesi ile eşzamanlı olarak gerçekleşmiştir. Üst Permien'de, mikrokıtaların Gondwana'dan riftleşme ile ayrılması sonucunda Neotetis okyanusu açılmaya başlamıştır (Şekil 5). Kimmeriya olarak bilinen Gondwana türevi bu karalar, batıdan doğuya (1) Anadolu - Torid (Menderes, Orta Anadolu Kristalin Karmaşığı, Güney Ermeni Bloğu ve Bitlis-Pötürge karalarından oluşur); (2) Sanandaj - Sirjan karası'dır. Bu kıtalar hareket halindeyken, Kimmeriyen kıtasının kuzey kısmında Neotetis'in kuzey kolu ve güney kısmında da Neotetis'in güney kolu oluşmuştur. İzmir - Ankara - Erzincan keneti, Neotetis

okyanusunun kuzey kolunun, Bitlis - Zagros kenedi de güney kolunun eski konumunu belirtmektedir. Sakarya kıtası, Avrasya'nın bir parçasıdır. Sakarya ve İstanbul kıtaları, Türkiye'nin kuzeybatısındaki de İntra-Pontid kenedi boyunca bir araya gelmiştir ve Paleotetis'in, eski konumunu belirtmektedirler. Paleotetis okyanusu bu bölgede, Orta - Üst Jura'da kapanmıştır. Üst Triyas - Alt Jura Kimmeriyen çarpışma olaylarını takiben, Pontidler ve Sakarya kıtalarının birleşmesiyle oluşan yeni Avrasya kıta kenarı boyunca Neotetis okyanusunun kuzey kolunda, kuzeye eğimli dalma-batma zonları gelişmiştir. Bu sıkışma olayı sonucunda, bu alanların kuzeyinde bir kalkalkalin kıta yayı ve geniş yayımlı kalkalkalin - alkalın yaygerisi rift havzaları oluşmuştur. Bu yaygerisi havzalar, Paleotetis kenedi boyunca gelişmiştir. Türkiye birçok Alpin ve Alpin öncesi tektonik birlik içerir. Miyosen'de Afrika ve Anadolu plakalarının çarpışması ve çarpışma sonrası kıta içi tektonik kaçma ile ilişkili deformasyon yapıları, Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Anadolu mikrolevhası oluşmuştur. Bugün, bir dizi aktif, kıta içi sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı faylar ve bunlarla ilişkili çek ayır havzalar baskındır (Şekil 6 ve 7) (Zürcher ve diğ., 2015).

3. Türkiye'nin Petrol ve Doğalgaz Kaynak Kayaları

Gondwana pasif ve Lavrasya aktif kıta kenarlarında konumlanmış olan bugünkü Türkiye kara alanlarını oluşturan mikrokıtalar, tüm Paleozoyik ve Mesozoyik dönemleri boyunca zaman zaman uzun ve geniş bir shelf üzerinde etkili olan deniz seviyesi değişimlerinin geliştiği bir sedimantasyon bölgesinin birer parçası olmuşlardır (Şekil 4 - 7). Dolayısıyla, mikroorganizmalar ve denizel organizma türleri de hızlı bir şekilde evrim geçirmiş ve çeşitlenmiş, böylece petrol ve doğalgaz oluşumu için gerekli olan organik karbonlu denizel çökellerle zenginleşmiş daha sonra da birleşmişlerdir. Gondwana'nın kuzey ve Lavrasya'nın güney kenarını dalgalarıyla yalayan Tetis Okyanusu, tek bir okyanus değildir. Prototetis (İnfrakambriyen-Karbonifer), Paleotetis (Ordovisiyen-Jura) ve Neotetis (Permien-Paleosen) olmak üzere bilinen üç okyanus havzası gelişmiştir. Tetis'in bu birbirini izleyen gelişimi, kıta parçalarının zincirleme olarak Gondwana kenarından parçalanarak uzaklaşması ve Eski Asya kıtasına eklenmek üzere kuzeye doğru sürüklenmesiyle gerçekleşmiştir (Şekil 4 - 7). Her bir Tetis okyanusunun açılması, İnfrakambriyen (Edikaran-Kambriyen geçiş periyodu)-Ordovisiyen, daha sonra Permien döneminde kıtasal riftleri meydana getiren gerilme tektoniği eşliğinde olmuştur. Bu rift havzaları, bölgedeki petrol ve doğalgaz oluşumu için uygun alanlar olarak kabul edilmektedir. Bu tektonik-sedimantasyon sistemi, Tetis bölgesine özgü biçimleri ile petrol ve doğalgaz oluşumu ve birikimi üzerinde etkili olmuştur (Sorkhabi, 2010). Organik maddece zengin kaynak kayalar, anoksik ortamlar, kıyı bölgelerine zengin besin gelişinden dolayı deniz seviyesi yükselmesinden yararlanmış, göreceli duraylı koşullarda Paleozoyik-Mesozoyik zaman aralığında pasif kıta-shelf kenarlarında çökelmiştir. Organik maddece zengin bu denizel şeyller ve marnlar Tip-I (protein/lipidçe zengin algal organik madde) ve Tip-II (lipidçe zengin ancak hidrojen-karbon oranları daha düşük) olmak üzere petrol eğilimli kerojen tiplerini içermektedir (Ulmishek ve Klemme, 1990; Klemme ve Ulmishek, 1991; Sorkhabi, 2010). Dünyanın (Türkiye kara ve deniz alanları dahil) petrol ve doğalgaz kaynak kaya tip ve oluşum koşulları, Klemme ve Ulmishek (1991) ve Ulmishek ve Klemme (1990); Türkiye'nin güneyi dahil Ortadoğu'nun kaynak kaya tip ve oluşum koşulları; Kendal ve diğ. (2014) tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Derman (2014) ve Alsharhan ve Nairn (2003), Türkiye'nin bilinen kaynak kayaları ve petrol üretim havzalarının özelliklerini incelemişlerdir.

3.1. Ordovisiyen - Siluriyen Kaynak Kayaları

Organik maddece zengin graptolitik şeyller, Siluriyen petrol sisteminin karakteristik kaynak kayalarıdır. Bu şeyllerdeki organik madde, büyük ölçüde planktonik faunadan türemiş esas olarak Tip-II kerojenden oluşur. Siluriyen yaşlı kaynak kayalardan üretilen hidrokarbonların çoğu (% 85), kaynak kayaların derin gömülme ve aşırı olgunlaşması nedeniyle doğalgazdır (Ulmishek ve Klemme, 1990). Türkiye'de petrol ve doğalgaz oluşumu için şanslı seviyelerden birisi, Kuzey Afrika ve Ortadoğu'nun diğer bazı bölgelerinde de bulunan Irak'taki Akkaş formasyonunun taban şeyli, Suriye'de Tanf formasyonunun tabanı ve Ürdün'ün Batra formasyonunun eşleniği olan organik maddece olağanüstü miktarda zenginleşmiş sedimanlardan oluşan Suudi Arabistan'da Siluriyen "kızgın/sıcak" şeyli (Qusaiba Şeyli) olarak adlandırılan,

Puşçutepe graptolitik şeylidir. Kıyıya yakın, düşük enerjili bir ortamda çökelen Puşçutepe şeyli siyah, siyahımsı gri ve kül renkli, yoğun bitümlü ve laminalı şeylli düzeylerden oluşmaktadır. Taban düzeylerinin silis oranı yüksek olup, çok iyi yapraklanmalıdır. Kurşun grisi, kül rengi silisli şeylli düzeylerin üzerine karbon oranı yüksek, siyahımsı gri renkli, yapraklanmalı çubuğumsu kırıklı şeyller ve bunun da üstüne yeşilimsi gri renkli siltli şeyl düzeyleri gelmektedir (Yılmaz, 2004). Graptolitik fosil içeriğine göre birimin yaşı Alt Siluriyen (Llandovery)'dir (Monod ve diğ., 2003). Bol graptolit fosilli şeyl (bitümlü şeyl) ile temsil edilen birimin kalınlığı 100 m civarındadır (Özgül ve Kozlu, 2002). Birim, Sarız, Tufanbeyli, Feke, Develi (Metin, 1984; Özgül ve diğ., 1973) ve Kozan'da da (Ayhan, 1988) aynı litolojilerle izlenmektedir. Ayrıca, Orta Toroslar'da Silifke, Amanoslar ve Anamur bölgesinde (Önalın, 1986; Demirtaşlı, 1967), Güneydoğu Anadolu'da (Dean ve Monod, 1990) Puşçutepe şeylinin eşleniği olarak kabul edilen birimler mostra vermektedir (Şekil 8 ve 9). Güneydoğu Anadolu Havzası'nın Ordovisiyen-Siluriyen yaşlı kanıtlanmış kaynak kayaları; Bedinan, Dadaş (Handof) ve Dadaş formasyonlarıdır.

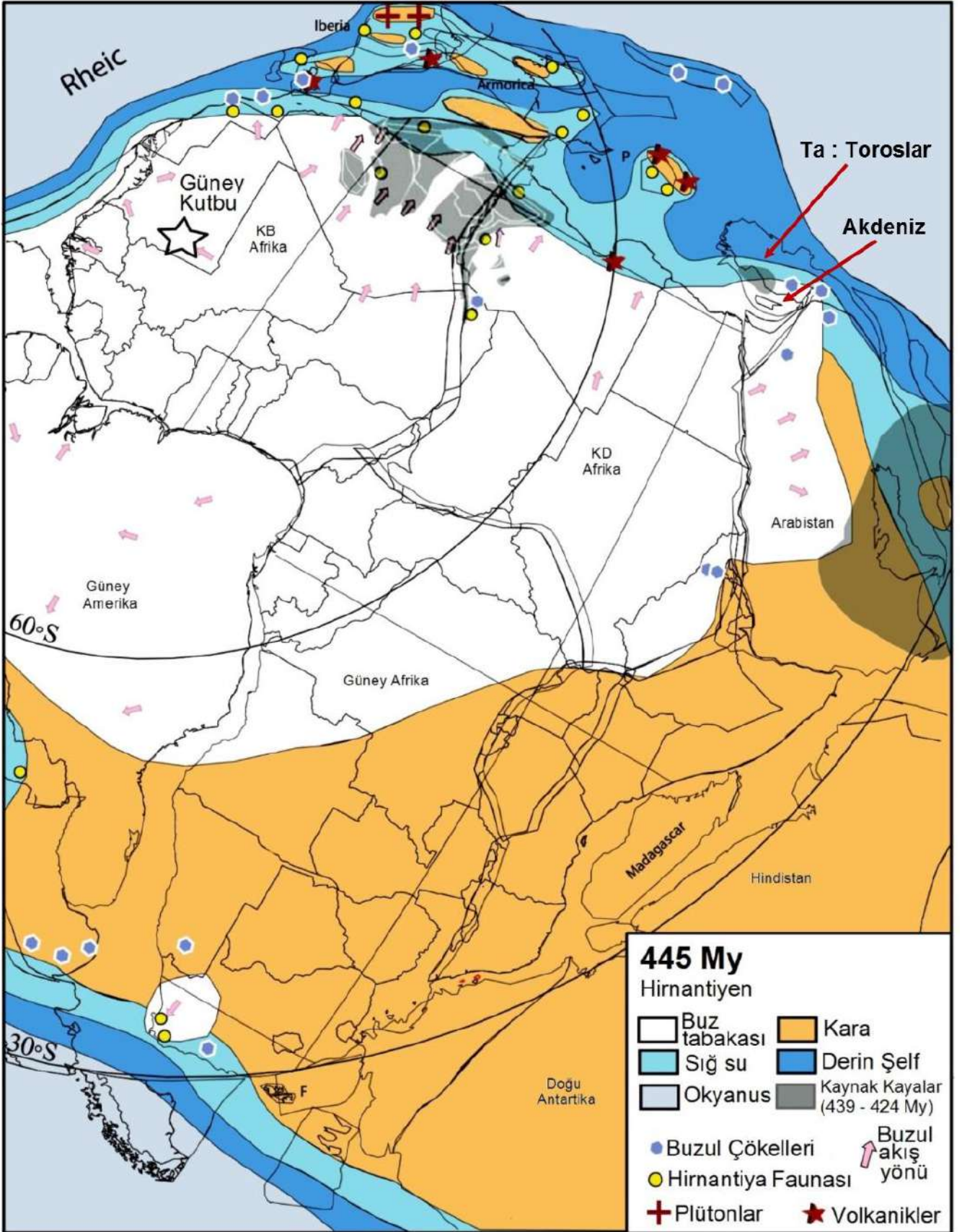
Türkiye'nin güneyinde (Toroslar ve Kenar kıvrımları) bulunan Üst Ordovisiyen - Alt Siluriyen buzullaşma istifleri (sıcak şeyller) eşleniği olan ve Afrika Kuzeyi ve Ortadoğu'daki graptolik şeyller, Luning ve diğ. (2000) tarafından önemli bir petrol ve doğalgaz kaynak kayası olarak önerilmiştir. Organik açıdan zengin 'sıcak' şeyl olarak tanımlanan Alt Siluriyen şeylleri, Kuzey Afrika'daki Paleozoyik kökenli hidrokarbonların % 80-90'ının kaynağıdır. Hem Paleozoyik hem de Triyas yaşlı rezervuarlarda bu kaynak kayadan türemiş hidrokarbonlar bulunmaktadır. Bu şeyller, Sahra Çölü'ndeki en önemli hidrokarbon kaynağıdır. Ayrıca, Siluriyen şeylleri Arap Yarımadası'nın da önemli kaynak kayalarından birisidir ve son 20 yılda keşfedilmiştir. Aynı zamanda, Amazon (ABD) ve Rusya platformu iç havzalarında da benzer bir kaynak kaya seviyesi vardır (Luning ve diğ., 2000). Dünya petrol rezervinin % 9'u organik maddece zengin bu Siluriyen şeyllerinden türemiştir (Şekil 2) (Klemme ve Ulmishek, 1991). Kendal ve diğ. (2014) ve Klemme ve Ulmishek (1990, 1991), Türkiye'nin Ordovisiyen - Siluriyen petrol ve doğalgaz kaynak kayalarının paleocoğrafik, paleotektonik, litofasiyes ve yapısal özelliklerini incelemiştir (Şekil 10 ve 11).

3.2. Devoniyen - Karbonifer Kaynak Kayaları

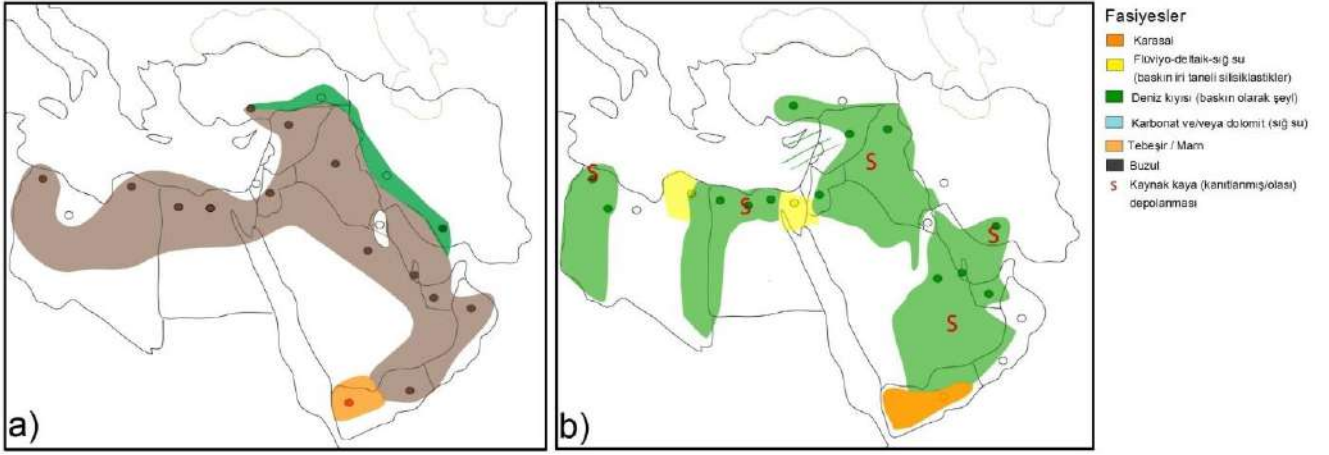
Üst Devoniyen - Alt Karbonifer (Turnasiyen) yaşlı kaynak kayalar, büyük ölçüde organik maddece zengin silisli şeyl, marn ve karbonat baskın Tip II kerojen içermektedir. Bu dönemin kaynak kayaları, genellikle siyah şeyl fasiyesidir. Yaygın olarak denizel geçiş ortamında, çoğunlukla platformlarda ve kratonik dairesel riftlerde (cratonic circular sags) birikmiştir (Ulmishek ve Klemme, 1990). Türkiye ve Irak'taki Ora ve Köprülü formasyonları, Üst Devoniyen - Alt Karbonifer (Turnasiyen) yaşlı kanıtlanmış kaynak kayalarıdır (Şekil 12 ve 13). Başka bir kanıtlanmış kaynak, Gondwanaland'ın batı kenarındaki Mississippian denizel geçiş şeylleridir (Libya'nın Marar Formasyonu). Mısır'da (Dhiffah formasyonu) ve Umman'da (Misfar Formasyonu) şeylleri, diğer benzer şeyller olarak düşünülmektedir. Sawanet'te (Suriye) karbonat kaynak kayaları mevcuttur (Kendal ve diğ., 2014). Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Ora Formasyonu (Irak) organik maddece zengin şeyl ve marn içermektedir (Alsharhan ve Nairn, 2003). Köprülü formasyonunun tipik mevkii Çukurca'nın (Hakkari) 11 km kuzeybatısındaki Köprülü (Geyman) köyüdür. Birim; Orta

Amonoslar, Beytuşşebap (Şırnak) ve Çukurca (Hakkari) dolaylarında bulunur. Sığ denizel-lagün ortamlarında çökelmiş olan birim kumtaşı bantlı şeyllerden oluşur. Yaşı, Üst

Devoniyen-Alt Karboniferdir (Yılmaz ve Duran, 1997). Devoniyen-Karbonifer birimlerinin genel stratigrafisi, Gourvenec ve Hoşgör (2012) tarafından incelenmiştir.



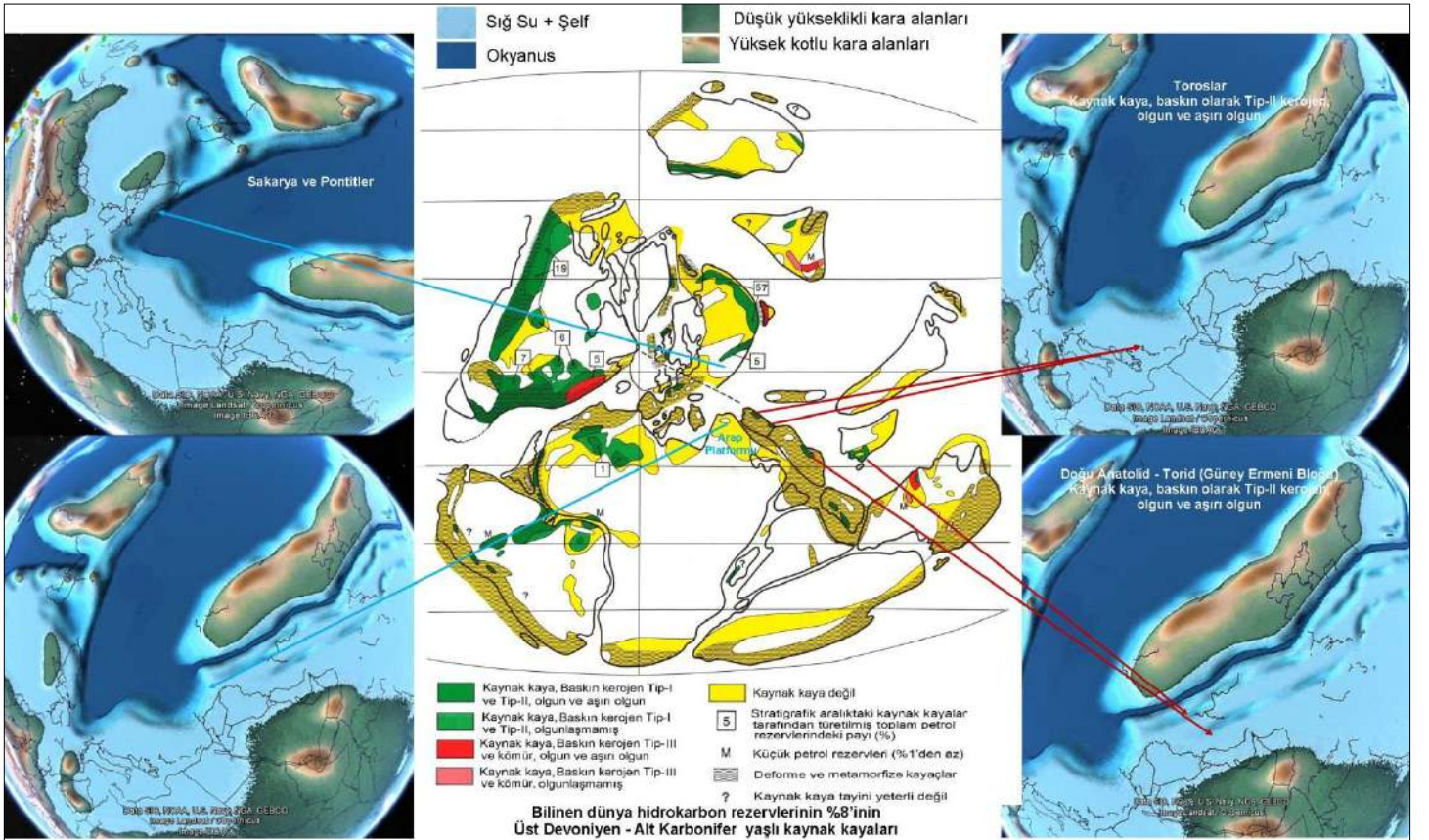
Şekil 8. Orta Gondwana bölgesinin Ordovisiyen - Siluriyen sınırı (445 Milyon yıl) paleocoğrafyası, Hirnantiyen buzullaşması ve Kuzey Afrika ve Arabistan'daki Alt Siluriyen kaynak kayaları (Torsvik ve Cocks, 2011).



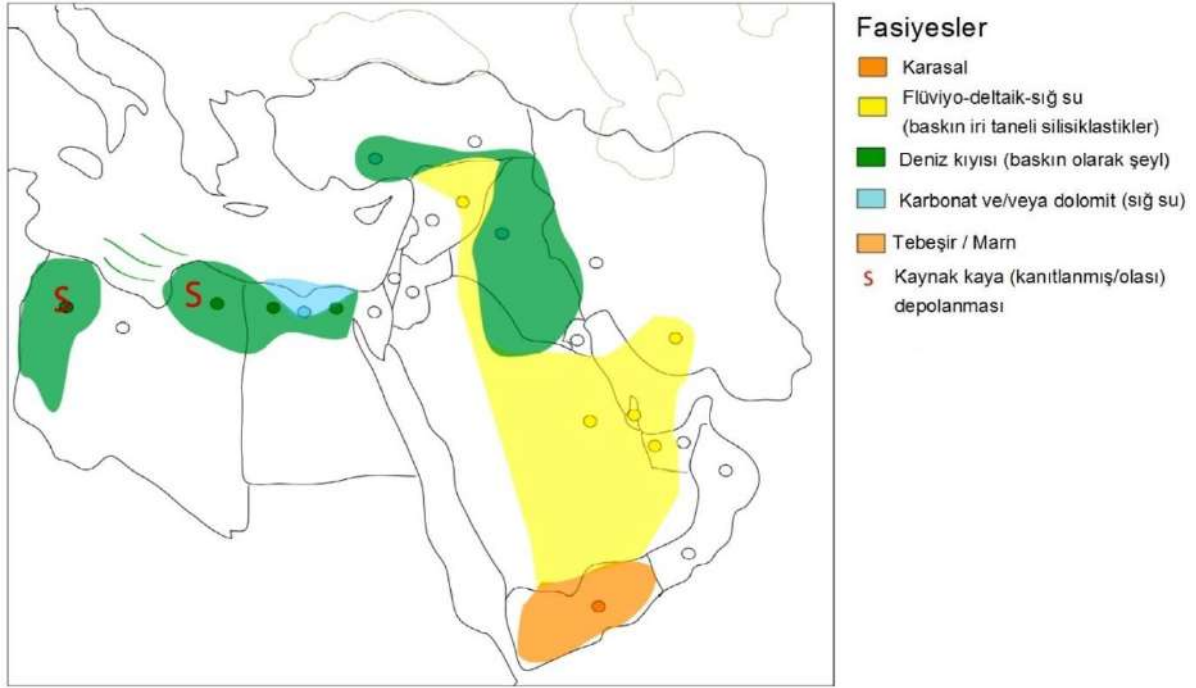
Şekil 11. Türkiye güneyinin a) Üst Ordovisiyen (~445 My), b) Alt Siluriyen (~440 My) kaynak kayaları (Kendal ve diğ., 2014'den).

Alkhafaji (2017) tarafından Doğu Toroslar'da Alt Karbonifer yaşlı kumtaşı ve killi kireçtaşları ile temsil edilen ve organik maddece zengin siyah şeylleri içeren Ziyarettepe formasyonu Ora formasyonunun eşleştiği olarak belirtilmiştir. Ay (2015)'in çalışmasında, Ziyarettepe formasyonu içinde bulunan bitümlü şeyl seviyeleri örneklerinden yapılan organik jeokimyasal ve organik petrografik analizler yardımıyla formasyonun yüksek düzeyde kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Ziyarettepe formasyonunun eşleştiği olan Ora formasyonunun dev (giant) bir doğalgaz sahası olan Akkaş Sahası'nda da benzer organik jeokimyasal özelliklere (Jassim ve Al-Gailani, 2006) sahip olduğu görülmektedir. Türkiye'de Devoniyen dönemi, 1000 metreden fazla metamorfik

olmayan hemen hemen tamamen sedimanter birimler tarafından temsil edilmektedir. Bunlar; Pontidler, Toridler ve Arap levhasının kalın Paleozoyik tortul istifleridir. Bu birimlerin, tektonik yapısı ve paleocoğrafik kökenleri farklıdır. Arap levhası ve Toroslar'ın Devoniyen istifleri, gelgit ortamından derin şelfe kadar uzanan fasiyeler tarafından temsil edilmektedir. Pontidlerdeki İstanbul ve Çamdağ-Zonguldak bölgeleri, bir havzadan sığ şelfe doğru bir dizilim ve duraylı bir şelf fasiyesi özelliğindedir. Arap levhası ve Toroslar'ın Devoniyen birimlerinin, Gondwana'ya ait birimler olduğu kesindir. Pontidlerin Devoniyen birimlerinin ise, paleocoğrafik konum olarak bir Peri-Gondwana (Avaloniyen) alanı önerisi vardır (Yalçın ve Yılmaz, 2010).



Şekil 12. Türkiye'nin Üst Devoniyen - Alt Karbonifer (Turnasiyen) dönemi kaynak kayaları (Kaynak kaya haritası: Ulmishkek ve Klemme, 1990; Paleocoğrafya haritaları: Scotese, 2001'den). Mikrokotaların adlandırılmasında, Zürcher ve diğ. (2015) çalışması esas alınmıştır.



Şekil 13. Türkiye güneyinin Alt Devoniyen (~400 My) kaynak kayaları (Kendal ve diğ., 2014'den).

3.3. Karbonifer - Permian Kaynak Kayaları

Üst Karbonifer (Pensilvaniyen) - Alt Permian kaynak kayaların karakteri ve dağılımı, Paleozoik yaşlı diğer kaynak kayalardan önemli ölçüde farklıdır. Tip III kerojen (karasal) içeren sedimanter kayalar ve özellikle kömürler, ilk defa bu dönemde önemli bir hidrokarbon kaynağı olmuştur (Şekil 14). Bu birikimler, Pensilvaniyen-Alt Permian kaynak kayalarının yarısından fazladır ve bu dönemde üretilen hidrokarbonların yüzde 20'sinin fazlasından sorumludur (Ulmishek ve Klemme, 1990). Karbonifer yaşlı flüviyal-deltaik sığ denizel sedimanlarda, Gondwanaland'ın batı sınırında geçiş ortamı denizel şeylleri ve sığ deniz karbonatı ile iç içe geçmiştir. Birimlerin çökeliminde, duraksamalar vardır. Kaynak kayalar, geçiş ortamı denizel şeylleri ve Ordovisiyen şeylleri daha kaliteli kaynak kayalardır (Kendal ve diğ., 2014). Riftler ve önçukurlar (foredeeps), kaynak kaya depolanmasını kontrol eden başlıca yapılar ve platformlar, önceki dönemler kadar önemli değildir. Kalın orojenez molası birikimleri, kaynak kayaların derin gömülmesi ve organik maddenin kömürlü doğası nedeniyle, gaz türümünün petrolden daha fazla olmasına neden olmuştur. Pensilvaniyen-Alt Permian döneminde keşfedilen hidrokarbonların yaklaşık üçte ikisi gazdır. Gaz rezervlerinin hakimiyetinin bir başka nedeni de, muhtemelen Permian kaynak kayaları arasında yaygın olarak evaporitlerin bulunmasıdır. Pensilvaniyen-Alt Permian yaşlı birimler, eşit derecede denizel, karasal ve karma fasiyelerden oluşmaktadır. Permian döneminde, özellikle Neotetis'in geç açıldığı ve Gondwana'nın parçalandığı bölgelerde riftleşme etkin olmuştur. Önçukurlar (foredeeps), Hersiniyen kuşaklarında yoğunudur (Ulmishek ve Klemme, 1990).

3.4. Permian - Triyas Kaynak Kayaları

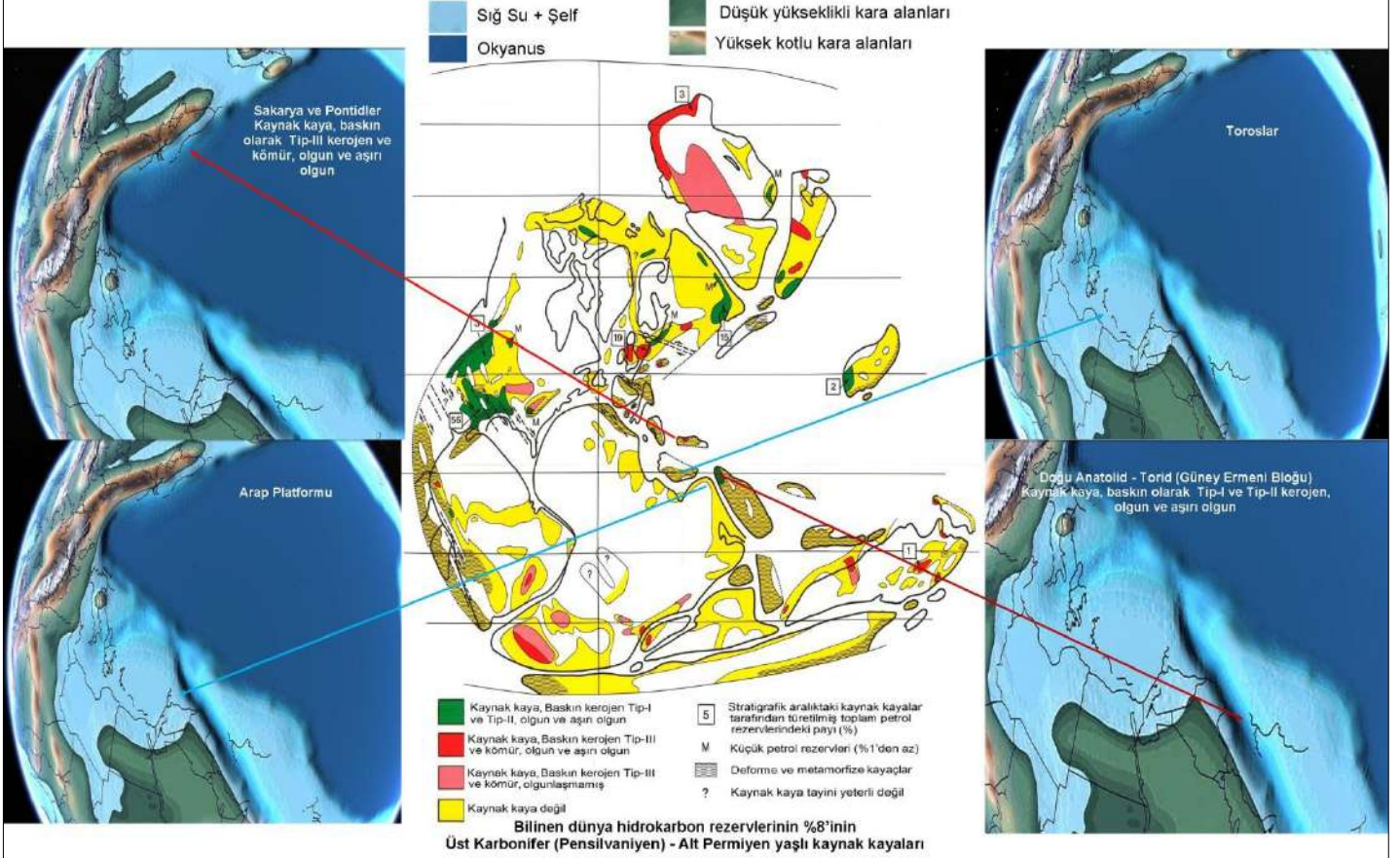
Tetis bölgesi, Permian'den Orta Jura'ya kadar Gondwana süperkıtasının kıta kenarı evriminin kaydını korumaktadır. Üst Karbonifer - Orta Triyas döneminde, Avrasya Gondwana'dan Paleotetis okyanusu oluşumu ile ayrılmıştır (Zürcher ve diğ., 2015). Alt Permian'de, Neotetis açılması ve pasif kıta kenarının çökmeye başlaması, kıtasal riftleşmeye sebep olmuştur (Şekil 4).

Permian yaşlı kaynak kayalar, geçiş ortamı denizel şeylleri ve karbonatlarla aratabakalı şeyllere oluşmuştur. Üst Permian'de, büyük oranda evaporit-karbonat bağlayıcılığına bağlı olarak tüm kıta kenarı boyunca sığ deniz karbonatlarına evrimleşmiştir. Bazı bölgelerde, karbonatlar geçiş ortamı denizel şeylleri ve flüviyal-deltaik silisiklastiklerle aratabakalıdır (Ulmishek ve Klemme, 1990; Klemme ve Ulmishek, 1991; Kendal ve diğ., 2014).

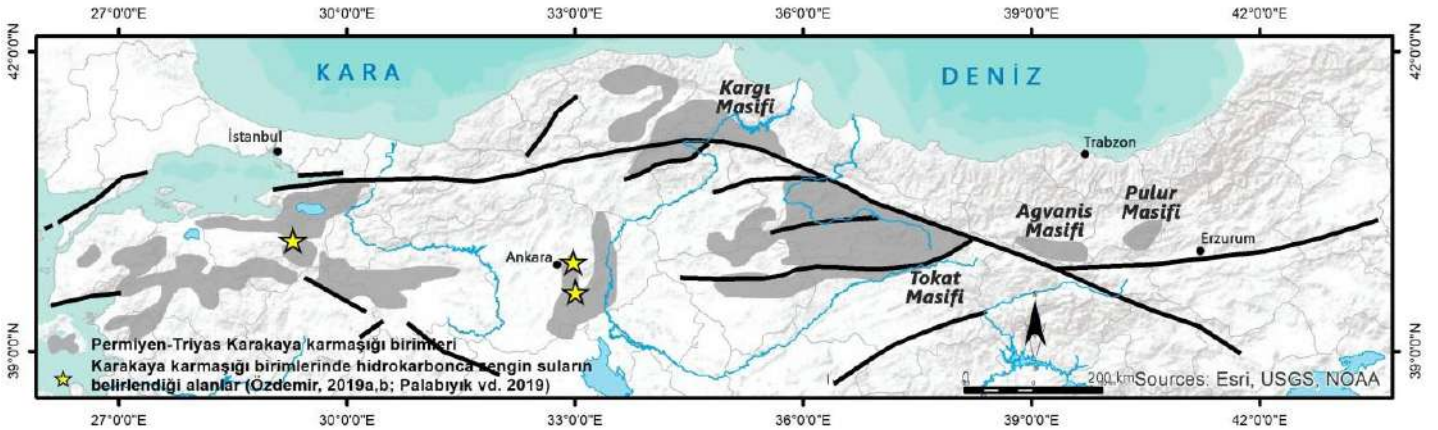
Triyas birimleri, az miktarda geçiş ortamı denizel şeylleri, baskın olarak dolomitik ve evaporitlerle aralanmalı sığ denizel karbonatlar ve flüviyal-deltaik sığ denizel silisiklastiklerden ve yerel olarak volkaniklerden oluşmaktadır. Triyas yaşlı kaynak kayalar, ağırlıklı olarak geçiş ortamı denizel karbonatları/dolomitleri ve evaporitlerdir (Ulmishek ve Klemme, 1990; Klemme ve Ulmishek, 1991; Kendal ve diğ., 2014). Triyas, Neotetis'in açılmasını, pasif kıta kenarı çöküşünü ve Kuzey Arabistan'da yay gerisi riftleşmesi ve sonunda da Akdeniz'deki riftleşmenin başlangıcı olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçler, Kimmeriyen orojenezi ve Paleotetis okyanusunun güneyinde Neotetis okyanusunun açılmasına sebep olmuştur. Permian-Triyas sınırı, levha ölçeğinde bir uyumsuzluk oluşturur. Kimmeriyen ada zinciri, kuzeye doğru ilerleyerek kuzeye giden diğer kıta bloklarına katılarak Paleotetis okyanusunu kapatmış, sadece Neotetis okyanusu kalmıştır. Türkiye'nin günümüz kara alanlarını oluşturan mikrokıtalara, Alt Permian - Üst Jura zaman aralığında bir riftleşmeye maruz kalmıştır. Alt Triyas'ta da, bir rift havzası oluşumu mevcuttur (Şekil 4 - 7). Kuzeyde Karakaya okyanusu, güneyde ise İç Torit okyanusu vardır. Her iki okyanusun kenarında yer alan Kırşehir Bloğu (Orta Anadolu Kristalen Kompleksi) ve Menderes - Toros Bloğu'nun (Ta: Toros, Bitlis - Pötürge dahil) kıta kenarları riftlidir (Şekil 5). Türkiye'nin kuzeyinde geniş dağılıma sahip olan Karakaya Karmaşığı'nın tektonik gelişimini açıklayan rift modelinde (Okay ve Göncüoğlu, 2004), Karakaya Karmaşığı kayalarının Üst Permian yaşlı bir riftte oluştuğu ve bu riftin daha sonra okyanusal bir kenar denizine dönüştüğü ve Üst Triyas'ta kapandığı belirtilmiştir. Özdemir (2019a,b) ve Palabıyık ve diğ. (2019), Karakaya Karmaşığı'nın geniş yayılım

sergilediği Hasanoğlan (Ankara), Mamak (Ankara) ve Uludağ (Bursa) bölgelerinin petrol ve doğalgaz potansiyelini incelemiştir. Bu bölgelerdeki yüzey ve yeraltı suyu numunelerinin tamamında olgun petrol hidrokarbonları belirlenmiştir. Bu hidrokarbonlar, Permian-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı birimlerindeki petrol sistemleri için kanıttır. Bu veri, Türkiye'nin kuzeyinde geniş bir yayılıma sahip ve metamorfizma öncesi sedimanter kaya (şeyl, çamurtaşı, karbonat vb.) olan Karakaya Karmaşığı'nın, siyah, gri ve kahverengi renkli metamorfik kayaların (şistler, filitler, sleytler, kristalize

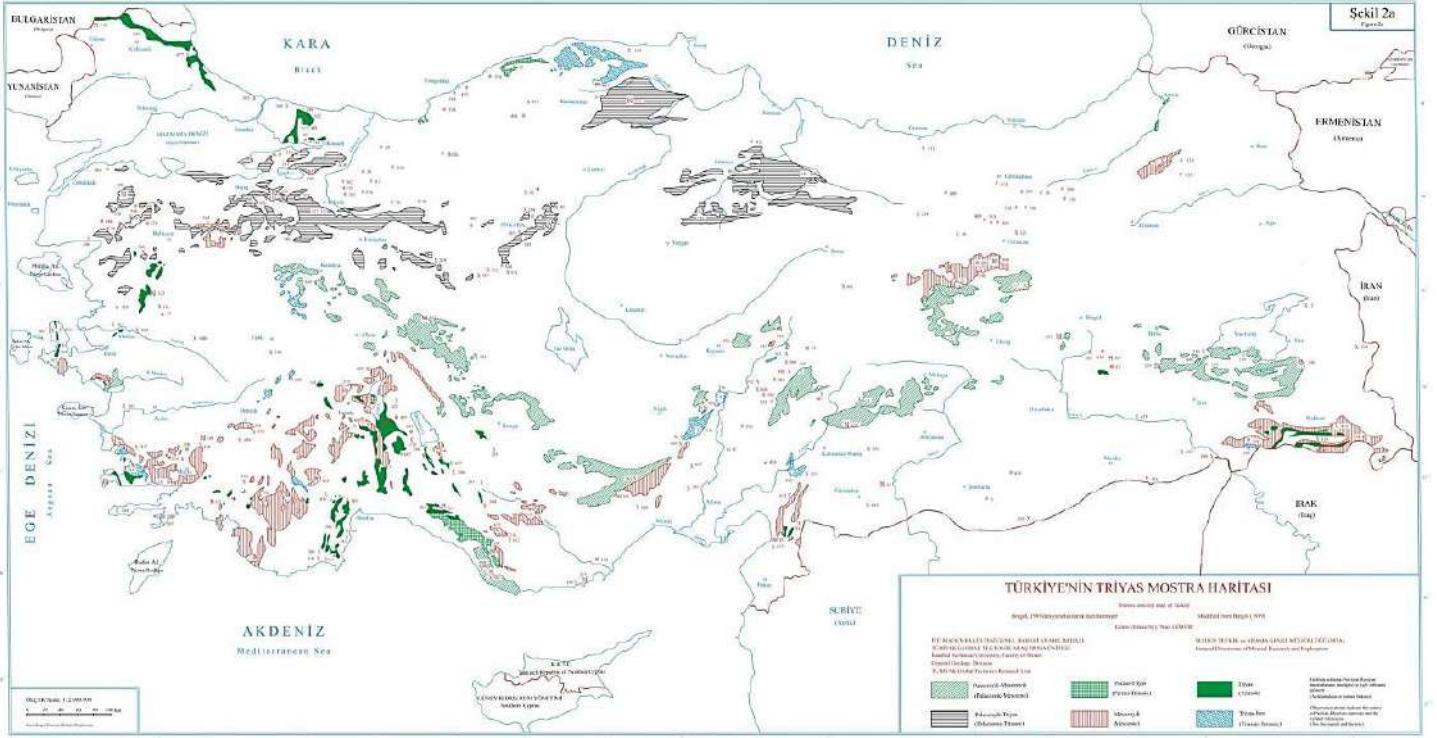
kireçtaşları ve mermerler) petrolünü üretmiş/tükenmiş kaynak kayalar (Özdemir ve Palabıyık, 2020a) olduğunu belirtmektedir (Şekil 15). Yazarlar, Görür ve diğ. (2018) Triyas mostra haritası (Şekil 16), Palabıyık ve Özdemir (2019a) Türkiye petrol ve doğalgaz sızıntısı haritası (Şekil 17) ve Triyas birimlerde olgun petrol hidrokarbonları belirlenmiş olan öncel çalışmalara göre, Türkiye kara alanlarındaki en potansiyel petrolünü üretmiş/tükenmiş kaynak kayalardan birisinin Karakaya Karmaşığı ve Triyas eşleştiği birimler olduğu düşünülmektedir.



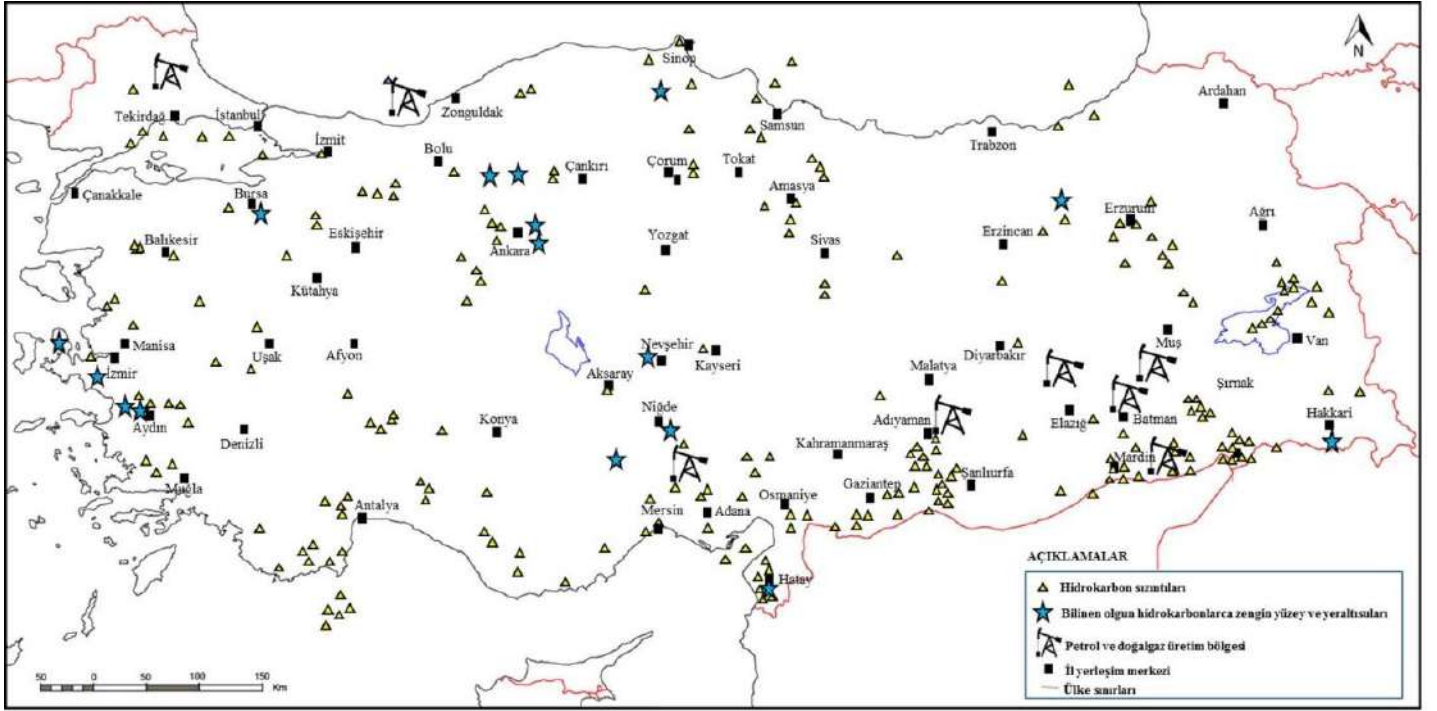
Şekil 14. Türkiye'nin Üst Karbonifer (Pensilvaniyen) - Alt Permian dönemi petrol ve doğalgaz kaynak kaya haritası (Kaynak kaya haritası : Ulmişek ve Klemme, 1990; Paleocoğrafya haritaları : Scotese, 2001'den). Mikrokitaların adlandırılmasında, Zürcher ve diğ. (2015) çalışması esas alınmıştır.



Şekil 15. Permian-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı'nın Türkiye'nin kuzeyindeki dağılımı (Sayit, 2010'dan değiştirilerek).



Şekil 16. Türkiye'nin Triyas yaşlı birimlerinin mostra haritası (Görür ve diğ., 1998).



Şekil 17. Türkiye'nin bilinen hidrokarbon sınırları (Palabıyık ve Özdemir, 2019a).

3.5. Jura - Kretase Kaynak Kayaları

Küresel petrol ve doğalgaz araştırmaları, dünyanın hidrokarbon kaynak kayalarının çoğunluğunun Kretase döneminde oluştuğunu göstermiştir. Dünya petrol ve doğalgaz sahalarının yaklaşık %60'ı Albien - Koniasiyen döneminin kaynak kayaları ile ilişkilidir (Irving ve diğ., 1974; Yang ve diğ., 2014). Ortadoğu'da iyi bilinen İran Sahili-Zagros Havzası, Maracaibo Havzası (Venezuela) ve Songliao Havzası (Çin) da dahil olmak üzere çok sayıda petrollü havza, Kretase kaynak kayaları ile ilişkilidir. Buna ek olarak, Batı Sibiryası Havzası (Rusya), Meksika Körfezi Havzası, Rocky Dağları önü havzaları

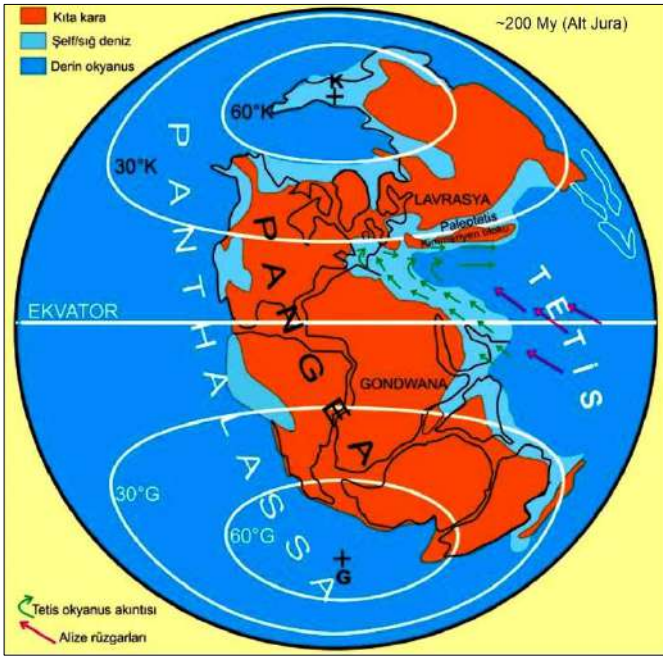
(Amerika) ve Kuzey Yamaç (North Slope/Kuzey Amerika) Havzası gibi havzalardaki hidrokarbon kaynakları da kısmen Kretase kaynak kayalarından türemiştir. Bu nedenle, önemli petrol ve doğalgaz kaynakları ile Kretase kaynak kayaları arasındaki ilişki, Kretase kaynak kayalarının oluşumunda rol oynayan süreçleri anlamak için önemlidir. Ayrıca, Kretase dönemi dünya evriminde önemli bir dönemdir. Bir dizi Okyanusal Anoksik Olaylar (OAO) ve Kretase Okyanusal Red-Bed tipi sedimantasyon (CORB) gelişimi de dahil olmak üzere başlıca jeolojik olaylarla ilişkilidir (Jenkyns, 2010; Wang ve diğ., 2011; Yang ve diğ., 2014). Bu durum, Kretase kaynak

kayalarının oluşumunda rol oynayan süreçlerin belirlenmesinin jeolojik açıdan büyük önem taşıdığına işaret etmektedir (Yang ve diğ., 2014).

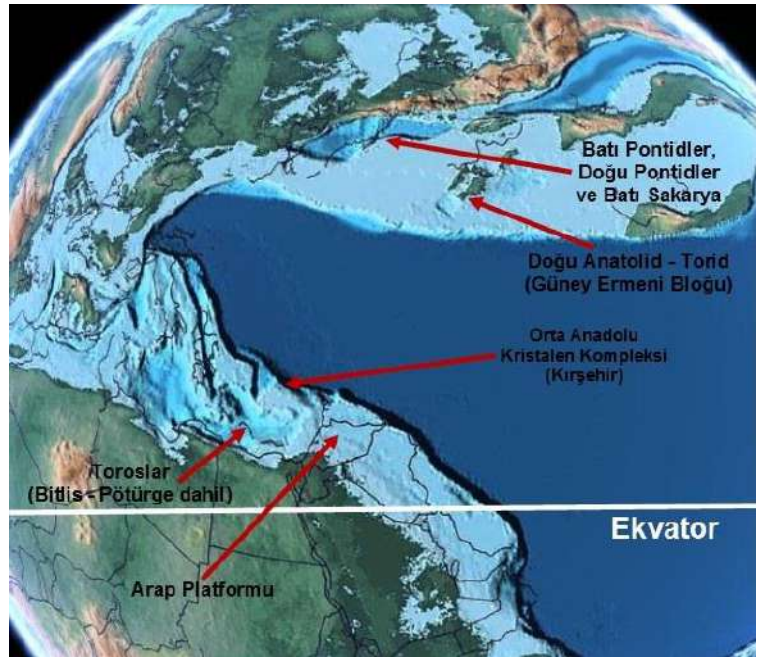
Ortadoğu petrolünün %70'inden fazlası, Jura-Kretase yaşlı sedimanlardan (Fanerozoik devrinin yaklaşık %30'una karşılık gelir) üretilmektedir. Bu klasik kaynak kayaların bazıları; Sargelu Formasyonu (Orta Jura, tip yerinde 150-200 m kalınlıkta), Garau Formasyonu (Alt Kretase, 800 metreden fazla kalınlıkta), Gadvan Formasyonu (Alt Kretase, 100 metre kalınlıkta) ve Kazhdomi Formasyonu (Orta Kretase, 200 metre kalınlıkta) hem GB İran'ın Zagros Havzası'ndaki hem de Irak ve Basra Körfezi bölgelerindeki eşdeğer yaşlı kireçli-şeyl formasyonlarını kapsamaktadır. Bu zengin kaynak kayaları açıklamak için, Jura ve Kretase dönemindeki Neotetis şelfinin genişliğini ve konumunu dikkate almak gereklidir. Neotetis, Jura-Kretase döneminde sıcak, organik maddece zengin ekvatora yakın konumdadır. Neotetis'e kıyıları bulunan karalar, geniş ve uzun şelflere sahiptir. Ayrıca, organik maddece zengin sedimantasyon süreçlerinden yararlanmaya da uygun bir pozisyonundadır. Üst Jura-Alt Kretase döneminde, Gondwana parçalanmış, ayrıca rift volkanizması ve deniz tabanı yayılması gelişmiş, okyanus sıcaklıkları yükselmiş ve okyanus suları volkanik taşkınlardan gelen (okyanus ortası sırtlar ve kıtasal kenarlar veya ada yayları boyunca) besin değeri yüksek maddelerce zenginleşmeye başlamıştır. Orta Kretase denizel çökellerdeki planktonik foraminiferlerin oksijen analizi, özellikle artan volkanik faaliyetlerden dolayı atmosferin karbondioksit miktarlarındaki hızlı artış nedeniyle 85-125 milyon yıl arasında şiddetli bir küresel ısınma dönemi olduğunu göstermektedir. Sıcak iklim, yükselmiş konumlu denizlerin ve okyanusların azot, fosfor ve karbon içeriklerindeki artışlar, o dönemde çökelen denizel sedimanların organik açıdan zenginleşmesinde başlıca etken olmuştur. Bu durum, plankton nüfusunda ölçülemeyecek boyutta bir artışa sebep olmuştur.

Sedimantasyon, büyük ölçüde iklimin sıcak ve organik etkinliğin en yüksek düzeyde olduğu 30 °K ve 30 °G enlemleri arasındadır (Şekil 18). Bu olaylardan, en çok Neotetis okyanusu kıyısındaki Ortadoğu ülkelerinin bulunduğu Gondwana pasif kıta kenarı (Türkiye'yi oluşturan kıta parçaları dahil) faydalanmıştır (Şekil 18). Ortadoğu'nun sedimenter fasiyes dağılımlarına dayanılarak Mesozoik yaşlı karbonatlar iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup, 30-100 metre arasında değişen kalınlıkta kırıntılılar havzaya getirildiğinde deniz çekilmeleri (regresyon) sırasında çökelmiş tekrarlanmalı tümsek karbonatlarıdır (kırıntılı killi tabakalarla karışık). İkinci grup, deniz ilerlemesi (transgresyon) koşulları altında çökelmiş olan platform karbonatları veya ayrımlaşmış şelf karbonatlarıdır. Ayrımlaşma, karbonat-evaporit platformlarından yüksek enerjili kıyıları ayrılmış oksijensizliğe mahkum havzalarla (sedimanı az ve organik maddesi çok) belirlenir. Petrolce zengin kaynak kayalar, ikinci grupta yer almaktadır (Sorkhabi, 2010).

Orta Jura döneminde, Paleotetis okyanusu kapanmış ve Gondwana kenarındaki mikrokıtaların ritleşmesi ile Güney Neotetis okyanusu oluşmuştur (Şekil 6) (Zürcher ve diğ., 2015). Jura kaynak kayaları, geçiş ortamı denizel şeylleri, çok derin deniz şeylleri ve tebeşirlerdir (Kendal ve diğ., 2014). Gondwanaland kıta kenarı ekvatora paralel olan Arap ve Kuzey Afrika levhalarının kurulmuş ve Neotetis oldukça daralmıştır (Şekil 6, 18 ve 19). Kretase kaynak kayaları, geçiş ortamı ve derin denizel şeylleri ve karbonatlar, sıcak denizel karbonatlı şeylleri ve tebeşir taşlarıdır. Gondwanaland'ın kuzey kenarının Kretase kaynak kayaları, geçiş ortamı denizel şeylleri, derin deniz şeylleri ve karbonatlar, sıcak denizel karbonatlı şeylleri ve tebeşir taşlarıdır. Derin su kaynak kayaları, kıta kenarının orta ve doğu kesimlerinde birkaç alanda yer almaktadır. Denizel geçiş ortamında oluşan kanıtlanmış ve olası kaynak kayalar, kıta içi (intrakratonik) havzalarının yanı sıra kıta kenarı boyunca da bulunmaktadır (Şekil 18 ve 19) (Kendal ve diğ., 2014).



(a)

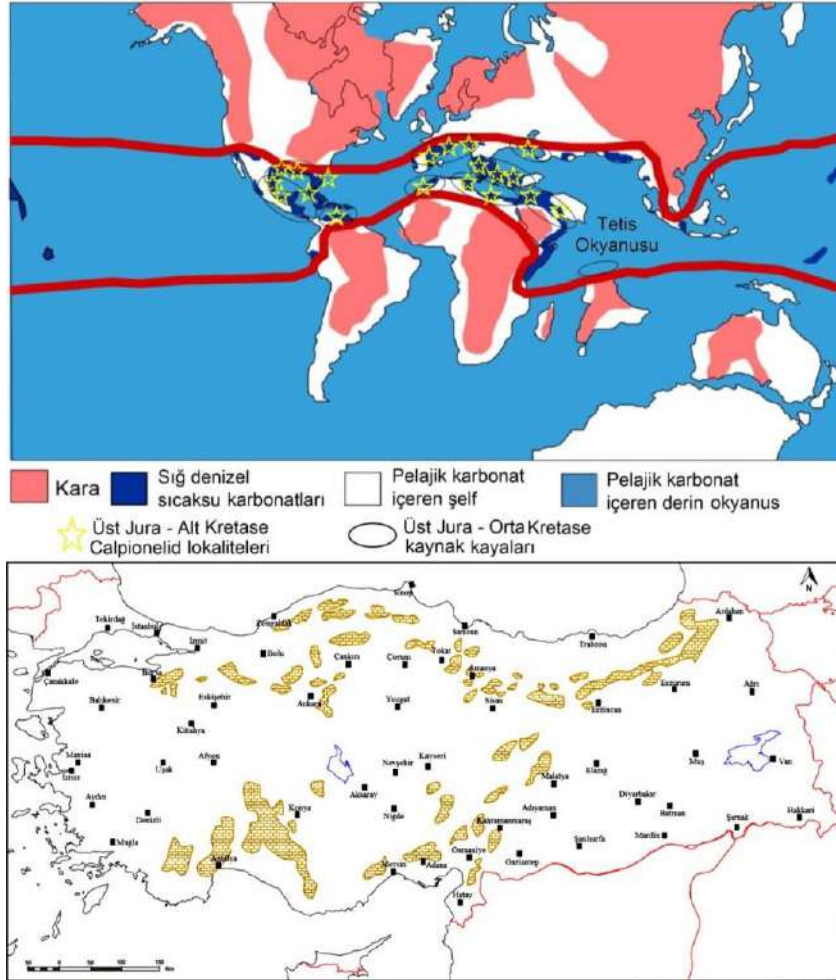


(b)

Şekil 18. Alt Jura dönemi (~ 200 My) Neotetis'in sıcak ekvator suları altında, Türkiye'yi oluşturan mikrokıta parçalarının konumları (a: Sorkhabi, 2010; b: Scotese, 2001'den). Mikrokıtaların adlandırılmasında, Zürcher ve diğ. (2015) çalışması esas alınmıştır.

Organik maddece zengin Üst Jura kaynak kayaları Güney Tetis kıta kenarında, Avrupa Tetis bölgesinde ve Meksika Körfezi kuzeyinde depolanmıştır (Şekil 21). Titonik fasiyesi kaynak kayalarının ana özelliği, organik maddece zengin ve olgun olmalarıdır. Bu kaynak kayalardan oluşan petrol sistemlerinin, dünya petrol rezervlerinin % 25'ini oluşturduğu düşünülmektedir. Üst Jura'da, küresel bir okyanusal anoksik olay tanımlanmamıştır. Ancak, küresel deniz seviyesi yükselmeleri ve Pangea'nın parçalanmasından sonra gelişen sınırlı okyanusal havzalarda denizel organik madde birikimini sağlamıştır. Titoniyen merkezli kaynak kayaları, deniz tabanı yayılması ve hızlı çökme olayları altında küresel kaynak oluşturan koşullarda depolanmıştır. Meksika Körfezi'nin kuzeyindeki derin sulardaki Titoniyen merkezli kaynak kayaların hidrokarbonları tarafından doldurulmuş kapanların tanınması, Louisiana şelfi ve yamacındaki Flex Trend keşifleri (Konyak, Lena, Zinc, Pompano ve Yeşil Kanyon 18 gibi) sayesinde olmuştur. Mini havzalar, kıvrım kuşakları ve Wilcox birikimlerinin ardından derin ve ultra-derin suya doğru ilerlendikçe, Titoniyen merkezli kaynak kayaların petroleri ile ilgili yeni kanıtlar ortaya çıkmaktadır. Oksfordiyen Smackover formasyonu, Titoniyen merkezli kaynakların temelini oluşturur ve Meksika Körfezi'nin kuzey kıyısında bulunan tuz havzalarındaki karbonat kaya rezervuarlarından üretilen

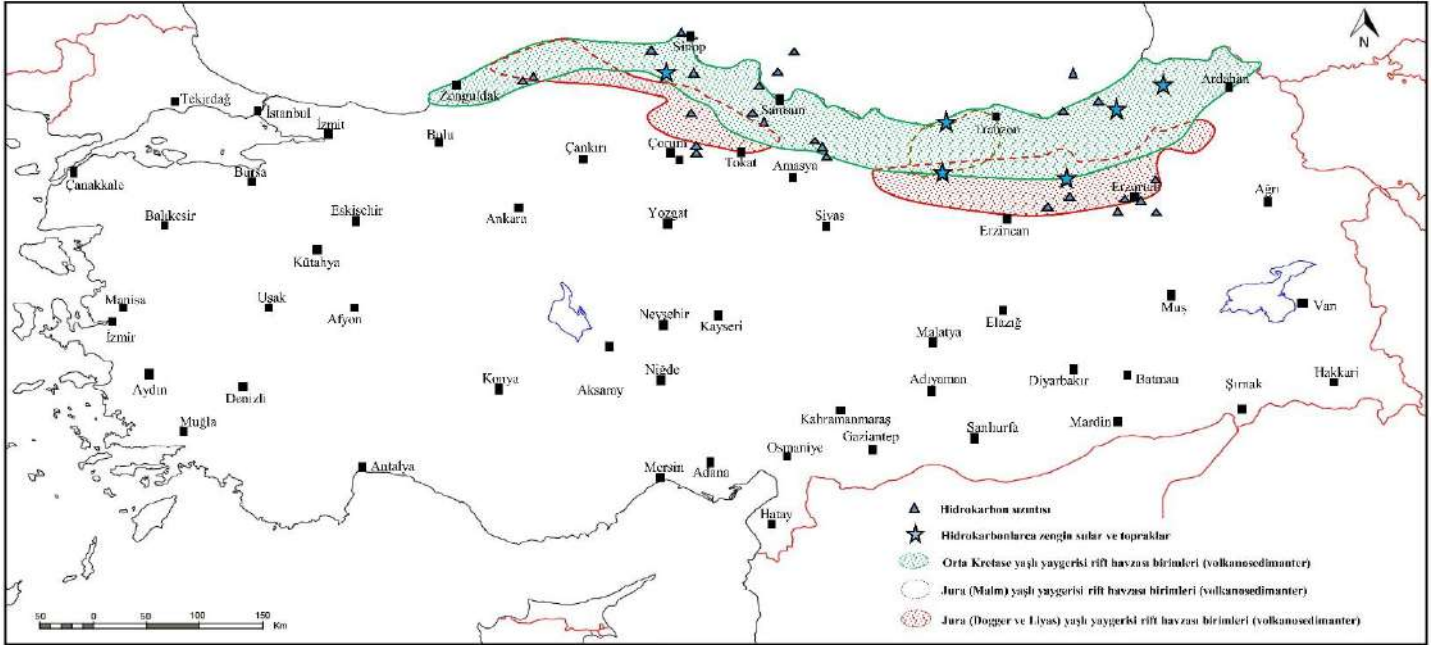
hidrokarbonlar için iyi bilinen bir kaynaktır. Ayrıca, Meksika Körfezi kuzey şelfi ve doğusundaki Norflet (NOR) derinsu rezervuarları için ana kaynak kayadır (Cunningham ve diğ., 2016). Meksika Körfezi yamacındaki yüksek kükürlü petroler ve bunlarla ilişkili doğalgazların, Titoniyen kaynak kayalardan türediği düşünülmektedir. Bu döneme ait organik maddece zengin ve aşırı olgunlaşmış şeyller, Meksika Körfezi'nin doğusunda bulunmaktadır. Üst Kretase - Tersiyer bölümlerinin olgunlaşmamış olduğu Florida şelfi üzerindeki Kretase rezervuarlarında, Titoniyen petroleri bulunmaktadır (Hood ve diğ., 2002). Titoniyen merkezli kaynak olarak adlandırılan bu kaynak kaya, ikinci dereceden transgresif ve göreceli olarak aşırı durgun sistemleri temsil eden süpersekanlar içinde yer alan Haynesville ve Bossier şeyllerini içerir. Titoniyen merkezli petrol ailesi rezervuarları ve sızıntılarından elde edilen litofayese duyarlı jeokimyasal parametreler, Titoniyen kireçli ortama silisiklastik tortul girişi olduğunu göstermektedir. Derinsu içerisindeki karbonatlarla karışan bu silisiklastikler, kerojenin kükürt içeriği düşürerek petrol kalitesinin artmasına katkıda bulunabilir. Meksika'nın Sonda de Campeche offshore bölgesinde, Titoniyen sedimanter istifi, Paleosen kapanlarında bulunan hidrokarbonların en önemli kaynağıdır (Santamaria-Orozco ve Horsfield, 2003).



Şekil 21. Tetis Bölgesi'nde Üst Jura - Alt Kretase dönemi Calpionellid fosillerinin, Kretase karbonat platformlarının (kırmızı hatlar arası karbonat platformlarını göstermektedir) ve Üst Jura - Alt Kretase Titonik fasiyesi kayaçlarının dağılımı. Türkiye'de Titonik fasiyesi pelajik kireçtaşlarının dağılımı (paleocoğrafya haritası ve karbonat platformları dağılımı: Skelton, 2003; Yang ve diğ., 2014, kaynak kaya verisi: Klemme ve Ulmishek, 1991; Capionel verisi: Tunç, 1991; Burşuk, 1992; Akyazı, 2001; López-Martínez ve diğ., 2017).

Tetis bölgesinde yer alan Türkiye’de, özellikle de Kuzey Anadolu’da Üst Jura-Alt Kretase birimleri geniş yüzlekler sunmaktadır. Pontid kuşağında, oldukça yaygın olarak gözlenmektedir. Kuzey Anadolu’nun özellikle orta ve kuzey kesimindeki bu sığ denizel Üst Jura - Alt Kretase yüzlekleri, Titonik fasiyeste gelişmiş, bol Calpionel içeren killi denizel kireçtaşlarından oluşmuştur. Doğu Pontidler’de; Koyulhisar, Suşehri, Akıncılar (Sivas), Alucra, Çamoluk (Giresun) ve Kelkit (Gümüşhane) yörelerinde yüzeyleyen Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları Titonik fasiyes ürünleridir ve bol Calpionel içerirler. Kuzey Anadolu’da oldukça geniş yayılım sunan bu birimler, litostratigrafik kronostratigrafik ve biyostratigrafik açıdan büyük ölçüde benzer özellikler göstermektedir. Jura-Kretase geçişi, sedimantasyonun devamlı oluşu nedeniyle litolojik olarak ayırt edilememektedir. Bu birimler, genellikle ince tabakalı olmakla birlikte değişen kalınlıkta tabakalanma gösteren, mikritik dokulu, killi pelajik kireçtaşlarıdır. Bu litolojiyi gösteren alanlarda Jura-Kretase sınırının saptanması ve Titoniyen-Valangiyen yaş aralığı içerisinde bulunan katların ayrımı, Calpionellidler sayesinde net bir biçimde yapılabilmektedir. Titonik fasiyesi, sığ su karbonatları ile pelajik fasiyesler arasındaki ayırıcı bir işaret olması açısından da önemlidir (Tunç, 1991, Burşuk, 1992; Akyazı, 2001; Akyazı ve Tunç, 2007). Bu nedenlerle, Jura-Kretase döneminde mikroplanktonların toplu olarak yok olması sonucunda yoğun Calpionellid fosili içeren Titoniyen merkezli pelajik kireçtaşları, Türkiye’nin keşfedilmemiş petrol ve doğalgaz kaynak kayası olma açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Pontidler, Jura-Kretase zaman aralığında riftleşmeye maruz kalmış ve bir yaygerisi rift havzası gelişmiştir (Şekil 6, 18, 19). Bu yaygerisi rift havzaları, petrol oluşumu için uygun alanlardır (Şekil 22 ve 23) (Sorkhabi, 2010; Özdemir, 2019a,b; Özdemir ve Palabıyık, 2020a). Pontidler, Türkiye’nin en büyük rezerve ile işletilen metalik maden yataklarının bulunduğu bölgedir. Özdemir ve Palabıyık (2019a-c) işletilebilir boyuttaki metalik madenlerin petrol ve doğalgaz birikimleri için sığ ve güvenilir bir belirteç olduğunu bildirmiştir. Özdemir (2020) ise, işletilebilir boyutta bir yataklanma oluşturabilmiş Pb-Zn yataklarının bulunduğu alanlarda, bu yatakların petrol ve doğalgaz aramak için sığ ve güvenilir bir belirteç olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. Nitekim, Özdemir ve Palabıyık (2020b), Doğu Pontidler’deki bazı su kaynaklarından ve topraklardan alınan numunelerde yapılan TPH analizi sonuçlarına göre, alınan su ve toprak numunelerinin tamamında petrol hidrokarbonları tespit edilmiştir. Hidrokarbonları türeten kaynak kayaların, karasal katkı denizel ortamda çökelediği belirlenmiş ve tespit edilen hidrokarbonların Doğu Pontidler’deki hidrokarbon oluşumu ve türümü için önemli bir kanıt olduğu bildirilmiştir (Şekil 22). Palabıyık ve diğ. (2020) de, Orta Pontidlerin petrol ve doğalgaz potansiyelinin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında, çok sayıda su ve toprak numunesinde hidrokarbonlar belirlemişlerdir (Şekil 24). Dolayısıyla, başta Pb-Zn yatakları olmak üzere çok sayıda metalik maden yatağı bulunan Pontidler, hem petrol ve doğalgaz kaynak kayası hem de hidrokarbon rezervuarlarının varlığı açısından değerli bir bölgedir.

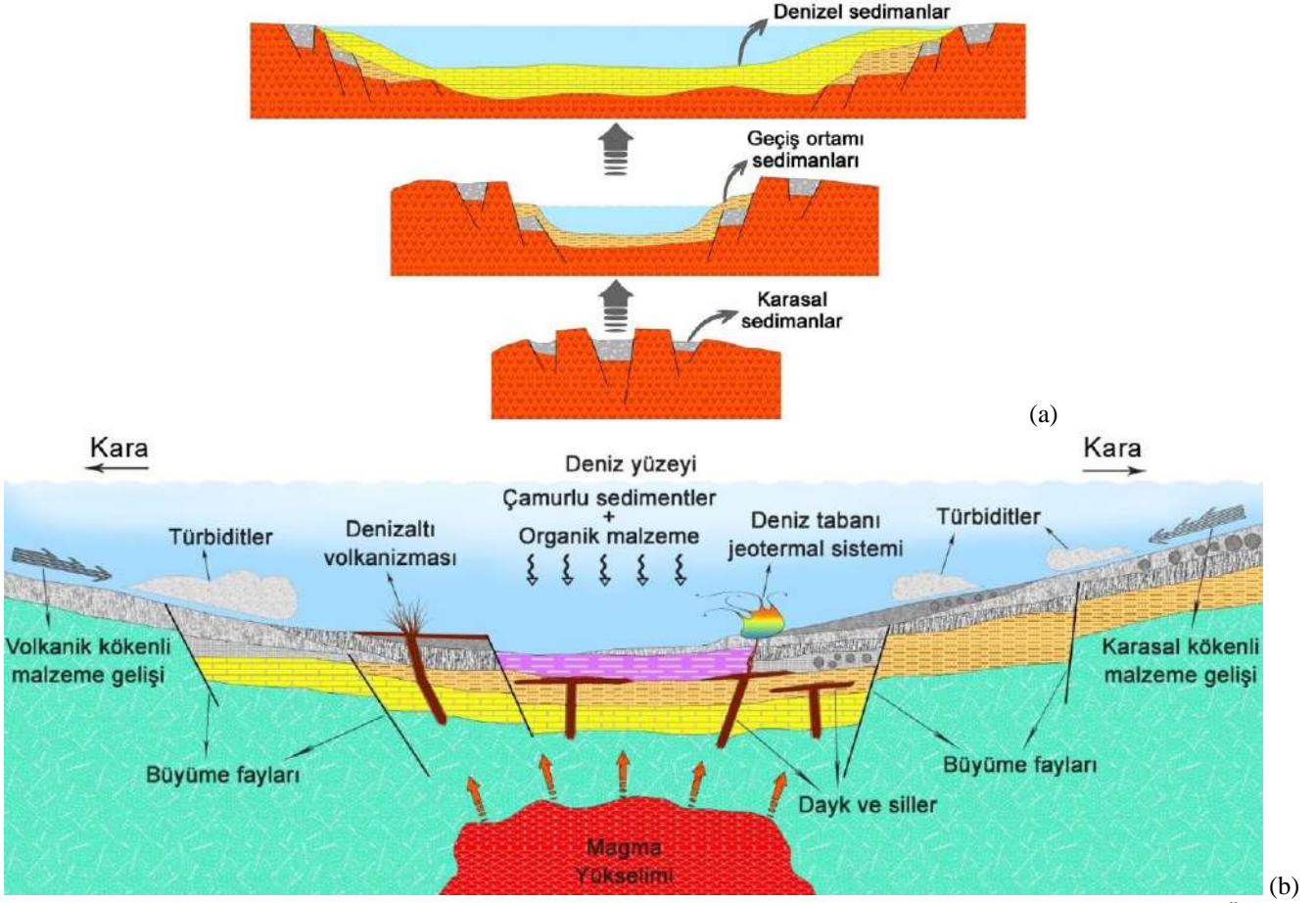


Şekil 22. Pontidlerdeki Jura-Kretase yaşlı yaygerisi rift havzası birimleri ve hidrokarbon emareleri (Özdemir ve Palabıyık, 2020b).

3.6. Senozoyik Kaynak Kayaları

Paleojende, Neotetis önemli ölçüde daralmıştır (Şekil 6). Paleosen’deki sıkışma, Neotetis okyanusu kıyısındaki ofiyolit üzerlemesinin ve hızlı çökmenin durması ile mega-tektonik bir dizi ve dağ oluşumu ile 5000 metreden fazla sedimanın doldurduğu bir önçukur (foredeep) gelişmiştir. Mega-tektonik dizi, Neotetis’in nihai kapanma ürünleri olan kıvrılma ve bindirme olayları ile karakterize edilmektedir. Kaynak kayalar, geçiş ortamı denizel şeylleri, derin deniz şeylleri ve karbonatları,

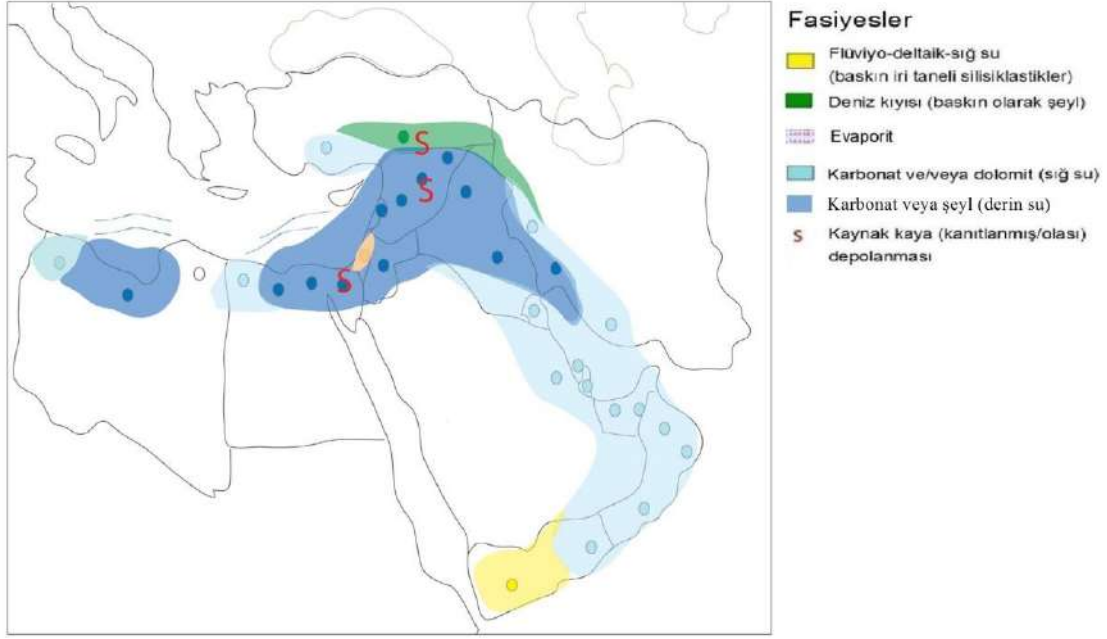
sığ denizel karbonatlı şeylleri ve tebeşirtaşlarıdır (Şekil 25). Miyosen - Holosen döneminde, Neotetis neredeyse tamamen kapanmıştır (Şekil 7). Neotetis’in kapanması, volkanizma, kıvrılma ve bindirme olaylarıyla karakterizedir. Doğu Akdeniz’de, evaporit ve karbonat birimler baskındır (Şekil 25). Miyosen evaporit birikimini, Tersiyer orojenik olayların etkisi ile Pliyosen silisiklastik sedimantasyon izlemiştir. Güney Neotetis Bölgesi kara alanlarında, Neojen yaşlı potansiyel kaynak kayalar bulunmasına karşın, yetersiz gömülme nedeniyle olgunlaşmamıştır (Kendal ve diğ., 2014).



Şekil 23. (a) Bir rift havzasında sediman birikimi, (b) Petrol ve doğalgaz kaynak kayası oluşumunun kavramsal modeli (Özdemir ve Palabıyık, 2020a)



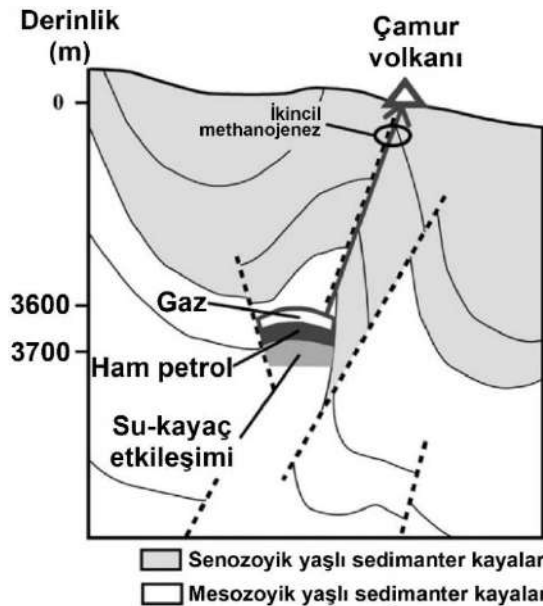
Şekil 24. Orta Pontidler'deki hidrokarbonlarca zengin su ve toprak numunelerinin (sarı renkli numaralı daireler, aynı numaralardan hem su hem de toprak numuneleri alınmıştır) yerbulduru haritası (Palabıyık ve diğ., 2020).



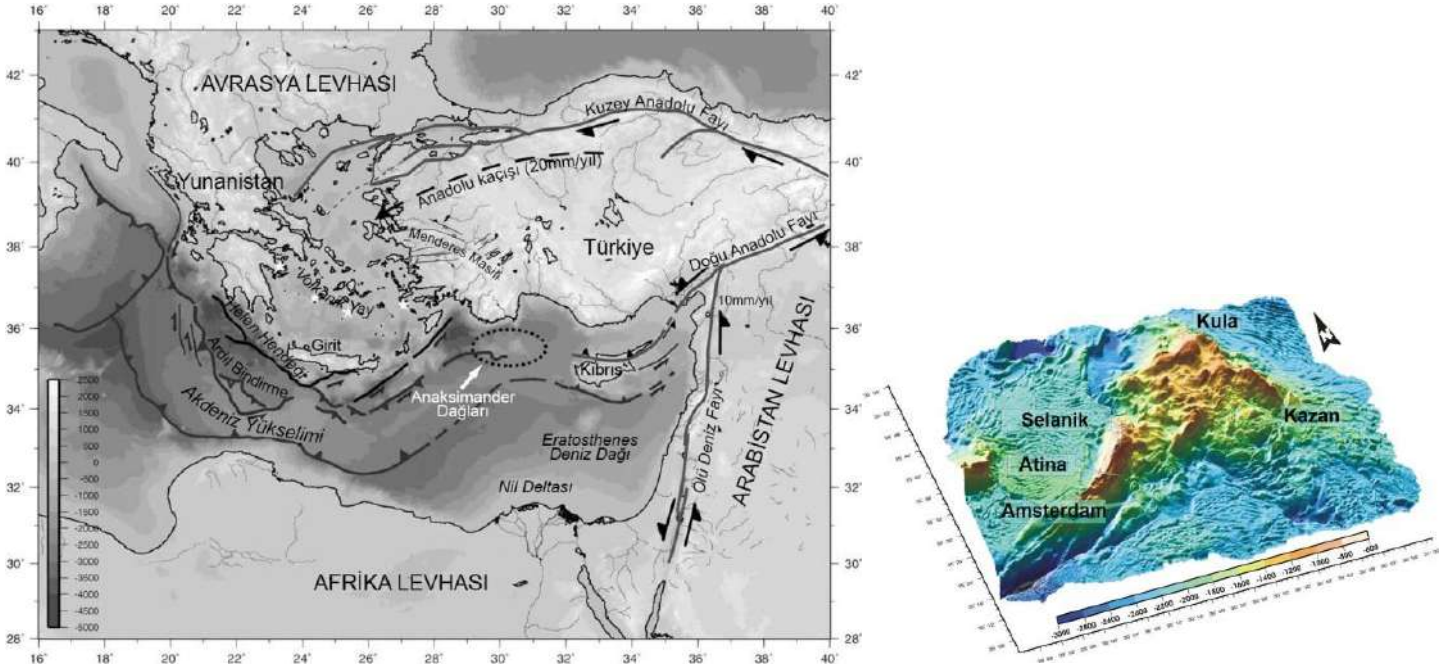
Şekil 25. Türkiye'nin güneyindeki Paleosen kaynak kayaları (Kendal ve diğ., 2014).

Çamur volkanları ile petrol ve doğalgaz sahaları arasında sıkı bir ilişki vardır (Şekil 26). Çamur volkanları, petrol ve doğalgaz sahalarında görülen yaygın oluşumlardan birisidir. Gaz ve su çıkışları ile sıkı ilişkili olan bu volkanlar, genellikle antiklinal doruklarına veya kıvrımlanma sonucu oluşan kırıklara yakın yerlerde oluşurlar. Petrollü seviyeler içeren ve yüzeye yakın antiklinaller üzerinde daha çok sayıda çamur volkanı görülmektedir. Petrollü seviyelerin çok derinde olduğu alanlarda ise, çok az sayıda çamur volkanı görülür. Çamur volkanları, özellikle Tersiyer (çoğunluğu Neojen bir kısmı Kuvaterner) yaşlı petrol ve doğalgaz sahalarının belirgin özelliğidir. Azerbaycan'da 220'ye yakın çamur volkanının varlığı bilinmektedir. Çamur volkanları, Bakü'nün batı ve güneybatısındadır. Bu bölge, aynı zamanda petrol ve doğalgaz sahalarının da en yoğun bulunduğu bölgedir (İnan, 1982). Çamur volkanları, hem pasif hem de aktif kıta kenarlarında deniz tabanındaki aktif metan/hidrokarbon boşalımının en belirgin belirteçleridir (López-Rodríguez ve diğ., 2014; Özdemir ve diğ.,

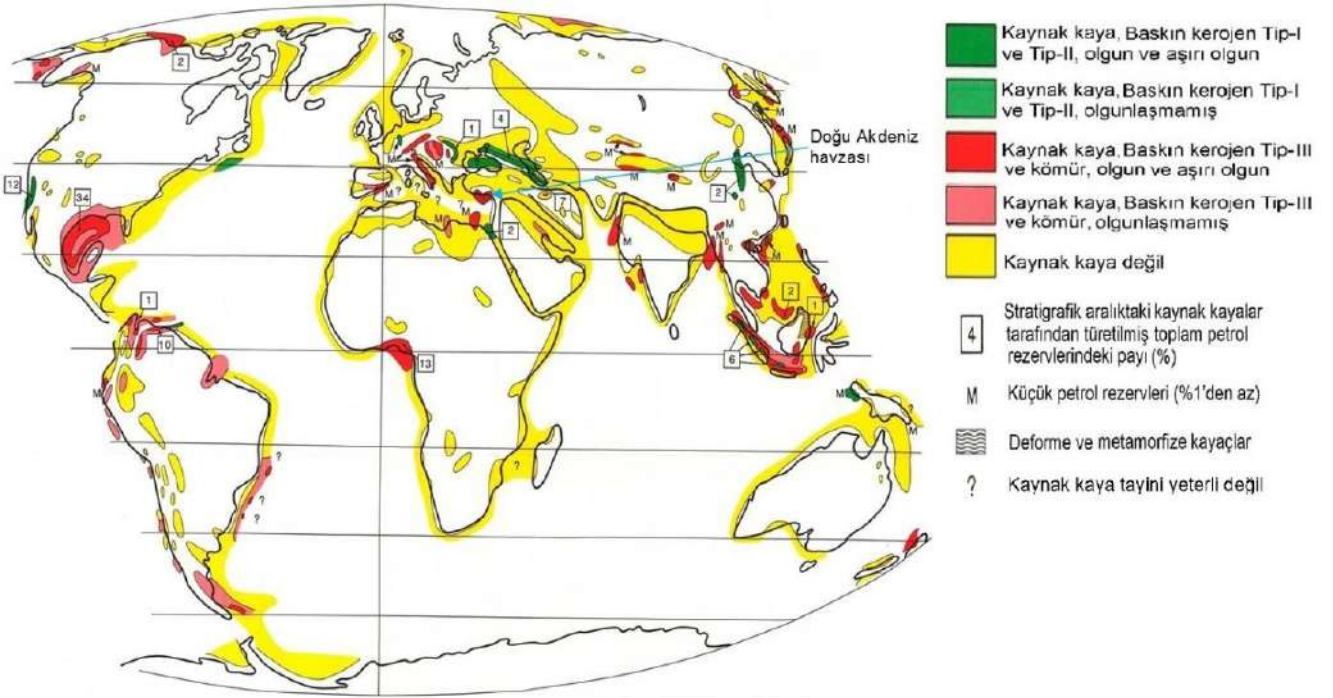
2020a). Çamur volkanları ve petrol sistemleri arasındaki yakın ilişki, birçok çalışmada kanıtlanmıştır (Guliev ve Feizullayev, 1996; Planke ve diğ., 2003; Guliev ve diğ., 2003; Stadnitskaia ve diğ., 2007; Mazzini ve diğ., 2009; Nakada ve diğ., 2011; Tassi ve diğ., 2012; Bonini ve diğ., 2013; López-Rodríguez ve diğ., 2014; Oppo ve diğ., 2014; Oppo ve Capuzzi, 2015; Mazzini and Etiope, 2017; Alizadeh ve diğ., 2017; Babadi ve diğ., 2020; Özdemir ve diğ., 2020a). Dolayısıyla, Amsterdam, Atina, Kazan, Kula ve Selanik çamur volkanları, Doğu Akdeniz Havzası'ndaki büyük hidrokarbon kaynaklarının varlığı için kanıttır. Doğu Akdeniz'deki çamur volkanları (literatürde Anaximander Dağları olarak da tanımlanmaktadır), Lykousis ve diğ. (2009) ve Deyhle ve diğ. (2003)'nin çalışmalarında incelenmiştir (Şekil 27 ve 28). Özdemir ve diğ. (2020a), Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Denizi havzalarının hidrokarbon potansiyelini detaylı olarak değerlendirmiş olup, deniz havzalarındaki en önemli petrol ve doğalgaz potansiyel alanlarının çamur volkanları etrafında bulunduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 26. Bir çamur volkanı kökeninin şematik gösterimi (Nakada ve diğ., 2011).



Şekil 27. Doğu Akdeniz Havzası'ndaki çamur volkanları (Lykousis ve diğ., 2009).



Şekil 28. Türkiye'nin Oligosen - Miyosen dönemi petrol kaynak kaya haritası (Ulmishek ve Klemme, 1990'den).

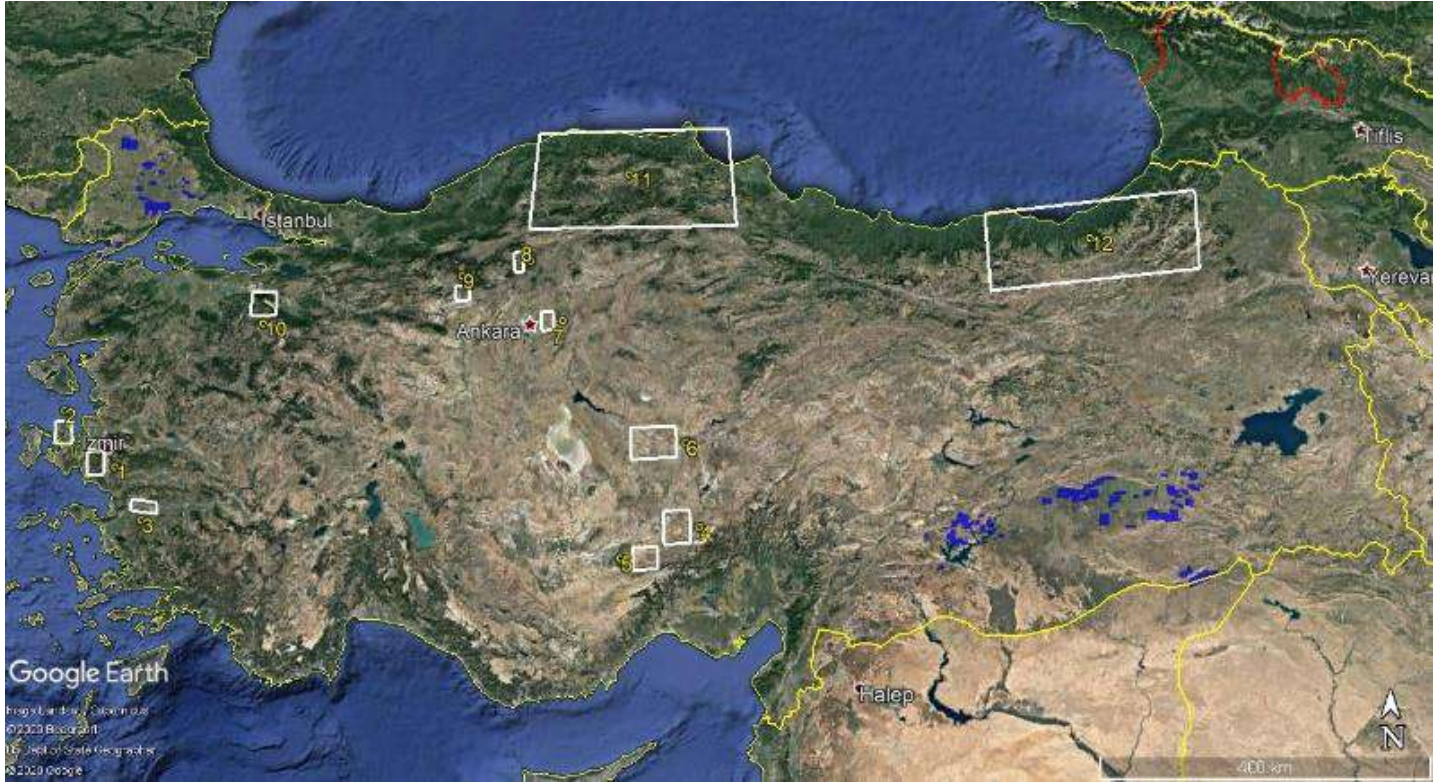
4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada sunulan paleocoğrafik ve paleotektonik veriler ve yorumlarımız, Türkiye'nin kara ve deniz alanlarının Paleozoyik - Miyosen aralığında oluşmuş zengin bir petrol kaynak kaya varlığına sahip olduğunu göstermektedir. Ordovisyen-Siluriyen, Devoniyen-Karbonifer, Permiyen-Triyas, Jura-Kretase, Paleosen ve Oligosen-Miyosen kaynak kaya oluşumu açısından önemli jeolojik dönemlerdir. Türkiye'nin bugünkü kara alanlarını oluşturan mikrokıtalar, Üst Siluriyen (mikrokıtaların tümü), Permiyen-Triyas (Sakarya, Pontidler, Toroslar ve Arap Platformu), Jura-Kretase (Pontidler) zaman aralığında riftleşmeye maruz kalmış ve bir rift havzası veya riftli

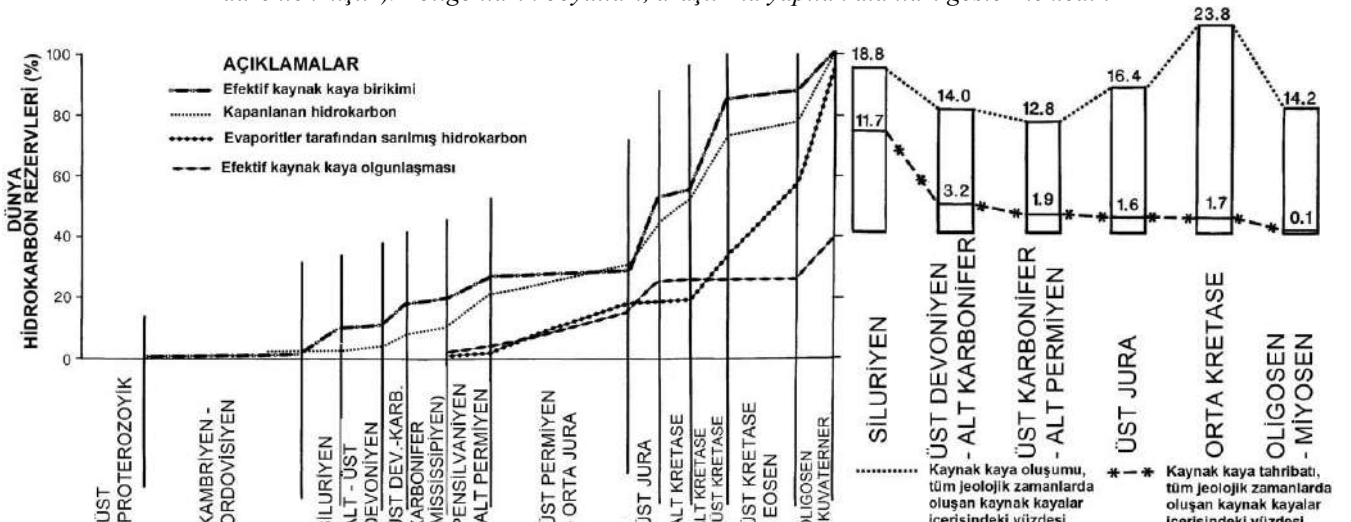
kıta kenarı (Orta Anadolu Kristalen Kompleksi - Kırşehir, Doğu Anatolid - Torid/Güney Ermeni Bloğu, Sakarya, Sanandaj - Sirjan ve Toros) oluşmuştur (Sakarya ve Pontidlerin kuzey bölümünde yaygerisi havzalar). Sorkhabi (2010); Özdemir (2019a,b), Özdemir ve Palabıyık (2020a), rift havzaları ve riftli kıta kenarlarını petrol kaynak kayası oluşum ortamları olarak belirtmişlerdir. Özdemir (2019a-c), Palabıyık ve diğ. (2019, 2020), Karataş ve diğ. (2019), Palabıyık ve Özdemir (2020), Özdemir ve Palabıyık (2020b), Özdemir ve diğ. (2020b-d)'nin çalışmalarında, rift havzaları ve riftli pasif kıta kenarları içeren Batı, Orta ve Kuzey Anadolu'da tespit edilen olgun petrol hidrokarbonları, bu kanyı desteklemektedir (Şekil 29). Bu çalışmanın sonuçları, ülke genelinde çok sayıda hidrokarbon sızıntısının bulunduğunu belirten Palabıyık ve Özdemir

(2019)'un ve ofiyolit varlığına göre Türkiye'nin önemli bir petrol ve doğalgaz potansiyeli bulunduğunu ileri süren Özdemir ve Palabıyık (2020a)'nın çalışmalarının sonuçları ile de uyumludur. Dolayısıyla, ülke genelindeki çok sayıda hidrokarbon sızıntısının kaynağı, farklı jeolojik dönemlerde oluşmuş kaynak kayalardır/rezervuarlardır. Çalışmanın sonuçları, Özdemir ve diğ. (2020a)'nın Türkiye'nin Akdeniz, Karadeniz ve Marmara denizlerinin petrol ve doğalgaz potansiyelini incelediği çalışmanın sonuçları ile de uyumlu içerisindedir.

Kümülatif diyagram (Şekil 30), kaynak kayaların birikme, olgunlaşma ve türeyen petrolerin kapanlanma aşamalarını özetlemektedir. Bu diyagrama göre, dünyanın efektif kaynak kayalarının dörtte birinden biraz fazlası Alt Permiyen - Üst Jura zaman aralığında çökelmiştir (Şekil 5, 6 ve 30). Dolayısıyla, Permiyen - Jura birimleri yaygın olan Türkiye, bu açıdan da şanslıdır.



Şekil 29. Türkiye'de son yıllarda yapılan çalışmalarda, olgun ve aşırı olgun petrol hidrokarbonları varlığı belirlenmiş olan bölgeler. Haritadaki Bölgeler; 1. Seferihisar Yükselimi (İzmir), 2. Karaburun Yarımadası (İzmir), 3. Büyük Menderes Grabeni (Aydın), 4. Ulukışla Havzası (Niğde), 5. Niğde Masifi, 6. Kızılırmak Grabeni (Nevşehir), 7. Hasanoğlan ve Mamak Bölgeleri (Ankara), 8. Kızılcahamam (Ankara), 9. Beypazarı Neojen Havzası (Ankara), 10. Uludağ Masifi (Bursa), 11. Orta Karadeniz, 12. Doğu Karadeniz, mavi poligonlar: ülkemiz kara alanlarındaki petrol ve doğalgaz üretim sahaları (Özdemir, 2019a-c, Palabıyık ve diğ., 2019, 2020; Karataş ve diğ., 2019, Palabıyık ve Özdemir, 2020; Özdemir ve Palabıyık, 2020b ve Özdemir ve diğ., 2020b-d'den düzenlenmiştir). Poligonların boyutları, araştırma yapılan alanları göstermektedir.



Şekil 30. Efektif petrol ve doğalgaz kaynak kayalarının jeolojik devirlere göre birikme, olgunlaşma ve türetilmiş petrol ve doğalgazın kapanlanma aşamaları (Klemme ve Ulmishek, 1990; Ulmishek ve Klemme, 1991).

Ulmishek ve Klemme (1990), Klemme ve Ulmishek (1991), Palabıyık ve Özdemir (2019), Palabıyık ve Özdemir (2020)'in çalışmaları da, Alpin tektoniğinin gerek kaynak kayaların olgunlaşma gerekse kapanlanma sürecine olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Şekil 2 ve 29, 30). Dolayısıyla, Alpin orojenezi ile Türkiye kara alanlarında çeşitli jeolojik dönemlerde oluşmuş olan kaynak kayaların aşındığı veya rezervuarların tahrip edildiği yorumu da bu şekilde çürütülmektedir. Ayrıca, Özdemir ve Palabıyık (2019a-c), Özdemir (2020) ve Özdemir ve diğ. (2020b) çalışmalarında, işletilebilir boyuttaki metalik maden yatakları ile hidrokarbonlar arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışmalarda, petrol ve doğalgaz rezervuarları ile metalik maden yatakları arasında yakın bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Hem kaynak kayaların hem de petrol kaynaklarının (ham petrol vb.) yüksek miktarda metal içeriğine sahip olduğu da bildirilmiştir. Çalışmaların sonuçları göre, bölgesel ölçekte hem metalik maden yatakları hem de hidrokarbon rezervuarları ve/veya emareleri genel olarak havzanın aynı tektonik birimleri tarafından sınırlandırılmakta ve benzer yapılar (özellikle bölgesel antiklinal, dom veya paleo-yükselimler) tarafından kontrol edilmektedir. Diyajenez sırasında, sediman gözeneklerinden ayrılan hidrokarbonlar ve metalik maden cevherlerinin aynı hidrotermal akışkan tarafından birlikte taşınması ve biriktirilmesi sonucunda oluştuğunu, dolayısıyla metalik maden cevherleri ve yan kayaçlardaki organik maddenin ortak bir kaynağa sahip olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifade ile, bir sedimanter havzadaki organik maddece ve metallerce zengin sedimanlar, hem metalik maden yatakları hem de petrol rezervuarları için ortak kaynak olarak kullanılmaktadır. Topoğrafik yükselme ve havzanın sıkışması sonucunda sıklaşan sedimanlardan türeyen metalleri ve hidrokarbon içeren akışkanlar, akiferler boyunca göç etmekte; ana ve alt havzadaki faylar boyunca havzanın kenarlarına ve paleo-yükselime yönelmektedir. Böylece, farklı çökme ve kapanlanma mekanizmaları ile karakterize edilen havzanın farklı alt bölümlerindeki metalik maden yatakları ve hidrokarbon rezervuarlarını oluşturmaktadırlar. Metalik maden yatakları; faylar, kırık bölgeleri ve uyumsuzluk yüzeyleri ile cevherli akışkanların uygun jeokimyasal bariyerlerle karşılaştığı alanlarda çökeltmektedir. Hidrokarbonlar ise, stratigrafik, litolojik ve yapısal kapanlarda birikmektedir. Aynı çalışmalarda, işletilebilir boyutta bir yataklanma oluşturabilmiş metalik madenlerin bulunduğu alanlarda, bu metalik maden yataklarının petrol ve doğalgaz aramak için sığ ve güvenilir bir belirteç olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir. Türkiye genelinde, işletilebilir boyutta çok sayıda metalik maden yatağı bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu veri Türkiye'nin çeşitli jeolojik dönemlere ait kaynak kaya zenginliğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, bu çalışmanın sonuçları ile de uyumludur.

Organik maddece zengin kayaçların ve hidrokarbonların/petrollerin yaşları, Re-Os izotop sistemi ile doğrudan belirlenebilmektedir (Özdemir ve Palabıyık, 2020c). Organik maddece zengin kayaçların ve hidrokarbonların, Re-Os izotop jeokimyası ile jeolojik yaşlarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda, gerek Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) gerekse Turkish Petroleum International Company (TPIC) tarafından ülke genelinde 1500 m derinliğe kadar her yıl milyon metre düzeyinde karotlu sondajlar yapılmıştır. Bu sondajların karotları, Türkiye Yerbilimleri Veri ve Karot Bilgi Bankası'nda depolanmaktadır. Dolayısıyla, bu karotlardaki organik maddece zengin kayaç seviyelerinde gerek Re-Os izotop gerekse organik jeokimyasal analizler yapılarak,

organik maddece zengin kayaçlar buldukları havzadaki/bölgedeki tektonik geçmiş ve yapılar ile ilişkilendirilebilirler.

Türkiye kara alanlarının çoğunluğu genç alüvyonlar, genç volkanikler, ofiyolitler ve ofiyolitik melanjlarla kaplıdır. Bu nedenle, Türkiye kara alanlarının klasik jeokimyasal yöntemlerle (kaynak kaya hedefli) araştırılabilme olanağı son derece sınırlıdır. Sonuç olarak, Türkiye'de yapılacak gelecek hidrokarbon aramalarında işletilebilir boyutta metalik maden yataklarının veya hidrokarbon sızıntılarının/emarelerinin bulunduğu alanlarda Özdemir (2019a-c), Özdemir ve diğ. (2020b-d), Palabıyık ve Özdemir (2020), Özdemir ve Palabıyık (2020b) çalışmalarında uygulanan suda TPH analizi yönteminin kullanılması daha uygun olacaktır. Sonraki süreç ise, bu alanlarda petrol ve doğalgaz sahalarının keşfedilebilmesi için daha detaylı jeolojik ve jeofizik çalışmaların (özellikle sondaj) yapılmasıdır.

Kaynakça

- Akyazı, M., 2001. Calpionellid'ler. Mavi Gezegen Dergisi, 5, 70-73
- Akyazı, M. ve Tunç, M., 2007. Doğu Pontidlerde yüzeyleyen Titonik fasiyesteki kireçtaşlarının biyostratigrafik karşılaştırması. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24(1-2), 19-46
- Alizadeh, A.A., Guliyev, I.S., Kadırov, F.A., and Eppelbaum, L.V., 2017. Mud Volcanism. in Geosciences of Azerbaijan Volume I: Geology. Springer, 215-233.
- Alkhafaji, M.W., 2017. Organic petrology of Ora formation in Akkas field, western Iraq. Tikrit Journal of Pure Science, 22 (9), 76-82
- Alsharhan, A.S. and Nairn, A.E.M., 2003. Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East. Elsevier, 843 p.
- Ay, F., 2015. Kozan-Düzağaç (Adana) civarındaki bitümlü şeyllerin organik fasiyes özellikleri ve hidrokarbon kaynak kaya potansiyelleri, S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., 3(3), 25-36
- Ayhan, A., 1988, Kozan-Elmadağı (Adana) arasının jeolojisi (Doğu Toroslar). İst. Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 6 (1-2), 37-56
- Babadi, M.F., Mehrabi, B., Tassi, F., Cabassi, J., Pecchioni, E., Shakeri, A., and Vaselli, O., 2020. Geochemistry of fluids discharged from mud volcanoes in SE Caspian Sea (Gorgan Plain, Iran). International Geology Review, <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1716400>
- Bonini, M., Tassi, F., Feyzullayev, A.A., Aliyev, C.S., Capecciacci, F., and Minissale, A., 2013. Deep gases discharged from mud volcanoes of Azerbaijan: New geochemical evidence. Marine and Petroleum Geology, 43 450-463
- Brikman, R., 1976. Geology of Turkey. Elsevier. 157 p.
- Burşuk, A., 1992. Bayburt ve Kop dağları (KB Erzurum) yöresindeki calpionellid biyozonları (Üst Jurasik-Alt Kretase). Türkiye Jeoloji Bülteni, 35,127-140
- Cunningham, R., Snedden, J.W., Norton, I.O., Olson, H.C., Whitaker, T.L. and Virdell, J.W., 2016. Upper Jurassic Tithonian-centered source mapping in the deepwater northern Gulf of Mexico. Interpretation, 4(1), SC97-SC123. <http://dx.doi.org/10.1190/INT-2015-0093.1>
- Dean, W.T. and Monod, O., 1990. Revised stratigraphy of lower Paleozoic rocks, Eastern Taurus mountains, south central Turkey, Geol. Mag., Great Britain, 127 (4), 333-347

- Demirtaşlı, E., 1967. Pınarbaşı-Sarız-Mağara ilçeleri arasındaki sahanın litostratigrafi birimleri ve petrol imkânları, MTA Rap. No: 3489 (Yayımlanmamış)
- Derman, A.S., 2014. Petroleum systems of Turkish basins. in Marlow, L., Kendall, C. and Yose, L. (eds.), Petroleum Systems of the Tethyan Region: AAPG Memoir 106, 469-504
- Deyhle, A. Kopf, A.J. and Aloisi, G., 2003. Boron and boron isotopes as tracers for diagenetic reactions and depth of mobilization, using muds and authigenic carbonates from eastern Mediterranean mud volcanoes. Van Rensbergen, P., Hilhs, R.R., Maltman, A.J. and Morley, C.K. (eds), Subsurface Sediment Mobilization. Geological Society, London, Special Publications, 216, 491-503
- Görür, N., Şengör, A.M.C., Okay, İ.A., Özgül, N., Tüysüz, O., Sakınç, M., Akkök, R., Yiğitbaş, E., Genç, T., Orçen, S., Ercan, T., Akyürek, B. ve Şaroğlu, F., 1998. Türkiye'nin Triyas-Miyosen Paleocoğrafya Atlası. İstanbul Teknik Üniversitesi - Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 55 s.
- Guliev, I.S. and Feizullayev, A.A., 1996. Geochemistry of hydrocarbon seepages in Azerbaijan. in D. Schumacher and M. A. Abrams, eds., Hydrocarbon Migration and Its Near-Surface Expression: AAPG Memoir 66, 63-70
- Guliev, I.S., Mamedov, P.Z., Feyzullayev, A.A., Huseynov, D.A. Kadirov, F.A., Aliyeva, E.H.-M., Tagiyev, M.F., 2003. Hydrocarbon Systems of The South Caspian Basin. Baku, Nafta-Press, 206 p.
- Golonka, J., 2004. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. Tectonophysics, 381, 235-273
- Gourvenec, R. and Hoşgör, I., 2012. New record of a Middle Devonian brachiopod fauna from the Northern Arabian Plate, Zap Anticline, Çukurca-Hakkari, Southeastern Turkey. Bulletin of Geosciences 87(2), 347-358
- Hood, K.C., Wenger, L.M., Gross, O.P. and Harrison, S.C., 2002. Hydrocarbon systems analysis of the northern Gulf of Mexico: Delineation of hydrocarbon migration pathways using seeps and seismic imaging, in Surface exploration case histories: Applications of geochemistry, magnetics, and remote sensing, D. Schumacher and L. A. LeSchack, eds., AAPG Studies in Geology No. 48 and SEG Geophysical References Series No. 11, 25-40.
- Irving, E., 1974. Oil, climate, and tectonics. Canadian Journal of Earth Sciences, 11(1), 1-17
- İnan, A., 1982. Azerbaycan'ın çamur volkanları. Yeryuvarı ve İnsan, 7(1), 4-5
- Jassim, S.Z. and Al-Gailani, M., 2006. Hydrocarbons. Geology of Iraq (Saad Z. Jassim and Jeremy C. Goff, eds.) 326 - 354
- Jenkyns, H.C., 2010. Geochemistry of oceanic anoxic events. Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 11(3), 1-30
- Karataş, A., Özdemir, A. ve Şahinoğlu, A., 2019. Karaburun Yarımadası ve Seferihisar Yükseliminin (Batı Anadolu) Petrol ve Doğal Gaz Potansiyelinin İyot Hidrojeokimyası ve Suda Petrol (TPH) Analizi ile İncelenmesi, Marmara Üniversitesi, Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No (9505): SOS-A-100719-0267 (Yayımlanmamış)
- Kendall, C.G.C., Alsharhan, A.S. and Marlow, L., 2014. Stratigraphy and depositional systems of the Southern Tethyan region, in L. Marlow, C. Kendall, and L. Yose, eds., Petroleum systems of the Tethyan region: AAPG Memoir 106, 29-57
- Klemme, H.D. and Ulmishek, G.F., 1990. Effective petroleum source rocks of the word: Stratigraphic distribution and controlling depositional factors. AAPG Bulletin, 75(12), 1809-1851
- López-Rodríguez, C., Stadnitskaia, A., De Lange, G.J., Martínez-Ruiz, F., Comas, M., and Sinninghe Damsté, J.S., 2014. Origin of lipid biomarkers in mud volcanoes from the Alboran Sea, western Mediterranean. Biogeosciences, 11, 3187-3204
- Luning, S., Craig, J., Loydell, D.K., Storch, P. and Fitches, B., 2000. Lower Silurian 'hot shales' in North Africa and Arabia: regional distribution and depositional model. Earth-Science Reviews, 49, 121-200
- Lykousis, V., Alexandri, S., Woodside, J., de Lange, G., Dahlmann, A., Perissoratis, C., Heeschen, K., Ioakim, Chr., Sakellariou, D., Nomikou, P., Rousakis, G., Casas, D., D. Ballas and Ercilla, G., 2009. Mud volcanoes and gas hydrates in the Anaximander mountains (Eastern Mediterranean Sea). Marine and Petroleum Geology, 26, 854-872
- Mazzini, M., Svensen, H., Planke, S., Guliyev, I., Akhmanov, G.G., Fallik, T. and Banks, D., 2009. When mud volcanoes sleep: Insight from seep geochemistry at the Dashgil mud volcano, Azerbaijan. Marine and Petroleum Geology, 26,1704-1715
- Mazzini, A. and Etiope, G., 2017. Mud volcanism: An updated review. Earth-Science Reviews, 168, 81-112
- Metin, S., 1984. Doğu Toroslar'da Develi-Saimbeyli arasındaki jeolojisi. İst. Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 16 (1), 82-100
- Meulenkamp, J.E. and Sissingh, W., 2003. Tertiary paleogeography and tectonostratigraphic evolution of the Northern and Southern Peri-Tethys platforms and the intermediate domains of the African-Eurasian convergent plate boundary zone. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 196, 209-228
- Moix, P., Beccalotto, L., Kozur, H.W., Hochard, C., Rossetlet, F., and Stampfli, G.M., 2008. A new classification of the Turkish terranes and sutures and its implication for the paleotectonic history of the region. Tectonophysics, 451, 7-39
- Monod, O, Kozlu, H., Ghienne, J.-F., Dean, W.T., Günay, Y., Le He'risse', A., Paris, F. and Robardet, M., 2003. Late Ordovician glaciation in southern Turkey. Terra Nova, 15(4), 249-257
- Nakada, R., Takahashi, Y., Tsunogai, U., Zheng, G., Hiroshi Shimizu, H., and Hattori, K.H., 2011. A geochemical study on mud volcanoes in the Junggar Basin, China. Applied Geochemistry, 26(7), 1065-1076
- Okay, A.I., 2008. Alpine-Himalayan blueschists. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 17, 55-87
- Okay, A. and Göncüoğlu, C. 2004. The Karakaya complex: A review of data and concepts. Turkish Journal of Earth Sciences, 13, 77-95
- Oppo, D., Capozzi, R., Nigarov, A. and Esenov, P., 2014. Mud volcanism and fluid geochemistry in the Cheleken Peninsula, Western Turkmenistan. Marine and Petroleum Geology, 57, 122-134
- Oppo, D. and Capozzi, R., 2015. Spatial association of mud volcano and sandstone intrusions, Boyadag anticline, Western Turkmenistan. Basin Research, 1-13, doi: 10.1111/bre.12136

- Onalan, M., 1986, Amanos dağlarındaki Alt Paleozoyik çökellerinin çökeltme ortamları ve bölgenin paleocoğrafik evrimi, T.J.K. Bülteni, 29, 49-63
- Özgül, N., Metin, S. ve Dean, W.T. 1973. Tufanbeyli dolayının Kambriyen-Tersiyer kayaları. TJK Bülteni, 16 (1), 82-100
- Özgül, N. ve Kozlu, H., 2002. Kozan-Feke (Doğu Toroslar) yöresinin stratigrafisi ve yapısal konumu ile ilgili bulgular. TPJD Bülteni, 14, 1, 1-36
- Özdemir, A., 2019a. Hasanoğlan (Ankara) petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(6), 748-763
- Özdemir, A., 2019b. Mamak (Ankara) çalışan petrol sisteminin jeokimyasal kanıtı olarak olgun hidrokarbonca zengin sular ve bölgedeki potansiyel kapan alanı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 244-260
- Özdemir, A., 2019c. Büyük Menderes grabeni (Batı Anadolu) Neojen öncesi petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları ve potansiyel kapanlar. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16, 325-354
- Özdemir, A., 2020. Kurşun ve çinko yataklarının hidrokarbon aramacılığındaki rolü. Caucasian Journal of Science, 7 (1), 56-71
- Özdemir, A. and Palabiyik, Y., 2019a. A shallow and reliable indicator for deep oil and gas accumulations in the subsurface: Metallic ore deposits. IV. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi - Mühendislik Bilimleri (BILMES EN), 07 - 10 Kasım 2019, Ankara, 40-57
- Özdemir, A. ve Palabiyik, Y., 2019b. Significance of relationships between hydrocarbons and metallic ore deposits in oil and gas exploration: Part II. Copper deposits. BİLTEK Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilgilerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu, 21-22 Aralık 2019, Ankara, 230-239
- Özdemir, A. ve Palabiyik, Y., 2019c. Significance of relationships between hydrocarbons and metallic ore deposits in oil and gas exploration: Part I. Gold deposits. BİLTEK Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilgilerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu, 21-22 Aralık 2019, Ankara, 219-229
- Özdemir, A. ve Palabiyik, Y., 2020a. Petrol ve doğalgaz kaynak kayası, ofiyolitler, manto sorgucu ve toplu yokolma arasındaki ilişkilere göre Türkiye'nin petrol ve doğalgaz potansiyeli. 4. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 28-30 Eylül 2020 (baskıda)
- Özdemir, A. ve Palabiyik, Y., 2020b. Doğu Pontidler'de olasılıkla Jura-Kretase riftleşmeleri ile ilişkili hidrokarbon oluşumu ve türümü için bulgular. 4. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 28-30 Eylül 2020 (baskıda)
- Özdemir, A. ve Palabiyik, A., 2020c. Organik Maddece Zengin Kayaların ve Hidrokarbonların/Petrollerin Yaşlarının Doğrudan, Oluşum, Göç ve Birikme Koşullarının Belirlenmesi için Kullanılan İki Yeni İzotop Sistemi: Re-Os ve İyot-129 İzotopları. Doğru, M.S. (Editör), Enerji Araştırmaları, İksad Yayınevi, 87-142 (baskıda)
- Özdemir, A., Palabiyik, A. ve Karataş, A., 2020a. Türkiye Denizlerinin Petrol ve Doğalgaz Potansiyeli, Gelecek Hidrokarbon Araştırmaları için Hedef Alanlar ve Sondaj Lokasyonları. Enerji Araştırmaları (Editör: Neşeli, S.), İksad Yayınevi, 53-123
- Özdemir, A., Karataş, A., Palabiyik, Y., Yaşar, E., and Sahinoglu, A., 2020b. Oil and gas exploration in Seferihisar Uplift (Western Turkey) containing an operable-size gold deposit: Geochemical evidence for the presence of a working petroleum system. Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 6(1), Doi: 10.1007/s40948-020-00152-2
- Özdemir, A., Palabiyik, Y., Karataş, A. and Sahinoglu, A., 2020c. Organic geochemical evidence of the working petroleum system in Beypazarı Neogene Basin and potential traps (Northwest Central Anatolia, Turkey). Turkish Journal of Geosciences, 1(2), 35-52
- Özdemir, A., Palabiyik, Y., Karataş, A. and Sahinoglu, A., 2020d. Suda Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) analizi ile Kızılırmak Grabeni'nin (Nevşehir) hidrokarbon potansiyelinin araştırılması. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (baskıda)
- Palabiyik, Y. ve Özdemir, A., 2019. Oil and gas seeps in Turkey: A review. VII. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumu, 15 - 17 Kasım 2019, Ankara, 726-740
- Palabiyik, Y. ve Özdemir, A., 2020. Türkiye'de petrol ve doğalgaz aranması için suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizinin kullanımı: Batı, Kuzeybatı ve Orta Anadolu'dan örnek çalışmalar ve önemli sonuçlar. Türkiye IV. Bilimsel ve Teknik Petrol Kongresi, 18-20 Kasım 2020, Ankara (baskıda)
- Palabiyik, Y., Özdemir, A. ve Şahinoğlu, A., 2019. Uludağ Masifi'nin (Kuzeybatı Anadolu) Petrol ve Doğal Gaz Potansiyelinin İyot Hidrojeokimyası ve Suda Petrol Analizi Kullanılarak Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No: 42217 (Yayımlanmamış)
- Palabiyik, Y., Özdemir, A., Karataş, A. ve Özyağcı, M., 2020. Kastamonu ve Sinop (Orta Karadeniz) Civarının Petrol ve Doğal Gaz Potansiyelinin Suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) Analizi Kullanılarak Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No: MGA-2020-42587 (Yayımlanmamış)
- Perinçek D., Duran, O., Bozdoğan, N. and Çoruh, T., 1992. Stratigraphy and paleogeographical evolution of the autochthonous sedimentary rocks in Southeast Turkey. Ozan Sungurlu Symposium, Proceedings. In Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and Surrounding Regions. Turkish Petroleum Corporation - Turkish Association of Petroleum Geologists, 274-305
- Planke, S., Svensen, H., Hovland, M., Banks, D.A. and Jamtveit, B., 2003. Mud and fluid migration in active mud volcanoes in Azerbaijan. Geo-Mar. Lett. 23, 258-268
- Ruban, D.A., Al-Husseini, M.I. and Iwasaki, Y., 2007. Review of Middle East Paleozoic Plate tectonics. GeoArabia, 12(3), 35-56
- Santamaria-Orozco, D. and Horsfield, B., 2003. Gas generation potential of upper Jurassic (Tithonian) source rocks in the Sonda de Campeche, Mexico. C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, (eds.), The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, 349-363
- Sayit, K., 2010. Geochemistry and petrogenesis of the oceanic island and subduction-related assemblages from the paleotethyan Karakaya subduction/accretion complex, central and Northwest Turkey. Middle East Technical University, PhD Thesis, 204 p.
- Scotese, C. R., 2001, Atlas of Earth history, Volume 1, Paleogeography, PALEOMAP Project, Arlington, Texas, 52 p.

- Skelton, P.W., 2003. The Cretaceous World. London: Cambridge University Press. 1-350
- Sorkhabi, R., 2010. Why So Much Oil in the Middle East ?. *Geoexpro*, Vol. 7, No. 1
- Stadnitskaia, A., Blinova, V., Ivanov, M.K., Baas, M., Hopmans, E., van Weering, T.C.E., and Sinninghe Damste, J.S., 2007. Lipid biomarkers in sediments of mud volcanoes from the Sorokin Trough, NE Black Sea: Probable source strata for the erupted material. *Organic Geochemistry*, 38, 67-83
- Şengör, A.M.C., Lom, N., Sunal, G., Zabcı, C., and Sancar, T., 2019. The Phanerozoic paleotectonics of Turkey. Part I: an inventory. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 1, 1, 91-161
- Tassi, F., Bonini, M., Montegrossi, G., Capecchiacci, F., Capaccioni, B., Vaselli, O., 2012. Origin of light hydrocarbons in gases from mud volcanoes and CH₄-rich emissions. *Chemical Geology*, 294-295, 113-126
- Tolluoğlu, Ü.A. ve Sümer, E.Ö., 1995. Gondwana kuzeyi Anadolu Mikrokıtası Erken Paleozoyik evrim modeli. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C.38, S. 21-22, 1-22
- Torsvik, T.H. and Cocks, L.R.M., 2011. The Paleozoic paleogeography of central Gondwana. *Geological Society, London, Special Publications*, 357, 137-166, doi: 10.1144/SP357.8
- Tunç, M., 1991. Aktaş (Kızılcahamam) yöresinin pelajik kireçtaşlarının biyostratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 34, 27-42
- Ulmishek, G.F. and Klemme, H.D., 1991. Depositional controls, distribution and effectiveness of world's petroleum source rocks. *U.S. Geological Survey*, 59 p.
- Utmanoğulları, M., 2012. Şirvan-Özpinar (Siirt) Dolayının, Jeolojisi, Yeraltı Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127 s.
- Wang, C.S., Hu, X.M., Huang, Y.J., Wagreich, M., Scott, R. and Hay, W., 2011. Cretaceous oceanic red beds as possible consequence of oceanic anoxic events. *Sedimentary Geology*, 235(1), 27-37
- Yalçın, M.N. and Yılmaz, I., 2010. Devonian in Turkey - a review. *Geologica Carpathica*, 61(3), 235-253
- Yang, R., Wang, Y. & Cao, J. 2014. Cretaceous source rocks and associated oil and gas resources in the world and China: A review. *Petroleum. Science*, 11, 331-345. DOI: 10.1007/s12182-014-0348-z
- Yılmaz, İ., 2004. Doğu Torosların Mansurlu-Saimbeyli (Adana) Kesiminin Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora tezi, 191 s.
- Yılmaz, E. ve Duran, O., 1997. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allakton Birimler Stratigrafı Adlama Sözlüğü. TPAO Eğitim Yayınları No: 31, 460 s.
- Zürcher, L., Bookstrom A.A., Hammarstrom, J.M., Mars, J.C., Ludington, S., Zientek, M.L., Dunlap, P., and Wallis, J.C., with contributions from Drew, L.J., Sutphin, D.M., Berger, B.R., Herrington, R.J., Billa, M., Kuşcu, I., Moon, C.J. and Richards, J.P., 2015. Porphyry copper assessment of the Tethys region of western and southern Asia: U.S. Geological Survey Scientific Investigation Report 2010-5090-V, 232 p



Selenyum ve Depresyon Üzerine Etkileri

Burcu Uslu^{1*}, Şule Aktaç²

^{1*} Yüksek İhtisas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6371-6562), burcuuslu@yiu.edu.tr

² Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2158-5015), suleaktac@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 24 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.757344)

ATIF/REFERENCE: Uslu, B. & Aktaç, Ş. (2020). Selenyum ve Depresyon Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 147-151.

Öz

Sağlığı korumak, hastalığı önlemek ve yaşlanma sürecini yavaşlatmak için yeterli miktarda günlük Selenyum alımı gerekmektedir. Selenyum; redoks homeostazını, tiroid hormon metabolizmasını etkileyen, oksidatif stres ve inflamasyondan koruyan geniş bir pleiotropik etki alanına sahip eser elementtir. İnsanlar için hayati öneme sahip olmakla birlikte, doz ve spesifikasyona bağlı olarak toksik olabilecek bir elementtir. Diğer birçok besinde de olduğu gibi, selenyuma verilen biyolojik yanıtın cinsiyete, selenoprotein genlerindeki nükleotid polimorfizmlerine, bireydeki mevcut Selenyum durumuna, bireyin yaşına ve hastalığın varlığına bağlı olduğu düşünülmelidir. Selenyumun aktif parçacığı selenosisteinlerdir. İnsanlarda selenyumun beslenme kaynaklı fonksiyonlar, selenosistein bulunduran, selenoproteinler ile sağlanır. Selenoproteinlerin metabolizmadaki rolünün bilinmesi, selenyumun insan sağlığı üzerindeki sonuçlarını açıklamaya yardımcı olur. Glutasyon peroksidaz hayvanlardaki çoğu dokuda bulunan ana selenoproteindir. Antioksidan savunma teorileri arasında glutasyon peroksidazlar gibi selenoproteinlerin önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Selenoproteinlerin biyosentezi, temel eser element selenyumunun mevcudiyetine bağlıdır. Böylece, selenyumun yeterli alımı, beyin fonksiyonunun korunması için önemlidir. Selenyum eksikliği, kalp ve nöromusküler bozukluklar dahil olmak üzere birçok patofizyolojik durumu ortaya çıkarabilir. Depresyon için yeterli tedavi seçeneği varken bireylerin önemli bir kısmı hala iyileşme sağlayamamaktadır. Bu nedenle, değiştirilebilir risk faktörlerini ve depresyon önleyici etkili yöntemleri araştırmak gerekmektedir. Selenyumun nöroprotektif etkisi henüz kesin olarak tanımlanmamasına rağmen, selenyumun duyu durum bozukluğundaki koruyucu rolü antioksidan savunmadaki önemli etkisiyle ilişkili olabilir. Bu derleme selenyumun depresyon ve diğer depresyon çeşitleri üzerine etkisini inceleme amacıyla yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Selenyum, Depresyon, Oksidatif Stres

Selenium and Its Effects on Depression

Abstract

Daily intake of adequate doses is required to maintain health, prevent disease and slow down the aging process. Selenium; redox homeostasis, thyroid hormone metabolism, affecting the oxidative stress and inflammation protects the trace element with a wide area of pleiotropic effect. Selenium is vital for humans, but is a toxic element, depending on dose and specification.6 As with many other foods, the biological response to selenium depends on the sex, the nucleotide polymorphisms in the selenoprotein genes, the present state of the individual, the age of the individual and the presence of the disease. The active particle of selenium is selenocystein. Nutritional functions of selenium in humans are provided by selenoproteins, including selenocysteine. Knowing the role of selenoproteins in metabolism helps explain the consequences of selenium on human health. Glutathione peroxidase (Gpx) is the main selenoprotein found in most tissues in animals. Among the antioxidant defense theories, selenoproteins such as glutathione peroxidases (GPx) are thought to play an important role. The biosynthesis of selenoproteins depends on the presence of the essential trace element selenium. Thus, adequate intake of selenium is important for the preservation of brain function. Selenium deficiency may reveal many pathophysiological conditions including heart and neuromuscular disorders. While there is sufficient treatment for depression, a significant number of individuals still do not achieve improvement. Therefore, it is necessary to investigate modifiable risk factors and methods to prevent depression. Although the neuroprotective effect of selenium has not yet been clearly defined, the protective role of selenium in mood disorders may be related to the important effect of antioxidant defense. This review was conducted to investigate the effect of selenium on depression and other types of depression.

Keywords: Selenium, Depression, Oxidative stress

* Sorumlu Yazar: burcuuslu@yiu.edu.tr

1. Giriş

Selenyum (Se) majör metabolik öneme sahip bir elementtir. Besin zincirinde topraktan bitkilere geçer, bu nedenle selenyum alımı coğrafyaya göre değişmektedir. Selenyumun aktif parçacığı selenosisteinlerdir (Brown ve Arthur,2001). İnsanlarda selenyumun beslenme kaynaklı fonksiyonlar, selenosistein bulunduran, selenoproteinler ile sağlanır. Selenoproteinlerin metabolizmadaki rolünün bilinmesi, selenyumun insan sağlığı üzerindeki sonuçlarını açıklamaya yardımcı olur (Rayman,2000). Glutasyon peroksidaz da (Gpx) hayvanlardaki çoğu dokuda bulunan ana selenoproteindir. Selenyum konsantrasyonunun varyasyonuna en duyarlı selenoproteinlerden biri olan glutasyon peroksidaz, selenyum durumunu hücresel veya organizma düzeyinde değerlendirmek için sıklıkla kullanılır (Sonet vd., 2018). Glutasyon peroksidaz, memeli hücrelerini oksidatif strese karşı koruyabilen selenyum bağımlı antioksidan enzimdir (Sunde vd.,2018). Selenyum, glutasyon peroksidazın etkisini daha iyi gösterebilmesi için gerekli bir eser elementtir (Akyıldız vd.,2014). Se, insanlar için hayati öneme sahip olmakla birlikte, doz ve spesifikasyona bağlı olarak toksik olabilecek bir elementtir (Solovyev vd, 2018). Diğer birçok besinde de olduğu gibi, selenyuma verilen biyolojik yanıtın cinsiyete, selenoprotein genlerindeki nükleotid polimorfizmlerine, bireydeki Se durumuna, bireyin yaşına ve hastalığın varlığına bağlı olduğu düşünülmelidir (Chiang vd., 2010). Diyet Se yetersizliği ve Se'nin toksik konsantrasyonu arasındaki ince çizgi göz önüne alındığında, selenyum araştırmacılar tarafından hem bir besin maddesi hem de çevresel bir kirlenici olarak incelenmektedir (Viceti vd., 2017). Selenyum, uzun süre boyunca yüklü miktarlarda tüketildiğinde, kandaki Se seviyelerinin 100 µg / dL daha arttırması ile sonuçlanabilir (Koller vd., 1986). Gastrointestinal ağrılar, saç dökülmesi, beyaz lekeler, nefeste sarımsak kokusu, yorgunluk, sinirlilik ve hafif sinir hasarı, Se toksisitesi için tanımlanan yaygın semptomlardır (Spiller ve Pfeifer, 2007). Günlük diyet Se alımının, tüketilen besin miktarı ve besin maddesindeki Se konsantrasyonlarına bağlı olduğuna dikkat edilmelidir. Genellikle Se maruziyet için standartlar yetişkinler için oluşturulmuştur: minimum ve maksimum önerilen değerler 30-70 ve 300-400 µg / gündür (Dinh vd., 2018). Selenyum bileşiklerinin besinlerden elde edilen biyoyararlanımı, tüketilen Se'nin kaynağı ve formuna bağlı olarak değişmektedir. İnsanlarda, Se tüketiminin birincil formu yiyeceklerdir (Egan vd., 1996). İki bin yılından bu yana, Ulusal Bilim Akademileri Enstitüsü, ABD'de hem kadınlar hem de erkekler için günde ortalama 55 µg Se ortalama besin alımını önermiştir (Monsen, 2000) Danimarka, Finlandiya, Norveç ve İsveç gibi İskandinav ülkelerinde, mevcut tavsiyeler 50 µg / gün- 60 µg / gün olarak belirlenmiştir (Andersen vd., 2016). Almanya'da 60 µg / gün ve Avustralya'da 70 µg / gün, Birleşik Krallık'ta sırasıyla kadınlar ve erkekler için 60 µg / gün ve 75 µg / gün, Japonya, kadınlar ve erkekler için sırasıyla 25 µg / gün ve 30 µg / gün ile daha düşük miktarlarda tavsiye edilmektedir (Suwazono vd., 2008). Ülkemizde bu değer yetişkin kadın ve erkekler için 70 µg / gün olarak belirtilmiştir (TÜBER, 2016). Ancak belirtilen gereksinimler cinsiyet, etnik köken, Se durumu, yaş, selenoprotein genler ve gen polimorfizmleri gibi faktörlere bağlı olduğundan genel nüfus için önerilen Se alımı miktarları tartışmalı olmaya devam etmektedir. Deney hayvanı çalışmalarında selenyum gereksiniminin hamilelik sırasında, aynı zamanda büyüyen fetüsün ihtiyaçları nedeniyle arttığını

gösteren kanıtlar vardır (Smith ve Picciano, 1986). Normal gebelik sırasında, tam kan Se konsantrasyonu, artan gebelik periyodu ile büyük ölçüde (örn. %12) düşer (Tara vd., 2010). Bu düşüşün nedeni plasentada ifade edilen selenoprotein P (SEPP1) ile Se'nin fetusa transferinin olmasıdır (Kilinc vd., 2008).

Son yıllarda önleyici sağlık uygulamalarının öneminin anlaşılmasıyla birlikte gıda ve sağlık ilişkisi üzerindeki ilgi artmıştır (Demirgöl ve Sağdıç, 2018). Sağlığı korumak, hastalığı önlemek ve yaşlanma sürecini yavaşlatmak için yeterli dozlarda günlük Se alımı gerekmektedir. Se eksikliği, kalp ve nöromusküler bozukluklar dahil olmak üzere birçok patofizyolojik durumu ortaya çıkarabilir (Roy vd., 1993). Küresel olarak bir milyar Se eksikliği olan birey rapor edilmiştir (Nazemi vd., 2012). Bu kişiler sonuç olarak mortalite, bağışıklık fonksiyon bozukluğu, infertilite ve bilişsel gerileme riskini arttırabilir (Rayman, 2012). Antioksidan savunma teorileri arasında glutasyon peroksidazlar (GPx) gibi selenoproteinlerin önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Selenoproteinlerin biyosentezi, temel eser element selenyumunun mevcudiyetine bağlıdır. Böylece, selenyumun yeterli alımı, beyin fonksiyonunun korunması için önemlidir (Cardoso vd.,2016). İnsanlar selenyumu günlük diyetlerinde organik ve inorganik formlarda alırlar. Bu yolla alınan selenyumun büyük bölümünü tahıl, hububat ve bitkilerde selenometionin ve selenosistein şeklinde bulunan organik selenyum formu oluşturur. Diyetteki en önemli inorganik selenyum kaynakları ise selenat ve selenitler olup bunların emilimi organik selenyumlara göre daha azdır (Cardoso vd.,2016; Bal vd., 2015). Buğday ve diğer tahılların yanı sıra, et tüketimi yoluyla diyet Se alımı, özellikle batı ülkelerinde birincil diyet kaynağıdır (Fisinin vd., 2009). Sığır ve kuzu eti içindeki ortalama Se içeriği 20-35 µg / 100 g arasında, tavuklardaki Se içeriği 10- 24 µg / 100 g arasında değişmektedir (Peters vd., 2016). Süt ürünlerinin Se konsantrasyonları 3,7 µg / 100 ml'dir. Ülkemizde ulaşılabilen kaynaklardan en yüksek Se içeriği olan dana böbrek 155,3 µg/100 g'dır (TÜRKOMP, 2020). Balıkların Se içeriğindeki aralıklar oldukça büyüktür. Tatlı su balıklarında yaklaşık 12 µg / 100 g, konserve ton balıklarında ise 70 µg / 100 g'ın üzerindedir. Bununla birlikte, balıklardaki diyet Se'nin biyoyararlanımı, ağır metallerin varlığıyla etkilenebilir, çöktürme yoluyla azalabilir (Bartelt vd., 2008). Diyetle alınan selenyumu ölçerek insanların gerçek Se durumunu belirlemek oldukça zordur. Diyet Se alımındaki anlık değişiklikler, selenoproteinleri serum veya tam kanda analiz ederek saptanır (Tsuji vd., 2011). İnsanlarda Se durumunun bilgilendirici en önemli biyobelirteçi, insan plazmasındaki Se'nin %60'ından fazlasını oluşturan GPX'in serum ve plazma seviyeleridir (Kipp vd., 2015).

1.1. Selenyum Metabolizması

Selenyum diyet yoluyla elde edilen bir eser elementtir. Sindirim sistemi tarafından emildikten sonra, çoğunlukla metabolize edildiği, selenoprotein üretimi için kullanıldığı karaciğere taşınır ve kan yoluyla başka dokulara yeniden dağıtır. Bu nedenle, karaciğer metabolizmasında merkezi bir organdır. Selenyum, selenoenzimlerin aktif yerinde bulunan amino asit selenosisteini (Sec) sentezlemek için kullanılır, fakat diğer selenoproteinlerde bilinmeyen işlev görür. Selenosistein, bir peptid zincirine dahil edilir, belirli cis ve trans faktörleri düzgün bir şekilde çalışmasını gerektirir (Seale vd., 2018). Selenyumun başlangıç emiliminin yaklaşık %80'i, protein ile birlikte diğer eser elementlerin varlığı veya yokluğu ile düzenlenir (Ardüser vd., 1986). Selenyumun vücutta taşınması; kandaki proteinlere

(serum albümini, SEPP1, Glutasyon peroksidaz-3) bağlanma yoluyla gerçekleşir (Fairweather-Tait vd., 2011). Literatürde, biyoyararlanımın yenilen besindeki orijinal Se içeriğinin yaklaşık %14'ü olduğu bildirilmiştir. Yetişkin bir insan vücudunda 2-20 mg Se bulunur. Selenyum birçok dokudan, idrardan, tırnak ve saçtan saptanabilir (Ashton vd., 2009). Selenyum; redoks homeostazını, tiroid hormon metabolizmasını etkileyen, oksidatif stres ve inflamasyondan koruyan geniş bir pleiotropik etki alanına sahip eser elementtir. Selenyumun antioksidan korumada direkt rolü vardır, çünkü glutasyon ile hidrojen peroksidin indirgenmesini katalize ederek hücreleri oksidatif hasara karşı koruyan selenoproteinler Glutasyon Peroksidazyoların aktif merkezinde bulunur. Seleno-glutasyon peroksidaz (GSH-Px), hidrojen peroksite ve lipit peroksidasyonuna karşı etkili olan serbest radikallere karşı önemli bir savunma hattı oluşturur (Rayman, 2000). Oksidatif stresin yaşla arttığı ve yaşlanmanın yetersiz besin alımı, azalmış fiziksel işlev veya ciddi patolojiler nedeniyle selenyum eksikliği ile karakterize olduğu bilinmektedir (Giovannini vd., 2018). Selenyumun kognitif fonksiyonlara olumlu etkisinin ardındaki mekanizma net değildir. Muhtemelen beyin gelişimi için etkili olan tiroid hormonlarının aktivasyonu yoluyla gerçekleşir. Tiroid hormonu metabolizması, antioksidan savunma sistemleri ve bağışıklık fonksiyonları dahil olmak üzere birçok ana metabolik yolun temel bir bileşenidir. Selenyum, tiroid hormonlarını aktive eden deiyodinazlara dahil edilir ve T4'ün (aktif hormon) %80'inden fazlası dönüştürülerek selenyum üretilir. Selenyumun önemi, selenyum eksikliğinin artan T4 konsantrasyonları ve düşük T3 konsantrasyonları ile sonuçlandığı hayvan çalışmaları ile desteklenmektedir (Skröder vd., 2015). Deiyodinaz (DIO) enziminin tanımlanması ile Se ve tiroid bezi arasında doğrudan moleküler bağ kurulmuştur (Kohrle vd., 2005).

1.2. Depresyon

Depresyon dünya genelinde yaygın bir hastalıktır ve 300 milyondan fazla insan etkilenmiştir (Dias vd., 2019). Depresyon için yeterli tedavi seçeneği varken bireylerin önemli bir kısmı hala iyileşme sağlayamamaktadır (Mathers ve Loncar, 2006). Bu nedenle, değiştirilebilir risk faktörlerini ve depresyon önleyici etkili yöntemleri araştırmak gerekmektedir. Depresyonun etiyojisi hala tam olarak açıklanamamıştır. Sedarer yaşam ve sebze, meyve ve balık çeşitlerini kısıtlı tüketmek depresyon gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Rebar vd., 2015; Roman vd., 2014). Son yıllarda, depresyonda besinlerin rolüne artan bir ilgi vardır. Enzimlerin bileşenleri olarak bakır ve selenyum, antioksidan korumada önemli rollere sahiptir (Roman vd., 2014). Çalışmalar oksidatif stresin depresyona katkıda bulunabileceğini göstermiştir (Lee vd., 2013). Bununla birlikte diyetle çinko, demir, bakır ve selenyum alımı ile depresyon ilişkili epidemiyolojik çalışmalar sınırlı veya tartışmalıdır. Selenyum alımıyla ilgili olarak, Avustralya'daki yapılan bir vaka kontrol çalışması, düşük diyetli selenyum alımının de novo depresyon riski ile ilişkili olduğunu saptamıştır (Pasco vd., 2012). Selenyumun nöroprotektif etkisi henüz kesin olarak tanımlanmamasına rağmen, selenyumun duyu durum bozukluğundaki koruyucu rolü antioksidan savunmadaki önemli etkisiyle ilişkili olabilir. Antioksidan enzim olan glutasyon peroksidaz, selenyumun temel bir bileşeni olarak, hidrojen peroksitin katabolizmasında, lipoperoksidasyon ve doku yıkımına karşı koruma sağlayan merkezi bir role sahiptir. Sinir uçlarının peroksidasyon hasarı, nörotransmitter taşınımında değişikliklere ve daha sonra merkezi sinir sisteminin işlevinde

değişikliklere yol açmaktadır (Shor- Posner vd., 2003). Selenyum, glutasyon peroksidazlar ve tiyoredoksin redüktazlar gibi selenoproteinlere dahil edilir; bunlar da, lipoperoksidasyon ve oksidatif hücre hasarına karşı hücreyi korur (Roman vd., 2014). Son zamanlarda yapılan çalışmalar oksidatif stresin depresyon patogeneğinde önemli bir faktör olabileceğini göstermiştir (Lee vd., 2013). Glutasyon antioksidan sistemi, duygudurum bozukluklarının patofizyolojisinde yer almaktadır (Berk vd., 2008). Anne depresyonu tüm aileyi etkiler; evlilik uyumsuzluğu ve bozulmuş mesleki ve sosyal işleyiş ile, aynı zamanda ayrılma, düşmanlık ve saldırı ile karakterize edilen anne-bebek etkileşimleri ile ilişkilidir (Kurstjiens ve Wolke, 2013). Doğum sonrası depresyon belirgin bir şekilde tedavi edilmez. Pek çok kadın, eğlenceli bir zaman "olması gereken" postnatal dönemdeki depresyonun utanç verici olduğunu düşünür ve toplumun genel damgalanmasından etkilenir (Werner vd., 2015). Bazı vitaminler, mineraller veya diğer besinlerden yoksun bir diyet bazı kadınlarda doğum sonrası depresyona neden olabilir. Bu yetersizliği diyet takviyesi ile düzeltmek doğum sonrası depresyonu önleyebilir. Olası diyet takviyelerinin örnekleri, doğum sonrası depresyonu önleyen selenyum, omega-3 yağ asitleri, demir, folat, s-adenosil-L-metiyonin, B12 vitamini (kobalamin), B6 (piridoksin), B2 (riboflavin), D vitamini ve kalsiyumdur (Mokhber vd., 2011; Miller vd., 2013).

4. Sonuç

Sağlığı korumak, hastalığı önlemek ve yaşlanma sürecini yavaşlatmak için yeterli dozlarda günlük Selenyum alımı gerekmektedir. Selenyum majör metabolik öneme sahip bir elementtir. İnsanlarda selenyumun beslenme kaynaklı fonksiyonlar, selenosistein bulunduran, selenoproteinler ile sağlanır. Günlük diyet Se alımının, tüketilen besin miktarı ve besin maddesindeki Se konsantrasyonlarına bağlı olduğuna dikkat edilmelidir. Selenyumun yeterli alımı, beyin fonksiyonunun korunması için önemlidir. Selenyumun kognitif fonksiyonlara olumlu etkisinin ardındaki mekanizma net değildir. Muhtemelen beyin gelişimi için etkili olan tiroid hormonlarının aktivasyonu yoluyla gerçekleşir. Tiroid hormonu metabolizması, antioksidan savunma sistemleri ve bağışıklık fonksiyonları dahil olmak üzere birçok ana metabolik yolun temel bir bileşenidir. Selenyumun nöroprotektif etkisi henüz kesin olarak tanımlanmamasına rağmen, selenyumun duyu durum bozukluğundaki koruyucu rolü antioksidan savunmadaki önemli etkisiyle ilişkili olabilir. İki bin yılından bu yana, Ulusal Bilim Akademileri Enstitüsü, ABD'de hem kadınlar hem de erkekler için günde ortalama 55 µg Se içeren besin alımını önerirken ülkemizde bu değer Türkiye Beslenme Rehberi'ne göre her iki cinsiyet için 70 µg olarak belirtilmektedir.

Kaynakça

- [1] Akyıldız, B., Kendirci, M., Muhtaroglu, S., Aydın, S., Yılmaz, I., & Ozsoylu, S. (2014). Evaluation of vitamin e, selenium and glutathione peroxidase activity in patients with disseminated intravascular coagulation. *Türkiye Çocuk Hastalıkları Dergisi*, 15(4), 169.
- [2] Andersen, L. B., Arnberg, K., Trolle, E., Michaelsen, K. F., Bro, R., Pipper, C. B., & Mølgaard, C. (2016). The effects of water and dairy drinks on dietary patterns in overweight adolescents. *International journal of food sciences and nutrition*, 67(3), 314-324.

- [3] Ardüser, F., Wolfram, S., Scharrer, E., & Schneider, B. (1986). Transport of selenate and selenite across the brush border membrane of rat and sheep small intestine. *Biological Trace Element Research*, 9(4), 281-290.
- [4] Ashton, K., Hooper, L., Harvey, L. J., Hurst, R., Casgrain, A., & Fairweather-Tait, S. J. (2009). Methods of assessment of selenium status in humans: a systematic review. *The American journal of clinical nutrition*, 89(6), 2025S-2039S.
- [5] Bal, C., Büyükşekerci, M., Ercan, M., Hocaoglu, A., Çelik, H. T., Abuşoğlu, S., ... & Yılmaz, Ö. H. (2015). Effect of different selenium levels on thyroid hormone synthesis. *Turkish Bulletin of Hygiene and Experimental Biology*, 72(4), 311-316.
- [6] Bartelt, S., Timm, M., Damsgaard, C. T., Hansen, E. W., Hansen, H. S., & Lauritzen, L. (2008). The effect of dietary fish oil-supplementation to healthy young men on oxidative burst measured by whole blood chemiluminescence. *British journal of nutrition*, 99(6), 1230-1238.
- [7] Berk, M., Ng, F., Dean, O., Dodd, S., & Bush, A. I. (2008). Glutathione: a novel treatment target in psychiatry. *Trends in pharmacological sciences*, 29(7), 346-351.
- [8] Brown, K. M., & Arthur, J. R. (2001). Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public health nutrition*, 4(2b), 593-599.
- [9] Cardoso, B. R., Apolinário, D., da Silva Bandeira, V., Busse, A. L., Magaldi, R. M., Jacob-Filho, W., & Cozzolino, S. M. F. (2016). Effects of Brazil nut consumption on selenium status and cognitive performance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled pilot trial. *European journal of nutrition*, 55(1), 107-116.
- [10] Chiang, E. C., Shen, S., Kengeri, S. S., Xu, H., Combs Jr, G. F., Morris, J. S., ... & Waters, D. J. (2010). Defining the optimal selenium dose for prostate cancer risk reduction: insights from the U-shaped relationship between selenium status, DNA damage, and apoptosis. *Dose-response*, 8(3), 285-300.
- [11] Demirgöl, F., Sağdıç, O. (2018). Fermente süt ürünlerinin insan sağlığına etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13) , 45-53.
- [12] Dias, A., Azariah, F., Anderson, S. J., Sequeira, M., Cohen, A., Morse, J., ... & Reynolds, C. F. (2019). Preventing major depression in older adults living in low-and middle-income countries: a randomized controlled trial. *JAMA Psychiatry*, 76(1), 13-20.
- [13] Dinh, Q. T., Cui, Z., Huang, J., Tran, T. A. T., Wang, D., Yang, W., ... & Liang, D. (2018). Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: a review. *Environment international*, 112, 294-309.
- [14] Egan, S. K., Tao, S. H., Pennington, J. A. T., & Bolger, P. M. (2002). US Food and Drug Administration's Total Diet Study: intake of nutritional and toxic elements, 1991-96. *Food Additives & Contaminants*, 19(2), 103-125.
- [15] Fairweather-Tait, S. J., Bao, Y., Broadley, M. R., Collings, R., Ford, D., Hesketh, J. E., & Hurst, R. (2011). Selenium in human health and disease. *Antioxidants & redox signaling*, 14(7), 1337-1383.
- [16] Fisinin, V. I., Papazyan, T. T., & Surai, P. F. (2009). Producing selenium-enriched eggs and meat to improve the selenium status of the general population. *Critical Reviews in Biotechnology*, 29(1), 18-28.
- [17] Giovannini, S., Onder, G., Lattanzio, F., Bustacchini, S., Di Stefano, G., Moresi, R., ... & Landi, F. (2018). Selenium concentrations and mortality among community-dwelling older adults: results from IISIRENTE study. *The journal of nutrition, health & aging*, 22(5), 608-612.
- [18] Kilinc, M., et al. , "Evaluation of serum selenium levels in Turkish women with gestational diabetes mellitus, glucose intolerants, and normal controls.". *Biological trace element research*, (2008). 123(1-3): 35-40.
- [19] Kipp, A. P., Strohm, D., Brigelius-Flohé, R., Schomburg, L., Bechthold, A., Leschik-Bonnet, E., & Hesecker, H. (2015). Revised reference values for selenium intake. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 32, 195-199.
- [20] Kohrle, J., Jakob, F., Contempré, B., & Dumont, J. E. (2005). Selenium, the thyroid, and the endocrine system. *Endocrine reviews*, 26(7), 944-984.
- [21] Koller, L. D., & Exon, J. H. (1986). The two faces of selenium-deficiency and toxicity--are similar in animals and man. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 50(3), 297.
- [22] Kurstjens, S., & Wolke, D. (2001). Effects of maternal depression on cognitive development of children over the first 7 years of life. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42(5), 623-636.
- [23] Lee, S. Y., Lee, S. J., Han, C., Patkar, A. A., Masand, P. S., & Pae, C. U. (2013). Oxidative/nitrosative stress and antidepressants: targets for novel antidepressants. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 46, 224-235.
- [24] Liu, X., Yan, Y., Li, F., & Zhang, D. (2016). Fruit and vegetable consumption and the risk of depression: a meta-analysis. *Nutrition*, 32(3), 296-302.
- [25] Mathers, C. D., & Loncar, D. (2006). Projections of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030. *PLoS medicine*, 3(11), 442.
- [26] Miller, B. J., Murray, L., Beckmann, M. M., Kent, T., & Macfarlane, B. (2013). Dietary supplements for preventing postnatal depression. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (10).
- [27] Mokhber, N., Namjoo, M., Tara, F., Boskabadi, H., Rayman, M. P., Ghayour-Mobarhan, M., ... & Shakeri, M. T. (2011). Effect of supplementation with selenium on postpartum depression: a randomized double-blind placebo-controlled trial. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 24(1), 104-108.
- [28] Monsen, E. R. (2000). Dietary reference intakes for the antioxidant nutrients: vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 100(6), 637.
- [29] Nazemi, L., Nazmara, S., Eshraghyan, M. R., Nasser, S., Djafarian, K., Yunesian, M., ... & Shahtaheri, S. J. (2012). Selenium status in soil, water and essential crops of Iran. *Iranian journal of environmental health science & engineering*, 9(1), 11.
- [30] Özenç, S., Saldır, M., Sarı, E., Çetinkaya, S., Yeşilkaya, Ş., Babacan, O., ... & Yesilkaya, E. (2015). Selenium, zinc, and copper levels and their relation with HbA1c status in children with type 1 diabetes mellitus. *International Journal of Diabetes in Developing Countries*, 35(4), 514-518.
- [31] Pasco, J. A., Jacka, F. N., Williams, L. J., Evans-Cleverdon, M., Brennan, S. L., Kotowicz, M. A., ... & Berk, M. (2012). Dietary selenium and major depression: a nested case-control study. *Complementary therapies in medicine*, 20(3), 119-123.
- [32] Peters, K. M., Galinn, S. E., & Tsuji, P. A. (2016). Selenium: Dietary sources, human nutritional requirements and intake across populations. In *Selenium*, 295-305.
- [33] Rayman, M. P. (2012). Selenium and human health. *The Lancet*, 379(9822), 1256-1268.

- [34]Rayman, M. P. (2000). The importance of selenium to human health. *The lancet*, 356(9225), 233-241.
- [35]Rebar, A. L., Stanton, R., Geard, D., Short, C., Duncan, M. J., & Vandelanotte, C. (2015). A meta-meta-analysis of the effect of physical activity on depression and anxiety in non-clinical adult populations. *Health psychology review*, 9(3), 366-378.
- [36]Roman, M., Jitaru, P., & Barbante, C. (2014). Selenium biochemistry and its role for human health. *Metallomics*, 6(1), 25-54.
- [37]Roy, M., Kiremidjian-Schumacher, L., Wishe, H. I., Cohen, M. W., & Stotzky, G. (1993). Selenium supplementation enhances the expression of interleukin 2 receptor subunits and internalization of interleukin 2. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 202(3), 295-301.
- [38]Seale, L. A., Ha, H. Y., Hashimoto, A. C., & Berry, M. J. (2018). Relationship between selenoprotein P and selenocysteine lyase: Insights into selenium metabolism. *Free Radical Biology and Medicine*, 127, 182-189.
- [39]Shor-Posner, G., Lecusay, R., Miguez, M. J., Moreno-Black, G., Zhang, G., Rodriguez, N., ... & Wilkie, F. (2003). Psychological burden in the era of HAART: impact of selenium therapy. *The International Journal of Psychiatry in Medicine*, 33(1), 55-69.
- [40]Skröder, H. M., Hamadani, J. D., Tofail, F., Persson, L. Å., Vahter, M. E., & Kippler, M. J. (2015). Selenium status in pregnancy influences children's cognitive function at 1.5 years of age. *Clinical Nutrition*, 34(5), 923-930.
- [41]Smith, A. M., & Picciano, M. F. (1986). Evidence for increased selenium requirement for the rat during pregnancy and lactation. *The Journal of nutrition*, 116(6), 1068-1079.
- [42]Solovyev, N., Drobyshev, E., Björklund, G., Dubrovskii, Y., Lysiuk, R., & Rayman, M. P. (2018). Selenium, selenoprotein P, and Alzheimer's disease: is there a link?. *Free Radical Biology and Medicine*, 127, 124-133.
- [43]Sonet, J., Bierla, K., Bulteau, A. L., Lobinski, R., & Chavatte, L. (2018). Comparison of analytical methods using enzymatic activity, immunoaffinity and selenium-specific mass spectrometric detection for the quantitation of glutathione peroxidase 1. *Analytica chimica acta*, 1011, 11-19.
- [44]Sun, H., & Feng, B. (2011). Speciation of organic and inorganic selenium in selenium-enriched eggs by hydride generation atomic fluorescence spectrometry. *Food Analytical Methods*, 4(2), 240-244.
- [45]Spiller, H. A., & Pfeifer, E. (2007). Two fatal cases of selenium toxicity. *Forensic science international*, 171(1), 67-72.
- [46]Sunde, R. A., Zemaitis, E. T., Blink, A. B., & Lawinger, J. A. (2018). Impact of glutathione peroxidase-1 (Gpx1) genotype on selenoenzyme and transcript expression when repleting selenium-deficient mice. *Biological trace element research*, 186(1), 174-184.
- [47]Suwazono, Y., Dochi, M., Sakata, K., Okubo, Y., Oishi, M., Tanaka, K., ... & Nogawa, K. (2008). A longitudinal study on the effect of shift work on weight gain in male Japanese workers. *Obesity*, 16(8), 1887-1893.
- [48]Tara, F., Maamouri, G., Rayman, M. P., Ghayour-Mobarhan, M., Sahebkar, A., Yazarlu, O., ... & Boskabadi, H. (2010). Selenium supplementation and the incidence of preeclampsia in pregnant Iranian women: a randomized, double-blind, placebo-controlled pilot trial. *Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology*, 49(2), 181-187.
- [49]Tsuji, P. A., Davis, C. D., & Milner, J. A. (2011). Selenium: Dietary sources and human requirements. In *Selenium* (pp. 517-529). Springer, New York, NY.
- [50]TÜBER. Bakanlığı, T. S. (2016). Türkiye Beslenme Rehberi TÜBER 2015. *Ankara: TC Sağlık Bakanlığı*.
- [51]Vinceti, M., Filippini, T., Cilloni, S., Bargellini, A., Vergoni, A. V., Tsatsakis, A., & Ferrante, M. (2017). Health risk assessment of environmental selenium: Emerging evidence and challenges. *Molecular medicine reports*, 15(5), 3323-3335.
- [52]Werner, E., Miller, M., Osborne, L. M., Kuzava, S., & Monk, C. (2015). Preventing postpartum depression: review and recommendations. *Archives of women's mental health*, 18(1), 41-60.



Fasulye Proteini İzolatının Çeşitli Gıda Ürünlerinin Kalite Özelliklerine Etkisi

Elif Terzi¹, Merve Bilgintürk², Rukiye Gündoğan³, Aslı Can Karaça^{4*}

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7324-029X), terziel6@itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8187-9691), bilginturk@itu.edu.tr

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7509-0467), gundogan17@itu.edu.tr

^{4*} İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4137-0644), cankaraca@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 24 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 11 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.757599)

ATIF/REFERENCE: Terzi, E., Bilgintürk, M., Gündoğan, R. & Can Karaça, A. (2020). Fasulye Proteini İzolatının Çeşitli Gıda Ürünlerinin Kalite Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 152-161.

Öz

Bu çalışmada, Akkuş şeker fasulyesinden (*Phaseolus vulgaris* L.) elde edilen protein izolatı kullanımının kek ve bitkisel bazlı köfte gibi ürünlerin kalite özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yerel üreticiden temin edilen kuru fasulyeden alkali ekstraksiyon – izoelektrik çöktürme yöntemi ile elde edilen protein izolatı 1, 3 ve 5 g/100 g oranlarında tamamen bitkisel bazlı bileşenlerin kullanıldığı kek ve köfte formülasyonlarına ilave edilmiştir. Fasulye proteini izolatı kekte yumurta ve sütü ikame etme amacıyla kullanılırken; köfte uygulamasında tamamen bitkisel bazlı bir formülasyon geliştirmek amacıyla kullanılmıştır. Kek ve köfte numunelerinde besin öğeleri kompozisyonu, fiziksel özellikler, renk ve tekstür özellikleri incelenmiştir. Fasulye proteini izolatı içeren kek numunelerinde hamur özgül ağırlığının kontrol numunesine göre önemli düzeyde yüksek olduğu görülmüştür. İzolat oranı arttıkça kek yüksekliği önemli düzeyde artmış, pişme kaybı ise kontrole göre azalmıştır. Hem kek kabuğu hem de içi için renk farkı ve esmerleşme indeksi artan izolat oranı ile artmıştır. Fasulye proteini izolatı içeren kek numunelerinin sertlik değeri, kohezyon kapasitesi ve çiğnenebilirlik gibi özelliklerinin kontrol numunesine göre düşük olduğu görülmüştür. İzolat içeren kek numunelerinin duyu özelliklerinin kontrol numunesinden farklı olduğu saptanmıştır. Bitkisel bazlı köfte numunelerinin pişme özellikleri incelendiğinde, kontrole en yakın olan numunenin 5 g/100 g izolat içeren köfte numunesi olduğu görülmüştür. İzolat kullanımı, köftede kontrole göre gözle ayırt edilebilir düzeyde bir renk farkına ($\Delta E^* > 3$) neden olmuş ve izolat oranı arttıkça hem ürün kabuğu hem de içi için bu renk farkı artmıştır. İzolat içeren ürünlerin sertlik ve kohezyon kapasitesi değerleri kontrole göre düşük bulunurken; 3 g/100 g ve 5 g/100 g oranında izolat içeren ürünlerin esneklik ve çiğnenebilirlik değerleri kontrolden yüksek bulunmuştur. Son olarak, kontrole göre farklılık testine göre, 3 g/100 g ve 5 g/100 g oranında fasulye proteini izolatı içeren köfte numunelerinin duyu özelliklerinin kontrol numunesine benzer olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgular, Akkuş şeker fasulyesinin çeşitli ürün formülasyonlarında iyileştirme yapılarak bitkisel protein kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Fasulye proteini, Baklagil, Ürün uygulaması.

Effect of Bean Protein Isolate on Quality Characteristics of Various Food Products

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of Akkuş sugar bean protein (*Phaseolus vulgaris* L.) isolate on quality characteristics of cake and plant-based meatballs. Bean protein isolate was produced from local beans using alkali extraction/isoelectric precipitation method and was added to plant-based cake and meatball formulations at 1, 3 and 5 g/100 g levels. Bean protein isolate was used as a replacer for egg and milk in cake formulation. On the other hand, development of a plant-based formulation was aimed in meatball application. Nutritional composition, physical properties, color and textural properties were investigated in cake and meatball samples. Specific gravity of the dough was significantly higher than that of control in cake samples with isolate. An increase in isolate amount resulted in a significant increase in cake height, whereas it decreased cooking loss compared to control. Colour difference and browning

* Sorumlu Yazar: cankaraca@itu.edu.tr

index increased as the isolate amount increased. Hardness, cohesiveness and chewiness of cake samples with isolate were found to be lower compared to control. Sensory properties of cake samples with isolate were found to be different than the control sample. Plant-based meatballs with 5 g/100 g isolate was found to be the closest to control in terms of cooking properties. Use of bean protein isolate in meatballs resulted in a colour difference ($\Delta E^* > 3$) which increased as the amount of isolate increased. Hardness and cohesiveness of meatballs with isolate were found to be lower than that of control. On the other hand, elasticity and chewiness of meatballs with 3 g/100 g and 5 g/100 g isolate were found to be higher compared to control. Finally, sensory properties of meatballs with 3 g/100 g and 5 g/100 g isolate were found to be similar to control. Our findings indicate that Akkus sugar bean can be utilized as a plant protein source in various food products with some modifications in formulation.

Keywords: Bean protein, Legume, Product application.

1. Giriş

Günümüzde tüketici tercihleri, ekonomik nedenler ve sağlık ile ilgili gerekliliklerden dolayı bitkisel kaynaklardan elde edilen proteinlere yönelik gittikçe artan bir talep bulunmaktadır. Çeşitli gıda ürünlerinde hayvansal kaynaklardan elde edilen proteinlerin yerine kullanılabilir bitkisel kaynaklı protein arayışında baklagiller yüksek protein içerikleri ile ön plana çıkmaktadır (Asgar ve ark., 2010). Asit veya alkali ile ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme, tuz ile ekstraksiyon/misel çöktürme, hava ile ayırma ve ultrafiltrasyon gibi çeşitli metotlar kullanılarak bitkisel kaynaklardan protein konsantre ve izolatları üretilmektedir (Boye ve ark., 2010). Baklagillerden elde edilen proteinler su ve yağ tutma, emülsiyon oluşturma, köpük oluşturma ve jelleşme gibi çeşitli fonksiyonel özellikler de gösterdiklerinden; pek çok gıda ürünüde bileşen olarak kullanılmaya potansiyeline sahiptirler (Boye ve ark., 2010).

Kuru fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.), ülkemizde nohut ve mercimekten sonra en fazla tarımı gerçekleştirilen baklagildir (Aydoğan ve ark., 2015; Çulal Kılıç ve ark., 2020; Yolci, 2020). Anadolu'da, iklim şartlarındaki farklılıklar sebebiyle yetiştirilen fasulyelerde zengin çeşitlilik gelişmiştir (Yeken ve ark., 2018). Besin öğeleri açısından zengin bir bileşime sahip olan kuru fasulye, yaklaşık olarak 20-25 g/100 g protein, 60 g/100 g karbonhidrat, 0,7-1,5 g/100 g oranında yağ içerirken; çeşitlerine göre farklı oranda vitamin, mineral ve fitokimyasallar da içermektedir (Azarpazhoo & Boye, 2013). Güncel çalışmalarda son yıllarda öne çıkan bileşenlerden olan fasulye proteinleri, albüminler ve globülinler gibi depo proteinlerini ve enzim inhibitörleri ve lektinler gibi bazı metabolik proteinleri kapsamaktadır (Sathe, 2002). Çeşitli yöntemlerle izole edilen fasulye proteinlerinin su ve yağ tutma kapasitesi, köpük oluşturma ve emülsiyon oluşturma gibi fonksiyonel özellikleri çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda incelenmiştir (Ferreira ve ark., 2018; He ve ark., 2018; Lafarge ve ark., 2018).

Bu çalışmada, farklı oranlarda fasulye proteini izolatı kullanımının fırıncılık ve et ürünlerinin çeşitli kalite özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Tamamen bitkisel kaynaklı hammaddelerin kullanıldığı ürün bileşimleri ile çalışılmış; model ürün olarak fırıncılık ürünleri grubundan kek ve et ürünleri grubundan köfte model gıdalar olarak seçilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyaller

Çalışmada kullanılan fasulye unu, yerel üreticiden temin edilen Akkuş şeker fasulyesinin (*Phaseolus vulgaris* L.) laboratuvar ölçekli öğütücüde (A11 Basic, IKA®-Werke GmbH & Co., Staufen, Almanya) en yüksek hızda 2 dakika süre ile

öğütülmesi ile elde edilmiştir. Kek ve köfte üretiminde kullanılan malzemeler (Tablo 1 & 2) yerel marketlerden temin edilmiştir. Kek karışımının hazırlanmasında; buğday unu (Migros), şeker (Migros), yumurta (Yumurtacı), pastörize süt (Sütaş), kakao (Dr. Oetker), şekerli vanilin (Destan), ayçiçek yağı (Bizim Yağ), kabartma tozu (Piyale) ve karbonat (Anadolu Mutfağı) kullanılmıştır. Köfte karışımının hazırlanmasında ise; buğday unu (Migros), bezelye proteini konsantresi (Veggy), keten tohumu (Hekimce), mısır nişastası (Piyale), galeta unu (Piyale), karbonat (Anadolu Mutfağı), domates salçası (Tamek), biber püresi (Tamek), karabiber, kekik, kimyon (Anadolu Mutfağı), tuz (Billur), ayçiçek yağı (Bizim Yağ) ve kara havuç suyu konsantresi (Aromsa A.Ş) kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup Sigma-Aldrich ve Merck'ten temin edilmiştir.

2.2. Fasulye Proteini İzolatı Eldesi

Fasulye proteini izolatı alkali ekstraksiyon – ioelektrik çöktürme metodu ile elde edilmiştir (Ferreira ve ark., 2018). Fasulye taneleri, öğütücü aracılığıyla ince bir un yapısı elde edilene kadar öğütülmüştür. Fasulye unu 1:10 oranında distile su ile karıştırılarak 0,1 N NaOH ile pH 9,0'a ayarlanmış ve bir saat süre ile manyetik karıştırıcı (IKA®RCT Basic, IKA, Staufen, Almanya) ile oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Karışım 11000 rpm'de 4°C'de 25 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Süpernetant bir behere alınarak pH'ı 1 M HCl ile 4,5'a ayarlanmıştır ve 11000 rpm, 4°C'de 25 dakika süre ile santrifüj edilmiştir. Dibe çökmüş olan proteinden süpernetant ayrılmış, oluşan çökeltiden suyu uzaklaştırma işlemi, dondurarak kurutucu (Alpha 1-2 LD plus, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Almanya) yardımıyla -50°C'de 18 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen toz formdaki protein izolatı sıkıca kapalı bir kap içerisinde 4°C'de depolanmıştır.

2.3. Kek ve Köfte Numunelerinin Bileşimi ve Hazırlanması

Kek numunelerinin hazırlanmasında Jarpa-Parra ve ark.(2017)'nin çalışmasında kullanılan formülasyondan yararlanılmış; yumurta ve süt içeren kontrol örneği ve 1, 3 ve 5 g/100 g oranlarında fasulye proteini izolatı içeren örnekler olmak üzere toplam dört farklı örnek hazırlanmıştır (Tablo 1). Fasulye proteini izolatı kekte yumurta ve sütü ikame etme amacıyla kullanılmıştır. Tamamen bitkisel bazlı kek formülasyonu geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kontrol örneği hazırlanırken öncelikle yumurta ve şeker elektrikli karıştırıcı yardımı ile en yüksek devirde 5 dakika boyunca çırpılmıştır. Fasulye proteini içeren numunelerde ise öncelikle fasulye proteini izolatı oda sıcaklığındaki içme suyu içerisinde çözündürülmüştür. İzolat çözeltisi, şeker ilave edilerek elektrikli karıştırıcı yardımı ile en yüksek devirde 5 dakika boyunca köpük oluşumu gözlenene dek çırpılmıştır. Ardından sıvı yağ ilave edilmiş ve 2 dakika daha çırpma işlemi sürdürülmüştür. Son olarak toz bileşenler (buğday

unu, kakao, kabartma tozu, karbonat, şekerli vanilin) ilave edilmiş ve karışım homojen hale getirildikten sonra karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Hazırlanan karışım, karton kek kalıplarına

aktararak, 180°C’de önceden ısıtılmış elektrikli fırında 40 dakika süreyle pişirilmiştir.

Tablo 1. Kek Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılan Formülasyonlar

Bileşen (g/100 g)	Kontrol	1 g/100 g İzolat	3 g/100 g İzolat	5 g/100 g İzolat
Buğday unu	18,50	18,50	18,50	18,50
Şeker	23,00	23,00	23,00	23,00
Fasulye Proteini izolatı	-	1,00	3,00	5,00
Su	-	39,00	37,00	35,00
Yumurta	13,00	-	-	-
Süt	27,00	-	-	-
Kakao	2,75	2,75	2,75	2,75
Vanilin	1,35	1,35	1,35	1,35
Ayçiçek yağı	14,00	14,00	14,00	14,00
Kabartma tozu	0,20	0,20	0,20	0,20
Karbonat	0,20	0,20	0,20	0,20

Bitkisel bazlı köfte numunelerinin hazırlanmasında buğday unu ve bezelye proteini içeren kontrol örneği ile 1, 3 ve 5 g/100 g oranlarında fasulye proteini izolatı içeren örnekler olmak üzere dört farklı örnek hazırlanmıştır (Tablo 2). Öncelikle keten tohumunun üzerine su ilave edilerek jel formu alana kadar +4°C’de 20 dakika süreyle bekletilmiştir. Ardından fasulye proteini izolatı su içerisinde çözdürülerek izolat çözeltileri elde edilmiştir. Havuç, soğan, sarımsak gibi bileşenler rende yardımı ile küçük parçalara ayrılmıştır. İzolat çözeltisi, keten tohumu, toz bileşenler (fasulye unu, mısır nişastası, galeta unu, kekik, kimyon, karabiber, karbonat, tuz) ve diğer bileşenler (havuç, soğan, sarımsak, biber püresi, domates salçası) bir kap içerisinde eklenerek homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Ardından sıvı yağ ilave edilmiştir. En son aşamada kırmızı et benzeri renk elde edilebilmesi için kara havuç suyu konsantresi ilave edilmiş ve karıştırma işlemi tekrarlanmıştır. Elde edilen karışımdan; 6 cm çapında ve 1 cm kalınlığında köfteler hazırlanmış ve önceden ısıtılmış kızgın ayçiçek yağında, her bir yüzü 2,5 dakika olacak şekilde toplam 5 dakika süreyle orta ateşte kızartılmıştır.

2.4. Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

2.4.1. Besin Öğeleri Kompozisyonu

Fasulye unu, fasulye proteini izolatı, kek ve köfte numunelerinin besin öğeleri kompozisyonu AOAC resmi metodları esas alınarak belirlenmiştir (AOAC, 1990).

2.4.2. Kek Numunelerine Uygulanan Analizler

Kek hamurunun özgül ağırlığı Paraskevopoulou ve ark. (2015) tarafından tanımlanan metot esas alınarak; kek hamurunun

ağırlığının, eşit hacimdeki saf suyun ağırlığına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Kek verimi ve pişme kaybı Dizlek & Altan (2013) tarafından tanımlanan metoda göre belirlenmiştir. Kek yüksekliği Jarpa-Parra ve ark. (2017) tarafından belirtildiği gibi, kek numuneleri ortadan dikey olarak kesilerek ve en yüksek noktanın yüksekliği ölçülerek tayin edilmiştir. Tekstür Profili Analizi (TPA) ise, pişirme işleminin üzerinden yaklaşık 3 saat geçtikten sonra keklere Guadarrama-Lezama ve ark. (2016) tarafından tanımlanan metotta bazı değişiklikler yapılarak, Lloyd TAPlus tekstür analiz cihazı (Lloyd, İngiltere) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler analiz için 20 mm x 20 mm x 20 mm boyutlarında küpler halinde kesilmiştir. Analizde 25 mm çaplı silindirik aparat kullanılmış, test hızı 1 mm/s, gerilme %40 ve trigger yükü 10 g olarak ayarlanmıştır. TPA ile kek numunelerinde sertlik, yapışkanlık, esneklik, çiğnenebilirlik ve katılık parametreleri tayin edilmiştir. Kek numunelerinin renk ölçümü ve kontrol numunesi ile diğer numuneler arasındaki toplam renk farkı (ΔE^*) hesabı, Jarpa-Parra ve ark. (2017) tarafından tanımlanan metoda göre, Konica Minolta Chroma Meter CR-400 renk ölçüm cihazı (Konica Minolta, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları CIE (L^* , a^* , b^*) sistemi ile ifade edilmiştir. Esmerleşme indeksi ise Shaabani ve ark. (2018) tarafından tanımlanan metoda göre aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}}$$

Tablo 2. Bitkisel Bazlı Köfte Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılan Formülasyonlar

Bileşen (g/100 g)	Kontrol	1 g/100 g İzolat	3 g/100 g İzolat	5 g/100 g İzolat
Buğday unu	19,80	-	-	-
Fasulye unu	-	19,80	19,80	19,80
Fasulye proteini izolatu	-	1,00	3,00	5,00
Bezelye proteini konsantresi	6,80	-	-	-
Su	26,57	32,35	30,35	28,35
Keten tohumu	3,30	3,50	3,50	3,50
Mısır nişastası	3,30	3,30	3,30	3,30
Galeta unu	3,30	3,30	3,30	3,30
Karbonat	0,09	0,09	0,09	0,09
Havuç	9,90	9,90	9,90	9,90
Soğan	10,60	10,6	10,60	10,60
Sarımsak	0,72	0,72	0,72	0,72
Domates salçası	1,98	1,98	1,98	1,98
Biber püresi	1,98	1,98	1,98	1,98
Karabiber	0,20	0,20	0,20	0,20
Kekik	0,09	0,09	0,09	0,09
Kimyon	0,17	0,17	0,17	0,17
Tuz	1,02	1,02	1,02	1,02
Ayçiçek yağı	10,18	10,18	10,18	10,18
Kara havuç suyu konsantresi	0,15	0,15	0,15	0,15

2.4.3. Köfte Numunelerine Uygulanan Analizler

Köfte numunelerinde pişme verimi, pişme kaybı ve nem tutma yüzdeleri Kumar & Sharma (2004) tarafından tanımlanan metoda göre gerçekleştirilmiştir. Pişme özelliklerinin belirlenebilmesi için öncelikle köftelerin kızartmadan önceki ağırlığı, kalınlığı ve çapı ölçülmüştür. Aynı ölçümler köfteler kızartıldıktan sonra tekrar edilmiştir. Köfte numunelerinin pişme verimi yüzdesi; pişmiş köfte ağırlığının çiğ ağırlığa oranının 100 ile çarpılması ile hesaplanmıştır. Pişme kaybı yüzdesi ise; pişmiş ağırlık ile çiğ ağırlık arasındaki farkın, çiğ ağırlığa bölünerek 100 ile çarpılması ile elde edilmiştir. Pişirme işleminin üzerinden yaklaşık 2 saat geçtikten sonra köftelerin tekstür profili analizi ise Turp (2016) tarafından tanımlanan metotta bazı değişiklikler yapılarak, Lloyd TAPlus tekstür analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler analiz için 15 mm x 15 mm x 15 mm boyutlarında küpler halinde kesilmiştir. Analizde 25 mm çaplı silindirik aparat kullanılmıştır. Test hızı 5 mm/s, gerilme %40, trigger yükü 5 g olarak ayarlanmıştır. Numuneler aparatın her inişi arasında 5 saniye ve uzaklık 10 mm olacak şekilde iki kez sıkıştırılmıştır. Tekstür profili analizi ile köfte numunelerinde sertlik, esneklik, çiğnenebilirlik ve katılık tayin edilmiştir. Köftelerde renk ölçümü kızartma işleminde 30 dakika sonra Serdaroğlu ve ark. (2005) tarafından tanımlanan metoda göre Konica Minolta Chroma Meter CR-400 renk ölçüm cihazı (Konica Minolta, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir.

2.4.4. Duyusal Analiz

Kek ve köfte numunelerine uygulanan duyusal analiz, 20-56 yaşları arasında, 20 eğitimsiz panelist (12 kadın, 8 erkek) ile gerçekleştirilmiştir. Panelistlere Meilgaard ve ark. (2007) tarafından tanımlandığı şekilde, kontrole göre farklılık testi uygulanmıştır. Her örnek; panelistlerin aralarında ilişki

kuramayacağı şekilde, rastgele üç haneli kod ile etiketlenmiştir. Örnekler; kontrol ile birlikte ikili gruplar halinde panelistlere sunulmuş ve kontrol ile bir diğer numunenin arasındaki farklılığı 0 ile 10 arasında puanlamaları istenmiştir. Bu puanlama 0; tamamen aynı, 10; tamamen farklı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.5. İstatistiksel Analiz

Tüm ölçümler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analiz için SPSS (Versiyon 15, IBM, ABD) programı kullanılmıştır. Besin öğeleri kompozisyonu ve ürün kalite özellikleri arasındaki farklılıklar Tek-Yollu ANOVA ve Scheffe Testi ile; duyu analizi sonuçları arasındaki farklılıklar ise Dunnett Çoklu Karşılaştırma Testi ile $p < 0,05$ önem düzeyinde belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Besin Öğeleri Kompozisyonu

Çalışmada kullanılan fasulye ununun ve bu undan alkali ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme metodu ile elde edilen fasulye proteini izolatının besin öğeleri kompozisyonu Tablo 3'te gösterilmiştir. Sánchez-Arteaga ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada 6 farklı türe ait fasulye unlarının kompozisyonu analiz edilmiştir. Bu çalışmaya göre fasulye unlarının protein oranları 20,0 ila 22,6 g/100 g arasında, yağ oranları 0,9 ila 1,8 g/100 g arasında, kül oranları 4,2 ila 7,2 g/100 g arasında, nem oranları ise 6,4 ila 8,9 g/100 g arasında bulunmuştur. Alves ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen farklı bir çalışmada ise iki farklı fasulye türü incelenmiş ve kabukları ayrılmamış fasulyelerden elde edilen unların protein içeriği 21,2 g/100 g, yağ içeriği 1,4 g/100 g, kül içeriği 5,2 g/100 g, nem içeriği ise 11,8 g/100 g olarak

rapor edilmiştir. Bu bağlamda çalışmamızda kullanılan fasulye ununun protein içeriği (21,2 g/100 g) literatürdeki çalışmalarda rapor edilen değerlere benzerlik göstermektedir. Toplam yağ, kül ve nem değerleri arasında görülen farklılıkların ise fasulye türü, yetiştirildiği coğrafi bölge ve iklim koşulları gibi farklılıklardan etkilenebileceği bildirilmiştir.

Çalışmamızda fasulye unundan alkali ekstraksiyon-izoelektrik çöktürme metodu ile elde edilen fasulye proteini izolatinin protein içeriği 85,5±1,2 g/100 g olarak bulunmuştur (Tablo 3). Wani ve ark. (2015) tarafından 5 farklı fasulye türünden alkali ekstraksiyon-izoelektrik çöktürme metodu ile elde edilen

protein izolatlarının protein içeriği 77,0 ila 84,0 g/100 g arasında bulunmuştur. Bir başka çalışma ise Rui ve ark. (2011) tarafından 9 farklı fasulye türü ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yağ uzaklaştırılmış fasulye unundan elde edilen izolatların protein içerikleri 84,0 ila 89,3 g/100 g arasında bulunmuştur. Bitkisel kaynaklardan elde edilen protein izolatlarında protein ekstraksiyon verimi çalışılan hammadde türü, ekstraksiyonda kullanılan yöntem, un:solvent oranı, sıcaklık, pH, süre gibi çalışma koşullarından etkilenmekle beraber; çalışmamızda elde edilen fasulye proteini izolatinin protein oranının literatürdeki çalışmalarda rapor edilen değerlere benzer olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Fasulye Unu ve Fasulye Proteini İzolatının Besin Öğeleri Kompozisyonu¹

	Nem (g/100 g)	Protein (g/100 g)	Yağ (g/100 g)	Karbonhidrat ² (g/100 g)	Kül (g/100 g)
Fasulye unu	13,6 ± 0,1	21,2 ± 0,2	0,8 ± 0,0	60,7	3,7 ± 0,1
Fasulye proteini izolatu	5.1 ± 0.4	85,5 ± 1,2	0.8 ± 0.1	5,5	3.1 ± 0.1

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

² Karbonhidrat içeriği, protein, nem, yağ ve kül içerikleri belirlendikten sonra 100 g'dan çıkarılarak hesaplanmıştır.

3.2. Fasulye Proteini İzolatının Kek Numunelerinin Kalite Özelliklerine Etkisi

Kek numunelerinin besin öğeleri kompozisyonu Tablo 4'te gösterilmiştir. Beklendiği üzere, formülasyona eklenen fasulye proteini izolatu oranı arttıkça kek numunelerinin protein içeriği de artmıştır. Yumurta ve süt içeren kontrol numunesinin nem içeriğinin fasulye proteini izolatu içeren numunelerin nem içeriğinden yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Çalışmamıza benzer olarak, Lin ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada yumurta yerine soya protein izolatu kullanılmış ve izolat içeren numunenin nem içeriğinin kontrol numunesine göre düşük olduğu görülmüş ve bu durumun baklagil proteinlerinin su tutma

kapasitesinin yumurta proteinlerinin su tutma kapasitesinden düşük olmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir. Fasulye proteini izolatu içeren numunelerde izolat oranı arttıkça nem içeriğinin de arttığı görülmüştür. Yumurta ve süt içeren kontrol numunesinin yağ içeriğinin fasulye proteini izolatu içeren numunelerin yağ içeriğinden yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Kontrol numunesinin yağ içeriği (15,2 g/100 g) ile fasulye proteini izolatu içeren numunelerin ortalama yağ içeriği (14,8 g/100 g) arasındaki fark ürünün toplam kalori değerinde önemli bir değişikliğe neden olacak düzeyde değildir. Öte yandan; yağ içeriğindeki farkın ürünün ağız hissi ve çiğnenebilirlik gibi duyu özelliklerinde fark yaratabileceği göz önünde bulundurulması gereken bir faktördür.

Tablo 4. Kek Numunelerinin Besin Öğeleri Kompozisyonu¹

	Nem (g/100 g)	Protein (g/100 g)	Yağ (g/100 g)	Karbonhidrat ² (g/100 g)	Kül (g/100 g)
Kontrol	32,5 ± 0,0 ^a	4,3 ± 0,0 ^c	15,2 ± 0,1 ^a	47,0	1,0 ± 0,0 ^a
1 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek	27,2 ± 0,2 ^d	4,1 ± 0,1 ^c	14,7 ± 0,0 ^b	53,2	0,8 ± 0,0 ^b
3 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek	28,6 ± 0,2 ^c	5,6 ± 0,1 ^b	14,9 ± 0,1 ^b	50,0	0,9 ± 0,1 ^{ab}
5 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek	29,6 ± 0,1 ^b	7,2 ± 0,1 ^a	14,8 ± 0,0 ^b	47,5	0,9 ± 0,1 ^{ab}

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$).

² Karbonhidrat içeriği, protein, nem, yağ ve kül içerikleri belirlendikten sonra 100 g'dan çıkarılarak hesaplanmıştır.

Kek numunelerinin pişme ile ilgili fiziksel özellikleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Fasulye proteini izolatu içeren kek numunelerinin hamur özgül ağırlığının kontrol numunesine göre yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Çalışmamıza benzer sonuçlar soya proteini izolatu (Lin ve ark., 2017) ve mercimek proteini izolatu (Jarpa-Parra ve ark., 2017) içeren kekler için de rapor edilmiştir. Özgül ağırlıktaki artışın hamura daha az hava girişinin göstergesi olduğu bildirilmiş ve bu durum baklagil

kaynaklı proteinlerin köpük oluşturma kapasitesinin iyi olmasına karşın yumurta proteinlerinden düşük olması ile açıklanmıştır. Formülasyonda kullanılan proteinin elde edildiği kaynak etkili bir parametre olmakla birlikte; ürünün nem içeriğinde gözlenen farklar da hamur özgül ağırlığına etki edebilmektedir. Fasulye proteini izolatu içeren numunelerde izolat oranı arttıkça kek yüksekliğinin ve kek veriminin arttığı, pişme kaybının ise azaldığı görülmüştür ($p<0,05$). Kek verimi hamurdan uzaklaşan su ile

azaldığından, kek veriminin artmasına sebep olarak artan protein oranı ile su tutma kapasitesinin artması gösterilmektedir. Kek yüksekliğindeki iyileşme ise, hamurun viskoelastik özelliklerinin

izolat ilavesi ile gelişmesi ve çırpma sırasında daha fazla hava tutması ile ilişkilendirilmektedir (Shevkani & Singh, 2014).

Tablo 5. Kek Numunelerinin Fiziksel Özellikleri¹

	Hamur Özgül Ağırlığı	Kek Verimi (%)	Pişme Kaybı (%)	Yükseklik (mm)
Kontrol	1,15 ± 0,00 ^c	90,7 ± 0,1 ^a	9,3 ± 0,1 ^c	25,3 ± 0,6 ^b
1 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek	1,17 ± 0,00 ^b	88,9 ± 0,0 ^c	11,1 ± 0,0 ^a	21,0 ± 1,0 ^c
3 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek	1,19 ± 0,00 ^a	90,1 ± 0,0 ^b	9,9 ± 0,0 ^b	23,7 ± 1,2 ^b
5 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek	1,17 ± 0,01 ^b	90,2 ± 0,2 ^b	9,8 ± 0,2 ^b	28,3 ± 0,6 ^a

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p < 0,05$).

Kek numunelerinin kabuk ve iç renklerine ait parametreler ve esmerleşme indeksi değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Ölçümde kullanılan CIE renk parametreleri L^* ($L^* = 0$; siyah ve $L^* = 100$; beyaz), a^* ($-a^*$; yeşillik ve $+a^*$; kırmızılık) ve b^* ($-b^*$; mavilik ve $+b^*$; sarılık) değerleridir (Baixauli ve ark., 2008). Fasulye proteini izolatu içeren numunelerde izolat oranı arttıkça kabukta L^* değerlerinin azaldığı ($p < 0,05$); dolayısıyla siyaha yakınlığın

arttığı görülmüştür. Kek numunelerinin kabuk ve iç renklerine ait a^* ve b^* parametreleri ise değişkenlik göstermiştir. Baklagil kaynaklı protein ilaveli keklerde kabuk renginin Maillard reaksiyonundan ve pişirme sırasında gerçekleşen karamelizasyondan etkilendiği, iç renginin ise formülasyonda kullanılan hammaddelerden etkilendiği bildirilmiştir (Majzoobi ve ark., 2013; Lin ve ark., 2017).

Tablo 6. Kek Numunelerinin Renk Parametreleri¹

	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	Esmerleşme indeksi
Kontrol					
Kabuk	28,71 ± 0,23 ^a	9,13 ± 0,17 ^a	9,60 ± 0,26 ^a	-	63,12 ^a
İç	20,26 ± 0,73 ^d	9,66 ± 0,29 ^d	10,65 ± 0,41 ^d	-	106,28 ^d
1 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek					
Kabuk	22,81 ± 0,36 ^b	4,35 ± 0,29 ^b	2,85 ± 0,01 ^c	10,17 ^b	26,73 ^b
İç	19,58 ± 0,37 ^{df}	10,33 ± 0,06 ^e	10,76 ± 0,37 ^d	1,04 ^d	114,28 ^d
3 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek					
Kabuk	17,44 ± 0,47 ^c	2,70 ± 0,29 ^c	3,24 ± 0,14 ^c	14,46 ^a	31,54 ^b
İç	14,39 ± 0,65 ^e	7,42 ± 0,15 ^f	9,98 ± 0,34 ^d	6,32 ^c	145,52 ^c
5 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek					
Kabuk	15,87 ± 1,19 ^c	4,02 ± 0,14 ^b	5,43 ± 0,22 ^b	14,45 ^a	60,18 ^a
İç	18,11 ± 0,38 ^f	4,50 ± 0,12 ^e	5,80 ± 0,06 ^e	7,40 ^c	56,18 ^e

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde (kabuk ve iç olarak iki grup halinde değerlendirilmiş) farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p < 0,05$).

Kontrol numunesi ile farklı oranlarda izolat içeren kek numunelerinin arasındaki renk farkı (ΔE^*) formülasyonda kullanılan fasulye proteini izolatu oranından etkilenmiştir. Kontrol numunesi ile diğer numuneler arasındaki ΔE^* değeri 3 ve üzerinde ise renk farkının insan gözü ile algılanabilecek düzeyde olduğu bildirilmiştir (Baixauli ve ark., 2008). Bu bağlamda çalışmamızda fasulye proteini izolatu içeren numunelerdeki renk farkı gözle ayırt edilebilecek düzeydedir. Özellikle kullanılan izolat oranı arttıkça hem kek kabuk rengi hem de iç rengi için bu farkın da arttığı görülmüştür ($p < 0,05$). İzolat içeren kek numunelerinde izolat oranı arttıkça kabukta esmerleşme indeksinin de arttığı görülmüştür ($p < 0,05$). Benzer sonuçlar fasulye, bezelye ve amarant proteini izolatu içeren kek numuneleri için de rapor edilmiş ve bunun nedeninin, artan protein oranı ile

birlikte Maillard reaksiyonuna girebilecek amino asit oranının da artması olabileceği ortaya konmuştur (Shevkani & Singh, 2014).

Kek numunelerinin tekstür analizi sonuçları Tablo 7'de gösterilmiştir. Fasulye proteini izolatu içeren kek numunelerinin sertlik değerinin kontrol numunesine göre düşük olduğu gözlenmiştir ($p < 0,05$). Kek numunelerin nem içeriği ile sertlik değerleri arasında pozitif korelasyon olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Nem içeriği yüksek olan kontrol numunesinin sertlik değeri, fasulye proteini izolatu içeren numunelerin sertlik değerinden önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$). Ürünün nem içeriği formülasyonda kullanılan proteinlerin su tutma kapasitesinden etkilenmektedir. Formülasyonda kullanılan izolat oranı arttıkça ürünün nem içeriğinin ve sertlik değerinin de

arttığı görülmüştür. Buna karşılık, nohut proteini izolatu (Shaabani ve ark., 2018) ve çeşitli baklagil unları (Gularte ve ark., 2011) ilave edilen keklerde baklagil proteini veya ununun miktarı arttıkça sertlik değerinin de arttığı bildirilmiştir. Kohezyon kapasitesi ve esnekliğin, ürün formülasyonunda bulunan proteinlerin geliştirdiği elastik ağ yapıdan etkilendiği bildirilmiştir (Moore ve ark., 2004; Wilderjans ve ark., 2008). Ürünün ağız hissi ve çiğnenebilirliği ile ilişkilendirilen kohezyon

kapasitesinin fasulye proteini izolatu içeren kek numunelerinde kontrol numunesine göre düşük olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Genel olarak ürünün tazelik hissi ile ilişkilendirilen esneklik değerlerinin ise fasulye protein izolatu oranından etkilendiği; 3 g/100 g oranında izolat içeren numunenin esneklik değerinin kontrol numunesi ile benzer olduğu bulunmuştur. İzolat içeren kek numunelerinin çiğnenebilirlik ve katılık değerlerinin ise kontrole göre düşük olduğu görülmüştür ($p<0,05$).

Tablo 7. Kek Numunelerinin Tekstür Özellikleri¹

	Sertlik (gf)	Kohezyon Kapasitesi	Esneklik (mm)	Çiğnenebilirlik (Nmm)	Katılık (kgf/mm)
Kontrol	375,92 ± 20,62 ^a	0,40 ± 0,02 ^a	4,54 ± 0,17 ^b	9,89 ± 0,48 ^a	0,07 ± 0,00 ^a
1 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek	184,65 ± 17,26 ^b	0,35 ± 0,03 ^{ab}	2,67 ± 0,03 ^c	2,44 ± 0,23 ^b	0,04 ± 0,00 ^b
3 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek	191,38 ± 7,24 ^b	0,15 ± 0,01 ^c	4,52 ± 0,22 ^b	0,87 ± 0,03 ^c	0,04 ± 0,00 ^b
5 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren kek	221,57 ± 5,02 ^b	0,33 ± 0,02 ^b	5,52 ± 0,33 ^a	0,78 ± 0,05 ^c	0,04 ± 0,02 ^b

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$).

Eğitimsiz panelistler ile gerçekleştirilen kontrole göre farklılık testine göre, fasulye proteini izolatu içeren kek numunelerinin lezzet, renk ve doku gibi duyuşal özelliklerinin kontrol numunesinden farklı olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Panelistler tarafından algılanan farkta izolat içeren keklerin tekstür özelliklerinin (Tablo 7) ve nem içeriğinin (Tablo 4) kontrolden belirgin ölçüde farklı olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Bu bakımdan fasulye proteini izolatu içeren bitkisel bazlı kek formülasyonlarının iyileştirmeye açık olduğu görülmektedir.

3.3. Fasulye Proteini İzolatının Bitkisel Bazlı Köfte Numunelerinin Kalite Özelliklerine Etkisi

Bitkisel bazlı köfte numunelerinin besin öğeleri kompozisyonu Tablo 8'de gösterilmiştir. Kontrol numunesi ile fasulye proteini izolatu içeren numunelerin nem içerikleri benzer bulunmuştur. Bu bulgu, çalışmada kullanılan fasulye proteini

izolatının su tutma kapasitesinin kontrol numunesindeki bezelye proteini konsantresinin su tutma kapasitesine benzer olduğuna işaret etmektedir. Ancak ürün formülasyonları söz konusu olduğunda; fasulye proteini izolatu içeren numunelerin su içeriğinin kontrol numunesinden yüksek olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır (Tablo 2). Buna karşılık kontrol numunesinin protein içeriği, 1 g/100 g ve 3 g/100 g oranında izolat içeren numunelerin protein içeriğinden yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Kontrol numunesinin formülasyonunda kullanılan bezelye proteini konsantresinin miktarı, konsantrenin protein içeriği (66,5 g/100 g) dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışılan numuneler içerisinde 5 g/100 g oranında izolat içeren köfte numunesinin protein içeriği kontrol ile benzer bulunmuştur. Buna karşılık izolat içeren köfte numunelerinin yağ içeriği, kontrol numunesinden yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Bu bulgunun olası nedeni bu çalışmada elde edilen fasulye proteini izolatatının yağ tutma kapasitesinin ticari bezelye proteini konsantresinden yüksek olabileceğidir.

Tablo 8. Bitkisel Bazlı Köfte Numunelerinin Besin Öğeleri Kompozisyonu¹

	Nem (g/100 g)	Protein (g/100 g)	Yağ (g/100 g)	Karbonhidrat ² (g/100 g)	Kül (g/100 g)
Kontrol	38,7 ± 1,3 ^a	8,5 ± 0,2 ^a	17,1 ± 0,3 ^b	33,3	2,4 ± 0,2 ^b
1 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte	40,4 ± 3,1 ^a	6,6 ± 0,3 ^b	19,6 ± 0,1 ^a	30,6	2,8 ± 0,1 ^a
3 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte	39,5 ± 2,7 ^a	7,2 ± 0,3 ^b	19,6 ± 0,1 ^a	31,0	2,7 ± 0,1 ^a
5 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte	43,5 ± 0,3 ^a	7,9 ± 0,1 ^a	19,6 ± 0,1 ^a	26,3	2,7 ± 0,1 ^{ab}

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$).

² Karbonhidrat içeriği, protein, nem, yağ ve kül içerikleri belirlendikten sonra 100 g'dan çıkarılarak hesaplanmıştır.

Bitkisel bazlı köfte numunelerinin pişme ile ilgili fiziksel özellikleri Tablo 9'da gösterilmiştir. En yüksek verim (~%94,6) ve en düşük pişme kaybı (~%5,4) gözlenen numunelerin kontrol ve 5 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte numunesi olduğu görülmüştür. Bu numunelerin aynı zamanda en yüksek oranda

protein içeren numuneler (Tablo 8) olduğu dikkat çekmektedir. Serdaroğlu ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada çeşitli baklagil unlarının köfte formülasyonunda kullanımının ürünün fiziksel ve pişme özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada börülce, nohut ve mercimek unları ile yapılan ürünlerin köfte

verimi %88,6-93,2 arasında bulunmuştur (Serdaroğlu ve ark., 2005). Bu değerler ile çalışmamızda elde edilen değerlerin benzerlik gösterdiği görülmüştür. Kontrol numunesi ile

karşılaştırıldığında 1 g/100 g ve 5 g/100 g oranında fasulye proteini izolatu içeren numunelerin nem tutma kapasitesinin kontrol örneğinden yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$).

Tablo 9. Bitkisel Bazlı Köfte Numunelerinin Pişme ile İlgili Fiziksel Özellikleri¹

	Köfte Verimi (%)	Pişme Kaybı (%)	Nem Tutma (%)
Kontrol	94,8 ± 0,1 ^a	5,2 ± 0,1 ^c	36,7 ± 0,0 ^c
1 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte	93,6 ± 0,0 ^b	6,4 ± 0,0 ^b	40,7 ± 0,0 ^a
3 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte	92,9 ± 0,1 ^b	7,2 ± 0,1 ^a	36,7 ± 0,0 ^c
5 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte	94,4 ± 0,3 ^a	5,6 ± 0,3 ^c	38,1 ± 0,1 ^b

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$).

Bitkisel bazlı köfte numunelerinin kabuk ve içlerine ait renk parametreleri Tablo 10'da gösterilmiştir. Et ürünlerinde renk özellikleri tüketici beğenisini kazanma ve kabul edilebilirlik gibi faktörler üzerinde önem taşımaktadır. Formülasyonda kullanılan fasulye proteini izolatu oranı arttıkça köfte kabuğunda L* değerlerinin arttığı ($p<0,05$); dolayısıyla kabuk renginin açıldığı ve kontrolden farklılaştığı görülmüştür. İzolat içeren numunelerin yağ içeriğinin kontrol numunesine göre önemli ölçüde yüksek olması ve ürün yüzeyinin daha parlak olarak algılanmasına neden olması da bu bulgu için olası bir etkidir (Tablo 8). Yine izolatu oranı arttıkça kabukta a* ve b* değerlerinin arttığı; yani renkte kırmızılığa ve sarılığa doğru bir eğilim olduğu gözlemlenmiştir.

Literatürde baklagil proteinleri kullanılan ürünlerde gözlemlenen renk farkının, ekstraksiyon işlemi sırasında proteine bağlı fenolik bileşiklerin varlığı ve pişirme sırasında ortaya çıkan Maillard reaksiyonlarından kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Hera ve ark., 2012; Jarpa-Parra ve ark., 2017). Çalışmamızda kontrol numunesi ile farklı oranlarda izolatu içeren köfte numunelerinin arasındaki renk farkı (ΔE^*) formülasyonda kullanılan fasulye proteini izolatu oranından etkilenmiştir. İzolat içeren numunelerdeki renk farkı gözle ayırt edilebilecek düzeydedir. Köfte formülasyonunda kullanılan izolatu oranı arttıkça hem ürün kabuğu hem de içi için bu renk farkının arttığı görülmüştür ($p<0,05$).

Tablo 10. Bitkisel Bazlı Köfte Numunelerinin Renk Parametreleri¹

	L*	a*	b*	ΔE^*
Kontrol				
Kabuk	34,73 ± 1,42 ^b	11,40 ± 0,24 ^c	16,43 ± 0,80 ^b	-
İç	46,23 ± 0,13 ^c	9,60 ± 0,21 ^f	29,23 ± 0,93 ^c	-
1 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte				
Kabuk	37,54 ± 0,17 ^a	10,37 ± 0,17 ^c	18,27 ± 0,66 ^b	3,91 ^c
İç	41,40 ± 2,35 ^d	11,41 ± 0,75 ^e	21,56 ± 1,28 ^e	9,83 ^d
3 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte				
Kabuk	38,35 ± 0,99 ^a	13,85 ± 0,62 ^b	22,24 ± 0,63 ^a	7,29 ^b
İç	42,03 ± 1,99 ^{cd}	10,68 ± 0,16 ^{de}	19,25 ± 0,28 ^e	11,49 ^d
5 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte				
Kabuk	38,68 ± 0,82 ^a	16,53 ± 0,50 ^a	24,24 ± 1,00 ^a	10,17 ^a
İç	46,58 ± 1,06 ^c	15,15 ± 0,67 ^d	25,51 ± 0,94 ^d	6,98 ^e

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde (kabuk ve iç olarak iki grup halinde değerlendirilmiş) farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$).

Bitkisel bazlı köfte numunelerinin tekstür analizi sonuçları Tablo 11'de gösterilmiştir. Fasulye proteini izolatu içeren köfte numunelerinin sertlik ve kohezyon kapasitesi değerlerinin kontrole göre düşük olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Buna karşılık, 3 g/100 g ve 5 g/100 g oranında izolatu içeren numunelerin esneklik ve çiğnenebilirlik değerleri kontrolden yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Bu numunelerde fasulye proteini izolatu ilavesi, daha yumuşak, esnek ve çiğnenebilir bir yapı oluşmasını sağlamıştır. Esneklik ve kohezyon kapasitesi gibi parametrelerin

formülasyonda bulunan proteinlerin geliştirdiği elastik ağdan etkilendiği bildirilmiştir (Moore ve ark., 2004; Wilderjans ve ark., 2008). Çiğnenebilirlik ve katılık değerlerinde formülasyondaki izolatu oranına bağlı belirgin bir trend gözlemlenmemiştir. Son olarak, eğitimsiz panelistler ile gerçekleştirilen kontrole göre farklılık testine göre, 3 g/100 g ve 5 g/100 g oranında fasulye proteini izolatu içeren köfte numunelerinin duyu özelliklerinin kontrol numunesine benzer olduğu saptanmıştır ($p>0,05$).

Tablo 11. Bitkisel Bazlı Köfte Numunelerinin Tekstür Özellikleri¹

Sertlik (gf)	Kohezyon Kapasitesi	Esneklik (mm)	Çiğnenebilirlik (Nmm)	Katılık (kgf/mm)
--------------	---------------------	---------------	-----------------------	------------------

Kontrol	375,92 ± 20,62 ^a	0,40 ± 0,01 ^a	1,86 ± 0,05 ^b	1,08 ± 0,01 ^d	0,56 ± 0,03 ^c
1 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte	191,38 ± 7,24 ^b	0,35 ± 0,03 ^{ab}	1,39 ± 0,09 ^c	5,55 ± 0,04 ^b	0,76 ± 0,00 ^b
3 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte	184,62 ± 17,25 ^b	0,15 ± 0,01 ^c	2,38 ± 0,23 ^a	9,23 ± 0,22 ^a	0,43 ± 0,00 ^d
5 g/100 g fasulye proteini izolatu içeren köfte	221,57 ± 5,02 ^b	0,33 ± 0,02 ^b	2,60 ± 0,04 ^a	2,53 ± 0,17 ^c	1,07 ± 0,01 ^a

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p < 0,05$).

4. Sonuç

Fasulye proteini izolatu içeren kek numunelerinin tekstür özelliklerinin kontrol numunesinden farklı olduğu görülmüştür. Duyusal analiz değerlendirmeleri sonucunda fasulye proteini izolatu kekte tüketici tarafından önemli belirgin bir farka neden olmuştur. Bu bağlamda fasulye proteini izolatu içeren bitkisel bazlı kek formülasyonları ürünün nem içeriği, rengi, tekstür özellikleri ve duyusal özellikler açısından iyileştirmeye ihtiyaç duymaktadır. Öte yandan, bitkisel bazlı köfte numunelerinden 3 g/100 g ve 5 g/100 g oranında fasulye proteini izolatu içerenler tekstür özellikleri açısından kabul edilebilir ve duyusal özellikler bakımından da kontrole yakın bulunmuştur. Bu çalışma sonucu elde edilen bulgular, ülkemize özgü baklagillerin ve bunlardan elde edilen bileşenlerinin bitkisel bazlı fırıncılık ve et ürünlerinde protein kaynağı olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Çalışmada geliştirilen kek ve köfte formülasyonları, daha yüksek oranda fasulye proteini ilavesi veya farklı baklagil-tahıl proteini kombinasyonları kullanılarak renk, görünüş, tekstür özellikleri ve duyusal özellikler açısından iyileştirilmeye açıktır.

Kaynakça

Alves, J.S., Rodrigues, A.S., Moro, K.I.B., Boeira, C.P., Londero, P.M.G., & Rosa, C.S. (2019). Chemical characterization, bioactive compounds, and functional technological properties of flour from two cultivars of landrace common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Food Research Journal*, 26, 565–572.

AOAC. (1990). Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA., USA.

Asgar, M., Fazilah, A., Huda, N., Bhat, R., & Karim, A. (2010). Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 513–529.

Aydoğan, M., Demiryürek, K., & İlkay, A.N. (2015). Türkiye’de kuru fasulye üretiminin mevcut durumu ve gelecek dönemler üretiminin tahmin edilmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, 962–968.

Azarpazhooh, E., & Boye, J.I. (2013). Composition of Processed Dry Beans and Pulses. In M. Siddiq, M.A. Uebersax (Eds.), *Dry Beans and Pulses Production, Processing and Nutrition*. John Wiley & Sons, 103–1224.

Baixaui, R., Salvador, A., & Fiszman, S. (2008). Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*, 226, 523–530.

Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43, 414–431.

Çulal Kılıç, H., Kök, H., & Yardımcı, N. (2020). *Bean Common Mosaic Virus* (BCMV) and *Bean Common Necrosis Mosaic Virus* (BCMNV) infections in common bean fields in the Lakes Region, Turkey. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 386–392.

Dizlek, H., & Altan, Ali. (2013). Pişirme öncesinde hamurun kısa süre bekletilmesinin pandispanya nitelikleri üzerine etkisi. *Gıda Dergisi*, 38, 31–38.

Ferreira, C.D., Ziegler, V., Lindemann, I.D., Hoffmann, J.F., Vanier, N.L., & Oliveira, M.D. (2018). Quality of black beans as a function of long-term storage and moldy development: Chemical and functional properties of flour and isolated protein. *Food Chemistry*, 246, 473–480.

Guadarrama-Lezama, A., Carrillo-Navas, H., Pérez-Alonso, C., Vernon-Carter, E., & Alvarez-Ramirez, J. (2016). Thermal and rheological properties of sponge cake batters and texture and microstructural characteristics of sponge cake made with native corn starch in partial or total replacement of wheat flour. *LWT - Food Science and Technology*, 70, 46–54.

Gularte, M.A., Gómez, M., & Rosell, C.M. (2011). Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 3142–3150.

He, Q., Sun, X., He, S., Wang, T., Zhao, J., Yang, L., Wu, Z., & Sun, H. (2018). PEGylation of black kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolate with potential functional properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 164, 89–97.

Hera, E.D., Ruiz-París, E., Oliete, B., & Gómez, M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours. *LWT - Food Science and Technology*, 49, 48–54.

Jarpa-Parra, M., Wong, L., Wismer, W., Temelli, F., Han, J., Huang, W., Eckhart, E., Tian, Z., Shi, K., Sun, T., & Chen, L. (2017). Quality characteristics of angel food cake and muffin using lentil protein as egg/milk replacer. *International Journal of Food Science & Technology*, 52, 1604–1613.

Kumar, M., & Sharma, B.D. (2004). The storage stability and textural, physico-chemical and sensory quality of low-fat ground pork patties with Carrageenan as fat replacer. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 31–42.

Lafarga, T., Álvarez, C., Bobo, G., & Aguiló-Aguayo, I. (2018). Characterization of functional properties of proteins from Ganxet beans (*Phaseolus vulgaris* L. var. Ganxet) isolated using an ultrasound-assisted methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 98, 106–112.

Lin, M., Tay, S.H., Yang, H., Yang, B., & Li, H. (2017). Replacement of eggs with soybean protein isolates and polysaccharides to prepare yellow cakes suitable for vegetarians. *Food Chemistry*, 229, 663–673.

Majzoobi, M., Ghiasi, F., Habibi, M., Hedayati, S., & Farahnaky, A. (2013). Influence of soy protein isolate on the quality of batter and sponge cake. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 1164–1170.

Meilgaard, M., Civille, G.V., & Carr, B.T. (2007). *Sensory Evaluation Techniques*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 92–100.

Moore, M.M., Schober, T.J., Dockery, P., & Arendt, E.K. (2004). Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. *Cereal Chemistry*, 81, 567–575.

- Paraskevopoulou, A., Donsouzi, S., Nikiforidis, C., & Kiosseoglou, V. (2015). Quality characteristics of egg-reduced pound cakes following WPI and emulsifier incorporation. *Food Research International*, 69, 72–79.
- Rui, X., Boye, J.I., Ribereau, S., Simpson, B.K., & Prasher, S.O. (2011). Comparative study of the composition and thermal properties of protein isolates prepared from nine *Phaseolus vulgaris* legume varieties. *Food Research International*, 44, 2497–2504.
- Sánchez-Arteaga, H., Urías-Silvas, J., Espinosa-Andrews, H., & García-Márquez, E. (2014). Effect of chemical composition and thermal properties on the cooking quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *CyTA - Journal of Food*, 13, 385–391.
- Sathe, S.K. (2002). Dry bean protein functionality. *Critical Reviews in Biotechnology*, 22, 175–223.
- Serdaroğlu, M., Yıldız-Turp, G., & Abrodímov, K. (2005). Quality of low-fat meatballs containing legume flours as extenders. *Meat Science*, 70, 99–105.
- Shaabani, S., Yarmand, M.S., Kiani, H., & Emam-Djomeh, Z. (2018). The effect of chickpea protein isolate in combination with transglutaminase and xanthan on the physical and rheological characteristics of gluten free muffins and batter based on millet flour. *LWT - Food Science and Technology*, 90, 362–372.
- Shevkani, K., & Singh, N. (2014). Influence of kidney bean, field pea and amaranth protein isolates on the characteristics of starch-based gluten-free muffins. *International Journal of Food Science & Technology*, 49, 2237–2244.
- Turp, G.Y. (2016). Effects of four different cooking methods on some quality characteristics of low fat Inegol meatball enriched with flaxseed flour. *Meat Science*, 121, 40–46.
- Wani, I.A., Sogi, D.S., Shivhare, U.S., & Gill, B.S. (2015). Physico-chemical and functional properties of native and hydrolyzed kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolates. *Food Research International*, 76, 11–18.
- Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J.A. (2008). The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten–starch blends. *Food Chemistry*, 110, 909–915.
- Yeken, M.Z., Kantar, F., Çancı, H., Özer, G., & Çiftçi, V. (2018). Breeding of dry bean cultivars using *Phaseolus vulgaris* landraces in Turkey. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 4, 45–54.
- Yolci, M.S. (2020). Erciş (Van) ekolojik koşullarında bazı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 562–567.



Eğimli Zeminlerde İnşa Edilen Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının İncelenmesi

Ercan Işık^{1*}, İbrahim Baran Karaşin², Ali Emre Ulu³

^{1*}Bitlis Eren Üniversitesi, Müh.-Mim Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye.(ORCID: 0000-0001-8057-065X), eisik@beu.edu.tr

²Dicle Üniversitesi, Müh. Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5990-1215), barankarasin@gmail.com

³Bitlis Eren Üniversitesi, Müh.-Mim Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye.(ORCID: 0000-0001-7499-3891), aliemreulu@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 25 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 11 Ekim 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.757763)

ATIF/REFERENCE: Işık, E., Karaşin, İ.B., & Ulu, A.E. (2020). Eğimli Zeminlerde İnşa Edilen Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 162-170.

Öz

Yapıların inşa edileceği zeminler eğimli olabilmektedir. Çoğu zaman tabii zemin eğimi ortadan kaldırılarak farklı kot seviyelerine oturan temeller engellenmektedir. Ancak bazı durumlarda yapı zemin eğimine göre inşa edilebilmektedir. Bu gibi durumlarda yapının zemin katında bulunan düşey taşıyıcı elemanlar farklı yüksekliklerde inşa edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında 3%, 5% ve 10% zemin eğimleri dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi adına zemin eğimin dikkate alınmadığı referans betonarme bina için hesaplamalar yapılmıştır. Oluşturulan dört farklı yapı modeli için statik itme ve özdeğer analizleri yapılmıştır. Yapısal modellerin tamamında değişken olarak sadece zemin kat kolon yükseklikleri seçilmiştir. Yapısal analizlere esas olan diğer tüm değerler sabit olarak alınmıştır. Her bir yapısal model için periyot, yer değiştirme, taban kesme kuvvet, elastik ve efektif rijitlik ile hasar durumları için üç farklı hedef deplasman değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her bir yapı modeli için ilk ve son hasar şekilleri elde edilmiştir. Zemin eğiminden dolayı oluşan kısa kolonlar yapının deprem performansını olumsuz olarak etkilemektedir. Zemin eğiminin artmasından dolayı zemin katta yer alan kolon yüksekliklerindeki azalma yapının rijitlik değerlerini arttırmakta, periyot değerlerini azaltıp, yapının sismik kapasitesini arttırmaktadır. Ancak zemin eğiminin fazla olduğu yapı modellerinde daha düşük yük faktörleri altında ilk hasarlar meydana gelmiştir. Oluşan ilk hasarlar eğimden dolayı en düşük yüksekliklere sahip kolonlarda oluşmuştur. Yer değiştirme istem talepleri zemin eğiminin arttığı yapı modellerinde azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Statik itme analizi, Kısa kolon, Farklı zemin eğimi

Investigation of Earthquake Behavior of Reinforced-Concrete Buildings Built on Soil Slope

Abstract

The soils on which the structures will be built can be sloping. The soil slope was mostly eliminated; therefore, different levels on foundations were prevented. , the ground slope is eliminated and foundations sitting at different levels are prevented. But in some cases the structure can be built according to the soil slope. The vertical structural elements on the ground story can be built with different heights according to the soil slope. 3%, 5% and 10% soil slopes were taken into account in this study. Structural analysis was performed for the reference reinforced-concrete building model without soil slope in order to compare the results. Static pushover and eigen value analyzes were carried out for four different building models. Ground story columns heights were chosen as one variable according to the soil slope in all structural models. All other values that are the basis of structural analysis are taken as constant. The periods, base shear force, elastic and effective rigidity, target displacements for three different damage status was calculated separately for all structural models. Additionally, the initial and last damage status was obtained for all structural models. . Short columns formed due to the soil slope negatively affect the earthquake behavior of the building. Due to the increase of the soil slope, the decrease in column heights on the ground story increases the stiffness values, decreases the period values and increases the seismic demands of the structural models. However, in structural models with high soil slope, initial damages occurred under lower load factors. The initial damages occurred in columns with the lowest heights due to the soil slope. The displacement demands decreased in building models, where the soil slope of the soil increased.

Keywords: Reinforced concrete, Pushover analysis, Short column, Different soil slope

*Sorumlu Yazar: eisik@beu.edu.tr

1. Giriş

Yıkıcı depremlerden sonra oluşan değişik çaptaki yapısal hasarlar, yapıların deprem performanslarının incelenme gereksinimini ve önemini ortaya koymaktadır. Yapıların deprem performansı, belirli bir deprem etkisi altında yapıda oluşabilecek hasarların düzey ve dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu olarak ifade edilmektedir. Depremin büyüklüğü ve yeterli düzeyde güvenliği sağlanmamış ve yönetmeliklerde belirtilen şartlara uygun yapılmayan yapılar ile olumsuz yapı özellikleri de oluşabilecek zararlı doğrudan etkileyecektir. Özellikle yıkılma veya ağır hasar görme riski yüksek olan binaların güçlendirilmesi, eğer güçlendirme işlemi ekonomik olarak verimli değilse de yıkılarak yeniden yapılması depremde en etkili zarar azaltma önlemidir (Sucuoğlu vd., 2007; Ulutaş vd., 2019; Işık vd., 2017; Tekeli vd., 2017).

Yapıların, deprem yükleri altında davranışlarını olumsuz olarak etkileyecek birçok parametre bulunmaktadır. Kısa kolon, ağır çıkımlar, yumuşak/zayıf kat, planda düzensizlik, tepe-yamaç etkisi, bölgenin depremselliği, yerel zemin koşulları, düşeyde düzensizlik, yapısal özellikler ve çarpışma etkisi gösterebilecek bitişik nizam gibi olumsuzluk parametreleri betonarme yapılar için kullanılan hızlı değerlendirme yöntemlerinde de kendine yer bulmuştur. Yapıların savunma mekanizmasını zayıflatacak bu parametreler, oluşabilecek hasarın miktarını arttıracaktır. Bu parametreler zorunluluk arz ediyorsa gerekli önlemler alınarak yapının savunma mekanizması güçlendirilmelidir (Yakut, 2004; Işık, 2016; Šipoš ve Hadzima-Nyarko, 2017; Işık vd., 2018; Arslan, 2010; Hadzima-Nyarko ve Šipoš, 2017; Xian vd., 2016; Arslan vd., 2008; Yakut vd., 2017). Yapıların savunma mekanizmasını zayıflatacak parametrelerden biri de tepe-yamaç etkisi veya tabii zemin eğimidir. Binanın belirgin olarak bir tepe üstünde olması veya yüksek eğimli bir yamaçta bulunması, maruz kalacağı veya kaldığı deprem etkilerini bir miktar arttıracaktır (Özcebe vd., 2003; Karaşin vd., 2017; Tezcan vd., 2011; Bal vd., 2007; Sreerama ve Ramancharla, 2013). Jeolojik ve topografik nedenlerden dolayı bazı durumlarda binanın zeminle birleştiği katta seviye farkları oluşmaktadır. Bu da en alt katta yer alan kolon elemanları arasındaki yükseklik farklarına neden olarak kolon boylarının uzun veya kısa olması sonucunu doğurmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Eğimli zeminde kolon boylarının farklı değerler alması

Son yüzyılda tepe alanlarının ekonomik gelişimi, yapı tarzının yeniden düşünülmesine, inşaat malzemesinin optimum kullanımı ve inşaat yöntemine yol açmıştır. Düz arazinin

tepelerdeki kıtlığı nedeniyle, dik yamaçlarla inşa edilmiş evler, özel yapısal ve yapım problemleri ortaya çıkarmaktadır. Tepe eğimlerinde inşa edilen betonarme çerçevesel yapılar, düz zemin üzerinde olduğundan farklı yapısal davranış göstermektedir (Mohammad vd., 2017; Ghosh ve Debbarma, 2017; Shakib ve Pirzadeh, 2013; Khadiraikar ve Masali, 2014).

Bu çalışma, farklı zemin eğimlerinden dolayı zemin katta yer alan kolon yüksekliklerinin değiştiği kabul edilerek, tepe-yamaç etkisinde yapının maruz kalacağı herhangi bir depremde göstereceği davranışı belirlemek adına yapılmıştır. Hiç eğim içermeyen tamamen düzgün ve düz zemine inşa edilen 8 katlı betonarme bina referans olarak seçilmiştir. Zemin eğiminin yapı deprem davranışına etkisini belirlemek adına, 3%, 5% ve 10% olmak üzere üç farklı zemin eğimi dikkate alınmıştır. Zemin eğiminden dolayı zemin katta yer alan kolonların yükseklikleri zemin eğimine göre değişken alınarak üç farklı yapı modeli ayrıca oluşturulmuştur. Oluşturulan dört farklı yapı modeli için özdeğer ve statik itme analizleri yapının her iki doğrultusu için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her bir yapı modeli için periyot, yer değiştirme, taban kesme kuvvet, elastik ve efektif rijitlik ile hasar durumları için üç farklı hedef deplasman değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her bir yapı modeli için ilk ve son hasar şekilleri elde edilmiştir. Çalışma ile zemin eğiminden dolayı kolon yükseklik değişiminin zorunlu olması durumunda yapıların deprem performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma ile ayrıca tabii zemin eğiminden dolayı zemin katta oluşacak kısa kolonların deprem etkisindeki davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

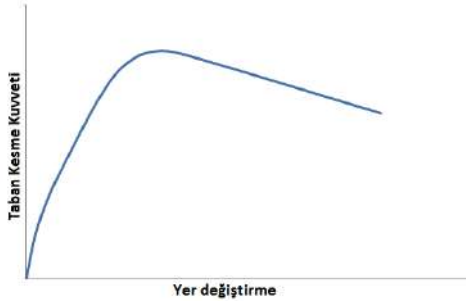
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışmada Kullanılan Analizler

Çalışma kapsamında iki farklı analiz türü dikkate alınmıştır. İlk olarak her bir yapısal model için özdeğer analizi yapılmıştır. Yapılar deprem etkisinde rastgele titreşirler. Bu titreşim, aslında harmonik olan modların birleşimidir. Bu modların analizi için bir özdeğer analizi gerekli olmaktadır. Herhangi bir yapı için mod şekilleri ve doğal frekans, özdeğer analizi ile elde edilebilir. Kısaca, saf bir elastik yapısal analiz olarak düşünülebilir. Özdeğer analizi yapı ile ilgili periyot, frekans, katılım modal faktörleri, etkili modal kütleler ve bunların yüzde değerleri elde edilebilmektedir (Antoniou and Pinho, 2003; Ordu ve Özkan, 2006; Kutanis vd., 2017; Nikoo vd., 2017; Aksoylu ve Arslan, 2017).

Çalışmada ayrıca her bir yapı modeli için statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz türü olası bir deprem etkisinde yapıların deprem davranışlarını hesaplamakta yaygın olarak kullanılmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar seviyeleri belirlenebilmektedir. Oluşan hasarların kabul edilebilir hasar limitleri altında kalıp kalmadığı kontrol edilebileceği gibi hasar limitleri çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanabilir. Statik itme analizi ile koordinatları "tepe yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi elde edilmektedir. Statik itme eğrisi, bir yapının sıfır konumundan kararsız hale gelinceye kadar geçen süre içerisinde yapıya arttırılarak uygulanan yük etkisi altında taban kesme kuvvetlerine karşılık gelen çatı deplasman değerlerinin bir etkileşim diyagramı üzerinde kesişen noktaların geometrik olarak birleştirilmesi ile elde edilen diyagramdır (Chopra ve Goel, 2002; Hsiao vd., 2015; Estêvão ve Oliveira, 2015; Ademovic vd., 2013; Ademović ve Hrasnica, 2015; Işık ve

Kutaniş, 2015). Tipik bir statik itme eğrisi Şekil 2’de gösterilmiştir.

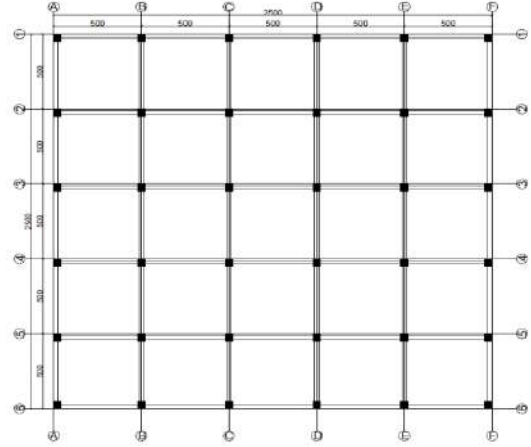


Şekil 2. Tipik statik itme eğrisi

2.1. İncelenen Yapı Modellerinin Özellikleri

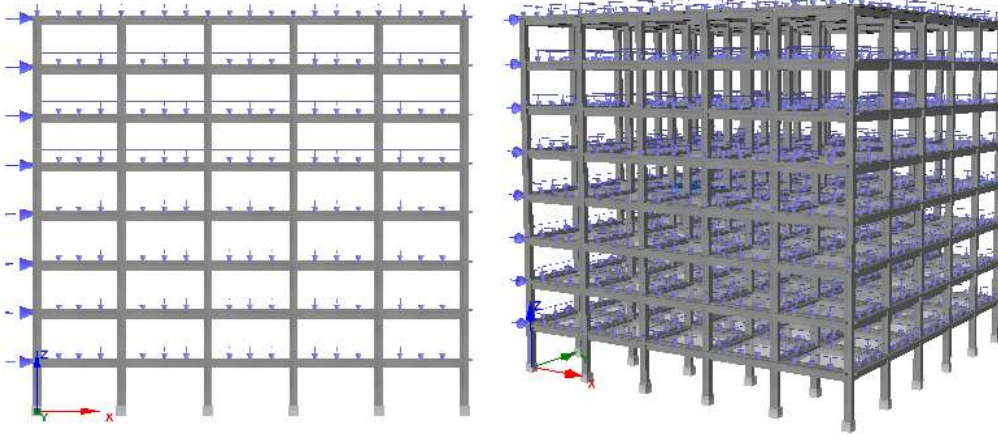
Çalışma kapsamında aynı yapısal özelliklere sahip sekiz katlı betonarme bir bina örnek olarak seçilmiştir. Analizler hem X hem de Y doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Analizler akademik lisanlı olarak Seismostruct yazılımı ile (Seismosoft, 2013) gerçekleştirilmiştir. Yapı hem X hem Y doğrultularında beşer açıklıktan oluşmakta ve her bir açıklık 5m olarak seçilmiştir. Seçilen referans binada herhangi bir düzensizlik bulunmaktadır. Örnek olarak seçilen betonarme yapıda yapı önem sınıfı olarak II. sınıf ve sönüm oranı olarak %5 değeri dikkate alınmıştır. Temel zemin sınıfı için kullanılan yazılımda yer alan ZA seçimi yapılmıştır. Malzeme modelleri deprem ile ilgili analizlerde önemli bir yere sahiptir (Işık ve Özdemir, 2017; Işık vd., 2019). Örnek olarak seçilen betonarme bina için beton

malzeme modeli olarak Mander vd. (1988) tarafından önerilen doğrusal olmayan beton modeli kullanılırken, çelik içinse Menegetto-Pinto (1973) tarafından önerilen çelik malzeme modeli dikkate alınmıştır. Dikkate alınan betonarme yapıya ait kat kalıp planı Şekil 3’te verilmiştir.



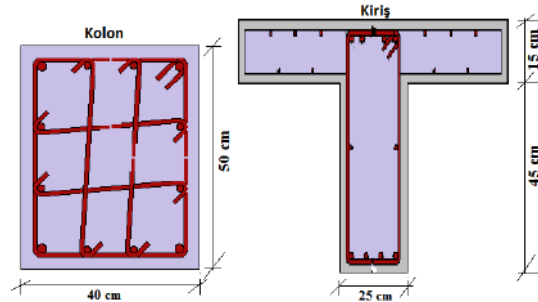
Şekil 3. Örnek olarak seçilen betonarme yapıya ait kat kalıp planı

Çalışmada kullanılan betonarme yapı için yazılım programından elde edilen iki ve üç boyutlu yapı modelleri ve uygulanan yüklerin gösterimi Şekil 4’te verilmiştir. Yükler için üniform dağılım seçeneği kullanılmıştır.



Şekil 4. Çalışmada dikkate alınan betonarme yapının 2 ve 3 boyutlu modelleri ve uygulanan yükler

Çalışmada dikkate alınan betonarme yapı modellerinin tamamında malzeme olarak C25-S420 dikkate alınmıştır. Betonarme binada kullanılan kolon ve kiriş en kesitleri Şekil 5’te verilmiştir. Hem kolon hem de kirişlerde enine donatı olarak $\phi 10/10$ seçilmiştir. Kolonlarda boyuna donatı olarak köşelerde $4\phi 20$, diğer boyuna donatılar ise $8\phi 16$ olarak seçilmiştir. Kirişlerde ise alt ve üst bölgede $4\phi 14$ ve gövde donatısı olarak $2\phi 12$ seçimi yapılmıştır.



Şekil 5. Çalışmada kullanılan kolon ve kirişlere ait enkesitler

Tüm yapısal modeller oluşturulurken kolon ve kirişler için kuvvete dayalı plastik mafsal çerçeve elemanları (infrmFBPH) kullanılmıştır. Bu elemanlar yayılı inelastisiteyi kuvvete dayalı olarak modeller ve yalnızca plastisiteyi sonlu bir uzunlukla sınırlandırır. Kesitte bulunan ideal fiber (lif) sayısı kesitteki gerilme- birim şekil değiştirme dağılımını modellemeye yetecek kadar olmalıdır (Antoniou ve Pinho, 2003). Seçilen yapısal kesitler için 100 (yüz) adet fiber (lif) elemanı tanımlanmıştır. Bu değer bu tür kesitler için yeterli olmaktadır.

Kat yüksekliği değeri tüm katlarda 3m olarak seçilmiştir. Ancak zemin eğiminden dolayı dikkate alınan yapısal modellerde zemin kat yüksekliği farklılık göstermektedir. Tüm

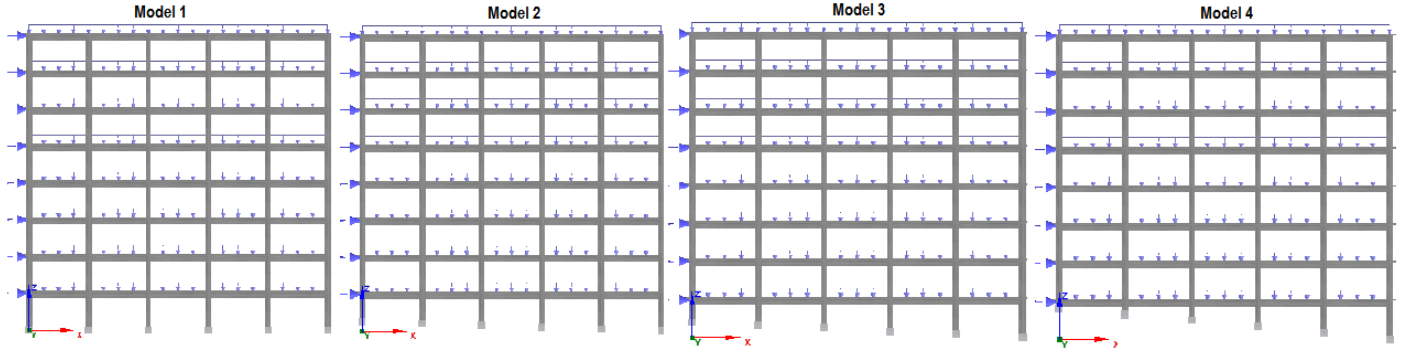
yapısal özellikler sabit tutularak sadece zemin eğiminden dolayı yapının zemin katında yer alan kolon boyları değişken olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında zemin eğiminin hiç olmadığı durum referans bina olarak ifade edilmiştir. Eğim değişken olarak seçilmiştir. %3, %5 ve %10 olmak üzere üç farklı eğim seçilerek yapı modellemesi yapılmıştır. Yapı modellerinde dikkate alınan eğimler Tablo 1'de gösterilmiştir. Analizler yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmış ve hedef deplasman değeri tüm yapısal modellerde eşit olmak üzere 0.48m olarak seçilmiştir. Analizler üç boyutlu modeller dikkate alınarak yapılmıştır.

Tablo 1. Dikkate alınan yapı modelleri ve kolon yükseklikleri

Model No	Eğim (%)	Zemin Kat Kolon Yükseklikleri (m)					
		A-A	B-B	C-C	D-D	E-E	F-F
Model 1	0	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Model 2	3	2.25	2.40	2.55	2.70	2.85	3.00
Model 3	5	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
Model 4	10	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00

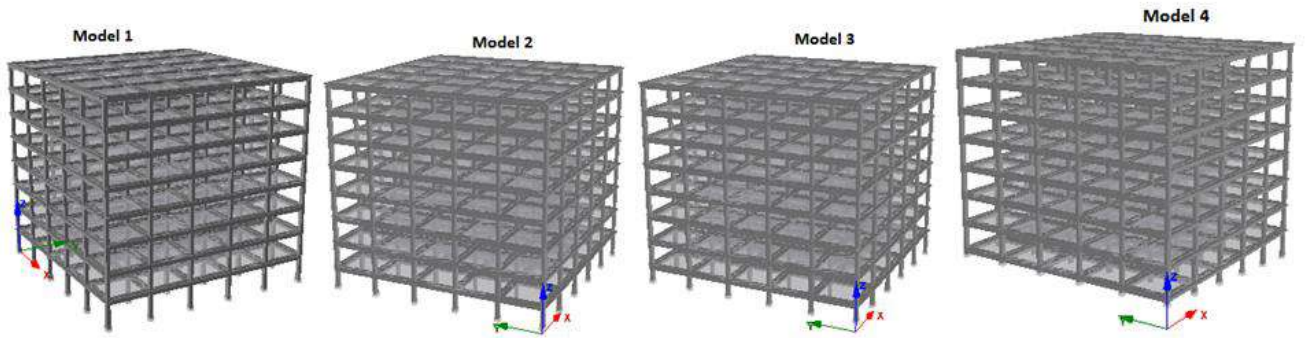
Dikkate alınan yapısal modellerde kolon yükseklik farklarının daha net bir biçimde ortaya konması adına kullanılan

yapı modellerine ait iki boyutlu modeller Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Çalışmada dikkate alınan yapı modellerine ait 2 boyutlu modeller

Farklı eğimlerden dolayı yapının zemin katında yer alan kolon yüksekliklerinin değişimi dikkate alınarak elde edilen üç boyutlu yapı modelleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Çalışmada dikkate alınan yapı modellerine ait 3 boyutlu modeller

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Her bir yapı modeli için özdeğer ve statik itme analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. Sekiz katlı olarak seçilen betonarme yapı

için özdeğer analiz sonuçlarından elde edilen periyot ve frekans değerlerinin karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı eğimlere sahip yapılar için elde edilen periyot ve frekans değerleri

Mod	Periyod (saniye)				Frekans (Hertz)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	0.630959	0.611646	0.59982	0.568812	1.58489	1.634933	1.667166	11.04615
2	0.551853	0.535053	0.523816	0.496968	1.812076	1.868973	1.909067	12.64303
3	0.551509	0.533983	0.522651	0.496814	1.813208	1.872718	1.913324	12.64695
4	0.209328	0.202691	0.198609	0.188143	4.777184	4.933618	5.035016	33.39586
5	0.182575	0.17664	0.172788	0.164105	5.477203	5.66123	5.787431	38.28763
6	0.181897	0.176091	0.17219	0.163089	5.497615	5.678882	5.807543	38.526
7	0.123791	0.119872	0.117396	0.111297	8.078137	8.3422	8.51816	56.45402
8	0.107992	0.104455	0.102133	0.096935	9.259957	9.573521	9.791195	64.81867
9	0.106159	0.102735	0.100377	0.09507	9.419802	9.733755	9.962409	66.08984
10	0.088231	0.085419	0.083553	0.07935	11.33392	11.70698	11.9685	79.18271

Özdeğer analizleri yardımı ile elde edilen kümülatif kütle yüzde oranları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. 8 katlı yapı için elde edilen kümülatif kütle katılım oranları (%)

Mod	Kümülatif Kütle Katılım Oranları (%)							
	U _x				U _y			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	0.00	0.00	0.00	0.00	83.41	80.72	78.87	75.43
2	82.72	80.59	79.02	74.90	83.41	80.72	78.87	75.43
3	82.72	80.59	79.02	74.90	83.41	81.21	79.71	75.61
4	82.72	80.59	79.02	74.90	93.23	90.98	89.28	84.40
5	82.72	80.59	79.02	74.90	93.23	91.03	89.35	84.41
6	92.70	90.55	88.79	83.78	93.23	91.03	89.35	84.41
7	92.70	90.55	88.79	83.78	96.62	94.64	92.92	87.41
8	92.70	90.55	88.79	83.78	96.62	94.65	92.93	87.41
9	96.22	94.26	92.45	86.81	96.62	94.65	92.93	87.41
10	96.22	94.26	92.45	86.81	98.30	96.65	94.93	88.85

Betonarme taşıyıcı elamanların rijitlik değerleri, deprem etkisi altında öngörülen rijitlik değerlerinde farklı olmaktadır. Bundan dolayı bu taşıyıcı elemanların tasarım ve analizlerinde etkin kesitlik rijitlik değerleri kullanılmaktadır. Deprem yükleri altında betonarme taşıyıcı sistemlerin performansının belirlenmesi için çatlama kesitlere ait rijitlikler dikkate alınmaktadır. Çatlama kesitlere ait etkin kesin rijitlikleri, elastik rijitlik değerinin öngörülen rijitlik azaltma katsayılarının kullanılması ile elde edilmektedir (Çağlar vd., 2015; Öztürk vd., 2017). Bu çalışma kapsamında her bir yapısal model için elastik rijitlik değeri (K_{elas}) ve etkili rijitlik (K_{eff}) değerleri program yardımı ile öngörülen rijitlik azaltma katsayılarının kullanımı ile edilmiştir. Çalışma kapsamında her bir yapı modeli için statik

itme analizi ile taban kesme kuvvetleri, akma anındaki yer değiştirme (d_y) hesaplanmıştır. Yapıda oluşacak hasar durumları için hedef deplasmanlar değerleri de her bir yapısal model için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Performansa dayalı deprem mühendisliğinde, yapı elemanlarının belirli performans limitlerine ulaşıldığı anların belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu bakımdan her bir yapısal model için yazılım içerisinde yer alan Eurocode 8 (Part-3) (Pinto, 2005), kriterleri dikkate alınmıştır. Buna göre, hasar durumları için üç farklı durum belirtilmiştir. Bunlar; göçme öncesi (NC), önemli hasar (SD) ve hasar sınırlaması (DL) olarak dikkate alınmıştır. Hem X hem de Y doğrultusunda analizler yapılmıştır. Yapısal hesaplamalar

sonucu X doğrultusunda elde edilen tüm değerlerin karşılaştırılması Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Farklı yapı modelleri için X doğrultusunda elde edilen sonuç değerleri

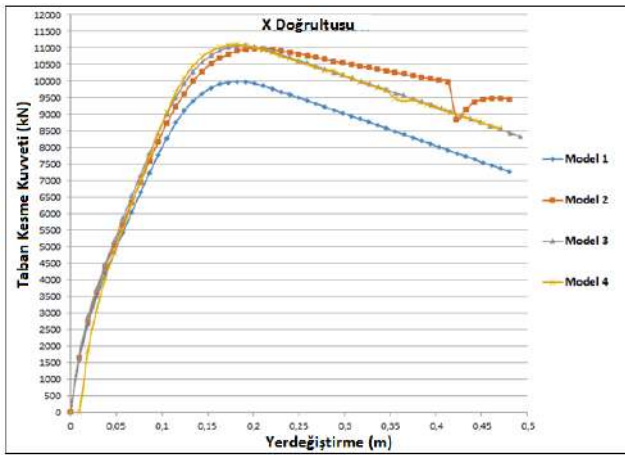
Model	Taban Kesme Kuvveti (kN)	K_elas	K-eff	dy	DL	SD	NC
1	9982.91	164046.50	87039.83	0.1147	0.045547	0.058429	0.101295
2	10978.76	173541.80	88792.65	0.1236	0.044498	0.057084	0.098963
3	11079.81	178530.80	93380.89	0.1187	0.042938	0.055082	0.095493
4	11110.58	198288.00	103848.40	0.1070	0.039519	0.050696	0.087889

Yapısal hesaplamalar sonucu Y doğrultusunda elde edilen tüm değerlerin karşılaştırılması Tablo 5'te gösterilmiştir.

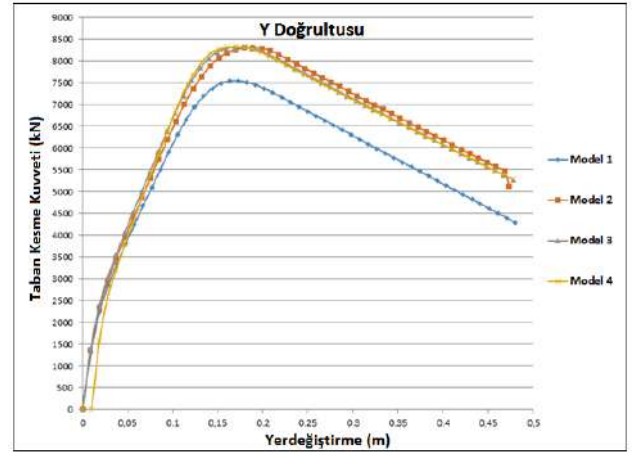
Tablo 5. Farklı yapı modelleri için Y doğrultusunda elde edilen sonuç değerleri

Model	Taban Kesme Kuvveti (kN)	K_elas	K-eff	dy	DL	SD	NC
1	7536.03	136616.27	68972.00	0.1728	0.0515933	0.0661856	0.1147424
2	8307.00	145322.38	71166.94	0.1890	0.0513108	0.0658232	0.1141141
3	8316.94	152248.59	74644.53	0.1784	0.0502895	0.064513	0.1118428
4	8334.54	166946.58	83089.56	0.1605	0.0454149	0.0582598	0.1010018

X doğrultusunda elde edilen statik itme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 8'de, Y doğrultusu da Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. X doğrultusunda elde edilen statik itme eğrilerinin karşılaştırılması



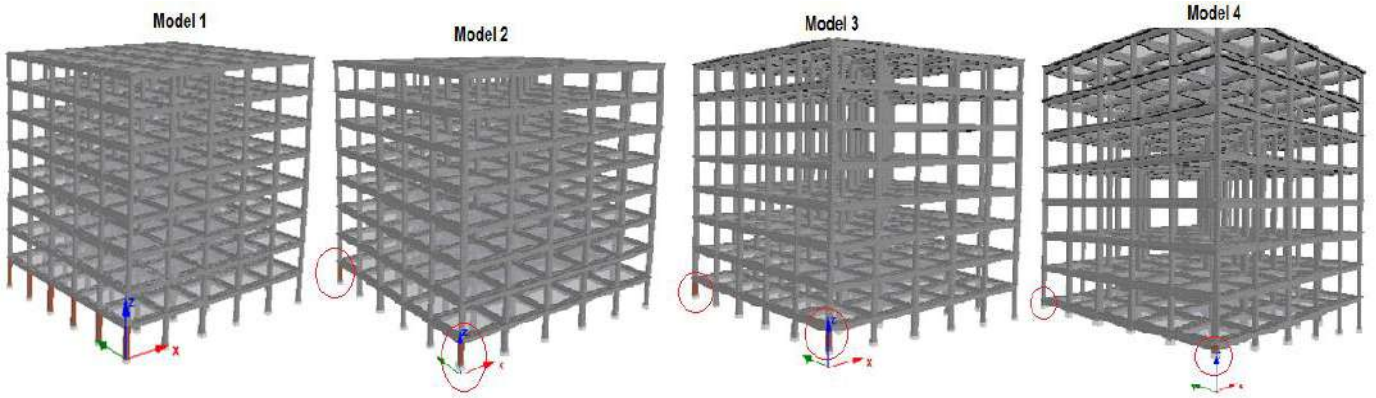
Şekil 9. Y doğrultusunda elde edilen statik itme eğrilerinin karşılaştırılması

Yazılım programında bulunan ve ilk hasarların olduğu yük faktörlerinin karşılaştırılması Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Yük faktörlerinin karşılaştırması

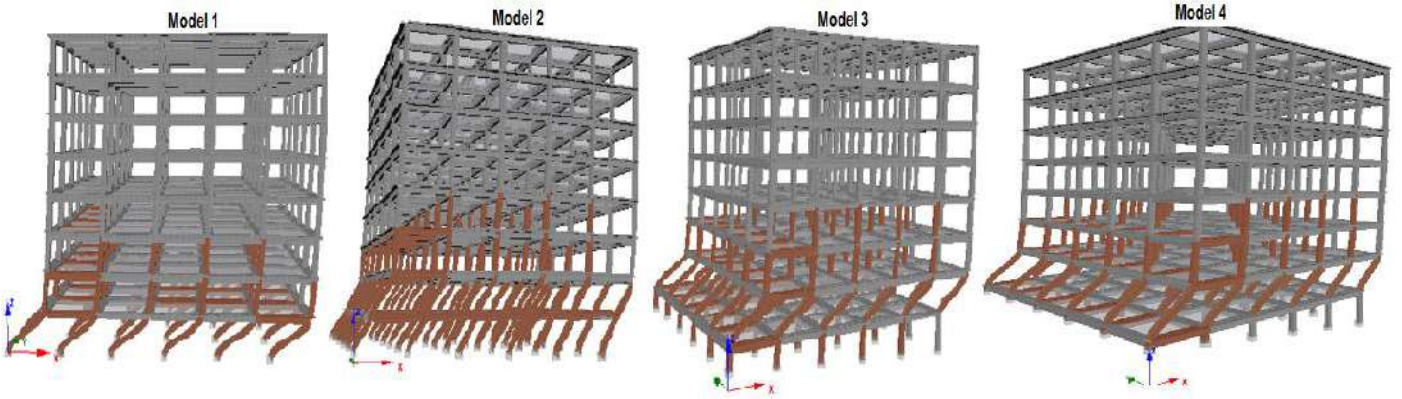
Model	X Doğrultusu		Y Doğrultusu	
	Adım	Yük Faktörü	Adım	Yük Faktörü
1	10	72.1926	11	59.1788
2	8	63.3075	10	57.4795
3	7	58.5700	9	54.5515
4	4	40.3922	5	38.0636

Her bir yapı modelinde ilk hasarların oluştuğu kolonlar Şekil 10'de gösterilmiştir.



Şekil 10. Yapı modellerinde oluşan ilk hasarlar

Yapı modelleri için elde edilen son hasarların karşılaştırılması Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Yapı modellerinde oluşan son hasarlar

Model 1'de hasarlar yatay yükün doğrudan etkilediği aks üzerinde bulunan en alttaki kolonların tamamında aynı anda başlamıştır. Bu katta bulunan kolonlar ile devam etmektedir. Bu katta bulunan tüm kolonlar hasarlar başladıktan sonra yatay yükün doğrudan etki ettiği kolonlara bağlı kirişlerde hasar oluşmaya başlamıştır. Model 2'de ilk hasarlar yatay yükün doğrudan etkilediği aks üzerinde kalan köşe kolonlarda başlamıştır. Daha sonra bu aks üzerinde yer alan kolonlar ile devam etmiştir. Zemin kat kolonlarının tamamında hasar oluşmadan en kısa yüksekliğe sahip kolonlara bağlı kirişler ve 1. kattaki kolonlar ile devam etmiştir. Zemin kattaki tüm kolonlar hasar görmektedir. Model 3'te ilk hasarlar Model 2 ile aynı kolonlarda başlamıştır. Bu aksta bulunan zemin kattaki tüm kolonlar hasar aldıktan sonra yapının 1. katında yükün uygulandığı karşı cephedeki kolonlarda hasar oluşmaya başlamıştır. Hasar özellikle eğimden dolayı oluşan en kısa kolon yüksekliğine sahip kolon ve kirişlerde artarak devam etmiştir. Zemin katta yer alan kolonların tamamında hasar oluşmamıştır. Model 4'te ilk hasarlar aynen Model 2 ile Model 3'tekine benzer en kısa kolon yüksekliğine sahip iki köşe kolonda oluşmuştur. Kolon yüksekliğinin en az olduğu aksta yer alan tüm kolonlar hasar gördükten sonra karşı cephedeki 1. kattaki kolonlarda hasarlar devam etmiştir. Zemin katta bulunan tüm kolonlar hasar almamıştır.

Eğim artış gösterirken kütle katılım oranları hem X hem de Y doğrultusunda azalış göstermiştir. Kolon yükseklik değerleri eğim arttıkça azalmakta ve yapıya ait etkin ve efektif rijitlik değerleri artış göstermiştir. Eğim arttıkça, yapıya ait rijitlik değerleri artış gösterdiğinden periyot değerleri de azalış göstermiştir. Daha rijit yapıların periyot değerlerinin daha küçük değerleri alacağı aşıkardır. Bu değerlere bağlı olarak yapının taban kesme kuvvet kapasitesi de artış göstermiştir. Ancak eğim değerleri fazlaştıkça hasar durumları için öngörülen hedef deplasman değerleri azalış göstermiştir. Eğim azalması durumunda hedef deplasman değerleri daha büyük değerler almıştır. Yük faktörü ve adım sayıları eğim arttıkça her iki doğrultuda da azalma göstermiştir. Her ne kadar periyot, rijitlik ve taban kesme kuvvet kapasiteleri her iki doğrultuda da artış göstermiş ise de yapının hasar durumları eğimin artması ile yapının savunma mekanizmasının zayıfladığını göstermiştir. Bu durum yük adımlarında kendini net bir şekilde göstermiştir. Eğim arttıkça yapıda oluşan ilk hasarlar daha erken yük adımlarında oluşmuştur.

4. Sonuç

Ortaya çıkabilecek zorunlu sebeplerden dolayı tabii zemin eğiminden dolayı özellikle zemin kattaki kolonlarda kot farkları

oluşabilmektedir. Bu çalışma kapsamında farklı tabii zemin eğimlerinde inşa edilecek olan ve zemin kattaki kolonlarda kot farkının yapı deprem davranışına etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Eğim artışının yapı deprem davranış analiz sonuç değerlerini ve öngörülen hasar durumları nasıl ve hangi düzeyde etkilediği belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda eğimin hiç ve eğimin 3%, 5% ile 10% olması durumlarında dört farklı sekiz katlı bir betonarme yapı seçilmiştir. Tüm yapısal özellikler sabit tutularak sadece zemin kat kolon yükseklikleri eğime bağlı olarak değiştirilmiştir. Her bir model için özdeğer ve statik itme analizleri hem X hem de Y doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm sonuç değerleri karşılaştırılmıştır. Yapı modellerine ait ilk ve son hasar durumları da ayrıca elde edilmiştir.

Zemin katta yer alan kolonların zemin eğiminden dolayı daha kısa yüksekliklere sahip olması rijitlik değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Bunun sonucu olarak Tablo 2'de belirtildiği gibi periyot değerleri daha küçük değerler almıştır. Bu bağlamda yapısal modeller için elde edilen değerler tam bir uyum göstermiştir. Zemin kat kolon yüksekliklerinin azalması ile yapıların sismik kapasiteleri artış göstermiştir. Ancak hasar durumları incelendiğinde daha düşük yük faktörleri altında yükseklik değeri düşük olan kolonlarda ilk hasarlar meydana gelmiştir. Bu da eğim miktarının artmasının yapının deprem davranışını azalttığını göstermektedir. Bu durum elde edilen performans limitlerine ulaşılma yerdeğiştirme değerlerinden gözlemlenmektedir. Daha yüksek zemin eğiminden dolayı yükseklik değerleri azalan kolonlarda daha düşük yerdeğiştirme değerlerinde belirlenen performans limitlerine ulaşılmıştır.

Elde edilen tüm analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde zemin eğiminin artması ile kolon yükseklik değerlerinin azalması yapının savunma mekanizmasını olumsuz olarak etkilemektedir. Özellikle kolon yüksekliklerinin azalması eğim etkisinin yanı sıra kısa kolon kavramını da ortaya çıkarmıştır. Olumsuz jeolojik ve topografik faktörler nedeniyle farklı seviyelerde inşa edilen yapılarda kısa kolon oluşumları meydana gelecektir. Dolayısıyla yapıya ait sadece tepe-yamaç etkisi olumsuzluk parametresinin yanı sıra kısa kolon olumsuzluk parametresi de eklenmiştir. Bu bağlamda yapı savunma mekanizmasının deprem yükleri altında zayıflatabilecek bu ve benzeri uygulamalardan mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır. Özellikle eğim etkisi yapılacak kazı işlemleri ortadan kaldırılabilecektir. Eğer bu durum ortadan kaldırılamıyor ise gerekli önlemler alınmalıdır. Hiç eğim olmayan referans bina için elde edilen periyot değerlerinin eğimli zeminlerde inşa edilecek yapı model periyot değerlerinden büyük çıkması referans binaya hareket kabiliyeti sağlayarak sönüm miktarını arttıracaktır. Ayrıca tepe-yamaç etkisi veya eğimli zeminlerde inşa edilecek binalar için heyelan, kaya düşmesi ve çığ gibi doğal afetlerin etkisinin de olabileceği unutulmamalıdır. Bu afetler ile birlikte deprem etkisi dikkate alındığında ortaya çıkabilecek çoklu afet etkisi için özel önlemler alınmalıdır.

Kaynakça

Ademovic, N., Hrasnica, M., & Oliveira, D.V. (2013). Pushover analysis and failure pattern of a typical masonry residential building in Bosnia and Herzegovina. *Engineering Structures*, 50, 13-29. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.11.031>

Ademović, N., & Hrasnica, M. (2015). Capacity degradation and crack pattern development in a multi-storey unreinforced e-ISSN:2148-2683

masonry building. *Grağevinar*, 67(04), 351-361. <https://doi.org/10.14256/JCE.1191.2014>

Antoniou, S., & Pinho, R. (2003). *Seismostruct – Seismic Analysis program by Seismosoft. Technical manual and user manual.*

Aksoylu, C., & Arslan, M. H. (2019). Çerçeve+perde türü betonarme binaların periyot hesaplarının TBDY-2019 yönetmeliğine göre ampirik olarak değerlendirilmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(3), 365-382. <https://doi.org/10.17482/uumfd.603437>

Arslan, M. H. (2010). An evaluation of effective design parameters on earthquake performance of RC buildings using neural networks. *Engineering Structures*, 32(7), 1888-1898. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.03.010>

Arslan, M. H., Köroğlu, M. A., & Köken, A. (2008). Binaların yapısal performansının statik itme analizi ile belirlenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 71-84.

Bal, İ.E., Tezcan, S. S., & Gülay, F.G. (2007). Betonarme binaların göçme riskinin belirlenmesi için P25 hızlı değerlendirme yöntemi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.

Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31(3), 561-582. <https://doi.org/10.1002/eqe.144>

Caglar, N., Demir, A., Ozturk, H., & Akkaya, A. (2015). A simple formulation for effective flexural stiffness of circular reinforced concrete columns. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 38, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2014.10.011>

Estêvão, J. M., & Oliveira, C. S. (2015). A new analysis method for structural failure evaluation. *Engineering Failure Analysis*, 56, 573-584. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.08.009>

Ghosh, R., & Debbarma, R. (2017). Performance evaluation of setback buildings with open ground storey on plain and sloping ground under earthquake loadings and mitigation of failure. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 9(2), 97. <https://doi.org/10.1007/s40091-017-0151-3>

Hadzima-Nyarko, M., & Kalman Sipos, T. (2017). Insights from existing earthquake loss assessment research in Croatia. *Earthquakes and Structures*, 13(4), 365-375. <https://doi.org/10.12989/eas.2017.13.4.401>

Hsiao, F. P., Oktavianus, Y., & Ou, Y. C. (2015). A pushover seismic analysis method for asymmetric and tall buildings. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 38(8), 991-1001. <https://doi.org/10.1080/02533839.2015.1056553>

Işık, E., Özdemir, M., Karaşin, İ.B., Karaşin, A., (2019). Betonarme yapılarda kullanılan malzeme modellerinin karşılaştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3), 968-984. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.520354>

Işık, E., Özdemir, M., & Karaşin, İ. B. (2018). Performance analysis of steel structures with A3 irregularities. *International Journal of Steel Structures*, 18(3), 1083-1094. <https://doi.org/10.1007/s13296-018-0046-6>

Işık, E., & Özdemir, M. (2017). Performance based assessment of steel frame structures by different material models. *International Journal of Steel Structures*, 17(3), 1021-1031. <https://doi.org/10.1007/s13296-017-9013-x>

- Isik, E., Isik, M. F., & Bulbul, M. A. (2017). Web based evaluation of earthquake damages for reinforced concrete buildings. *Earthquakes and Structures*, 13(4), 387-396. <https://doi.org/10.12989/eas.2017.13.4.423>
- Işık, E., & Kutanis M. (2015). Performance based assessment for existing residential buildings in Lake Van basin and seismicity of the region. *Earthquakes and Structures*, 9(4), 893-910. <https://doi.org/10.12989/eas.2015.9.4.893>
- Işık, E. (2016). Consistency of the rapid assessment method for reinforced concrete buildings. *Earthquakes and Structures*, 11(5), 873-885. <https://doi.org/10.12989/eas.2016.11.5.873>
- Işık, E. (2013). The evaluation of existing buildings Bitlis province using a visual screening method, *SDU, Journal of Natural and Applied Sciences*, 17(1), 173-178.
- Karaşin, İ. B., Işık, E., Karaşin, A., & Özdemir, M. (2017). Betonarme Yapılarda Tepe-Yamaç Etkisinin Yapı Performansına Etkisi. *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17)*, Bitlis, Türkiye.
- Khadiranaikar, R. B., & Masali, A. (2014). Seismic performance of buildings resting on sloping ground—a review. *IOSR J Mech Civ Eng (IOSR-JMCE)*, 11(3), 12-19. <https://doi.org/10.9790/1684-11331219>
- Kutanis, M., Boru, E. O., & Işık, E. (2017). Alternative instrumentation schemes for the structural identification of the reinforced concrete field test structure by ambient vibration measurements. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(5), 1793-1801. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0758-0>
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N., & Park, R. (1998). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1825. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804))
- Menegotto, M., & Pinto, P. E. (1973). Method of analysis for cyclically loaded rc. plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending. *symposium on the resistance and ultimate deformability of structures acted on by well defined repeated loads*, in *International Association for Bridge and Structural Engineering*, Zurich, Switzerland, 15-22.
- Mohammad, Z., Baqi, A., & Arif, M. (2017). Seismic response of RC framed buildings resting on hill slopes. *Procedia Engineering*, 173, 1792-1799. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.221>
- Nikoo, M., Hadzima-Nyarko, M., Khademi, F., & Mohasseb, S. (2017). Estimation of fundamental period of reinforced concrete shear wall buildings using self organization feature map. *Structural Engineering and Mechanics*, 63(2), 237-249. <https://doi.org/10.12989/sem.2017.63.2.237>
- Ordu, E., & Özkan, M. T. (2006). Three-dimensional finite element analysis of the seismic behavior of pile foundations. *İtü Dergisi/d*, 5(2), 27-34.
- Ozcebe, G., Yucemen, M. S., Aydoğan, V., & Yakut, A. (2003). Preliminary seismic vulnerability assessment of existing reinforced concrete buildings in Turkey. In *Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings* (pp. 29-42). Springer, Dordrecht.
- Öztürk, H., Demir, A., Dok, G., & Güç, H. (2017). Betonarme kolonların etkin kesit rijitlikleri üzerine yönetmeliklerin yaklaşımları. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-13 Ekim 2017, Eskişehir.
- Pinto, P. E. (2005). *The Eurocode 8-Part 3: the new European Code for the seismic assessment of existing structures*.
- Shakib, H., & Pirizadeh, M. (2013). Probabilistic seismic performance assessment of setback buildings under bidirectional excitation. *Journal of Structural Engineering*, 140(2), 04013061. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000835](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000835)
- SeismoStruct v6.5 (2013). A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. Seismosoft.
- Šipoš, T. K., & Hadzima-Nyarko, M. (2017). Rapid seismic risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 348-360. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.06.025>
- Sreerama, A. K., & Ramancharla, P. K. (2013, October). Earthquake behavior of reinforced concrete framed buildings on hill slopes. In *International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (USMCA 2013)*.
- Sucuoğlu, H., Yazgan, U., & Yakut, A. (2007). A screening procedure for seismic risk assessment in urban building stocks. *Earthquake Spectra*, 23(2), 441-458. <https://doi.org/10.1193/1.2720931>
- Tekeli, H., Dilmac, H., Demir, F., Gencoglu, M., & Guler, K. (2017). Shear stress indicator to predict seismic performance of residential RC buildings. *Computer and Concrete*, 19(3), 283-291. <https://doi.org/10.12989/cac.2017.19.3.283>
- Tezcan, S. S., Bal, I. E., & Gulay, F. G. (2011). P25 scoring method for the collapse vulnerability assessment of R/C buildings. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 34(6), 769-781. <https://doi.org/10.1080/02533839.2011.591548>
- Ulutaş, H., Dilmac, H., Tekeli, H., & Demir, F. (2019). Okul binalarında bulunması gereken perde duvar oranı üzerine bir çalışma. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 1-10. <https://doi.org/10.29048/makufebed.500974>
- Yakut, A., Erberik, M. A., Ilki, A., Sucuoğlu, H., & Akkar, S. (2014). Rapid seismic assessment procedures for the Turkish building stock. In *Seismic Evaluation and Rehabilitation of Structures* (pp. 15-35). Springer, Cham.
- Yakut, A. (2004). Preliminary seismic performance assessment procedure for existing RC buildings. *Engineering Structures*, 26(10), 1447-1461. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.05.011>
- Xian, L., He, Z., & Ou, X. (2016). Incorporation of collapse safety margin into direct earthquake loss estimate. *Earthquakes and Structures*, 10(2), 429-450. <https://doi.org/10.12989/eas.2016.10.2.4>



AQM-of-Things: Special Queue Management Approach for Internet of Things

Kerem Aytaç^{1*}, Ömer Korçak²

¹ Marmara University Computer Engineering Dept., Koç Digital R&D Center, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4794-4036)

² Marmara University Computer Engineering Dept., İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4419-556X)

(First received 27 June 2020 and in final form 11 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.759077)

ATIF/REFERENCE: Aytaç, K. & Korçak, Ö. (2020). AQM-of-Things: Special Queue Management Approach for Internet of Things. *European Journal of Science and Technology*, (20), 171-180.

Abstract

Although Internet of Things (IoT) networks are massively deployed in many different areas, there are significant problems regarding the network topology and capacity, due to low smartness level of IoT devices and cost matters. Congestion and queue management especially in an IoT network buffer is one of the most important subjects that need to be considered. In this paper, we propose a novel game-theoretical approach to manage the queue and avoid possible congestion, by adding a little intelligence to dumb nodes with a lightweight method called AQM-of-Things (AQMoT). Extensive-form game formulation is used for defining decision making criteria of both IoT nodes (when to send) and gateways (when to drop). We describe a game model according to the queue level as well as other network conditions. Thus, a novel congestion avoidance method is proposed, where senders care about the gateway's current situation with a very lightweight game theoretical algorithm. We also demonstrate a conceptual comparison with alternative queue management approaches, and conclude that the proposed AQMoT approach has important advantages especially in IoT domain.

Keywords: Internet Of Things, Active Queue Management, Congestion Avoidance, Game Theory

Nesnelerin Kuyruk Yönetimi: Nesnelerin İnternetine Özel Kuyruk Yönetim Yaklaşımı

Öz

Birçok farklı alanda Nesnelerin İnterneti (IoT) kullanımının giderek yaygınlaşmasına rağmen, günümüzde hala cihazların düşük işlem yetenekleri ve maliyet endişeleri sebebiyle ağ topolojisi ve kapasitesiyle ilgili büyük problemler bulunmaktadır. Farklı öncelik seviyelerine sahip çok fazla veri trafiği oluşturan düşük işlem yetenekli sensörlerin ağ topolojisi içerisinde sayısı artırılırken genelde ağın kısıtları IoT'de göz ardı edilmektedir. Bu makalede, kuyrukları yönetebilmek ve ağdaki olası tıkanmaları engellemek için bu ağ noktalarına oyun teorisi yaklaşımını bir aktif kuyruk yönetimi yaklaşımı önerilmiştir. AQM-of-Things (AQMoT) adı verilen bu yaklaşımda, ağ düğümlerine az miktarda ama etkili bir zeka kazandırılması önerilmektedir. Genişletilmiş bir oyun modeli formülize edilerek hem IoT cihazlarının ne zaman veri göndereceklerine dair, hem de haberleşme ünitelerinin ne zaman verileri düşüreceklerine dair karar verme mekanizmaları belirlenmiştir. Oyun modelinde kuyruk uzunluğu ve diğer ağ durumları dikkate alan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu şekilde, diğer algoritmaların aksine haberleşme ünitelerinin durumunu hafif ve oyun teorisini baz alarak gözetilen yenilikçi ve tıkanıklıktan kaçınan bir yaklaşımı öne sürüyoruz. Ayrıca AQMoT yaklaşımı alternatif kuyruk yönetim yaklaşımları ile kavramsal olarak karşılaştırılmış ve özellikle IoT alanında önemli avantajları olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Aktif Kuyruk Yönetimi, Tıkanıklıktan kaçınma, Oyun Teorisi

* Corresponding Author: Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4794-4036, kerem.aytac@marun.edu.tr

1. Introduction

In IoT world, there are many nodes with different sizes including sensors, actuators, gateways or some middle-nodes such as routers, access points, extenders, relays which create a crowded network area as a result. According to a survey, there are 50 billions of devices are connected to the Internet by 2020 where it will exponentially increase to 500 billions of devices as of 2030 (Ataç et al. 2019). Within these nodes, there are lots of data traversing, where important portion of them are possibly redundant or have low-priority. An IoT network is typically considered as constrained node networks (which is an IETF definition) as it includes many constrained dumb endpoints. These endpoints produce lots of data which they sense and send them to related destinations. Many of them have no intelligence or any idea about when or how frequently to send their sensed data. They do not care if a network node is congested or not.

There are many protocols suitable for IoT such as MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) or AMQP (Active Message Queuing Protocol) which are lightweight but reliable protocols. These protocols stand on TCP/IP. Both of them uses queueing methodology to satisfy reliability and to avoid data loss during offline or communication failure states. On application layer, MQTT works with subscription/publish methodology which queues the messages before leaving the system and publishes to a specified topic which is considered also as application layer (Naik, 2017). MQTT does not implement a specific congestion control per se, but underlying TCP can handle this congestion control. Moreover, HTTP is still an irreplaceable protocol which is also used in IoT world even it is not lightweight like MQTT. Regardless of what is used, all of them relies on TCP/IP protocol and all of them needs a TCP congestion control. Recently new TCP congestion control algorithms are proposed for IoT networks (Verma et al. 2020). In addition to TCP-congestion control, Active Queue Management methodologies also used to maintain end-to-end non-congested network. One difference is that they reside at different layers where TCP-Congestion is handled in transport layer and Active Queue Management (AQM) is handled in network layer (Baker et al. 2015). Security is also a critical point over MQTT as there is always an option to use the non-secure MQTT which works on 1883 port as default. Applying a security over MQTT level, will also affect to lower levels, such as transport layer or network layer. There will be some impacts while implementing an algorithm at network layer. For example, a related work proposed an algorithm to authenticate and encrypt communication between the gateway and MQTT broker by also approaching from a new aspect to provide simultaneous encryption and MQTT-based communication by utilizing physical I2C property of the ARM Cortex M3 (Toğay et al. 2019). As this approach encrypts the message by starting from authentication phase, it should have some impacts while implementing some AQM algorithms which will be discussed later in this paper.

Another vital part of IoT are the gateways which act as bridges between sensors and the server/cloud layer. Lots of nodes send data to same gateway, and gateway should handle this load, otherwise a congestion may occur and all the communication between nodes will be down. Most sensor nodes are so dumb that they cannot be configured generically, flexibly. They are aimed to send what they sense within pre-configured time intervals. One can't tell them to stop while there is a huge load on a gateway or

a main node. Even if we can tell them to stop, One need to speak in their different and separate languages. Thus, implementing a common interface would not be easy and efficient. So, instead of implementing on application layer, implementing on network layer would be easier and extendable.

Another method to handle TCP congestion on IoT network is to use Explicit Congestion Notification (ECN) (Gomez, 2019). In this approach, they define dumb devices such as sensors, actuators as constrained nodes, and clouds as unconstrained nodes. There might be direct connection between constrained and unconstrained nodes where there might be a middleware between them as well. ECN allows a node to signal via the IP header of a packet to notify whether congestion is about to happen, for instance, when a queue size reaches a certain threshold.

In aspect of AQM, the well known approach is Random Early Detection (RED) (Floyd et al. 1993) which calculates the average size of queue and drops the packets with defined possibilities between specific minimum and maximum queue thresholds. This satisfies proactive queue congestion control. This method is too simple but also generic. This approach inspires the researchers to create more RED-based AQM approaches to fit specific domains.

In the literature, there are several extensions of RED. Weighted RED (WRED) defines different queue thresholds for different traffic classes and it is likely better at applying QoS-Sensitive congestion avoidance. It has reasonable approach to drops and marks packets. Although WRED is limited in terms of number of traffic flow types, it is still more viable for some routers (Freed et al. 2006). Another extension of RED is Adaptive RED (ARED) (Feng et al. 1999) which tries to adapt itself to be more or less aggressive according to the observation of the average queue length. Caring with the content, another extension of RED is XRED which is a content aware approach (Hassan et al. 2003). This approach is similar to our proposed approach which contributes to IoT networking. The similarity and differences will be defined in Section III in detail.

GREEN (Generalized Random Early Evasion Network) (Feng et al. 2002) is another congestion avoidance solution. A proactive queue management algorithm is proposed to ensure higher degree of fairness between flows. This algorithm uses more intelligent drop possibility calculation. It considers some network conditions like *MSS*, *RTT* or outgoing link capacity. So that, it calculates more adaptive drop possibilities rather than random calculated possibilities and thus, can create fairness between flows. PIE (Proportional Integral controller Enhanced) (Pan et al. 2013) is robust and optimized for various network scenarios which does not require per-packet extra processing, so that causes very small overhead and ease of implementation and deployment at both device and software side. This algorithm uses different approach of drop probability calculation by not only using the current estimation of the queuing delay, but also sensing the direction of where the delay is shifting, which is not a simple random drop possibility.

Grazia et al (Grazia et al. 2017) provides a simulation-based comparison of the selected ones of these algorithms in terms of goodput, throughput, RTT variation, fairness, etc. in order to study suitability of these algorithms for an IoT environment. They conclude that although some algorithms have no advantages over IoT network, ARED has a good performance over specifically high congested IoT networks. PIE seems to be the winner in any aspect of stress levels.

Another related approach is to provide fairness by penalizing unresponsive (or aggressive) traffic in case of network congestion. CHOCe algorithm is widely researched fairness-oriented AQM algorithm which effectively punishes unresponsive traffic, although it is stateless and easy to implement. In order to improve the performance of CHOCe (Pan et al. 2000) (Eshete et al. 2013), numerous extensions are proposed, such as CHOCeR (Lu et al. 2013), CHOCeH (Abbas et al. 2018), D-PAC (Hu et al. 2018), etc. These approaches further reduce the ratio of unresponsive traffic by making more match-and-drop comparisons. There is also another recent study which provides a fairness-oriented AQM algorithm called Hash Table and Circular Buffer (HTCB) that is inspired from CHOCe. This approach utilizes a hash table to identify aggressive traffic and aims to improve performance in network nodes with low buffer space. (Hu et al. 2020)

Although all the mentioned approaches are valuable, they have still some limitations and deficiencies for IoT domain as we will discuss in Section III. In this paper, we will adopt a very simple but powerful intelligence on network layer of IoT nodes to use network fairly and feasible, moreover to handle a congestion and queue management. The main contribution of this paper can be summarized as follows. We propose an approach where any part of network (including source nodes) will give a hand to handle the congestion and queue management. We propose a novel decision-making mechanism for both the sender (whether to send a packet or not) and the receiver (whether to drop a packet or not) based on an extensive-form game model. In the game model, we take account of priority and size of packets, network conditions in the network side and also network conditions between the sender and the destination. On the contrary of most AQM algorithms, we avoid most of the packet drops in gateway by a light-weight decision making mechanism and we avoid dumb sensors to exploit network nodes with sending too much redundant data.

Rest of the paper is organized as follows. Next section describes a general problem definition and detailed explanation of proposed novel AQM implementation. Section III describes the efficiency of the proposed implementation by comparing with existing methods in various performance metrics. Finally, Section IV concludes the paper.

2. Background and Algorithm Proposal

2.1. Background

In IoT, many kinds of topologies can be encountered. Within a simple network, there might be thousands of devices connected to each other. In some topologies, only one gateway takes care all the sensors. Where in some topologies there are some mid-gateways that are responsible from a portion of sensors and collect the data and process to another main gateway to push the data to Internet as shown in Figure 1.

MQTT protocol is the most common way to communicate. It uses the advantage of having a queue mechanism which keeps the messages in the queue when there is a connectivity problem, bottleneck, low-rates etc. When possible, it tries to consume the queue and send the messages to the destination. As IoT environments are prone to weak networks, there are many things to consider. Such as, if sender fills up its queue with message containing sensed values, and when a connection is up, it bursts all the messages in a dummy way. Sensors never consider if a

gateway is tired or not. They always send over and over. They like exploiting the network, they do not recognize what a fairness is. So, they are such dumb that no gateway can tell them to stop. In an IoT environment, all the sensors vary, thus not identical. So, while a dumb sensor exploiting the network, some important sensors cannot send their important values which might cause an alert due to congestion. At these times, we wish to implement a fairness amongst sensors considering duplicate, unimportant or malfunctioned values. So, to satisfy all the requirements mentioned, we propose a novel AQM method which is called AQM of Things (AQMoT). Using this AQM approach, we try to handle the congestion within a network while satisfying some fairness and also a little intelligence for sensors or gateways in the network layer.

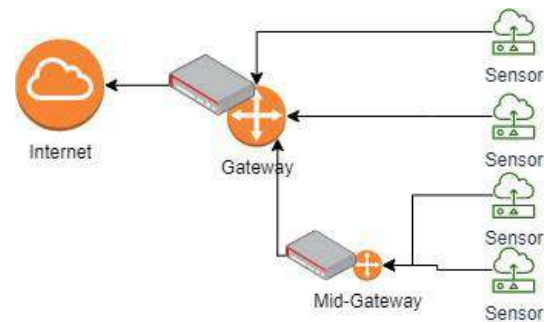


Figure 1. An IoT Sample Environment where sensors directly connected to one and main gateway which tunnels to internet

2.2. AQM-of-Things

2.2.1. Concept

The main concept is to think from the angle of sensors and gateways. A source (sensor, mid-gateway) will send message to a destination (gateway, communication node, mid-gateway). A sensor should consider the possibility of a congestion at the destination and also consider whether its message is important or not, whether it is big or small, and also consider the network status if it is weak or strong. So, if we impersonate as sensor, we'd not send our messages if they are not important and the network is weak and destination possibly in critical queue levels. We'd keep the message in the queue or drop it. Because our message will be dropped without enqueued or lost in network, why should we lose effort intentionally. Moreover, we'd try our chance sending the message if it is important even if destination queue is possibly congested. We can increase the number of examples. We'd also send our messages if it is big and unimportant, but destination has empty buffer, because the road is fully open and destination will accept, why not using it. It also keeps a good utilization over network. Many AQM algorithms have some important thresholds for deciding what to do with the packet. For example, accepting it or dropping it with a defined possibility according to the average queue. Calculation of average queue length also differs from method to another method. Such as, RED uses a simplistic average calculation like moving average where WRED depends on the previous average as well as the current size of the queue. Moreover, all of them define a different drop function beyond a defined threshold named as Q_{min} . A drop function defines the possibility to drop a packet when it tries to enqueue itself to the queue. It is not more than a spinning a roulette to decide whether

to drop or not. It is not actually intelligent way to drop these packets. Moreover, what if sender is aware of the occupancy at the destination; would it still send the packet if its packet was going to be dropped or possibly not accepted? Why should destination always try to orchestrate everything where sender can be pushed for a cooperation easily? Let us give an analogy. In an online meeting there is a teacher and some students isolated from each other around him/her. In a traditional way, when students are talking at the same time, teacher tries to understand the conversations one by one. If he/she cannot understand some of them, ignore and focus other students to get the point. And then change the focus to another student who was ignored before, so on so forth. Now let us try this approach. Teacher notifies the students about his/her condition that there are some students already speaking. So, a student will understand that their teacher is already occupied with another conversations, and if it is not important, student may wait to speak or give up. Thanks to cooperation, teacher will understand and reply to everyone efficiently. So, how are we supposed to implement such an intelligent but also simplistic approach briefly mentioned above? Using some artificial intelligence or machine learning approaches may not be better as they will be heavy for our layer. Here we introduce a game theoretical approach which is very light and easy to implement and scalable.

2.2.2. Implementation

In this section we will describe details of the proposed AQMoT algorithm. We consider a two-player game, where the first player (player 1) is the sender and the second player (player 2) is the destination which can be gateway, a communication node or a mid-gateway etc. In this game, player 1 will not be waiting for a possible signal from player 2 saying that ‘‘I’m congested, please stop!’’. We will try to figure out how possibly player 1 is congested or congestion-candidate using some simple information such as *RTT*, time-outs, dupacks etc. Moreover player 2 will be transparent to player 1 in terms of queue status so that player 1 will be able to understand if its packet will be dropped at player 2 side if the packet manages to reach. We will be touching these details further later. The game is quite simple. We will try to reduce the following story to game theory payoff tables (Aumann et al. 1985).

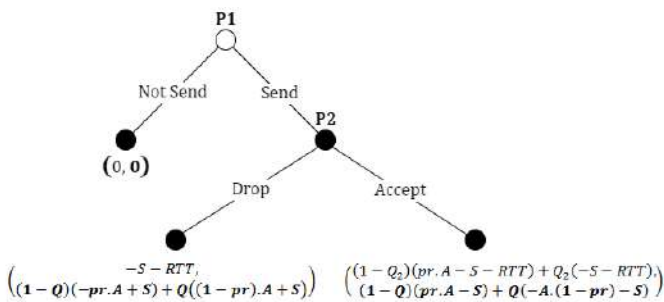


Figure 2. Extensive-form game formulation, where destination is Player 2 and source is Player 1

In Figure 2, an extensive form game model (Kuhn et al. 2016) is illustrated where the first action (Send, Not Send) is played by the player 1 (P1 - sender), and the second action (Drop, Accept) is performed by the player 2 (P2 - receiver). The payoff values of the players in the game outcomes depend on the variables defined in Table 1. Both sides are focused to grant the greatest payoff by

their action. Player 1 has the advantage of observing the latest status of Player 2. *Q* is the percentage of occupancy (busyness) of queue at the destination illustrated as in Figure 3. This function is similar to the drop function for other AQM algorithms like RED and WRED. *Q_{min}* is a minimum threshold for the destination to define itself as empty. Until this threshold in terms of Queue Average (*Q_{avg}*), destination is not tended to drop any packet, but accept all. *Q_{max}* is another threshold which is close to maximum possible queue length of destination (buffer size). Beyond this threshold, destination is fully tended to drop all packets to keep its buffer at ease not to cause overflown buffer or some network problems. Between *Q_{min}* and *Q_{max}* thresholds, destination defines its occupancy as linear and tended to drop some of the packets by evaluating the packet size and its priority. In this implementation, without loss of generality, we will set our occupancy function as linear, while other functions (quadratic, exponential, etc) can also be used as desired. *Q_{min}* and *Q_{max}* are pre-set and static values just after the network is up and shared with any source via handshake process. Current occupancy percent (*Q*) is also shared by gateway (the destination) to sensors (the sources) when a sensor establishes a new connection via handshake, and with any acknowledge packets for incoming packets as illustrated in Figure 4. *Q₂* is another information used at the side of sender. This is based on *Q* plus other circumstances like timeouts, dupacks. If *Q₂* is tended to be greater than 100% which is not feasible, than it is assumed as 100%. The calculation methodology will be handed over in the next section. If player 1 (the sender) doesn’t see any possible overhead at its own side and find out the possible action of player 2 (the destination) which is an ‘‘accept’’ for a low-prioritized, small sized packet under normal circumstanced network, both player 1 and player 2 will receive a good amount of payoff. The more prioritized packet is, the more payoff will be received by sensor and gateway. We will try both sides to boost to complete a transfer with high-prioritized packets. But also, sender will pay the cost of size of packet and average *RTT*. If packet is big and average *RTT* is high, then player 1 needs to pay more from earned payoff. It is assumed as an effort which should be reduced from total award. On the other hand, if there is a possible high occupancy at player 2 (the destination), and there is some network issues which is sensed from timeouts or dupacks and still player 1 tries to send a packet, as player 2 may not receive it or drop it even if received, there will be futile effort at the side of Player 1. So, there will be no awards, but effort is lost in terms of *S* and *RTT*.

Table 1. Variables of the proposed game model

<i>pr</i>	Priority of packet from 0 to 1.
<i>S</i>	Size of packet from 0 to 1. It is calculated as the ratio of the packet size to the Maximum Segment Size (MSS).
<i>RTT</i>	Moving average of <i>RTT</i> occurred till then. 0 means low <i>RTT</i> , 1 means very high <i>RTT</i> .
<i>A</i>	An award. (- <i>A</i> stands for a penalty.) It should be greater than sum of maximum possible value of <i>S</i> and <i>RTT</i> .
<i>Q</i>	The percentage of busyness of queue at destination according to defined function.
<i>Q₂</i>	Drop probability at source. It is based on <i>Q</i> and additionally some other decision inputs (like timeouts, dupacks).

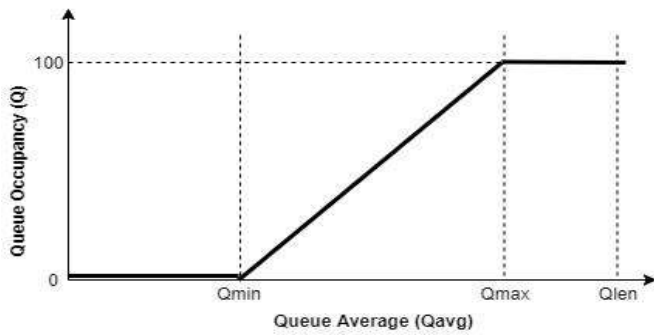


Figure 3. Queue occupancy function by queue average

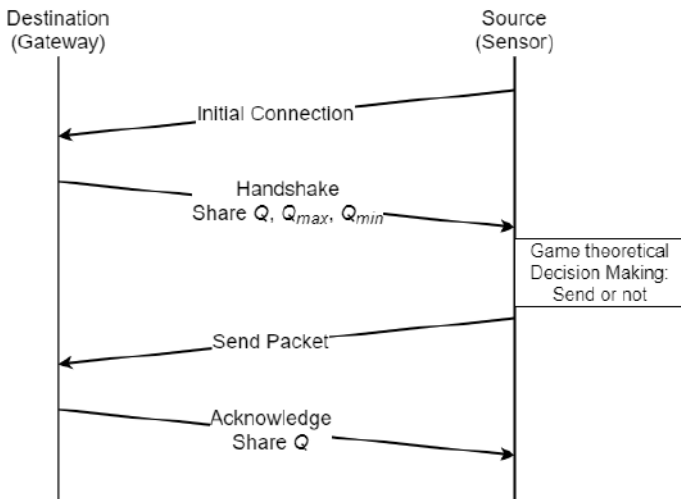


Figure 4. Flow diagram of queue information sharing from gateway to sensor

Now let us describe the rationale behind the formulated game illustrated in Figure 2. If receiver has low or no occupancy (Q is nearly 0), sending a packet will grant a payoff correlated with the priority of the packet. Low-prioritized packet grant low payoff etc. Player 1 always pay for the size of packet and packet delay RTT from its award. An award A will be deterministic for our players behavior. Increasing A will make both sides greedy and to grant it both sides will try to complete a packet transfer even in an occupied destination and loose network. Decreasing A will make them to be at the safe side. They will take less risk. Accepting the packet for player 2 will give same amount of award excluding RTT as RTT does not matter at the gateway side. It is the round trip delay experienced by the sender (sensor, in our scenario).

Now let us consider the outcome where player 1 sends and player 2 drops in a non-occupied queue. Player 1 will get the same reward mentioned above, but player 2 will receive a penalty correlated with the priority of packet. This action is actually undesired. We try to avoid player 2 not accepting packets while available to keep the system utilized. Last action for Figure 2, not sending the packet in an available system which makes no

difference at gateway side. So that gateway will not be granted or fined any payoff. Player 1 also never receives anything. We want to keep them away from this lazy action by zero-grants as much as not needed. But if needed, they would profit from loss.

Let us examine the scenario where player 2 is occupied. If player 1 sends the packet to occupied player 2, then player 1 must pay for the futile effort ($-S - RTT$). In all payoffs, according to the Q value, left-hand side or right-hand side will be dominant. If Q is high, then the side which is multiplied with Q is dominant, if Q is low then the side which is multiplied with $(1 - Q)$ is dominant. If the packet is too prioritized, then the punishment aimed to be less due to the left-hand side. We do not want to blame too much if player 1 wants to send a very prioritized packet to an occupied destination. Trying to accept a packet for player 2, will make it lose in the same way excluding RTT . So, for the next scenario, player 1 sends to occupied player 2 and player 2 drops; player 1 will be fined for the efforts done, but player 2 will be granted with an award of A by dropping the packet. This is also correlated with the unimportance of packet. Not accepting a low-prioritized packet will grant more as usual.

2.2.3. Numerical Results

In this title, we will simulate how AQM algorithm works with real life use cases. We will instantiate some environments to have better understanding about the proposed AQM algorithm. Now let us give some example environments and analyze the corresponding game models. Let us imagine an environment where the sensor wants to send a medium sized packet ($S = 0.5$) with medium priority ($pr = 0.5$) on a high-speed link with low RTT value. Award is set to 4 which is a moderate incentive value and there is no occupancy at the destination and no recent timeouts or dupacks, thus $Q = Q_2 = 0$. The normal-form representation of the extensive form game for this scenario is illustrated in Table 2. In this game, Send, Accept is a Nash Equilibrium (Kuhn et al. 2016), because both do not gain more by changing their actions. For the sender, it would be OK to send the packet, because it will be awarded with a reward of 1.4 and also it obviously knows that destination will accept the packet.

Table 2. Payoff Table for given environment

		Player 2	
		Accept	Drop
Player 1	Send	(1.4, 1.5)	(-0.6, -1.5)
	Not Send	(0, 0)	(0, 0)
$pr: 0.5 \quad S: 0.5 \quad RTT: 0.1 \quad A: 4 \quad Q: 0 \quad Q_2: 0$			

Now, let us imagine the same environment, but we would like to send very prioritized packet such as $Pr = 0.9$. The corresponding payoff table is shown in Table 3. Sending the packet will reward both side 3 and 3,1 respectively with Send, Accept action which has greater payoffs than the previous one. Another identical environment but with highly occupied destination ($Q = 0.7$), with some timeout and dupack scenarios, so that Q_2 is 0.8. Table 4 shows the corresponding game. Here, there is a considerable occupancy at the destination, but also there is a high prioritized packet. So, still sending it will be the best selection although the rewards are lower than the previous cases.

Table 3. Payoff Table for given environment for high prioritized packet

		Player 2	
		Accept	Drop
Player 1	Send	(3, 3.1)	(-0.6, -3.1)
	Not Send	(0, 0)	(0, 0)
<i>pr: 0.9 S: 0.5 RTT: 0.1 A:4 Q:0 Q₂:0</i>			

Table 4. Payoff Table for given environment for high prioritized packet in a highly occupied destination with some network issues at sender

		Player 2	
		Accept	Drop
Player 1	Send	(0.12, 0.3)	(-0.6, -0.3)
	Not Send	(0, 0)	(0, 0)
<i>pr: 0.9 S: 0.5 RTT: 0.1 A:4 Q:0.7 Q₂:0.8</i>			

Now, let us consider an environment where the sender realizes more timeouts and dupacks compared to the previous cases, and the Q_2 value is 0.9 at sender side. The payoff values are now shown in Table 5.

Table 5. Payoff Table for given environment for high prioritized packet in a highly occupied destination with more network issues at sender

		Player 2	
		Accept	Drop
Player 1	Send	(-0.24, 0.3)	(-0.6, -0.3)
	Not Send	(0, 0)	(0, 0)
<i>pr: 0.9 S: 0.5 RTT: 0.1 A:4 Q:0.7 Q₂:0.9</i>			

Here when we consider destination, it seems to accept the packet, if the packet can make through its way to destination. However, sending the packet will give a negative payoff to the sender. So, here not sending the packet would be the best choice as there is no loss in this action for sensor. This scenario can be commented as there is some network issues and the destination is highly occupied, so no need to take risks on the network for this packet and it might be better to relax destination side by not sending this packet. The flow after “not send” action will be revealed in the next section. Now, we consider another scenario where a medium-low priority packet is sent to a medium-low occupied destination and there exists some network issues. In the resulting payoff table shown in Table 6, it is clearly seen that Player 2 will drop the packet if player 1 sends. So here, it is not possible to collect 0.36 payoff in the action Send, Accept. If player 1 sends the packet, player 2 drops it and player 1 gets -0.6. So that, not sending the packet will make it profit from the loss with zero-grant, in other words, zero-loss.

Table 6. Payoff Table for given environment for mid-low prioritized packet in a mid-low occupied destination with medium packet in a high-speed link network with some network issues.

		Player 2	
		Accept	Drop
Player 1	Send	(0.36, -0.1)	(-0.6, 0.1)
	Not Send	(0, 0)	(0, 0)
<i>pr: 0.4 S: 0.5 RTT: 0.1 A:4 Q:0.3 Q₂:0.4</i>			

However, this does not mean that this packet will be vanished and never be sent to destination again. Not sending a packet which is going to be dropped would result in a high utilization and effort. Waiting for a better time to send it will be a better and efficient choice. If award is increased, let us say $A = 8$, then both sides will have more dare to fulfill their mission. Source will force itself to send the message to destination no matter what and the destination will force itself to accept the packet unless there are extraordinary situations. This scenario can be observed in Table 7.

Table 7. When award increased, both sides observe that they resist to extraordinary situations.

		Player 2	
		Accept	Drop
Player 1	Send	(1.32, 0.3)	(-0.6, -0.3)
	Not Send	(0, 0)	(0, 0)
<i>pr: 0.4 S: 0.5 RTT: 0.1 A:8 Q:0.3 Q₂:0.4</i>			

2.2.4. Deep Diving

So far, we explained the proposed method in general terms and try to give a better understanding on what we are aiming to do, briefly. Now we will deep dive into the proposed algorithm to describe the details of the variables used in the game model, and how to determine them. First struggle is how to determine the Q_2 which is based on Q and increased with some dupack and timeouts. The value of increment is called Q_a , hence $Q_2 = Q + Q_a$. The value of Q_a is proportional to some score α which is between 0 and 100. Actually, α is sum of two non-negative scores, one is α_t which is related to timeout events, and the other is α_d which is related to dupacks. Hence $\alpha = \alpha_t + \alpha_d$. If there is no congestion and all the ACKs are received in time, then $\alpha = 0$ and there is 100 score to fill up. When a timeout occurs for a sent packet, α_t would be incremented by 2^n where n is the number of consecutive timeouts. However maximum value of α cannot exceed 100. When an ACK of a packet is received successfully after a timeout event, α_t is reset to 0 (but α_d stays as is). Moreover, any dupacks will add 1 to α_d and normal ACKs will subtract 1 from the score granted from dupacks. α_t and α_d are separate scores that do not affect each other, however their sum, α , cannot exceed 100. Then, Q_a is determined based on α . In our model, $Q_a = \alpha/100 \cdot Q/2$, hence the maximum value of Q_a cannot

exceed $Q/2$. To be more specific what we are trying to do that here; we actually do not want this part to strongly affect Q_2 as Q itself is already robust and decision-maker. That's why we wanted its effect as half of what Q is. This is still open for discussion and will be fine-tuned in the future works. For example, if Q is 0.3, then Q_2 can be as much as 0.45. If $\alpha = 50$, then $Q_2 = 0.3 + 0.075$.

Another struggle is to determine packet priority. This can be set at application layer where we will determine this at the transport layer. A packet priority can be overridden by any higher layers at sensor side. But this priority should be used cautiously. Setting all the priorities as the highest will incur the general system to determine which packet is important or not. Besides of overriding the priorities, as default approach the payload is read within a TCP envelope. Sensors usually create same values within a specific time interval. Thus, if a sensor value is the same with the previous one, this will decrease the importance of packet. Any identical value will decrease 0.1 score over 1 as priority. Any different value will reset this priority to important state with score 1. Now, "not send" actions require special care where we will touch in detailed here. Let us think from the aspect of MQTT level. There are lots of values that are queued to be sent. MQTT can use priority in its queue itself. When a value desired to be sent, a TCP packet shows up to wrap this value in transport layer and transfers to network layer. In this layer, it can also be accessed to payload of TCP packet. The game theoretical decision is implemented here, if it happens to decide not to send the packet, a waiting period for this packet appears. This waiting period depends on the absolute value of the greatest negative payoff of source or destination in Send action. For example, in Table 6, it is 0.1 which comes from Send, Accept action. In Table 5, it is 0.24. This represents the value how easily source picked this action if it decided not to send due to Q_2 , or how easily destination picked this action if it decided to drop due to Q . This extracted value is multiplied by Award A to find how much to wait in terms of seconds, such as $4 * 0.24 = 0.96$ sec. After this waiting period, transport layer will be notified as the packet refused. So that, TCP would learn that specific packet was unable to be sent. As it has retransmission policy this packet will be resent, or it will be discarded if maximum retransmission count has been reached. If the packet is resent, then its priority will be increased by 0.1 and decisions would be re-evaluated using game theory. An overview of the algorithm is revealed in the pseudocode given in Figure 5.

The last, but not the least variable is award A . This award can be set static which should not be a problem and it is 3 as default. But customizing this award according to senders will provide many advantages. Awards boosts the source and destination to send and accept the packet. If award is high enough, and if a packet is decided to be sent, the more payoffs will be granted for sender. Award can be determined by receiver and sent to the sender with an ACK packet using "option" header in TCP. Receiver such as gateway can store the senders and can find their value time intervals or their importance of values by reading the payload. So, frequent message senders can be awarded less than rare message senders. Assume that a temperature sensor sends value within 5 second cycles, but an anomaly detector camera sends value only when an intrusion or suspected actions happens which rarely occurs only per 6 hours averagely. So, gateway can give high award to camera, on the contrary low award to temperature sensor which will throttle it. Moreover, sensors can override award value on their own and share it with destination via handshake process if it is a reliable device. But it should be

overridden with caution, otherwise that device might turn into a zombie exploiting the network and destination.

Algorithm 1: AQMoT pipeline pseudocode

```

Result: Decide to send or not send the packet
initialization;
while A packet is not sent or not discarded do
  if TCP Retransmission and retransmission max try count reached then
    Packet discarded;
    If needed Application Layer will try to send it from the scratch;
  else
    Construct the pay-off table of the game and decide;
    if Nash equilibria action is [Send-Accept] then
      Send the packet to destination;
      Accept the packet at destination and acknowledge the source;
      if Acknowledged then
        Reset timeout score from  $Q_a$ ;
        Decrease  $Q_a$  by 1 for dupack score;
        Go for next packet;
      else
        if Not acknowledged then
          Timeout occurs at TCP side, resend packet with same conditions;
           $Q_a$  will increase at source side by  $2^n$ ;
        else
          if Duplicate Acknowledge then
             $Q_a$  will increase by 1
          else
            end
          end
        end
      end
    else
      if Nash Equilibria action is [Not Send] then
        Do not send the packet;
        Wait seconds corresponding to absolute value of the greatest negative
        payoff of source or destination in Send action;
        Increase the priority by 0.1;
        Return refuse to transport layer;
      else
        Packet Discarded;
      end
    end
  end
end
end

```

Figure 5. Pseudocode of the proposed approach.

3. Comparison and Discussion

3.1. Comparison

AQMoT is an IoT specific scalable AQM implementation algorithm to cope with queue and congestion effectively. Out of scope of IoT, it might not be appropriate. But, in a contemporary world circumstances IoT is a must and widely spread. So, this algorithm may have a remarkable acceptance comparing other IoT-domained AQM implementations.

AQMoT has also some limitations. Firstly, it may not work as proposed above in an environment with end-to-end encryption. If security is applied at the application layer, such as MQTTS (MQTT secure), the content will be encrypted which disallow us to read the content, and leads us to a problem of determination of priority. In this case, priorities should be defined at application layer and should be passed to transport layer and network layer in the end. Otherwise, the priority determination approach can be renewed such that all the packet priorities are defined as 0.5 for a

specific packet, and the priority is incremented by 0.1 if it is not sent and dedicated to re-send process. Packets can be distinguished by their sequence numbers reside in TCP headers. The second limitation of AQMoT is that it requires space in TCP headers to share some information between sender and destination (such as Queue information, Award amount, etc.). Moreover, some packet processing and memory issues are added such as reading and comparing the contents and the priorities. However, these requirements are minimal and it would not be a big deal for the nowadays devices.

Now, we will provide a conceptual comparison of AQMoT and alternative queue management methods that can be applied in IoT environment. The first method to be considered is ECN although it may not be counted as an active queue management approach. In ECN method, a node can notify another node if it arises a congestion or not by using IP headers. In this implementation, An ECN-enabled TCP receiver node will return with a congestion signal to this notification signal by setting a flag in its next TCP Acknowledgment. ECN is also able to reduce packet losses thanks to proactive congestion control; this leads to an energy and bandwidth save which is crucial for IoT network called Constrained Node Networks. This method can contribute any AQM algorithm to satisfy comfort at the network buffer. But this implementation is too general and it has no specific features for IoT environment. There are plenty of types of nodes within an IoT network where generalization might not work very well. All the nodes require special assistance and individual interest. Some resource-exploiting nodes can cause a general outage as there is no specific throttling mechanism as we proposed.

RED is a generic AQM approach to handle queues in any domain. Although it has an ease of deployment, it is not adaptive to different types of network domains and it might not fit well to IoT domain. However, this approach has inspired researchers to develop many novel approaches. One of the mentioned approaches based on RED is WRED that has different calculation way of average queue and drop function for different traffic classes. WRED, is likely better at applying QoS-Sensitive congestion avoidance. It has reasonable approach to drop and mark packets compared to RED but it is still not fully suitable to IoT network. Because it does not value the content and the sender. It fully focuses on the destination.

Another mentioned variance of RED is ARED. In this approach, the queue average is observed and decided to be more or less aggressive while marking and dropping the packets even though a queue is more or less busy. It adapts itself in accordance to current status. Similar to RED, ARED has two thresholds min_{th} and max_{th} where queue average may oscillate around these limits so that it can define its behavior such as being aggressive or conservative. It also adapts drop probability in these times to maintain more adaptive approach for the variable network conditions. This is also a desired thing in IoT domain. ARED shows up with the best performance in a highly congested environment, however it diminishes its performance when it encounters with an environment with multiple RTT flows. It is also good at fine-tuning the trade-off between goodput and delay performance (Grazia et al. 2017). However still as it does not value the content and network exploiting nodes, and since sender nodes do not cooperate as they do in AQMoT approach, it may not be fully "adaptive" to IoT environment.

XRED which values the content is a good approach. Because by valuing the content, all arriving packets are assigned to some

priorities and these priorities are used in the packet drop decision. This aims to maintain the network by handling important packets and getting rid of useless packets. This work has a commonality with our AQMoT approach which cares about content as well. In IoT networks, significance of the content is very important and for fair and effective queue management, it should be considered. However, this approach has the same disadvantages of ours in aspect of content reading. In addition, still there is no cooperation between sender and destination, many packets can fade away due to drop possibilities causing packet losses.

GREEN uses some network conditions such as MSS , RTT , outgoing link capacity, and number of active flows. Using such kind of terms to define the drop possibility makes it more reasonable. Moreover, this algorithm proposes a good fairness index between flows (Feng et al. 2002). According to (Grazia et al. 2017), PIE, which also overcomes GREEN, has a resistance to all the stress factors, and it has one of the best trade-offs between channel exploitation and delay. Coping with channel exploitation is actually a big part of coping with the whole IoT network. It has also latency-based drop possibility calculation which is not fully random and can be considered as smart dropping. This approach also has a goal to guarantee high-link utilization. However, still it has no cooperation between sender and destination and content awareness which may cause some overhead in IoT network. This still does not avoid sending packets which possibly will be dropped by destination or within network which may cause a futile effort in such an IoT dumb data traffic.

CHOKe and its variants provide fairness by penalizing unresponsive traffic. Since these approaches are stateless, they are simple to implement and require less resources. AQMoT differs from these studies by adding a little intelligence to sensor nodes to avoid them sending data aggressively, instead of penalizing them after the congestion occurs.

3.2. Discussion

In Table 8 algorithms are compared in terms of many aspects. "Content Awareness" points to intelligent actions taken according to the packet content, which is a feature satisfied by XRED and AQMoT. Both algorithms run some logic according to content located in the packet. Others operate regardless of what the content is. "Ease of deployment" mentions about ease of implementation and deployment to the plenty of network nodes. AQMoT has medium level in this category, because some nodes sometimes need to override some priority values which requires extra development at the nodes. Moreover, it requires an update in the devices in Operating System level. Well-known and base algorithms like ECN, RED has a high level of ease of deployment as they are general approaches in this topic. The more complicated algorithms they run, the harder to deploy them. Adaptive approaches like ARED has some struggles to deploy as the logics and algorithms they run may not be compatible for some kinds of nodes. "Fully IoT compatible" means whether an algorithm is developed specifically, efficiently, optimized, and compatibly for many IoT environments. Here, AQMoT is specifically designed for IoT so that it has the highest score in this scope. "Other domains" points to the capability of the algorithm to be efficiently and compatibly used in other domains. Many of the algorithms can be used in different domains other than IoT, but AQMoT can cause overhead. For example, if it is used in streaming services, the system suffers from content reading and tracking. General approaches like RED and ECN has a huge implementation area within many kinds of domains. "Complexity" points to algorithm

Table 8. Overall comparison of algorithms

	Content Awareness	Coop	Ease of Deployment	Fully IoT Compatible	Other Domains	Complexity	E2E Semantics	Intelligence
ECN	No	Sometimes	Good	No	Yes	Low	High	No
RED	No	No	Good	No	Yes	Low	High	No
WRED	No	No	Good	No	Yes	Mid-low	High	Yes
ARED	No	No	Medium	Medium	Nearly	Medium	High	Yes
GREEN	No	No	Medium	Mid-Low	Yes	Medium	High	Yes
XRED	Yes	No	Medium	Low	Nearly	Medium	Medium	Yes
PIE	No	No	Good	High	Nearly	Medium	High	Yes
AQMoT	Yes	Yes	Medium	Yes	Some	Medium	Medium	Yes

complexity. RED is the simplest and the ancestor for many of them. The others actually extended the implementation to do some specific things, such as drop function calculation etc. which adds extra complexity to algorithms. Although AQMoT has a decision-making algorithm within its nature, it is as simple as possible. So the complexity should not be assumed more than a normal level. "E2E semantics (End to End semantics)" points to compatibility throughout all the nodes within network regardless of whether it uses secure channel or different implementations in mid-nodes. AQMoT and XRED can be affected if a secure channel preferred which blocks both algorithms to read the content as it is encrypted. "Coop" means cooperation between source (sender) and destination where they both value current conditions of each other. Besides AQMoT, ECN has also cooperative approach where it signals the sender if it feels itself as congested and sender behaves according to this signal. Destination is clear about its condition to sender in order to push it to coordinate. Other algorithms do not have such kind of approach, they do not care about the opposite side. "Intelligence" means that if algorithm runs some intelligent operation to save itself from randomness, adapts itself to some conditions. For example, PIE uses different approach at calculation drop function by using queuing delay and its tendency to more or less. XRED also uses content tracking to determine priority which is a simple intelligence. ECN and RED algorithms are simple and constant algorithms which do not change in any condition. On the other hand, AQMoT has different decisions and results with respect to many kinds of conditions as described before.

4. Conclusions

In this study, we propose a novel AQM algorithm which specifically, efficiently and compatibly works in IoT domain. The main aim is to avoid futile efforts of dumb IoT nodes, by throttling them if they are exploiting too much resources by sending a lot of low-priority data. For this purpose, we describe a novel light-weight decision-making process based on game theory, where senders (sensors) get feedback from gateways, and make sending decisions accordingly. In this process, senders and receivers are also aware of priorities and contents of the packets. Thus, the proposed approach has a potential of providing better quality of service and fairness. To the best of our knowledge, this is the first AQM approach based on game theory, which is specifically

designed for IoT networks. Although the proposed algorithm is candidate to good results, it is still open to further development. There are several operations that should be adjusted to find the best practice, such as determining the Q values, the variables used in game model and the occupancy function. Occupancy function can be exponential or adaptive rather than linear which will be further examined as a future work. Moreover, a detailed experimental study is planned in an active IoT environment.

5. Acknowledge

This work is supported by Koc Digital R&D center.

References

Ataç, C., and Akleyek, S. (2019). A survey on security threats and solutions in the age of IoT. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, No. 15, (pp. 36–42).

Naik, N. (2017). Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP. *2017 IEEE international systems engineering symposium (ISSE)*, IEEE, (pp. 1–7).

Baker, F., and Fairhurst, G (2015). IETF Recommendations Regarding Active Queue Management. RFC 7567. <https://doi.org/10.17487/RFC7567>, URL <https://rfc-editor.org/rfc/rfc7567.txt>.

Toğay, C., Mutlu, G., Kurtuluş, D., and Özgür, F.(2019). Secure Gateway for the Internet of Things. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, No. 16, (pp. 414–426).

Gomez C., J. C. (2019). TCP Usage Guidance in the Internet of Things (IoT). IETF.

Floyd, S., and Jacobson, V. (1993). Random early detection gateways for congestion avoidance. *IEEE/ACM Transactions on networking*, Vol. 1, No. 4, (pp. 397–413).

Freed, M., and Amara, S. K. (2006). Policy-based weighted random early detection method for avoiding congestion in internet traffic. US Patent 6,996,062.

Feng, W.-C., Kandlur, D. D., Saha, D., and Shin, K. G. (1999) .A self-configuring RED gateway. *IEEE INFOCOM'99. Conference on Computer Communications. Proceedings. Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. The Future is Now (Cat. No. 99CH36320)*, Vol. 3, IEEE, (pp. 1320–1328).

- Hassan, M., and Jain, R. (2003). High performance TCP/IP networking, Vol. 29, Prentice Hall Upper Saddle River, NJ
- Feng, W.-c., Kapadia, A., and Thulasidasan, S. (2002) GREEN: proactive queue management over a best-effort network. *Global Telecommunications Conference, 2002. GLOBECOM'02. IEEE, Vol. 2, IEEE, 2002, (pp. 1774–1778).*
- Pan, R., Natarajan, P., Piglione, C., Prabhu, M. S., Subramanian, V., Baker, F., and VerSteeg, B. (2013). PIE: A lightweight control scheme to address the bufferbloat problem. *2013 IEEE 14th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR), IEEE, (pp. 148–155).*
- Grazia, C. A., Patriciello, N., Klapez, M., and Casoni, M. (2017). Which AQM fits IoT better?. *2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), IEEE, (pp. 1–6).*
- Aumann, R. J. (1985) .What is game theory trying to accomplish?. *Frontiers of Economics*, edited by K. Arrow and S. Honkapohja.
- Kuhn, H. (2016). Extensive games and the problem of information. *In H. Kuhn and A. Tucker; editors, Contributions to the Theory of Games*, (pp. 193–216).
- Hu, S., Sun, J., Xu, Q., & Kong, J. (2020). A Fairness-driven Active Queue Management Algorithm with Hash Table and Circular Buffer. *In 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC) (pp. 2502-2506).* IEEE.
- Verma, L. P., & Kumar, M. (2020). An IoT based Congestion Control Algorithm. *Internet of Things, 9*, 100157
- Pan, R., Prabhakar, B., & Psounis, K. (2000, March). CHOKe-a stateless active queue management scheme for approximating fair bandwidth allocation. *In Proceedings IEEE INFOCOM 2000. Conference on Computer Communications. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (Cat. No. 00CH37064) (Vol. 2, pp. 942-951).* IEEE.
- Eshete, A. T., & Jiang, Y. (2013). On the transient behavior of CHOKe. *IEEE/ACM Transactions on Networking, 22(3)*, 875-888.
- Lu, L., Du, H., & Liu, R. P. (2013). CHOKeR: A novel AQM algorithm with proportional bandwidth allocation and TCP protection. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10(1)*, 637-644.
- Abbas, G., Manzoor, S., & Hussain, M. (2018). A stateless fairness-driven active queue management scheme for efficient and fair bandwidth allocation in congested Internet routers. *Telecommunication Systems, 67(1)*, 3-20.
- Hu, S., Sun, J., Liu, Z., & Xu, Q. (2018). A PI Queueing Delay Controller Enhanced by Adaptive CHOKe for AQM. *IEEE Access, 6*, 57219-57229.



Hastane Hizmetlerinin İyileştirilmesinde Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG) Yönteminin Kullanılması ve Nesnelerin İnterneti Teknolojisiyle Model Önerisi

Muhsine Nur Naralan Nursaçan^{1*}, Tahsin Çetinyokuş²

^{1*} Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüdü, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: [0000-0003-2991-137X](https://orcid.org/0000-0003-2991-137X)), mhsnrrln@gmail.com

² Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: [0000-0002-9963-5174](https://orcid.org/0000-0002-9963-5174)), tahsinc@gazi.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.763127)

ATIF/REFERENCE: Naralan Nursaçan, M. N. & Çetinyokuş, T. (2020). Hastane Hizmetlerinin İyileştirilmesinde Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG) Yönteminin Kullanılması ve Nesnelerin İnterneti Teknolojisiyle Model Önerisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 181-195.

Öz

Teknolojik gelişmeler yaşam kalitemizi arttırmak ve hayatımızı kolaylaştırmak amacı taşımaktadır. Sağlık Hizmetleri'nin sunulduğu hastanelerin daha iyi hizmetler sunması ve insanların yaşam kalitesine doğrudan etki etmesi sebebi ile gelişen teknolojilere adapte olması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı sistematik bir yol izlenebilmesi için Kalite Fonksiyonu Göçerimi yönetimi kullanılarak, sağlık sektörüne etkisi ortaya konulan Nesnelerin İnterneti (IoT)'nin hastanelerde sunulan sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesinde bir model önerisi sunmaktır. Müşteri ihtiyaçları Servqual ölçeği yardımı ile uzman ekip danışmanlığı tarafından belirlenmiş, bu ihtiyaçlara Nesnelerin İnterneti kapsamında önerilebilecek teknik gereksinimler sunulmuş ve Kalite Fonksiyonu Göçerimi yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada ortaya çıkan Kalite Evi incelendiğinde en yüksek önem derecesine sahip teknik gereksinimin ;“Kablosuz Vücut Algılayıcıları ile sağlık birimlerine uyarı sistemi oluşturulması” olduğu belirlenmiş bunu sırası ile “İnternet ve mobil uygulamalar üzerinden sağlık danışmanlığı” ve “Kablosuz erişim noktası sayısının artırılması” izlemiştir.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Kalite Fonksiyonu Göçerimi, Sağlık Hizmetleri, Servqual ölçeği

Using Quality Function Deployment (QFD) Method in Improving Hospital Services and Model Proposal in Internet of Things Technology

Abstract

Technological developments aim to make our lives easier and to improve our quality of life. The hospitals in which the Health Services are provided, need to adapt to the developing technologies to provide better services as they have a direct impact on the quality of life of the people. The aim of this study is to propose a model for the use of the Internet of Things (IoT), the effect of which has been demonstrated on the health sector, in the improvement of the health services provided in hospitals by using Quality Function Deployment management in order to follow a systematic way. Customer needs are determined by expert team consultancy with the help of Servqual scale, technical requirements are presented that can be suggested within the scope of the Internet of Things and the Quality Function Deployment method is applied. When the Quality House emerging in the study is analyzed, it is seen that the technical requirements with the highest importance is “Establishing a warning system for health units with Wireless Body Sensors”, followed by “Health counseling over the Internet and mobile applications” and “Increasing the number of wireless access points”, respectively.

Keywords: Internet of Things, Quality Function Deployment, Health Services, Servqual scale.

* Sorumlu Yazar: mhsnrrln@gmail.com

1. Giriş

Teknolojik gelişmeler ile birlikte insan hayatında birçok değişim olmuştur. Bu değişimler ve gelişmeler yaşam kalitesini artırma amacı taşımaktadır. Birçok alanda yapılan çalışmaların yanı sıra sağlık alanında yapılan çalışmalar yaşam kalitesine doğrudan etki etmektedir. Günümüzde sağlık, sadece sosyolojik bir olgu olarak değil ekonomik ve politik bir olgu olarak da karşımıza çıkmaktadır. Ülkelerin refah seviyelerine bakılırken sağlık sisteminin ülke nüfusu için gerekli tüm sağlık ihtiyacını karşılayacak nitelikte olması dikkate alınmalıdır. Sağlık hizmetlerinin kalitesi, insanların yaşam kalitesinin artmasına aynı zamanda ülkenin de refah seviyesine ve gelişmişlik düzeyine etki etmektedir. Sağlık Hizmetleri'ne istenilen zamanda, istenilen yerden erişim imkânı sunulması ile birlikte çalışmalar uzman sistemlere doğru yönelmiştir. İncelenen makalelerde sağlık hizmetlerinin gerçek zamanlı veriye ve hassas analizlere ihtiyaç duyulan en önemli sektör olduğu görülmektedir.

Küreselleşmenin etkilerinin kaçınılmaz olduğu ve teknolojinin ortaya çıkardığı problemleri çözmek üzere başka teknolojilerin geliştirildiği çağımızda, gelişmiş hizmetler sunmak üzere bilgi ağlarına fiziksel nesnelere entegre edilmesi ile birlikte Nesnelere İnterneti ortaya çıkmıştır. İnternetin kolay ulaşılabilir olması Nesnelere İnterneti'nin gelişmesine büyük katkı sağlamaktadır. Yapılan literatür taramasında Nesnelere İnterneti (IoT)'nin Sağlık Hizmetlerinde ne gibi değişimlere sebep olduğu görülmektedir. Nesnelere İnterneti (IoT) tabanlı Kablosuz Vücut Alan Ağları ve Sensörlerin oluşturduğu bir altyapı ile birlikte toplanan verilerin Bulut tabanlı depolama ve hesaplama ara katmanı sayesinde son kullanıcılara; doktorlara, hemşirelere, hastalara istenilen bilgilerin sağlanması ile sağlık hizmetleri her zaman ve her yerde verilmeye başlanmıştır.

Literatüre bakıldığında sağlık kuruluşlarının geliştirilmesinde Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG) yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Akdağ ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, müşteri ihtiyaç ve beklentilerini özel bir sağlık hizmeti ortamında kalite özelliklerine dönüştürmek için kalite fonksiyon göçerimi yönteminin nasıl kullanıldığını bir vaka çalışması ile kalite iyileştirmesi için mevcut bir Servqual ve KFG entegrasyonu yaklaşımının nasıl uygulanabileceği gösterilmiştir (Camgöz-Akdağ, Tarım, Lonial, & Yatkın, 2013). Benzer bir çalışma Aktepe ve arkadaşları tarafından yapılmış ancak Servqual yönteminin boyutları ana kriterler ve bu boyutlarla ölçülen değişkenler alt kriterler olarak düşünülerek ağırlıklandırma Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ile gerçekleştirilmiştir (Aktepe, ve diğerleri, 2011). 2012 yılında Çiğdem Değer tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında Kalite Fonksiyonu Göçerimi yöntemi Servqual ve Kano modelleri ile bütünleştirilerek bir model elde edilmiştir. Tez çalışmasında Servqual Modeli ile işletmenin beklenen ve algılanan hizmet puanları hesaplanmış, Kano Modeli çalışmaya dahil edilerek müşteri isteklerinin hangi sıra ile karşılanması gerektiği bulunmuş, daha sonrada bu veriler kullanılarak Kalite Fonksiyon Yayılımı yöntemi ile Kalite Evine yerleştirilmiştir (Değer, 2012). Al Memari'nin yapmış olduğu tez çalışmasında toplam kalite sağlık modeli geliştirmek için bir teknik olarak Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) seçilme nedenleri üzerinde durulmaktadır. Hastane tabanlı bir vaka çalışmasının yardımıyla sağlık hizmetinde KFG kullanılması olasılığını araştırmaktadır. Al Memari çalışmasında sonuçlara dayanarak, sağlık yönetimini

toplam kalite gelişimlerinde yönlendirmek için toplam kalite modeli geliştirmiştir (Al Memari, 2016). Bahsedilen çalışmada da görüldüğü üzere endüstriyel üretim geliştirme yöntemi olarak ortaya çıkan KFG, sağlık sektörü ve farklı sektörlerde de hizmet kalitesinin artırılmasında kullanılmaya başlanmıştır. Bu araştırmalarda müşteri sesinin dinlenmesinde çoğunlukla KFG ile birlikte Servqual ölçeğinin bütünlük olarak kullanıldığı da görülmektedir.

Nesnelere İnterneti; çok sayıda farklı ve heterojen uç sistemleri bir araya getirerek, çok sayıda dijital servisin geliştirilmesi için seçilen veri alt kümelerine açık erişim sağlayabilmektedir. Sahip olduğu potansiyel ile gerçek zamanlı veri sağlaması ve nesnelere uzaktan erişim imkânı sağlayabilmesi özellikleri birçok sektörde gelişim sağlamış ve bu sektörleri bir üst seviyeye taşımıştır. Nesnelere İnterneti'nin Sağlık Hizmetleri ile etkileşimi diğer sektörlerle kıyasla insan hayatı için daha büyük bir önem arz etmektedir. Sağlık Hizmetlerinin de Nesnelere İnterneti'ni kullanarak gelişmesi kaçınılmazdır. Literatür incelendiğinde birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Chiuchisan ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada Yoğun Bakım Ünitelerinde risk altındaki hastaların izlenmesi için bir akıllı sağlık sisteminin genel bir mimarisi önerilmektedir. Ayrıca çalışmada Sistem doktorlara/sağlık görevlilerine hayati parametrelerin değişimi veya hastaların hareketleri ve ayrıca çevresel parametrelerde önleyici önlemler almak için önemli değişiklikler konusunda tavsiyelerde bulunulmaktadır (Chiuchisan, Costin, & Geman, 2014). Lee ve Ouyang'ın yapmış oldukları çalışmada sağlık hizmetlerinin Nesnelere İnterneti tabanlı kişisel sağlık cihazları ile etkili geri bildirim sağlaması için bir model sunulmuştur. Bu model içerisinde Nesnelere İnterneti kişisel sağlık cihazları arasında risk faktörlerini transfer etmesi için işbirliği protokolü geliştirilmiştir (Lee & Ouyang, 2014). Nesnelere İnterneti tabanlı sağlık bakım sistemlerinin geliştirilmesi, hastaların güvenliğini, yaşam kalitesini ve diğer sağlık hizmetleri faaliyetlerini sağlamalı ve arttırmalıdır. Sağlık Hizmetlerinde geliştirilmesi hedeflenen yönlerin belirlenebilmesi için Kalite Fonksiyonu Göçerimi metodunun kullanılması ile ortaya çıkan Kalite Evi ile yapının ortaya konması eksiklerin ve nasıl giderileceklerinin anlaşılması açısından kolaylık sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde Kalite Fonksiyonu Göçerimi yönteminin sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesinde kullanılmasına karşın Nesnelere İnterneti kullanılarak bir çözüm önerisi sunulmadığı görülmüştür. Bu çalışmanın amacı, Kalite Fonksiyonu Göçerimi yöntemi uygulanarak bir hastanenin hizmetlerindeki eksikler belirlenmeye çalışılarak Nesnelere İnterneti ile bu eksiklerin giderilmesini sağlayacak bir model önerisi sunmaktır.

2. Materyal ve Metot

Bir kamu hastanesinin daha kaliteli bir hizmet sunması için günümüz teknolojilerinden Nesnelere İnterneti'ni kullanmasının hangi ihtiyaçları karşılayacağını görmek üzere bu çalışma yapılmıştır. Müşteri ihtiyaçlarının Servqual yardımıyla hazırlanan bir ölçek ile uzman ekip danışmanlığı tarafından belirlendiği çalışmada, bu ihtiyaçlara Nesnelere İnterneti kapsamında önerilebilecek teknik gereksinimler belirlenmiş ve Kalite Fonksiyonu Göçerimi yöntemi uygulanmıştır. Ortaya çıkan Kalite Evi incelendiğinde sırasıyla en yüksek teknik önem derecesine

sahip teknik gereksinimlerin karşılanabilmesi için Nesnelerin İnterneti teknolojisi ile bir model geliştirilmiştir.

2.1. Hizmet Kalitesi

Bir tanıma göre hizmet “bireylerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla elle tutulamayan, koklanamayan, mallardan ve başka hizmetlerden bağımsız olarak satışa sunulan, standartlaştırılmayan, fayda ve doyum oluşturan, soyut faaliyetler bütünü” olarak tanımlanmıştır (Değer, 2012, s. 4). Üretim süreci içerisinde yapılan bir tanımda hizmet “insan ve makineler tarafından insanların faydası için üretilen, üretim ve tüketiminin eş zamanlı olduğu, heterojen nitelikte ve fiziksel olmayan ürünlerdir” şeklinde ifade edilmiştir (Savaş & Kesmez, 2014, s. 2). Bir başka tanımda ise hizmet müşteri ile hizmeti sunan kişi ya da kurumun karşılıklı olarak birbirleri ile iletişim kurmalarını gerektiren sosyal faaliyetler olarak tanımlanmıştır (Karahan, 2000). Hizmetin birçok farklı tanımının bulunuyor olması sahip olduğu özelliklerden kaynaklanmaktadır. Hizmeti mallardan ayıran bu özellikler; soyutluluk, ayrılmazlık (üretimle tüketimin birbirinden ayrılmaz olması), değişkenlik, heterojenlik ve dayanıksızlık olarak sıralanabilmektedir (Değer, 2012, s. 4) (Rahman, Erdem, & Devebakan, 2007, s. 39).

Sanayi Devrimi ile birlikte seri üretimlerin gerçekleşmesi, ilk kez kalite kavramını ortaya çıkarmıştır. İlk başlarda kalite; dayanıklılık, mükemmellik derecesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat yıllar içerisinde kullanım amacına göre farklı anlamlar taşıyabilmektedir. Temel olarak Latince “qualitas” sözcüğünden türemiştir. Qualitas, bir şeyin nasıl oluştuğu anlamına gelmektedir (Değer, 2012).

Kalitenin tanımında tüketici odaklı ifadelerin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu tanımlardan bazıları “müşterinin sürekli değişen istek ve ihtiyaçlarının karşılanması ya da geçilmesi”, “her türlü hata ve kusurlardan beri olmak”, “müşteriye sunulan ürün veya hizmetin, o müşteriler tarafından belirlenen veya daha sonra ortaya çıkabilecek ihtiyaçlarını karşılama yeteneğine dayanan özelliklerinin bütünü” şeklindedir (Savaş & Kesmez, 2014).

Hizmet Kalitesi; hizmet kavramının sahip olduğu temel özellikleri nedeniyle müşterilerin kalite algısını ve müşteri tatminini büyük ölçüde etkilemektedir. Hizmet kalitesi bir ürün veya hizmetin üstünlüğü ya da mükemmelliği ile ilgili müşterinin genel yargısı, müşterinin hizmet kalitesine olan sevgileri olarak karşımıza çıkmaktadır (Devebakan & Aksaraylı, 2003, s. 40).

Kaliteyi oluşturan unsurlar kalitenin tanımlanmasını zorlaştırmaktadır. Yapılan birçok çalışmada kalitenin unsurları incelenmiş ve bu unsurlar doğrultusunda müşteri beklentileri doğru belirlenmek istenmiştir. Hizmet kalitesinin tüketiciler tarafından nasıl algılandığını tanımlamak ve hizmet kalitesinin ne şekilde etkilediğini belirlemek hizmet şirketlerinin gelecekte başarılı bir şekilde rekabet edebilmeleri ve geliştirebilmeleri için gereklidir (Grönroos, 1983).

Hizmet Kalitesi boyutlarını model olarak ele alan ilk çalışma Grönroos’un çalışmasıdır. Grönroos tarafından geliştirilen Hizmet Kalitesi Modeli 1985 yılında Parasuraman ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Parasuraman ve arkadaşlarının ortaya koymuş oldukları “Kavramsal Hizmet Modeli”, hizmet kalitesi araştırmalarında en çok kabul gören modeldir. Çalışma, hizmet türü ne olursa olsun, tüketicilerin hizmet kalitesini değerlendirmede temel olarak benzer kriterler kullandıklarını ortaya koymuştur (Parasuraman, Zeithaml, & Berry, 1985). Bu

kriterler Hizmet Kalitesi Boyutları olarak 10 başlık altında ele alınmıştır.

2.2. Servqual Ölçeği

Parasuraman ve arkadaşları, tarafından 22 maddeden oluşan ve “Servqual” olarak adlandırılan detaylı bir ölçme metodu (anket) geliştirilmiştir. Bu yöntem hizmet sunucu tarafından sağlanması beklenen ve müşteri tarafından algılanan kalitenin tüketiciler tarafından değerlendirilmesi esasına dayanan bir anket tekniğidir. Temel olarak, müşteri memnuniyetinin “algılamaların beklentiden farklılaşmasının bir fonksiyonu” olduğunu ileri sürülmektedir. On kalite boyutu, Parasuraman ve arkadaşlarının çalışmasında (1985) tüm hizmet sektörleri için geçerli olabilecek beş hizmet kalitesi boyutuna sadeleştirilmiştir (Parasuraman, Zeithaml, & Berry, 1985). Bu beş boyut şu şekildedir;

Fiziksel Özellikler (Tangibles): Hizmet sunumundaki fiziksel imkânlar, araç ve gereçler, ortamın ve çalışanların görünüşüdür.

Güvenilirlik (Reliability): Vaat edilen hizmetin zamanında doğru ve güvenilir bir şekilde yerine getirilebilmesidir.

Heveslilik (Responsiveness): Hizmet sağlanırken hızlı ve yardım sever bir yaklaşım izlenilmesidir.

Güven (Assurance): Hizmet verilirken karşı tarafa nazik davranılması ve güven duygusu uyandırılabilmesidir. Çalışanların bilgi ve becerileri müşterilerde güven duygusu uyandırabilmek için önemlidir.

Empati (Empathy): Hizmet sağlayıcıların kendilerini müşterilerin yerine koyup en yüksek faydayı sağlamak için gereken çabayı göstermeleridir.

Servqual’ın çıkış amacı kurumların mükemmel hizmeti sağlayabilmesi için tüketicilerin beklentilerini anlayabilmek, beklentileri bu doğrultuda karşılayabilmek ve beklentilerin üstüne çıkabilmeyi başarabilmektir. Servqual analizi yapılırken hizmet kalitesinin beş boyutu etrafında oluşturulan ifadelerle verilen cevaplar ile bir değerlendirmede bulunulur. Sorulara verilen yanıtlar beklenen hizmet ve algılanan hizmet olarak iki kısımda istenmektedir. Beklenen hizmet ile ilgili kısımda müşterilerin mükemmel bir sistemden beklediği yönleri sorgulayan ifadeler yer almaktadır.

$$\text{Servqual Puanı} = \text{Algılanan Puan} - \text{Beklenti Puanı}$$

Yukarıda verilen formül kullanılarak her bir soru önermesi için Servqual puanı hesaplanmaktadır. Her bir soru önermesi 7’li bazen 5’li Likert ölçeği üzerinden verilen puanlarla, algılar ve beklentiler arasındaki fark ortaya konulmaktadır. Her bir soru önermesi için -6 ile +6 (7’li Likert ölçeği kullanılmışsa) veya -4 ile +4 (5’li Likert ölçeği kullanılmışsa) arasında değişen Servqual puanları hesaplanmaktadır (Rahman, Erdem, & Devebakan, 2007).

Çalışmada hastane bilgi sistemleri üzerinde uzman kişilerden oluşan bir gruba Servqual ile hazırlanmış bir ölçek sunulmuştur. Elde edilen veriler ile Kalite Fonksiyonu Göçerimi yönteminde müşteri ihtiyaçları oluşturulmuştur.

2.3. Kalite Fonksiyonu Göçerimi

Japonya’da 1972 yılında otomotiv sektöründe doğan kalite fonksiyonu göçerimi, daha sonraki yıllarda ABD’de incelenen ve kullanılan ve bugün tüm dünyada kabul gören bir kalite tekniği haline almıştır (13 s. 71).

Müşteri istek ve beklentilerini nicelleştiren, hizmetlerin tasarımı, üretimi ve pazarlanması amacı ile işletme içindeki kaynak ve beceriler üzerinde yoğunlaşarak gerekli koordinasyonu sağlayan bir dizi planlama ve iletişim sürecinden oluşmaktadır. Bu beklentileri tasarım ve üretim sürecinin tümüne yansıtan sistematik bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım ile örgütün işlevsel bölümlerinde tespit edilen eksiklikler iletilerek mal ya da hizmet özelliklerine dönüştürülmektedir. Kalite fonksiyonu göçerimi, bazı çalışmalarda kalite fonksiyonu yayılımı olarak da geçmektedir (14).

Kalite Fonksiyonu Göçerimi “Kalite evi” adı verilen kavramsal bir şema aracılığı ile ürün geliştirme ve iyileştirme işlemini, bir matris üzerinde müşterinin performans beklentilerini teknik tasarım karakteristikleriyle ilişkilendirerek gerçekleştirmektedir. Müşteri beklentileri ve teknik özellikler arasındaki bu ilişkilendirme, her bir özelliğin müşteri beklentilerine yapacağı etkileri gösteren nicel bir ölçüt geliştirilmesini sağlamaktadır (15).

KFG sisteminin uygulamadaki başarısının önemli bir şartı, süreci oluşturacak faaliyet dizgesinin ayrıntılı olarak planlanması ve her bir faaliyet adımının zamanlanmasıdır. Çünkü “KFG bir araç değil, bir işletmeye, diğer teknik araçların birbirlerini destekleyecek ve tamamlayacak şekilde etkin olarak kullanımında ve öncelikli konuların ortaya konmasında yardımcı olan bir planlama prosesisidir.” (13 s. 72).

Bir çalışmada Kalite Fonksiyonu Göçerimi metodu ile başlangıç aşamasında karşılaşılan problemlerin büyük bir

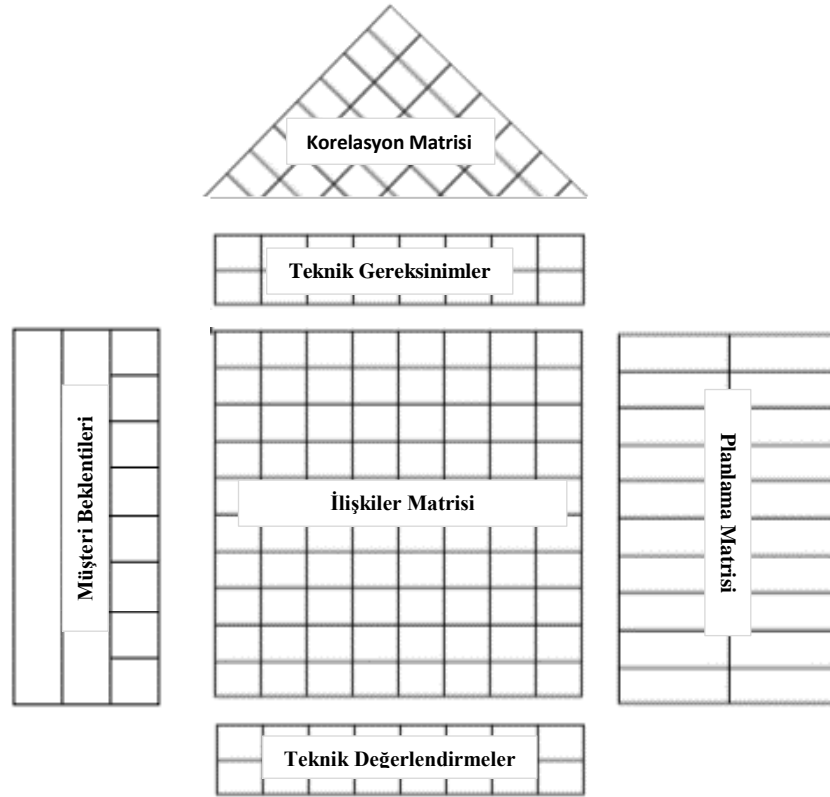
kısımının azaldığı ve ürün geliştirme zamanının %66 oranında kısaldığı ortaya koyulmuştur. Ayrıca tasarım kararlarının ürünün yaşam çevrimi boyunca ortaya çıkacak olan maliyetleri etkilemesi sebebiyle ürün tasarımcıları KFG’yi süreçlerinde kullanmaya başlamışlardır (13).

Bir organizasyonda KFG sistemi dört aşamada kurulmaktadır. Bunlar; Planlama, Müşteri Beklentisinin Toplanması, Kalite Evi’nin oluşturulması ve Sonuçların Analizi adımlarıdır. Planlama aşamasında sistemin amaçları açık ve net olarak belirlenmeli, kesin sınırlar ile tanımlanmalıdır.

KFG’nin ilk kullanım alanının endüstri ürünleri tasarımı olduğu görülmektedir. Ancak sonraki yıllarda yöntemin farklı alanlarda da kullanılabilir olduğu görülmüştür. Yöntemin sunduğu Kalite Evi olarak bilinen grafiksel gösterim, net bir iletişim sağlayarak geleneksel dokümanlara kıyasla temel gerçeklerin hızlı ve daha anlaşılır olmasını sağlamaktadır (16).

Birçok yöntemde olduğu gibi Kalite Fonksiyonu Göçerimi yöntemi de sıralı adımlardan oluşmaktadır. Sürecin başarıya ulaşması için birbiri ile uyum içinde olan bu aşamaların doğru anlaşılması gereklidir. İlk adım “0” ile ifade edilmek üzere süreci oluşturan 4 aşama vardır. Bu aşamalar şu şekildedir:

- Aşama 0: Planlama
- Aşama 1: Müşterinin Sesinin Toplanması
- Aşama 2: Kalite Evinin Oluşturulması
- Aşama 3: Sonuçların Analizi ve Yorumlanması



Şekil 1. Kalite Evi Unsurları

Bir takım matrislerden oluşan Kalite Evi, kalite fonksiyon dağıtımında (QFD) iyileştirme sürecinin planlanmasına yönelik ilk adımdır. Şekil 1’de Kalite Evi’ni oluşturan matrisler ve yerleri gösterilmektedir. Kalite Evi matrisi, ürün ve hizmet bilgilerinin

özetini göstermektedir. Bu nedenle ortaya konulan matrisler iyileştirme prosesinde yön gösterici grafiksel sistematik bir yöntemdir (Güllü & Ulcay, 2002).

- Kalite Evi şu aşamalardan oluşmaktadır;
- Müşteri Beklentilerini Belirleme,
- Planlama/Rekabet Matrisinin Oluşturulması,
- Teknik Gereksinimlerin Belirlenmesi,
- Müşteri İhtiyaçları İle Teknik Gereksinimler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi,
- Teknik Gereksinimlerin Korelasyonunun Belirlenmesi,
- Teknik Gereksinimlerin Önem Derecelerinin Belirlenmesi

2.4. Nesnelerin İnterneti (IoT)

İnternet, dünya çapında milyarlarca kullanıcıya hizmet vermek için standart internet protokol paketini (TCP/IP) kullanan, birbirine bağlı bilgisayar ağlarının küresel bir sistemidir. Bu sistem sayesinde insanların etkileşimleri artmış ve bilgi çağının ötesine geçilmiştir. Geçmişte internet kullanımı insanların erişimi ile bilgi alışverişi ile sınırlı iken günümüzde ise bilgi alışverişinin insanlarla sınırlı kalmadığı, bilgisayarların ve birbirlerine bağlı nesnelerin de bilgi alışverişi içerisinde olduğu görülmektedir.

Nesnelerin İnterneti standart iletişim protokolleri ile dünya genelinde birbirlerine bağlı nesnelerin benzersiz bir şekilde adreslenebilmelerini sağlamaktadır. Fiziksel Nesnelerin birbirleriyle ya da daha büyük sistemlerle bağlantılı olduğu iletişim ağı olarak tanımlanabilen Nesnelerin İnterneti kavramı, ilk olarak Kevin Ashton tarafından Procter&Gamble şirketi için hazırlanan RFID (Radio Frequency Identification) teknolojisinin faydalarının anlatıldığı bir sunumda kullanılmıştır (Özdemir, Naralan Nursaçan, & Nursaçan, 2018).

Nesnelerin İnterneti (IoT), kablosuz iletişim ve düşük maliyetli sensörler, bilgi işlem ve depolama aygıtları kullanarak uzak ve mobil şeyleri veya makineleri veya varlıkları bağlama yeteneği sayesinde "İnternet'in yeni bir devrimidir". Dolayısıyla, internet artık bir bilgisayar ağından bir nesneler ağına doğru ilerlemektedir. Temel IoT bileşenleri olarak, RFID sistemleri, kablosuz algılayıcı ağlar, adresleme şemaları, veri depolama ve görüntüleme sistemleri sayılabilmektedir (AKTAŞ, ÇEKEN, & ERDEMLİ, 2016).

Nesnelerin İnternet'inin temelini oluşturan RFID, Radyo dalgalarını kullanarak canlıları veya nesneleri tanımlayan teknolojilere verilen genel bir isimdir. Bir etiket ve okuyucudan oluşan RFID, okuyucu ile etiket arasında elektromanyetik dalgalar aracılığıyla iletişim kurulmaktadır (Aktaş, Çeken, & Erdemli, 2014, s. 300). RFID teknolojisi uzak mesafeden görüş hattı gerektirmeden tanımlamayı sağlamaktadır. Bu teknolojinin sahip olduğu elektronik etiketler bir kaç bayttan kilobayta kadar değişik uzunlukta veri saklayabilmektedirler (KILINÇ, 2007, s. 6). RFID etiketleri, barkodlardan daha büyük bir benzersiz kimlik kümesini destekler, üretici, ürün tipi gibi ek veriler içerebilir ve hatta sıcaklık gibi çevresel faktörleri de ölçebilir (Want, 2006). RFID etiketleri ile IoT teknolojisinin temeli atılmıştır. RFID etiketlerinin sağlık sisteminde kullanılması ile birlikte hasta bilgileri etiket üzerine yazılarak, istenildiği zaman bilgilere otomatik erişilmesi mümkün olmaktadır. RFID'nin hastane sistemleri içerisinde kullanımına bir örnek Şekil 2'de verilmiştir. Bu sayede hasta takibi kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2. RFID ile Hasta Takip Sistemi

Günümüzde kablosuz teknolojilerin göstermiş olduğu gelişimle birlikte küçük boyutlarda, güç tüketimi az olan, çok fonksiyonlu algılayıcı elemanlar tasarlanabilmektedir. Bu elemanların oluşturdukları ağlar Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) olarak adlandırılmaktadır (Ökdem & Karaboğa, 2007). KAA, dış ortama ait ışık, sıcaklık, basınç, ses, hareket vb. birçok fiziksel büyüklüğü toplama, toplanan verileri işleme ve

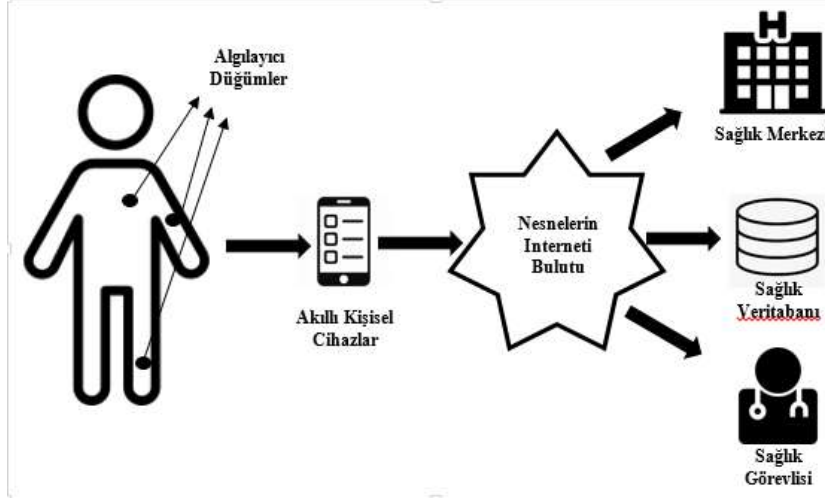
haberleşme yapabilme becerisine sahip düğümlerden oluşan bir ağ sistemidir (Aktaş, Çeken, & Erdemli, 2014).

Kablosuz teknolojilerin en büyük avantajı sağlık hizmetlerinin sağlık tesisleri dışında da verilebilmesine imkân sağlamasıdır. Temel olarak algılayıcılar (sensör düğüm) ve bu algılayıcılardan gelen verileri toparlayan düğüm istasyonlarından

oluşmakta olan bu ağların enerji kaynakları sınırlı olup değiştirilememektedir (Ökdem & Karaboğa, 2007; Türker & Tarimer, 2011). Genellikle ağ içerisinde, konumları önceden belirlenmemiş rastgele ortama saçılmış olarak hareketli ve sabit pozisyonlu algılayıcılar bulunmaktadır (Türker & Tarimer, 2011).

KAA'ların ortaya çıkarmış olduğu Kablosuz Vücut Alan Ağları ile birlikte bireylere ait fizyolojik veriler toplanabilmektedir. Nesnelerin birbirleriyle ve insan vücuduyla

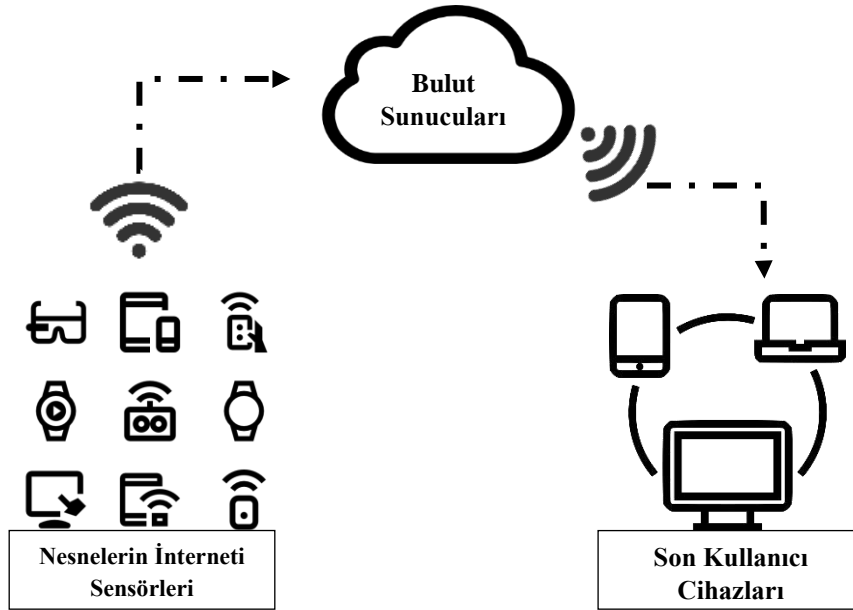
entegre bir şekilde çalışması ile giyilebilir teknolojiler kavramı ortaya çıkmıştır. Şekil 3'de Nesnelerin İnterneti ve akıllı cihazların oluşturduğu bir ağ şeması verilmiştir. Bir ürünün giyilebilir teknoloji sayılabilmesi için sensörler yardımı ile toplanmış olan verinin bluetooth veya kablosuz teknolojiler ile başka bir ortama aktarılması gerekmektedir (Sönmez Çakır, Aytekin, & Tümçin, 2018). Giyilebilir teknolojilerin getirdiği avantajlardan birçok sektör gibi sağlık hizmetleri sektörü de faydalanmaktadır.



Şekil 3. Kablosuz Vücut Alan Ağları Şeması

Nesnelerin interneti altyapısı ile kronik hastalıklar uzaktan takip edilerek ölçümler anında doktor ve hasta yakınları ile paylaşılabilir. Bu şekilde ölçümler düzenli takip edilerek hastalıkların yol açtığı istenmeyen durumlar tam zamanında engellenebilmektedir. Son yıllarda giyilebilir teknolojilerdeki gelişim ile kişisel sağlık hizmetleri de beraberinde gelişmiştir. Sağlık sektörü gibi bilgi yoğunluğu olan sektörlerde Nesnelerin İnterneti potansiyeline daha uygun uygulamalar ortaya konulmaktadır (Xu, ve diğerleri, 2014). Bulut Teknolojisi

bunlardan birisidir. Bulut, ölçeklenerek yatay veya dikey olarak büyüeyebilen, hesaplanabilen bilgi ve iletişim teknolojileri için uzaktan erişilebilmesi için tasarlanmış ayrı bir bilişim teknolojileri ortamını ifade etmektedir. Bulut bilişim sistemlerinin sağlamış olduğu yüksek oranda ölçeklenebilir ve yüksek oranda erişilebilirlik ile düşük maliyetler ile maksimum fayda sağlanabilmektedir. Şekil 4'de Bulut Bilişim ve Nesnelerin İnterneti'nin bir arada nasıl işlediği örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 4. Nesnelerin İnterneti ve Bulut Bilişim Diyagramı

Dar Bant Nesnelerin İnterneti (NB-IoT), az miktarda veri göndermek ve almak için yüksek bağlantı yoğunluklu cihazlar için kullanılmaktadır. Düşük güçlü geniş alan ağlarından (Low Power e-ISSN: 2148-2683

Wide Area Networks-LPWAN) yararlanan hizmetler temel olarak derin/geniş kapsama alanı, düşük güç tüketimi ve büyük bağlantılar gerektirir. Bu teknoloji GSM firmaları tarafından

Nesnelerin İnterneti teknolojisi için hücresele bağlantı altyapısını kullanan ve lisanslı frekanslarda çalışan bir iletişim teknolojisidir. GSM'den 20dB daha fazla çekim alanı 10 yıl süren pil ömrü ve hücre başına elli bin bağlantı garanti etmektedir (Huawei Technology Cooperation, 2015). GSM operatörlerine bağımlılığından dolayı NB-IoT hücresele veri kullanmakta ve SIM kartına ihtiyaç duymaktadır.

Geçtiğimiz birkaç yıl içinde birbirine bağlı giyilebilir ürünler, ağırlıklı olarak sağlık ve sağlıklı yaşam etrafında dönen bir uygulama olduğu için giderek kârlı bir endüstri haline gelmiştir. Cihazın bir NB-IOT yonga seti ile gömülü olması durumunda, faydalar şaşırtıcıdır. Örneğin, büyük veri analizindeki iyileştirmeler sayesinde yönetim daha verimli hale gelmektedir. Nesnelerin İnterneti cihazı temel olarak, yerel alanda bulunan sensörler ve cihazlar aracılığıyla kullanıcıya istihbarat sağlamayı amaçlayan LPWA uygulamalarından oluşmaktadır. Düşük güç tüketimi, akıllı sayaç, akıllı park etme ve giyilebilir cihazlar gibi uygulamalardan akıllı şebekeye kadar tüm LPWA kullanım

durumlarının neredeyse % 80'i için bir ön koşuldur. Bu nedenle NB-IoT, LPWAN alanları için iyi bir çözümdür (Huawei Technology Cooperation, 2015).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Servqual Ölçeğinin Analizi

Bu çalışmada teknik bilgi birikimine sahip ve hastane bilgi işlem merkezinde çalışan 15 uzman kişiye Servqual Hizmet Kalitesi Ölçeği ile hazırlanmış sorular yöneltilerek müşteri sesi dinlenilmek istenmiştir. Aşağıda uzmanlara sorulan sorular ve elde edilen ortalama değerler verilmektedir. P(n)= (n) ifade için Servqual Puanı, A(n)= Algı ifadesinin puanını, B(n)= Beklenti ifadesinin puanını göstermektedir. Servqual Puanı Algılama Puanı-Beklenti Puanı olarak belirlendiğinden Servqual Puanının pozitif bulunması, müşteri beklentilerinin karşılandığı ve aşıldığı; dolayısıyla hastane hizmetlerinde kaliteli hizmet anlayışının hâkim olduğu yorumu yapılabilmektedir.

Tablo 1. Müşterilerin Beklenti ve Algılamaları Arasındaki Farkın Ölçümü

Servqual Boyutları ve Hizmet Kalitesi İfadeleri	A(n)	B(n)	P(n)	Boyut Farkı
Fiziksel Boyut				
<i>Hastane Teknolojiye uygun ve çağdaş donanıma sahiptir.</i>	3	4,6	-1,6	-1,25
<i>Hastane teknolojik alt yapıya sahiptir.</i>	3,2	4,4	-1,2	
<i>Hastane içerisinde her yerden internet erişimi sağlanmaktadır.</i>	3,2	4,4	-1,2	
<i>Hastalar için özel kimlik tanımlama yapılır.</i>	3,4	4,4	-1	
Güvenilirlik Boyutu				
<i>Tanı ve tedavilerin izlenmesi ve raporlama süreci doğrudur</i>	3,4	4,4	-1	-1,2
<i>Bilgi akışı düzgün ve doğru işler</i>	3,6	4,2	-0,6	
<i>Hastane hizmetlerini söz verdiği zamanda gerçekleştirir</i>	2,8	4,4	-1,6	
<i>Kayıtların doğru tutulmasında titizdir</i>	3,2	4,4	-1,2	
<i>Sunduğu hizmetleri ilk seferinde tam olarak yapar</i>	3,2	4,8	-1,6	
Heveslilik Boyutu				
<i>Çalışanlar hastalara hizmeti tam olarak ne zaman vereceğini bildirir.</i>	3,2	4,6	-1,4	-1,52
<i>Hasta randevuları hızlı bir şekilde ayarlanır</i>	3,6	4,4	-0,8	
<i>Hastaya müdahale süresi makuldür.</i>	2,8	4,6	-1,8	
<i>Hasta kabulde bekleme süresi makuldür</i>	2,8	3,8	-1	
<i>Test sonuçları için bekleme süresi makuldür.</i>	1,8	4,4	-2,6	
Güven Boyutu				
<i>Çalışanlar teknik yeterlilik ve beceri bakımından vasıflıdır.</i>	2,8	5	-2,2	-2,13
<i>Çalışanlar hastaların sorularına cevap verebilecek bilgi seviyesindedir.</i>	2,4	4,6	-2,2	
<i>Çalışanlar karşılaşılabilecek bir problemin çözümü için hastaya güven verir</i>	2,6	4,6	-2	
Empati Boyutu				
<i>Çalışanlar hasta ile bireysel ilgilenir</i>	2,8	4	-1,2	-2,4
<i>Doktorlara ulaşmak kolaydır.</i>	1,8	4,6	-2,8	
<i>Hastane her zaman hastanın çıkarları korur.</i>	1,6	4,8	-3,2	

Ancak Tablo 1’de görüldüğü üzere hastane hizmetlerinde pozitif bir değer bulunmamaktadır. Hastane hizmetlerinde en büyük eksikliğin Güven ve Empati Boyutunda olduğu görülmektedir. İfade bazında bakıldığında ise en büyük açığın

“Hasta çıkarlarının korunması” hizmetinde olduğu görülmektedir. Yine ifade bazında bakıldığında beklenen hizmetin en yakın karşılandığı hizmetin “Bilgi akışının doğru ve düzgün işlemesi” olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Hizmet Kalitesi İfadelerinin Önem Derecesi

Hizmet Kalitesi İfadeleri	Önem Dereceleri	Boyut Ortalaması
<i>Fiziksel 1.</i>	4,8	4,62
<i>Fiziksel 2.</i>	4,6	
<i>Fiziksel 3.</i>	4,7	
<i>Fiziksel 4.</i>	4,4	
<i>Güvenilirlik 1.</i>	4,8	4,48
<i>Güvenilirlik 2.</i>	4,4	
<i>Güvenilirlik 3.</i>	4,8	
<i>Güvenilirlik 4.</i>	4,4	
<i>Güvenilirlik 5.</i>	4	
<i>Heveslilik 1.</i>	4,4	4,4
<i>Heveslilik 2.</i>	4,2	
<i>Heveslilik 3.</i>	4,6	
<i>Heveslilik 4.</i>	4,2	
<i>Heveslilik 5.</i>	4,6	
<i>Güven 1.</i>	4,6	4,6
<i>Güven 2.</i>	5	
<i>Güven 3.</i>	4,4	
<i>Empati 1.</i>	4,4	4,73
<i>Empati 2.</i>	4,8	
<i>Empati 3.</i>	5	

Tablo 2’de ele alınan önem dereceleri incelendiğinde en yüksek önem derecesine sahip hizmet boyutunun Empati Boyutu olduğu görülmektedir. Tablo 1 ve Tablo 2 birlikte ele alınarak yorumlanmak gerekirse; en yüksek önem derecesine ve en büyük hizmet açığına sahip olan hizmet boyutunun Empati Boyutu olması sebebi ile hizmet kalitesinin iyileştirilmesi gerekliliği en çok bu boyutta ortaya çıkmaktadır.

Servqual çalışması sonucunda elde edilen bilgiler ile Kalite Evi içerisinde müşteri ihtiyaçları ve önem düzeyleri yerleştirilmiştir.

3.2. Kalite Fonksiyonu Göçerimi ile Kalite Evinin Oluşturulması

Kalite Evi matrisi ile görselleştirilmiş olan bilgiler iyileştirme prosesinde yön gösterici olmaktadır. Belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda Kalite Evi aşamaları sırasıyla izlenmiştir.

1- Müşteri beklentilerinin belirlenmesi ve önem derecesine göre sıralanması: Servqual analizi yardımıyla oluşturulan hastane ihtiyaçları ve önem dereceleri belirlenmiştir. Beklenen ve algılanan hizmet puanları hesaplanmış bu puanlar yardımıyla daha önce de belirtilen şekilde Servqual Skoru hesaplanmış, Servqual Skoru ve önem düzeyinin çarpımı sonucunda da müşteri memnuniyet puanı elde edilmiştir. Belirtilen değerler Tablo 3’de bir arada verilmiştir. Değerlerin tamamı negatif olduğu için tüm ifadeler Kalite Evinde yer almıştır.

Tablo 3. Hastane Hizmeti ile İlgili İhtiyaçların Önem Düzeyi

Gereksinimler	Önem Düzeyi	Algılanan Hizmet Puanı	Beklenen Hizmet Puanı	Servqual Puanı	Memnuniyet Puanı
<i>Teknolojiye uygun ve çağdaş donanıma sahiplik</i>	4,8	3	4,6	-1,6	-7,68
<i>Teknolojik alt yapıya sahiplik</i>	4,6	3,2	4,4	-1,2	-5,52
<i>Her yerden internet erişimi</i>	4,7	3,2	4,4	-1,2	-5,64
<i>Hastalar için özel kimlik tanımlama</i>	4,4	3,4	4,4	-1	-4,4
<i>Tanı ve tedavilerin izlenmesi ve raporlama süreci doğruluğu</i>	4,8	3,4	4,4	-1	-4,8
<i>Bilgi akışı düzgün ve doğru işlemesi</i>	4,4	3,6	4,2	-0,6	-2,64

(Tablo 3 devamı)

Hastane hizmetlerini söz verdiği zamanda gerçekleştirme	4,8	2,8	4,4	-1,6	-7,68
Kayıtların doğru tutulmasında titizlik	4,4	3,2	4,4	-1,2	-5,28
Sunulan hizmetleri ilk seferinde tam olarak yapma	4	3,2	4,8	-1,6	-6,4
Hastalara hizmetin tam olarak ne zaman verileceği bildirilmesi	4,4	3,2	4,6	-1,4	-6,16
Randevuların hızlı ayarlanması	4,2	3,6	4,4	-0,8	-3,36
Hastaya müdahale süresi makullüğü	4,6	2,8	4,6	-1,8	-8,28
Hasta kabulde bekleme süresi makullüğü	4,2	2,8	3,8	-1	-4,2
Test sonuçları için bekleme süresi makullüğü	4,6	1,8	4,4	-2,6	-11,96
Teknik yeterlilik ve beceri bakımından vasıflılık	4,6	2,8	5	-2,2	-10,12
Hastaların sorularına cevap verebilecek bilgi seviyesi	5	2,4	4,6	-2,2	-11
Karşılaşılabilecek bir problemin çözümü için hastaya güven verilmesi	4,4	2,6	4,6	-2	-8,8
Hastalar ile bireysel ilgilenilme	4,4	2,8	4	-1,2	-5,28
Doktorlara ulaşım kolaylığı	4,8	1,8	4,6	-2,8	-13,44
Hastanın çıkarlarının korunması	5	1,6	4,8	-3,2	-16

2- Planlama matrisinin oluşturulması: Matris aşağıdaki şekilde oluşturulur;

Müşteri İhtiyaçları: Belirlenen ihtiyaçlar kısaltılarak Müşteri istekleri kısmına yazılır.

Önem Derecesi: Uzman görüşleri ile önem derecesi için elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak planlama matrisinin "Önem Derecesi" sütununa kaydedilir.

Hizmet Bugün: Algılanan Hizmet Puanı olarak ele alınmış olup elde edilen hesaplanan Servqual Algılanan puanları matriste yerleştirilmiştir.

Rakipler: Bu çalışmada rakipler ile bir karşılaştırma söz konusu olmadığı için ele alınmamıştır.

İşletme Hedefi: Beklenen Hizmet Puanı olarak ele alınmıştır. Uzmanlarla yapılan Servqual çalışmasında hesaplanan Beklenen Hizmet puanları matriste yerleştirilmiştir.

İyileştirme Oranı: Beklenen Hizmet kalitesine ulaşmak için gerek duyulan gelişimin kapsamını temsil etmek üzere yukarıda anlatılmış olan formül kullanılarak hesaplanan değerler matriste yerleştirilmiştir.

Satış Avantajı: Ürün veya hizmette yapılacak olan değişikliğin bir ilerleme getirip getirmeyeceğine bakılması için ele alınır. Bu çalışmada kullanılacak planlama matrisinde Hizmet Sunum Katkısı olarak ele alınmıştır. Hizmet sunumuna katkısına göre puanlar verilmiştir. Verilen puanlar dan 1.5 "Satış potansiyelini çok artırır" , 1.2 "Satış potansiyelini artırır", 1.0 "Eski modelden farklı olarak herhangi bir değişiklik yok" anlamına gelmektedir.

Mutlak Ağırlık: İhtiyaçların hesaplanmış önemi olarak ele alınmıştır. Yukarıda anlatıldığı üzere formül kullanılmış ancak çalışmada kullanılacak sütun başlıklarının farklılaştırılmasından ötürü formülün çalışmada kullanılan hali aşağıdaki gibidir.

$$\text{Mutlak Ağırlık} = \text{Önem Derecesi} \times \text{İyileştirme Oranı} \times \text{Hizmet Sunum Katkısı}$$

Yüzde Oran: Her bir müşteri isteğine ait önem puanının, önem puanı sütunu toplamına bölünmesi ile elde edilen değer matriste yerleştirilmiştir.

Bir hastanenin iyileştirilmesi için yapılan bu çalışmada kullanılan planlama matrisi aşağıdaki gibidir.

Tablo 4. Planlama Matrisi

Müşteri İhtiyacı	Önem Derecesi	A(n)	B(n)	P(n)	İyileştirme Oranı	Hizmet Sunum Katkısı	Mutlak Ağırlık	Yüzde Oran
Teknolojiye uygun ve çağdaş donanıma sahiplik	4,8	3	4,6	-1,6	1,5	1,5	11	5,4
Teknolojik alt yapıya sahiplik	4,6	3,2	4,4	-1,2	1,4	1,5	9,5	4,7
Her yerden internet erişimi	4,7	3,2	4,4	-1,2	1,4	1,2	7,8	3,8
Hastalar için özel kimlik tanımlama	4,4	3,4	4,4	-1	1,3	1,2	6,8	3,3

(Tablo 4 devamı)

Tanı ve tedavilerin izlenmesi ve raporlama süreci doğruluğu	4,8	3,4	4,4	-1	1,3	1,5	9,3	4,6
Bilgi akışı düzgün ve doğru işlemesi	4,4	3,6	4,2	-0,6	1,2	1,5	7,7	3,8
Hastane hizmetlerini söz verdiği zamanda gerçekleştirme	4,8	2,8	4,4	-1,6	1,6	1,2	9,1	4,4
Kayıtların doğru tutulmasında titizlik	4,4	3,2	4,4	-1,2	1,4	1,2	7,3	3,6
Sunulan hizmetleri ilk seferinde tam olarak yapma	4	3,2	4,8	-1,6	1,5	1,2	7,2	3,5
Hastalara hizmetin tam olarak ne zaman verileceği bildirilmesi	4,4	3,2	4,6	-1,4	1,4	1	6,3	3,1
Randevuların hızlı ayarlanması	4,2	3,6	4,4	-0,8	1,2	1,5	7,7	3,8
Hastaya müdahale süresi makullüğü	4,6	2,8	4,6	-1,8	1,6	1,5	11	5,6
Hasta kabulde bekleme süresi makullüğü	4,2	2,8	3,8	-1	1,4	1,5	8,6	4,2
Test sonuçları için bekleme süresi makullüğü	4,6	1,8	4,4	-2,6	2,4	1,5	17	8,3
Teknik yeterlilik ve beceri bakımından vasıflılık	4,6	2,8	5	-2,2	1,8	1,5	12	6
Hastaların sorularına cevap verebilecek bilgi seviyesi	5	2,4	4,6	-2,2	1,9	1,2	12	5,6
Karşılaşılabilecek bir problemin çözümü için hastaya güven verilmesi	4,4	2,6	4,6	-2	1,8	1,2	9,3	4,6
Hastalar ile bireysel ilgilenilme	4,4	2,8	4	-1,2	1,4	1,2	7,5	3,7
Doktorlara ulaşım kolaylığı	4,8	1,8	4,6	-2,8	2,6	1,2	15	7,2
Hastanın çıkarlarının korunması	5	1,6	4,8	-3,2	3	1,5	23	11

3-Teknik karakteristiklerin belirlenmesi: Teknik gereksinimler müşteri ihtiyaçlarının nasıl karşılanacağını göstermektedir. Kalite Fonksiyonu Göçerimi çalışmasının önemli kısımlarından birisidir. Çalışmanın yapıldığı kurumlara hizmet kalitesini arttırmak üzere neler yapılabileceği konusunda yardımcı olmaktadır.

Tablo 4’de Kalite Evi’nde yer alacak olan Planlama Matrisi gösterilmektedir. Bir hastanenin iyileştirilmesi için Nesnelerin İnterneti teknolojisi kapsamında gerekli olan gereksinimler ele alınarak Tablo 5’de belirtilmiştir. Belirtilen Teknik Gereksinimler Kalite Evi matrisine yerleştirilmiştir. Oluşturulan Kalite Evi Tablo 6’da bütün olarak verilmiştir.

Tablo 5. Müşteri İhtiyaçlarının Teknik Karakteristikleri

Müşteri İhtiyaçları	Teknik Gereksinimler
Fiziksel Boyut	-Kablolu ve Kablosuz Ağ Altyapısının stabil ve yüksek erişilebilirlikte olması -RFID Teknolojisinin sisteme entegrasyonu -RFID Okuyucularının yeterli sayıda olması -Fiber altyapısı ile hastane içinde bant genişliğinin yüksek tutulması -Kablosuz Erişim Noktaları sayısının artırılması
Güvenilirlik Boyutu	-Raporlama sürecinin Bulut Bilişim üzerinden yapılması -Hasta takip için giyilebilir teknolojilerin kullanılması -Veri senkronizasyonunun anlık sağlanması -QR-Kod uygulaması ile hızlı veri erişimi
Heveslilik Boyutu	-Hasta üzerindeki Kablosuz Vücut Algılayıcıları ile ilgili sağlık birimine uyarı sistemi oluşturulması -Sıra Takip uygulaması geliştirilmesi -Otomatik Randevu Sistemi oluşturulması -İnternet ve Mobil aracılığı ile randevu tanımlama -Evde Bakım hizmetlerinin sunulması
Güven Boyutu	-Personelin teknik gelişmelere adaptesinin sürekli tutulması -Parmak izi tanımlama ile kişiye özel şifreleme
Empati Boyutu	-Kişisel Verilerin Korunması ile ilgili hastaların bilgilendirilmesi -Hastaların sağlık verilerinin gizlilik, güvenlik ve tutarlılığını sağlamak -İnternet ve mobil uygulamalar üzerinden sağlık danışmanlığı

Tablo 6. Kalite Evi Marrisi

Müşteri İhtiyacı	İlişki Matrisi Sembol ve Değerleri				Önem Derecesi	A(n)	B(n)	P(n)	İyileştirme Oranı	Hizmet Sunum Katkısı	Mutlak Ağırlık	Yüzde Oran	Ağ Altyapısının stabil ve yüksek erişilebilirliği
	Güçlü	Orta	Zayıf	İlişki yok										0	•	Δ	boş	9	3	1	0
Teknolojide uygun ve çağdaş donanımın sahipliği					4,8	3	4,6	-2	1,53	1,5	11	5,41	0
Teknolojik alt yapıya sahipliği					4,6	3,2	4,4	-1	1,38	1,5	9,49	4,65	0
Her yere internet erişimi					4,7	3,2	4,4	-1	1,38	1,2	7,76	3,8	0
Hastalar için özel kimlik tanımlama					4,4	3,4	4,4	-1	1,29	1,5	6,83	3,35	0
Tanı ve tedavilerin izlenmesi ve raporlama süreci doğruluğu					4,8	3,4	4,4	-1	1,29	1,5	9,32	4,57	•
Bilgi akışı diziğin ve doğru işlemesi					4,4	3,6	4,2	-1	1,17	1,5	7,7	3,77	0
Hastane hizmetlerini söz verdiği zamanda gerçekleştirme					4,8	2,8	4,4	-2	1,57	1,2	9,05	4,44	0
Kayırların doğru tutulmasında titizlik					4,4	3,2	4,4	-1	1,38	1,2	7,26	3,56	0
Sundan hizmetleri ilk seferinde tam olarak yapma					4	3,2	4,8	-2	1,5	1,2	7,2	3,53	0
Hastalara hizmetin tam olarak ne zaman verileceği bildirilmesi					4,4	3,2	4,6	-1	1,44	1	6,33	3,1	Δ
Randevuların hızlı ayarlanması					4,2	3,6	4,4	-1	1,22	1,5	7,7	3,77	Δ
Hastaya müdahale süresi makullüğü					4,6	2,8	4,6	-2	1,64	1,5	11,3	5,56	•
Hasta kabulde bekleme süresi makullüğü					4,2	2,8	3,8	-1	1,36	1,5	8,55	4,19	•
Test sonuçları için bekleme süresi makullüğü					4,6	1,8	4,4	-3	2,44	1,5	16,9	8,27	Δ
Teknik yeterlilik ve beceri bakımından vasıflık					4,6	2,8	5	-2	1,79	1,5	12,3	6,04	Δ
Hastaların sorunlarına cevap verebilecek bilgi seviyesi					5	2,4	4,6	-2	1,92	1,2	11,5	5,64	Δ
Karşılaşılabilecek bir problemin çözümü için hastaya güven verilir					4,4	2,6	4,6	-2	1,77	1,2	9,34	4,58	Δ
Hastalar ile bireysel ilgilenilme					4,4	2,8	4	-1	1,43	1,2	7,54	3,7	Δ
Doktorlara ulaşım kolaylığı					4,8	1,8	4,6	-3	2,56	1,2	14,7	7,22	Δ
Hastanın çıkarlarının korunması					5	1,6	4,8	-3	3	1,5	22,5	11	Δ
Teknik Önem Derecesi													5,2
Normalize Önem Derecesi													479,1
													365,2
													764,3
													554,7
													669
													458,1
													363,3
													241,5
													835,9
													648,3
													622,8
													615,6
													528,8
													170,1
													382,7
													550,7
													363,3
													790,4
													9915
Toplam													

4-İlişki matrisinin oluşturulması: Müşteri İhtiyaçları ve teknik gereksinimler arasında bulunan ilişkilerin, ilişki kuvvetlerine göre değerlendirilerek ele alınması ile oluşturulmuştur. Yüksek düzeyde bir ilişki için “9” puan ve “o” sembolü, orta düzeyde bir ilişki bulunuyorsa “3” puan ve “●” sembolü, zayıf bir ilişki bulunuyorsa “1” puan ve “Δ” sembolü kullanılmıştır. Değerlendirmede kullanılan semboller yukarıda anlatıldığı şekilde çalışma yapılan matris üzerinde ele alınmıştır.

5-Teknik karakteristikler için mutlak ve bağıl önem derecelerinin hesaplanması: Hesaplamalar için gereken değerler planlama matrisinde hesaplanmış olan mutlak ağırlık ve satıra ilişkin ilişki düzeyi kullanılarak yapılır. Elde edilen değerler kalite evi matrisinde yerleştirilir.

Oluşturulan Kalite Evi Tablo 6’da incelendiğinde en yüksek teknik önem derecesine sahip olan teknik gereksinimin “Kablosuz Vücut Algılayıcıları ile sağlık birimlerine uyarı sistemi oluşturulması” olduğu görülmektedir. Daha sonra en yüksek teknik dereceye sahip teknik gereksinimin “İnternet ve mobil uygulamalar üzerinden sağlık danışmanlığı” ve “Kablosuz erişim noktası sayısının artırılması” olduğu görülmektedir.

İhtiyaçlar ve teknik gereksinimler karşılaştırıldığında en az teknik önem derecesine sahip teknik gereksinimin “Personelin teknik gelişmelere adaptasyonunun sürekli tutulması” olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunun dışında teknik önem derecesi düşük olan bir diğer teknik gereksinimin “QR-Kod uygulaması ile sıra takibinde” olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Teknolojinin hayatımızı birçok alanda kolaylaştırdığı görülmektedir ve sağlık sektöründe teknolojiye adapte olma günümüzde bir zorunluluk haline gelmiştir. Tıbbi bilgi teknolojileri sağlık çalışanları tarafından operasyon verimliliğini artırmak ve iş yüklerini azaltmak için kullanılmaktadır. Küresel olarak akıllı teknolojiler evlerimizde, ofislerimizde kısaca günlük hayatımızın her aşamada karşımıza çıkmaktadır. Akıllı teknolojilerin entegrasyonu, kullanım alanlarının artması ile birlikte giderek daha çok önem kazanmaktadır.

Dijital hastane, sağlık kurumu içerisindeki tüm bilgi sistemlerinin medikal ve medikal olmayan her türlü teknolojilerle tam entegre olduğu, güvenilir veri akışı standartlarının belirlendiği hastane olarak tanımlanır. Dijital hastaneler hekim, hemşire vb. personele yetkileri çerçevesinde çok daha az zaman ve enerji harcayarak hastane ve hasta verilerine ve bilgilerine istenilen yerden istenilen zamanda erişimi sağlayan, sağlık görevlilerinin iş süreçlerini etkili kılmaktadır. Ayrıca doğru ilaç ve medikal tedavi uygulamalarının kontrol edildiği, gerçek anlamda bütün işlemlerin tam otomasyon sistemi ile yapıldığı, kontrol edildiği, yönetildiği bir hastane işleyişine ve ileri teknoloji donanımına sahiptir. Hastane çalışanlarına, hastalara ve yakınlarına etkili, verimli, ekonomik, erişilebilirliği yüksek ve kaliteli sağlık hizmeti sunmaya hedeflenmiş; üçüncü taraflar, e-sağlık ve e-devlet ile de tam entegre olan hastanelere “dijital hastane” denilmektedir (Hassanalieragh, ve diğerleri, 2015, s. 973).

Sağlık hizmetini gerçekleştirmek için uzaktan görüntüleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçek zamanlı olarak uzaktan tıbbi uygulamaları hastaların fiziksel işaretlerini gönderebilecek yaygın bir izleme sistemi ile internet ve mobil

uygulamalar üzerinden sağlık danışmanlığı imkânı sunulabilir. 2017 yılında yapılan bir çalışmada birden fazla fiziksel işaret (tansiyon, EKG, SpO2, kalp atış hızı, nabız, kan yağ ve kan şekeri) ve çevresel bir göstergesi (hastaların bulunduğu yer) sürekli olarak farklı oranlarda örneklenecek şekilde sistem tasarlanmıştır. Hastaların riski, tıbbi analiz ihtiyaçları, iletişim talepleri ve bilgi işlem kaynakları dikkate alınarak dört veri iletim modu sunulmuştur (Li, Hu, & Zhang, 2017). Bu çalışma ile hedeflenen uzaktan sağlık hizmeti sağlanmıştır.

Akıllı nesne teknolojisindeki hızlı gelişme, kablosuz sensör tabanlı dağıtılmış iletişim mimarisi için uygulama geliştirmede önemli kazanımlar içermektedir. Ancak kazanımların yanında güvenlik tehditleri de getirdiği görülmektedir. Nesnelerin İnternet’indeki her akıllı nesne (veya sensör), sistem güvenlik açığı açısından potansiyel bir riski temsil eder. Başka bir deyişle, her akıllı nesne kötü amaçlı bir saldırı için savunmasız bir giriş noktası haline gelebilmektedir. Bu sebeple akıllı nesnelere için fiziksel korumanın gerekliliği ve akıllı nesnelere arasında veri toplama sırasında verilerin gizliliğinin, bütünlüğünün ve mahremiyetinin korunması önem arz etmektedir (YEH, 2016). 2016 yılında yapılan bir çalışmada ortak IoT tabanlı iletişim ağlarında sistem verimliliğini ve güçlü iletişimi eşzamanlı olarak elde etmek için veri iletim gizliliğini sağlamak ve akıllı nesnelere, yerel işlem birimi ve arka uç Kablosuz Vücut Algılayıcıları sunucusu arasında varlık kimlik doğrulaması sağlamak amacıyla iki iletişim mekanizması oluşturulurken güçlü şifreleme ilkeleri kullanılmıştır (YEH, 2016). Metinlerin tamamen korunması olarak transfer edilmesi yerine korumalı olarak karşı tarafa ulaşması için NSA tarafından geliştirilmiş metinlerin şifrelenerek özetlenebildiği ve daha sonradan tekrar çözümlenerek orijinal metin haline getirilebilir olan bir kriptografik özetleme fonksiyonu SHA (Secure Hash Algorithm) teknikleri kullanılmıştır.

Kablosuz Vücut Algılayıcıları İle Sağlık Birimlerine Uyarı Sistemi Model Önerisi

Kablosuz Vücut Algılayıcıları ile sağlık birimlerine uyarı sistemi oluşturulması için Giyilebilir Sensörler ve Kablosuz Vücut Algılayıcıları özellikle IoT teknolojisi ile donatılmış olanlar uzun süreli olarak verilerin gözlenmesi ve kaydedilmesi için cazip seçenekler sunmaktadır. Bu veriler analiz edildiğinde ve hekimlere asimilasyonu kolay görselleştirmede sunulduğunda, sağlık hizmetlerini iyileştirme ve maliyetleri azaltma potansiyeline sahiptir (Hassanalieragh, ve diğerleri, 2015). Akıllı nesne teknolojisindeki hızlı gelişme, kablosuz sensör tabanlı dağıtılmış iletişim mimarisi için uygulama geliştirmede önemli kazanımlar içermektedir.

Kablosuz Vücut Algılayıcıları ile sağlık birimlerine uyarı sistemi oluşturulması için gerekli sistemler şu şekilde sıralanmaktadır;

Kablosuz İletişim Teknolojisi

Kablosuz Vücut Algılayıcıları

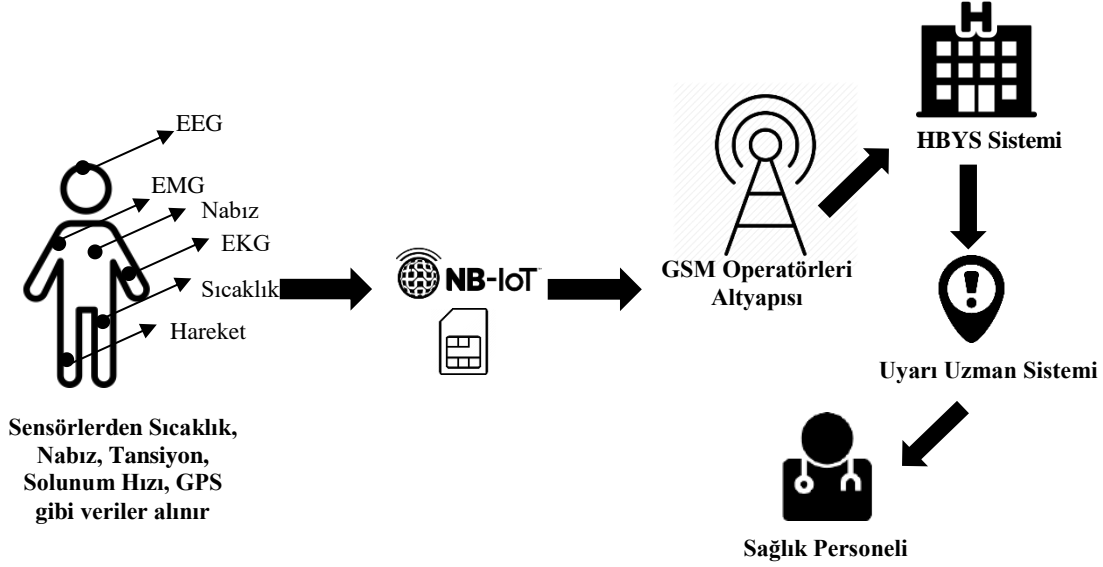
NB-IoT

HBYS entegrasyonu

Sistemlerin birbirleri ile doğru iletişim içerisinde olması için fiziksel konumlandırmaları ve iletişimlerinin sağlanması gerekmektedir. Şekil 5’de Kablosuz Vücut Algılayıcıları ile Hasta Takip ve Uyarı Sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Kullanılacak olan Kablosuz Vücut Algılayıcıları HBYS sisteminde sunucuya eklenerek etiketlenirler. Kablosuz Vücut Algılayıcıları ve NB-

IoT cihazları ile eşleştirilir. Kablosuz Vücut Algılayıcılarından gelecek olan veriler NB-IoT teknolojisi ile GSM operatörleri altyapısı üzerinden veriler HBYS sistemine aktarılır ve daha önce belirlenen KVA etiketleri ile eşleştirilerek anlık veri alımı sağlanır. Şekil 6'da önerilen Kablosuz Vücut Algılayıcıları ile Hasta Takip ve Uyarı Sistemi'nin algoritma akış şeması verilmiştir. Anlık sağlanan veriler gerekli alarm durumunu sınırları

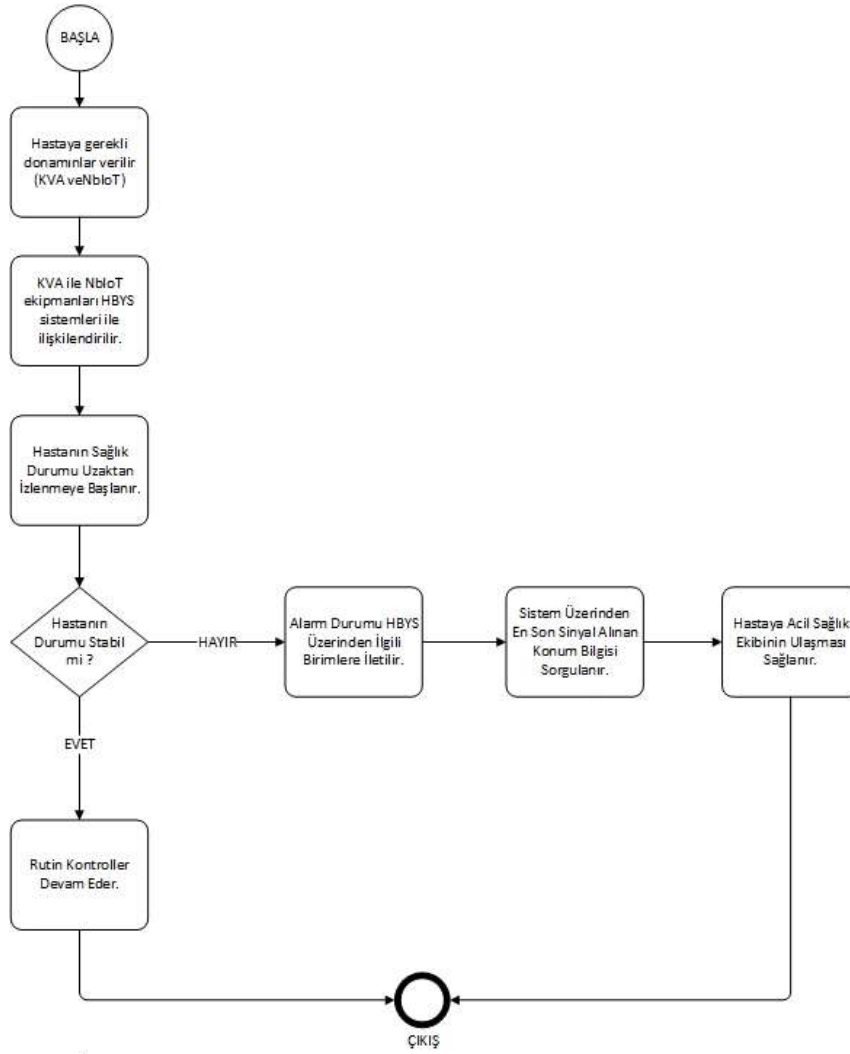
ile karşılaştırılarak devamlı olarak uzman sistem tarafından sorgulanır. Örneğin; Kablosuz Vücut Algılayıcısı tarafından gelen kan basıncı verisi, 19 yaşını geçmiş bir bireyde 140 mm Hg ve üzerinde olması bir uyarı mekanizmasını çalıştırarak ilgili sağlık birimine verinin ve bu verinin kimden geldiği bilgilerinin paylaşılması sağlanır. Bu sayede ilgili personel ilgili kişi ile iletişime geçerek acil bir durum müdahalesinde bulunabilir.



Şekil 5. Kablosuz Vücut Algılayıcıları ile Hasta Takip ve Uyarı Sistemi Şeması

Sağlık hizmetlerine erişimi zor olan evde yatan hastalar veya yaşlılar için uzaktan sistemler ile her yerde sağlık hizmetlerinin sunulması hastalıkların takibinin uzaktan yapılabilmesine imkân sağlamaktadır. Bu alanda başarılı sistem örneği olarak 2019 yılında yapılan bir çalışma gösterilebilir. Jabeen ve arkadaşları Sis bazlı bir IoT modeli, kardiyovasküler hastalığı olan uzak bölgelerdeki hastalar için faydalı olabileceği görüşündedirler. Kalp hastalığını sınıflandırmak ve önerilerde bulunmak için mevcut bazı sistemler bulunmaktadır ancak bu mevcut sistemler sadece tavsiyeler için sınıflandırmayı kullanmaktadır. Jabeen ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada IoT tabanlı verimli bir topluluk tabanlı danışmanlık sistemi önermektedirler. Bu sistemin amacı kalp hastalığını ve tipini teşhis etmek, fiziksel duruma ve

diyet planına göre önerilerde bulunmaktadır. Sistemde ilk önce veriler biyosensörler kullanılarak hastadan uzaktan toplanır ve IoT tabanlı ortam sayesinde sunuculara iletilir. Önerilen sistem daha sonra veri işleme ve veri üzerinde özellik seçimi gerçekleştirir. Sistem için bir uzman kardiyoloğun yardımı ile iyi bilinen bir hastaneden hastalıklar ve bunlarla ilgili tavsiyeler için bir veri seti toplanır. Sistemin performansı hassasiyet, hatırlama ve ortalama mutlak hata açısından değerlendirilmiş ve sonuçta % 98 doğruluk sağlanmıştır. Sistem, uzman bir kardiyoloğun genellikle bulunmadığı uzak bölgelerdeki hastalar için iyi bir performans ortaya koymaktadır. Bu önerilen çalışma, daha genç ve yeni bir kardiyoloğa hızlı bir tıbbi karar vermede yardımcı olabilecektir (Jabeen, ve diğerleri, 2019).



Şekil 6. Kablosuz Vücut Algılayıcıları İle Hasta Takip ve Uyarı Sistemi Algoritma Şeması

Bahsedilen makalelerde kullanılan sistemlerden faydalanılarak bir model oluşturulmuştur. Model incelendiğinde Kalite Fonksiyonu Göçerimi yöntemi ile ortaya çıkan “Kablosuz Vücut Algılayıcıları İle Sağlık Birimlerine Uyarı Sistemi” ihtiyacının karşılanabildiği görülmektedir. Bu model sayesinde hastane hizmetleri daha verimli bir hale getirilerek dijital hastane anlayışına daha da yaklaşılmış olmaktadır.

Kaynakça

- Li, C., Hu, X., & Zhang, L. (2017). The IoT-based heart disease monitoring system for pervasive healthcare service. *International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems* (s. 2328-2334). Marseille, France : Procedia Computer Science .
- Akbaba, A. (2005, 2). Yeni ürün geliştirme sürecinde kalite fonksiyon göçerimi (KFG): Turizm işletmeleri için KFG temelli bir ürün geliştirme süreci önerisi. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, s. 38-59.
- Aktaş, F., Çeken, C., & Erdemli, Y. E. (2014). Biyomedikal Uygulamaları için Nesnelerin İnterneti Tabanlı Veri Toplama ve Veri Analiz Sistemi. *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi*, (s. 299-302). Kapadokya.
- Aktaş, F., Çeken, C., & Erdemli, Y. E. (2016, 4). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Biyomedikal Alanındaki Uygulamaları. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 37-54.
- Aktepe, A., Ersöz, S., Hayat, Y., Orhan, G., Can, C., & Çiftci, S. (2011). Kalite Fonksiyonu Yayılımı (KFY)'de SERVQUAL Analizi ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BHP) Yöntemlerinin Bütünleşik Kullanımı: Bir Üniversite Hastanesinde Uygulama. *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu* (s. 237-246). İstanbul: İstanbul Ticaret Üniversitesi.
- Al Memari, A. S. (2016). *Improving Healthcare Services by Quality Function Deployment (QFD)*. Dubai: The British University in Dubai.
- Camgöz-Akdağ, H., Tarım, M., Lonial, S., & Yatkın, A. (2013, Şubat 8). QFD application using SERVQUAL for private hospitals:A Case Study. *Leadership in Health Services*, 26(3), s. 175-183.
- Chiuchisan, I., Costin, H.-N., & Geman, O. (2014). Adopting the Internet of Things Technologies in Health Care Systems. *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, (s. 532-535). Iasi, Romania.
- Değer, Ç. (2012). Kano Modeli İle Bütünleştirilmiş Servqual Analizinin Kalite Fonksiyon Yayılımına Uygulanarak Hizmet Kalitesinin İyileştirilmesi Ve Bir Sağlık Kuruluşunda Uygulanması(Yüksek Lisans Tezi). *İzmir: Dokuz Eylül*

- Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Hastane Ve Sağlık Kuruluşları Yönetimi .
- Devebakan, N., & Aksaraylı, M. (2003, 5 1). Sağlık İşletmelerinde Algılanan Hizmet Kalitesinin Ölçümünde SERVQUAL Skorlarının Kullanımı ve Özel Altınordu Hastanesi Uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, s. 38-54.
- Grönroos, C. (1983, 18 4). A Service Quality Model and Its Marketing Implications. *European Journal of Marketing*, s. 36-44.
- Güllü, E., & Ulcay, Y. (2002, 7 1). Kalite Fonksiyonu Yayılımı ve Bir Uygulama. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, s. 71-91.
- Hassanalieragh, M., Page, A., Soyata, T., Sharma, G., Aktas, M., Mateos, G., . . . Andreescu, S. (2015). Health Monitoring and Management Using Internet-of-Things (IoT) Sensing with Cloud-based Processing: Opportunities and Challenges. *IEEE International Conference on Services Computing*, (s. 285-292). New York City, NY, USA.
- Huawei Technology Cooperation. (2015). NB-IOT-Enabling New Business Opportunities. *Huawei White Paper*, 4-23.
- İşık, O., Seğmen, Y. E., & Kölemen, M. (2012, Ocak). Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) Kullanarak Mühendislik Programı Tasarımı. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, s. 55-60.
- Jabeen, F., Maqsood, M., Ghazanfar, M. A., Aadil, F., Khan, S., Khan, M. F., & Mehmood, I. (2019, February 17). An IoT Based Efficient Hybrid Recommender System For Cardiovascular Disease. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, s. 1-14.
- Karahan, K. (2000). *Hizmet Pazarlaması*. İstanbul: Beta Yayın Dağıtım A. Ş.
- Kılınç, T. (2007). *Rfid Sistemlerin İncelenmesi ve Sağlık Sektöründe Kullanılması (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul: Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı .
- Lee, B., & Ouyang, J. (2014, Vol.6 No.1). Intelligent Healthcare Service by using Collaborations between IoT Personal Health Devices. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*, s. 155-164.
- Ökdem, S., & Karaboğa, D. (2007). Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Yönlendirme Teknikleri. *IX. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri* (s. 409-415). Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi.
- Özdemir, A., Naralan Nursaçan, M. N., & Nursaçan, İ. C. (2018, Kasım). 2014-2018 Yılları Arasında Nesnelerin İnterneti (Iot) Üzerine Bir. *Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, s. 1-22.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1985, 49). A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *Journal of Marketing*, s. 41-50.
- Rahman, S., Erdem, R., & Devebakan, N. (2007, 9 3). Hizmet Kalitesinin Servqual Ölçeği ile Değerlendirilmesi: Elazığ'daki Hastaneler Üzerinde Bir Çalışma . *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* , s. 37-55.
- Savaş, H., & Kesmez, A. G. (2014, 17). Hizmet Kalitesinin Servqual Modeli ile Ölçülmesi: Aile Sağlığı Merkezleri Üzerine Bir Araştırma. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, s. 1-13.
- Sönmez Çakır, F., Aytekin, A., & Tümçin, F. (2018, Cilt:4 Sayı:5). Nesnelerin İnterneti Ve Giyilebilir Teknolojiler. *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi*, s. 84-95.
- Türker, G. F., & Tarımer, İ. (2011). Türkiye'de Kablosuz Algılayıcı Ağlar ile Yapılan Teknolojik Uygulamalar Üzerine Bir İnceleme. *XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri* (s. 75-81). Malatya: İnönü Üniversitesi.
- Want, R. (2006, 5 1). An Introduction to RFID Technology. *IEEE Pervasive Computing*, s. 25-33.
- Xu, B., Xu, L., Cai, H., Xie, C., Hu, J., & Bu, F. (2014, Mayıs). Ubiquitous Data Accessing Method in IoT-Based Information System for Emergency Medical Services. *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, s. 1578-1586.
- Yeh, K.-H. (2016, 4). A Secure IoT-Based Healthcare System With Body Sensor Networks. *IEEE Access*, s. 10288-10299.



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)

Ozan Artun^{1*}

¹ Cukurova University, Karaisali Vocational School, Department of Architecture and City Planning, Adana, Turkey (ORCID: 0000-0002-6122-2729), oartun@cu.edu.tr

(First received 4 July 2020 and in final form 13 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.763866)

ATIF/REFERENCE: Artun, O. (2020). Determination of the Suitable Areas for The Investment of the Wind Energy Plants (WEP) in Osmaniye Using Geographic Information Systems (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). *European Journal of Science and Technology*, (20), 196-205.

Abstract

Renewable energy sources are considered as clean energy sources. They have a much lower environmental impact than other energy sources. Among the renewable energy sources, the wind is an important energy source. In many countries the wind power production is so popular and many alternative research techniques related to wind energy are applied. Wind energy comes to the forefront today due to the increasing population of countries and the increase in energy needs. In our country the studies about the renewable energy has evolved rapidly over the past decade. The cost of initial installation of Wind Energy Plants (WEP) is high and they can only be installed if certain conditions are met. Site selection for wind turbine installation is not a technical process only, also a complex process is necessary for involving social, economic, physical and environmental sanctions. Therefore, site selection of wind energy plants is a very complex spatial decision problem for decision makers. For the different site selection studies multi criteria evaluation methods are often used. In the study, potential WEP investment areas of Osmaniye province were determined by using, Geographical Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP) method and remote sensing. The criteria selected according to the general characteristics of the study area were combined with ArcGIS software using the weight values obtained with AHP and suitable areas for the WEP installation were determined. The land suitability index maps for the WEP siting is created in the ArcGIS program. The weighted Sum analysis of the Spatial Analyst Tool is used for this purpose. According to the results, 14.30% of the study area are suitable, 15.84% are moderate suitable and 69.86% are not suitable for wind energy plant siting.

Keywords: Wind Energy Plant, Multi Criteria Analysis, AHP, GIS, Osmaniye.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak Osmaniye'deki Rüzgar Enerjisi Santrallerinin (RES) Yatırımına Uygun Alanların Belirlenmesi

Yenilenebilir enerji kaynakları, temiz enerji kaynakları olarak kabul edilirler. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri, başka enerji kaynaklarına göre çok daha düşüktür. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan rüzgar önemli bir enerji kaynağıdır. Birçok ülkede rüzgar enerjisi üretimi çok popülerdir ve rüzgar enerjisi ile ilgili birçok alternatif araştırma tekniği uygulanmaktadır. Rüzgar enerjisi, artan ülke nüfusu ve enerji ihtiyaçlarındaki artış nedeniyle günümüzde ön plana çıkmaktadır. Türkiye'de son on yılda yenilenebilir enerji ile ilgili çalışmalar hızla gelişmektedir. Rüzgar Enerjisi Santrallerinin (RES) ilk kurulum maliyeti yüksektir. Rüzgar Enerjisi Santralleri sadece belirli koşullar yerine getirildiğinde kurulabilirler. Rüzgar türbini kurulumu için yer seçimi sadece teknik bir süreç değildir, aynı zamanda fiziksel, ekonomik, sosyal, çevresel yaptırımları dahil etmek için karmaşık bir süreç gereklidir. Bu sebeple, rüzgar enerjisi santrallerinin yer seçimi karar vericiler için çok karmaşık bir mekânsal karar problemi olarak düşünülebilir. Farklı yer seçim çalışmaları için genellikle çok kriterli değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada Osmaniye ilinin potansiyel Rüzgar Enerjisi Santralleri yatırım alanları belirlenmek istenmiştir. Bu amaç için, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi e uzaktan algılama kullanılmıştır. Çalışma alanının genel özelliklerine göre seçilen

* Corresponding Author: Cukurova University, Karaisali Vocational School, Department of Architecture and City Planning, Adana, Turkey, ORCID: 0000-0002-6122-2729, oartun@cu.edu.tr

kriterlerin, ağırlık değerleri AHP ile belirlenmiştir. AHP ile elde edilen ağırlık değerleri ArcGIS yazılımında çok kriterli değerlendirme yöntemi kullanılarak birleştirilmiş ve çalışma alanındaki Rüzgar Enerjisi Santralleri kurulumu için uygun alanlar belirlenmiştir. ArcGIS programındaki, Spatial Analyst Tool menüsündeki, Weighted Sum analysis adındaki Ağırlıklı Toplam analizi alt menüsü bu amaçla kullanılmıştır. Çalışma alanındaki Rüzgar Enerjisi Santrallerinin kurulumu için oluşturulan arazi uygunluk endeksi haritalarından elde edilen sonuçlara göre; çalışma alanının %14.30'u RES yatırımı yapmaya uygundur ve çalışma alanının %15.84'ü RES yatırımı yapmaya orta derecede uygundur. Yapılan çalışmada, çalışma alanının %69.86'sinin RES yatırımı yapmak için uygun olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Enerji Santrali, Çoklu Kriter Analizi, AHP, CBS, Osmaniye.

1. Introduction

After the industrial revolution, the energy need of the world and Turkey has increased day by day. This increase has continued exponentially. The need to initiate studies on the use of alternative energy sources as well as existing energy sources has emerged due to the increasing need for energy. The renewable energy studies are most concentrated on sources such as solar, hydroelectric, wind, wave energy and geothermal,. The wind is abundant in most parts of the world among these sources. Wind energy is one of the most renewable energy types that are clean, whose costs are decreasing day by day, have low environmental impact and are commercially available [1]. In addition to these positive factors, wind energy helps reduce the greenhouse effect, one of the biggest environmental problems of our time, by reducing the release of hazardous air pollutant gases. In addition, it saves water and creates financial gain for real estate owners. Since it is a developing sector, it paves the way for employment. For these reasons, wind energy continues to increase in popularity and financial investments both in the world and in our country [2].

Renewable energy technologies such as wind, biomass, solar and geothermal are becoming more and more important day by day as they are unlimited energy sources. As known, most of the renewable energy projects and productions are large-scaled. Sometimes, renewable technologies are also suited to small off-grid applications in rural and remote areas. In many areas, renewable energy is an economical power resource, especially in rural areas of the country [3].

Institutions, organizations and governments are trying to find more efficient technologies and new and renewable energy sources to generate energy in the natural environment, due to limited fossil fuel reserves and negative environmental impacts. Recently, wind power is known to be a growing energy source in the world. Also the wind energy is one of the most widely used alternative energy sources [1]. Projects that provide production with wind and solar energy among the sustainable energy projects are the most popular investments in our country.

Wind energy is known to be an environmentally friendly renewable energy source. Wind energy has many advantages, such as cleanliness, abundance and low cost. It is a known fact that, harmful emissions released from various sources have been causing negative effects on the atmosphere. Renewable energy sources are free, clean and inexhaustible. Since the fuel is not burned, wind farms do not cause fuel or air pollution. For this reason, it can be said that wind energy is a clean fuel. To utilize the wind energy, high technology do not require and also there is no need to transport. The technology converting wind energy to mechanical and electrical energy is more economical compared to other energy conversion systems. It must be converted into mechanical energy first, and then to electrical energy in order to

benefit from wind energy. In regions with sufficient wind density, it is possible to obtain great economic benefits by installing wind energy conversion systems [3].

Wind energy projects are one of the most suitable energy production methods for sustainable energy development projects. Since large-scale wind power plant projects are very costly, long-term wind feasibility is very important to get effective and efficient results from wind energy before power plant construction. Before feasibility, suitable areas should be determined and examined, especially according to wind potential. With the help of economic, physical, environmental, social factors and a decision making mechanism that should be considered for proper location selection. Many systems such as remote sensing data with high resolution, Geographic Information Systems (GIS) that support the decision making process should be used in such complex applications [4]. In order to choose between main and sub criteria by examining the criteria to be selected in central location applications, it becomes easier to weight the criteria with the functionality of decision making mechanisms. The ability to combine and analyze the data obtained with geographic information systems, to solve complex problems and to achieve the desired result makes these systems an indispensable element [2].

The location selection of wind turbines requires the analysis of many spatial factors such as topography, land cover, slope, aspect, protection areas (protected area, etc.), settlement centers. GIS, which has been developing rapidly in recent years and its usage area has increased, is also widely used in the field of wind energy. New generation wind energy atlases, which can be integrated with geographic information systems (GIS), have significant benefits both in terms of time and money, in determining the most suitable areas for wind energy applications. In Turkey, to prepare the information on the qualifications demanded of the wind energy sector and to provide services to the sector's new Wind Energy Potential Atlas (WEPA) was prepared in 2006. With this atlas, which is prepared on a GIS basis, wind information can be provided in 3 dimensions for every 200x200 m areas of our country's land and sea areas [5]; [6]. However, this atlas is still not enough. Because problems such as sharing of spatial information among institutions, inadequate or outdated data, causes decision-makers make wrong decisions. For example, in determining potential wind turbine areas, the local factors such as fault line, distance from residential areas, slope, etc. should also be included in the assessment [6].

In this study, it is aimed to obtain suitable lands for WEP investment in a selected study area in the Eastern Mediterranean Basin by using many variables. The study was carried out in Osmaniye province. In the study area, Wind Energy Potential Atlas of the Turkey General Directorate of Renewable Energy (GDRE) may give investors an idea for the investments can be made, but it was aimed to create a more comprehensive Land

Suitability Index Map in GIS environment. The different variables obtained for SPP investment fields and Analytic Hierarchy Process (AHP) method are used for this purpose [7]; [8]. A Multi-criteria evaluation based on Geographic Information System (GIS) were applied for SPP site selection in Osmaniye province For being guide to investors and researchers hereafter, the suitable areas, alternative areas and unsuitable areas for WEP siting in the study area were determined in terms of GIS.

2. Material and Method

2.1. Study Area

Osmaniye is a province that located in the eastern part of the Mediterranean Region (Figure 1.). Gaziantep province is located in the east of Osmaniye province, Hatay province in the south, Adana province in the west and Kahramanmaraş province in the north. While the eastern and southeastern parts of Osmaniye province are surrounded by Amanos Mountains, the parts from west to north are surrounded by the Taurus Mountains. The surface area of Osmaniye province is 3.767 km². Osmaniye is at the crossroads of important roads and railways connecting Europe to the Middle East. Osmaniye is located at an energy crossroads formed by electricity, natural gas and oil pipelines in the Eastern Mediterranean. This has recently made the province a center of attraction [9].

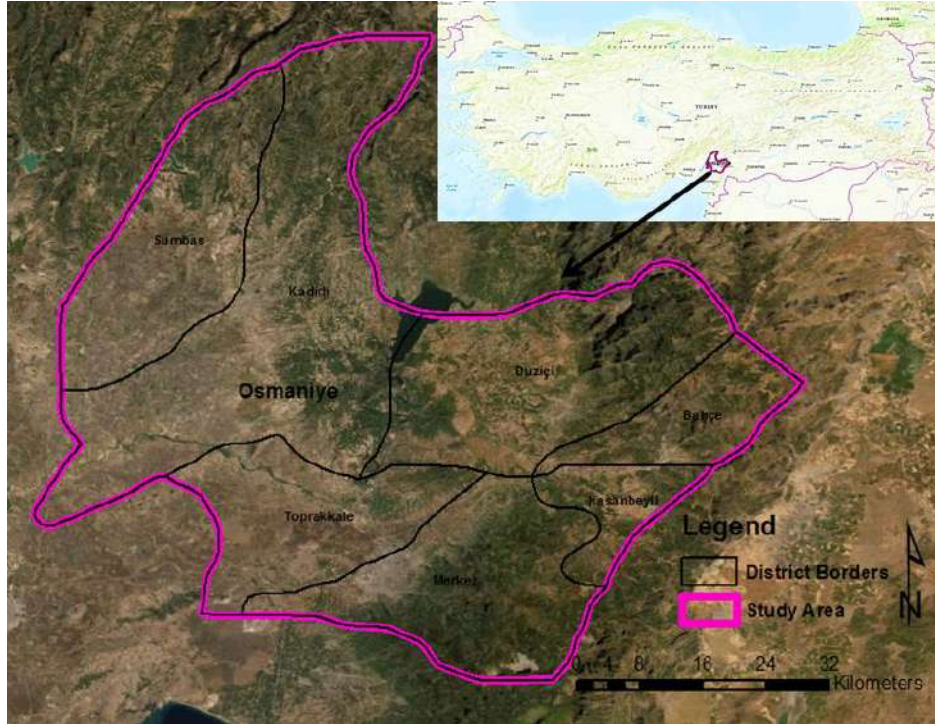


Figure 1. Map of Turkey and the Study Area

In this study, initially, the criteria that are capable to describe different restrictions related to wind energy plant (WEP) site selection is tried to identify. Corresponding to each constraint, the individual map layers were created then. The study area was divided into 30 m. - 30 m. grid cells. Thus, each grid cell represented an alternative place for a WEP site. The factors accepted to be effective in the selection of RES areas were determined according to the criteria specified in the related literature. (Table 1.).

In the study, the elevation data were collected from ASTER Global Dem V.3 with a resolution of 30 m. Slope data were derived from ASTER Global Dem V.3 and resampled to 30 m. resolution [10]. Distance, Roads and Transmission data were derived from OpenStreetMap and resampled to 30 m. resolution [11]. Fault line data were obtained from the General Directorate of Mineral Research and Exploration (GDMRE)'s Turkey active fault map and resampled to 30 m. resolution [12].

Table 1. Data set chosen for MCDA modelling. [10], [11], [12].

Criteria Name	Description	Source
Distance	Distance from Residential areas (m)	Derived from OpenStreetMap
Slope	Slope in degrees obtained from altitude (%)	Derived from ASTER/ASTGTM.003
Faults	Distance from Faults (m)	Derived from GDMRE
Roads	Distance from Roads (m)	Derived from OpenStreetMap
Transmission	Distance from Transmission Lines (m)	Derived from OpenStreetMap
Capacity	Capacity Factor (%)	Derived from Global Wind Atlas

2.1. Analytic Hierarchy Process

In this study, the AHP technique, a frequently used multi-criteria decision-making technique in the literature, will be used for the determination of suitable places for Wind Energy Plants. The selected criteria will be weighted according to this method. AHP technique is a structural technique used to analyze

interrelated criteria in solving complex problems. In this model, the binary comparison matrix is obtained based on the binary comparisons between the criteria. After that, the weights of the criteria are determined.

Table 2. AHP evaluation scale [7].

Numerical value of Pij	Definition
1	Equal importance of i and j
3	Moderate importance of i over j
5	Strong importance of i over j
7	Very strong importance of i over j
9	Extreme importance of i over j)
2,4,6,8	Intermediate values

The AHP, is a mathematical method. It is developed by Saaty in 1977. The aim of the method is to analyze complex decisions involving many criteria (Table 2). AHP method, is one of the most effective methods used in spatial planning in recent years [13]; [14]). In this method, the criteria are weighted between 1 and 9, taking into account the scale of importance [15]. The weight of the criteria is important in obtaining the result in AHP method and the weights can be different, depending on the decision makers' preferences.

For this study the following factors were considered in the determination of the suitable areas for wind energy plants: Distance from Residential Areas, Slope, Distance from Faults, Distance from Roads, Distance from Transmission Lines and Capacity Factor.

Each criteria are explained below.

2.2.1. Distance from Residential Areas

The proximity to residential areas of wind energy plants can be taken as an economic factor. For this reason, WEP siting should be done in places close to the residential areas.

In the study, for residential areas, with a <500 m. buffer zone is given as 1, 500-1000 buffer zone is given as 2, 1000-1500 m. buffer zone is given as 3, 1500-2000 m. buffer zone is given as 4, 2000-2500 m. buffer zone is given as 5, 2500-3000 m. buffer zone is given as 6, 3000-3500 m. buffer zone is given as 7, 3500-4000 m. buffer zone is given as 8 and > 4000 m. buffer zone is given as 9 (Figure 2).

2.2. Criteria

In this study, the six criteria (Distance from Residential Areas, Slope, Distance from Faults, Distance from Roads, Distance from Transmission Lines and Capacity Factor) determined for AHP analysis were evaluated in the AHP analysis software. This software is prepared by [16] and it is provided on the internet. In this context, a binary comparison was made primarily for AHP priorities. Depending on the importance of the criteria, selections were made in the range of 1-9 on the AHP scale and were calculated automatically [17].

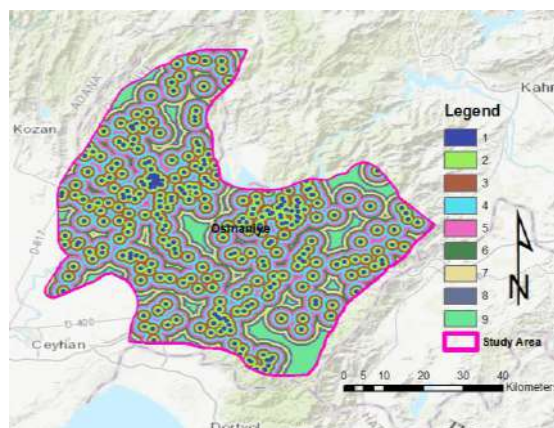


Figure 2. Suitability Index Map of the Distance from Residential Areas of the Study Area

2.2.2. Slope

Inclined and hilly regions prevent the stable wind regime. For this reason, WEP siting should be done in places where the

slope is low. The slope was divided into nine parts in the study. 0–1% buffer zone is given as 9, 1–2% buffer zone is given as 8, 2–4% buffer zone is given as 7, 4–8% buffer zone is given as 6, 8–12% buffer zone is given as 5, 12–16% buffer zone is given as

4, 16–20% buffer zone is given as 3, 20–24% buffer zone is given as 2 and >24% buffer zone is given as 1. (Figure 3).

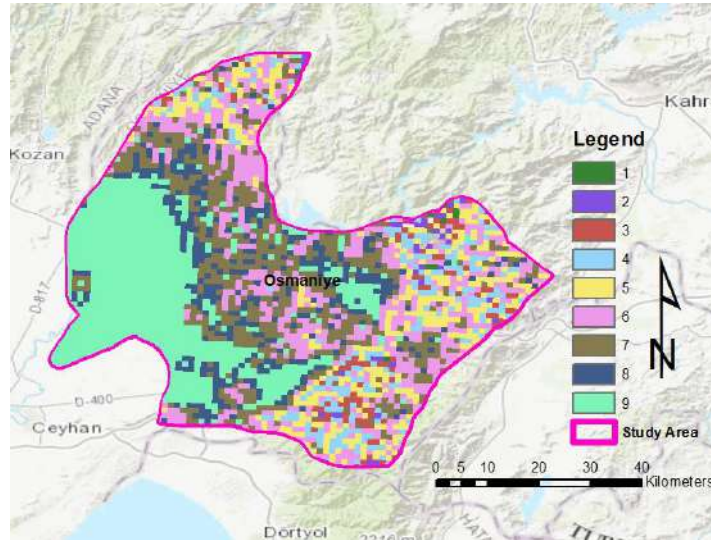


Figure 3. Suitability Index Map of Slope of the Study Area

2.2.3. Distance from Faults

It is necessary not to choose the location of wind turbines close to places with high earthquake risk. This situation was taken into consideration in the evaluation. In the study, for distance from faults, with a <1000 m. buffer zone is given as 1,

1000-2000 m. buffer zone is given as 2, 2000-3000 m. buffer zone is given as 3, 3000-4000 m. buffer zone is given as 4, 4000-5000 m. buffer zone is given as 5, 5000-6000 m. buffer zone is given as 6, 6000-7000 m. buffer zone is given as 7, 7000-8000 m. buffer zone is given as 8 and > 8000 m. buffer zone is given as 4 (Figure 4).

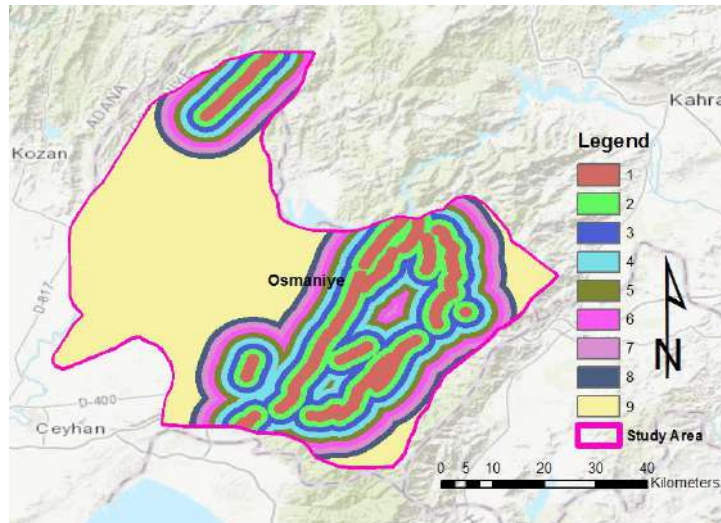


Figure 4. Suitability Index Map of Distance from Fault Lines of the Study Area

2.2.4. Distance from Roads

Roads are an important criterion for an economical and efficient in WEP site selection. The cost may decrease in the infrastructure works that carried out in areas close to the main roads [14]; [2]. In the evaluations it has been a lot of attention to this situation. In the study, for distance from roads, with a <250 m. buffer zone is given as 9, 250-500 m. buffer zone is given as 8,

500-1000 m. buffer zone is given as 7, 1000-1500 m. buffer zone is given as 6, 1500-2000 m. buffer zone is given as 5, 2000-2500 m. buffer zone is given as 4, 2500-3000 m. buffer zone is given as 3, 3000-3500 m. buffer zone is given as 2 and > 3500 m. buffer zone is given as 1 (Figure 5).

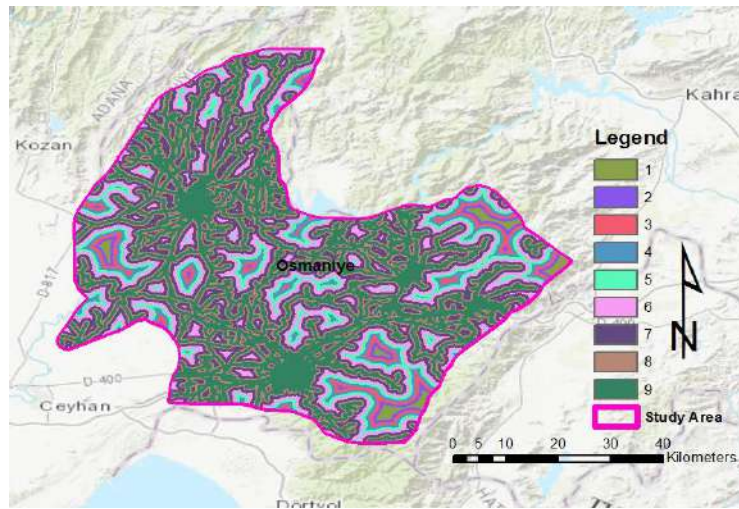


Figure 5. Suitability Index Map of Distance from Roads of the Study Area

2.2.5. Distance from Transmission Lines

The transmission of energy produced in the wind turbine to the transmission network should be easy. For this reason, WEP siting should be done in places close to transmission lines. In the study, for distance from transmission lines, with a <1000 m.

buffer zone is given as 9, 1000-2000 m. buffer zone is given as 8, 2000-3000 m. buffer zone is given as 7, 3000-4000 m. buffer zone is given as 6, 4000-5000 m. buffer zone is given as 5, 5000-6000 m. buffer zone is given as 4, 6000-7000 m. buffer zone is given as 3, 7000-8000 m. buffer zone is given as 2 and > 8000 m. buffer zone is given as 1 (Figure 6).

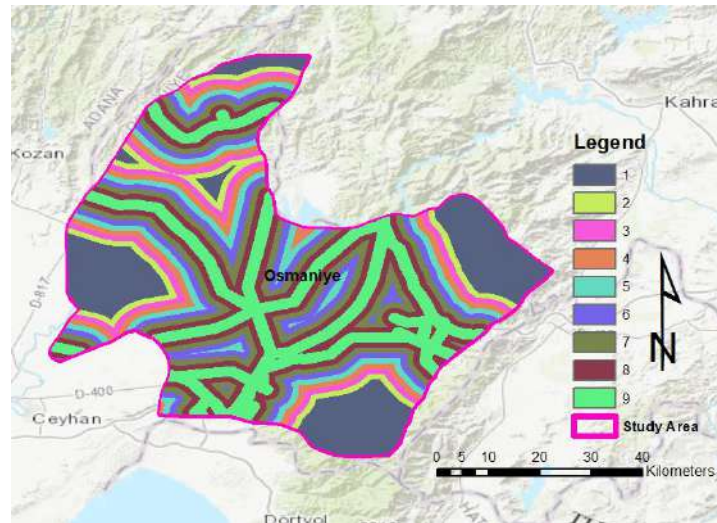


Figure 6. Suitability Index Map of Distance from Transmission Lines of the Study Area

2.2.6. Capacity Factor

The capacity factor is the ratio of the power produced by a power plant within a certain period to the power that it can produce at maximum capacity. In the wind power plant to be installed in places with higher capacity factor, more power and income is obtained compared to places with lower capacity

factor. The capacity factor was divided into nine parts in the study. 1-6% buffer zone is given as 1, 6-12% buffer zone is given as 2, 12-18% buffer zone is given as 3, 18-24% buffer zone is given as 4, 24-30% buffer zone is given as 5, 30-36% buffer zone is given as 6, 36-42% buffer zone is given as 7, 42-48% buffer zone is given as 8 and >48% buffer zone is given as 9. (Figure 7).

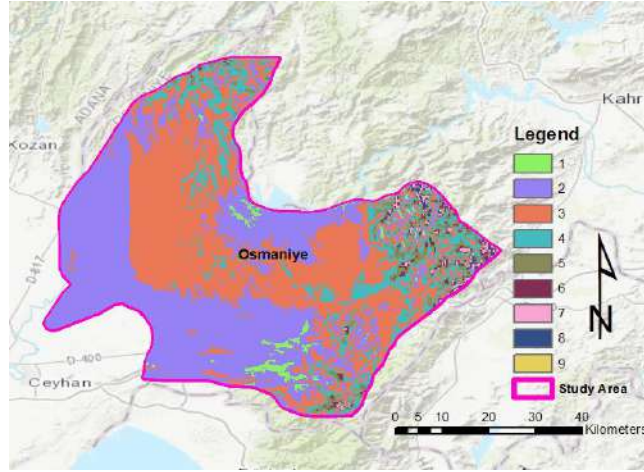


Figure 7. Suitability Index Map of Capacity Factor of the Study Area

The obtained factors were evaluated in a GIS environment. Then all the obtained raster data resampled to 30 m. resolution. For creating the Land Suitability Index Map for WEP siting, the Weighted Sum analysis of the Spatial Analyst Tool in the ArcGIS program is used. The weights obtained in AHP method is used in the analysis (Figure 9.).

3. Results and Discussion

AHP method is an important multi-criteria decision making method. It is one of the most effective methods used in spatial planning in recent years. In the AHP method, users are enable to determine the weights of the parameters in the solution of a multi-criteria problem. In the AHP method, a hierarchical model is used for every problem, consisting of objectives, criteria, sub-criteria and alternatives [15]. In this study, it was focused on the use of GIS together with MCE methods for the site selection of wind energy plants. The weights of the criteria, that used in the site selection process are determined separately by binary comparisons with the AHP. Determination of the weights with the AHP method gives quite positive results. In this method, the criteria are weighted between 1 and 9 considering the scale of importance. The weights of the criteria forming the hierarchy are calculated, after the problem is set in a hierarchical structure [18].

In the study, scoring is made with the utilization of the preference scale suggested by [7], for evaluating the criteria included in a level compared with other criteria included in the next hierarchy level (Table 2). A pairwise comparison matrix is then created [7], [15]. The pairwise comparison matrix consists of $n(n - 1)/2$ comparisons, for n number of elements [18]; [19].

In this study, six criteria (distance from residential areas, slope, distance from faults, distance from roads, distance from transmission lines and capacity factor) determined for AHP analysis are evaluated in the free online software [20], prepared for making AHP analysis by [16].

Initially, a double comparison was made for AHP priorities (Figure 8). Depending on the importance of the criteria, 1-9 selections were made in the AHP scale and calculated automatically. As a result of the calculation, the Consistency Ratio was determined as 4.40% and the weights of the criteria were determined as a result of the double comparison (Table 3). It is considered that the judgments exhibit a sufficient degree of consistency and that the assessment can be continued, in the case where the consistency ratio calculated for the judgments is below 0.10 [21]; [22].

A - wrt AHP priorities - or B?		Equal	How much more?
1	<input checked="" type="radio"/> Distance from residential areas <input type="radio"/> Distance from roads	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
2	<input type="radio"/> Distance from residential areas <input checked="" type="radio"/> Slope	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
3	<input type="radio"/> Distance from residential areas <input checked="" type="radio"/> Capacity Factor	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Distance from residential areas <input type="radio"/> Distance from transmission lines	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
5	<input type="radio"/> Distance from residential areas <input checked="" type="radio"/> Distance from faults	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
6	<input type="radio"/> Distance from roads <input checked="" type="radio"/> Slope	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
7	<input type="radio"/> Distance from roads <input checked="" type="radio"/> Capacity Factor	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
8	<input checked="" type="radio"/> Distance from roads <input type="radio"/> Distance from transmission lines	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
9	<input type="radio"/> Distance from roads <input checked="" type="radio"/> Distance from faults	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
10	<input type="radio"/> Slope <input checked="" type="radio"/> Capacity Factor	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
11	<input checked="" type="radio"/> Slope <input type="radio"/> Distance from transmission lines	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
12	<input type="radio"/> Slope <input checked="" type="radio"/> Distance from faults	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
13	<input checked="" type="radio"/> Capacity Factor <input type="radio"/> Distance from transmission lines	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
14	<input checked="" type="radio"/> Capacity Factor <input type="radio"/> Distance from faults	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
15	<input checked="" type="radio"/> Distance from transmission lines <input type="radio"/> Distance from faults	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9

CR = 4.4% OK

dec. comma

AHP Scale: 1- Equal Importance, 3- Moderate importance, 5- Strong importance, 7- Very strong importance, 9- Extreme importance (2,4,6,8 values in-between).

Figure 8. The pairwise comparison module in the software [20]; AHP Evaluation Scale: 1- Equal importance, 3- Moderate importance, 5- Strong importance, 7- Very strong importance, 9- Extreme importance, 2,4,6,8- Intermediate values

Table 3. Resulting weights for the criteria based on pairwise comparison

Category	Priority	Rank
Capacity Factor	% 45.90	1
Distance from Faults	% 14.90	2
Slope	% 14.10	3
Distance from Residential Areas	% 8.70	4
Distance from Transmission Lines	% 8.60	5
Distance from Roads	% 7.70	6

In the study, selected criteria weights are calculated with AHP method. Resulting weights for the criteria based on pairwise comparison was calculated as 45.9% for Capacity Factor, 14.9% for Distance from Faults, 14.1% for Slope, 8.7% for Distance from Residential Areas, 8.6% for Distance from Transmission Lines and 7.7% for Distance from Roads (Table 3). The obtained weights factors were evaluated in GIS. For creating the land suitability index maps for the WEP siting, the Weighted Sum analysis of the Spatial Analyst Tool in the ArcGIS program is used (Figure 9.). With the locations of the present WEP sites in the study area, the validity of the created map was checked.

The criteria selected according to the general characteristics of the study area were combined with ArcGIS software using the weight values obtained with AHP and suitable areas for the WEP installation were determined. The land suitability index map is created in the range of 1-9. Then the land suitability index map is divided into three categories: "unsuitable areas", "alternative areas" and "suitable areas". According to the results obtained, 14.30% of the working area are suitable for the establishment of a solar power plant. 15.84% of the study area are in an alternative suitability and 69.86% of the area is not suitable for building a wind energy plant.

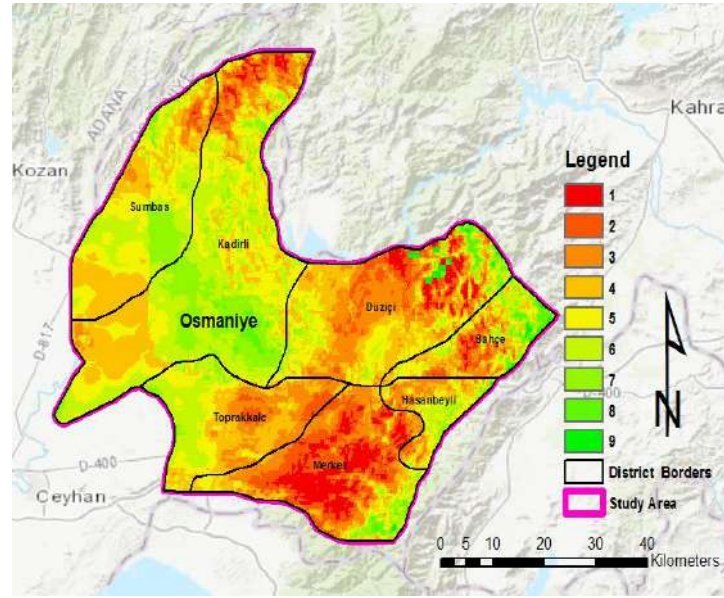


Figure 9. Land suitability index map of the study area

Osmaniye has 3 wind energy power plants, two in Bahçe and one in Hasanbeyli districts. In the land suitability index map, it was seen that a large part of Bahçe and Hasanbeyli districts consisted of suitable and alternative areas for the installation of a solar power plant. In accordance with the land suitability index map, in addition to Bahçe and Hasanbeyli districts, Northeast parts of Düziçi district, central parts of Sumbas and Kadirli districts, south east parts of Merkez district, north and west parts of Toprakkale district have suitable or alternative areas for WEP

siting. In the study area, Merkez district is, the less suitable district for WEP siting.

4. Conclusions and Recommendations

According to the researches conducted in various countries, one third of CO₂ emissions are caused by electricity generation. For this reason, it seems an imperative to turn to the renewable energy sources in electricity production. It is envisaged that wind energy plants (WEP), whose numbers are increasing rapidly, can meet 12% of the world's electricity production within 20 years.

The first wind farm in our country was founded in Izmir in 1998. Although the first wind farm was established in 1998, serious breakthroughs in this area took place after 7 years. Today, there are 172 Wind Power Plants in our country. The total installed capacity of 172 Wind Power Plants in Turkey is 5789.39 MW. In 2016, 16,000,000,000 kilowatt-hours of electricity were produced by Wind Power Plants. Today, approximately 6.3% of the energy we consume in our country is met by wind power plants.

Some of the 195 power plants put into operation have not yet reached the installed capacity as much as the license installed power, and the construction continues. In this context, with the commissioning of some of the power plants put into operation, an additional wind turbine with a capacity of 562 MW will be activated and the power of the installed plants will reach 7.626 MW capacity.

In addition, the license capacity of 75 power plants, that have not been commissioned yet, but progressed in their installation, is 940 MW. In this context, the partially commissioned and completed all of the progress of construction

General Directorate of Renewable Energy (GDRE), has made up Turkey Wind Energy Potential Atlas (REPA) based on various factors. The map of "Wind Energy Power Plant Installable Areas" in the Osmaniye province report of this atlas was examined. It is seen that the findings obtained in both studies are close to each other and overlap. This shows that the results of the study are valid and meaningful.

projects Turkey is seen to rise to the level of 8566 MW of wind power installed capacity. Today, when all wind power plants that receive license and preliminary license come into operation, the wind installed power of our country will increase and almost 13% of all electricity consumption will be covered by wind power plants. This study is important for new applications for wind power plants will be accepted to achieve this goal.

Osmaniye's power plant installed power is 1,057 MW. There are a total of 22 power plants in Osmaniye, and these power plants produce approximately 3,307 GW of electricity annually. When the power plants of Osmaniye are examined; Hydroelectric power plants generate 815.16 MW (77.1%) energy. Wind energy plants generate 235 MW (22.2%) of energy. It is observed that 4.10 MW (0.4%) produced from solar power plants and 3.12 MW (0.3%) are produced from biogas. From the results, we understand that the share of wind energy plants in Osmaniye has a great share in general electricity production. This share may increase over time. For this reason, this study is important for the province.

The important thing to consider when investing in the global wind energy market is the cost of a 1 MW wind power plant. The price of wind turbines and other equipment is gradually falling. This price decrease reduces the fixed investment amount of wind power plants, which makes investment more attractive. Also, as it is worldwide, it is also in Turkey under the guarantee of the state's purchases of the electricity produced from the renewable energy sources.

In this article, a site selection study for WEP investment in the Osmaniye province of the Eastern Mediterranean region with

GIS based AHP method, based on six different criteria is conducted. It has been determined that the areas suitable for WEP determined in this study are largely compatible with the current WEP locations. This shows that the criteria used in the study are generally sufficient for evaluations. The conformity obtained WEP conformity map can be used in preliminary evaluations for investors. By increasing the criteria, investment areas can be determined much more precisely. This can contribute to feasibility studies.

Turkey offers attractive investment opportunities for domestic and foreign investors, especially in the fields of wind and solar energy. With the development and improvement of investment environment, providing energy reforms, it will become an increasingly attractive market for investors in Turkey in the coming period. For this reason, this study is important for the investors, who will invest in the Osmaniye province.

In order to increase our existing installed wind power capacity to the level of developed countries, incentives should be increased by the state. Investing in wind turbine technology is necessary for both creating job opportunities and making cheaper use of our wind energy potential in the long time period. The use of the existing wind energy potential is of great importance in terms of both its economic and environmental aspects.

References

- [1] Kose, R., Özgür, E. O. Arif M., Tugcu, A., (2004). The analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume: 8, pp.: 277–288.
- [2] Yalçın, C , Yüce, M., (2020). Determination of Areas Suitable for Solar Power Plant (GES) Investment in Burdur by GIS Method. *Geomatik* , 5 (1) , 36-46. DOI: 10.29128/geomatik.561962 (In Turkish)
- [3] İlkiliç, C., (2012). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume: 16, pp.: 1165– 1173.
- [4] Bennui A., Rattanamanee P., Puetpaiboon U., Phukpattaranont P., Chetpattananondh K., (2007). Site Selection For Large Wind Turbine Using GIS, *PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment (ICEE-2007), Thailand*.
- [5] Malkoç, Y., (2009). Our Wind Energy Resources, RÜGES 2009, 2nd Wind Symposium, 4-5 June 2009, *Samsun* (In Turkish)
- [6] Nişancı, R., Yıldırım, V., Özçelik, A.E, (2010) Determination Of The Wind Energy Areas Using GIS: Case Study In Trabzon In Turkey, *III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 11 – 13 Ekim 2010, Gebze – Kocaeli*, s:213-220. (In Turkish)
- [7] Saaty, T. L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, ISBN 0-07-054371-2, McGraw-Hill
- [8] Wind, Y.,and Saaty, T. L., (1980). Marketing application of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 26 (7): p. 641-658.
- [9] Anonymous, (2020a). Osmaniye ili. Online Access Date:15.01.2020. web site: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Osmaniye_\(il\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Osmaniye_(il)).
- [10] NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems, and U.S./Japan ASTER Science Team (2019). ASTER Global Digital Elevation Model V003 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2020-01-05 from <https://doi.org/10.5067/ASTER/ASTGTM.003>
- [11] Anonymous, (2020b). OpenStreet Map <https://www.openstreetmap.org/#map=7/39.031/35>. Online Access Date:03.01.2020 web site:, 252
- [12] Anonymous, (2020c). <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-dirifay-haritalari>. Online AccessDate:05.01.2020
- [13] Ayday C, Yaman N, Sabah L, Höke O., (2016). Site Selection Of Solar Power Plant By Using Open Source GIS For Eskişehir Province. *6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana* (In Turkish)
- [14] Uyan M., (2017) GIS-Supported mapping of solar power plant sites using AHP method . *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 23(4), 343-351, (In Turkish)
- [15] Saaty T.L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- [16] Goepel, K.D., (2018). Implementation of an online software tool for the analytic hierarchy process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, Vol. 10 Issue 3 2018, pp 469-487.
- [17] Anonymous, (2020d). AHP Priority Calculator Access Date:15.01.2020 web site: https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php.
- [18] Ozturk, D.and Batuk, F., 2010 Using analytical hierarchy method in spatial decision problems. *Sigma Engineering and Science Journal* Volume 28, Pages 124-137. (In Turkish)
- [19] Malczewski J. (2010) Multiple Criteria Decision Analysis and Geographic Information Systems. In: Ehr Gott M., Figueira J., Greco S. (eds) Trends in Multiple Criteria Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science, vol 142. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5904-1_13
- [20] Anonymous, (2020d). AHP Priority Calculator Access Date:15.01.2020 web site: https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php.
- [21] Ozturk, D. and Batuk, F., 2007. Criteria Weights in Decision Making with Multiple Criteria. *Yıldız Technical University Sigma Engineering and Science Journal* 25 (1),86–98. (In Turkish)
- [22] Akıncı H., Ozalp A. Y., Turgut B., (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique , *Computers and Electronics in Agriculture* 97; 71–82.



Catalytic Activity of Optimized Environment and Microbial Conditions on Bioleaching of Leonardite for Bio-Humic Production

Nurgul Kıtır Şen^{1*}, Metin Turan²

¹ Gebze Teknik Üniversitesi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, Gebze, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7463-4186), nksen@gtu.edu.tr

² Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4849-7680), m_turan25@hotmail.com

(First received 1 July 2020 and in final form 11 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.761458)

ATIF/REFERENCE: Kıtır Şen, N., & Turan, M. (2020). Catalytic Activity of Optimized Environment and Microbial Conditions on Bioleaching of Leonardite for Bio-Humic Production. *European Journal of Science and Technology*, (20), 206-215.

Abstract

The potential use of Leonardite for organic farming is common in worldwide but due to standart chemical production process of humic acid from Leonardite ore, the humic acid usage in organic farming is forbidden. Here we present a new optimized method for biological humic production via using a combination of biotechnological and conditional processes. This study includes two phases. Initially, the collection of Leonardite ore samples from different Leonardite deposites of Turkey and the determination the most qualified ore bed via using FTIR spectroscopy and SEM view results. Due to the results, the best ore was determined from Adana-Tufanbeyli province. In the second phase, the samples were taken from Adana-Tufanbeyli province for bio-humic production via using several bioleaching process to find the best condition for maximum production of bio-humic. California method was used as standart method to determine the leaching ratio. As an initial of bioleaching process, several leonardite ore ratios were determined in the prepared bacteria based solution then under different temperature, time conditions, the productivity effect of pH parameters were tested to find the optimum leaching standarts for bio-humic production. The optimized conditions were provided 23.08% bio-humic leaching ratio. This result shows us there is a better potential of extraction of humic acid via biotechnological methods compared with the conventional methods. Since there is a restriction of usage of humic acid in organic farming due to its chemical production process, this study opens a new way of usage of humic in biologic form in organic farming and with this high leaching potential there can be many studies can be done and new microorganism isolations can be tested with the innovative process of the study. This eligibility of this process to produce humic in biologic form provides an innovative input for organic farming as bio-humic with this study.

Keywords: Bio-humic, Organic farming, Leonardite, Microbial Consortium, Bio-leaching

Biyolojik Hüyük Üretimi için Leonarditin Biyo-Liçinginde Optimize Edilmiş Ortamın ve Mikrobiyal Koşulların Katalitik Aktivitesi

Öz

The potential use of Leonardite for organic farming is common in worldwide but due to standart chemical production process of humic acid from Leonardite ore, the humic acid usage in organic farming is forbidden. Here we present a new optimized method for biological humic production via using a combination of biotechnological and conditional processes. This study includes two phases. Initially, the collection of Leonardite ore samples from different Leonardite deposites of Turkey and the determination the most qualified ore bed via using FTIR spectroscopy and SEM view results. Due to the results, the best ore was determined from Adana-Tufanbeyli province. In the second phase, the samples were taken from Adana-Tufanbeyli province for bio-humic production via using several bioleaching process to find the best condition for maximum production of bio-humic. California method was used as standart method to determine the leaching ratio. As an initial of bioleaching process, several leonardite ore ratios were determined in the prepared bacteria based solution then under different temperature, time conditions, the productivity effect of pH parameters were tested to find the optimum leaching standarts for bio-humic production. The optimized conditions were provided 23.08% bio-humic leaching ratio. This result

* Corresponding Author: nksen@gtu.edu.tr

shows us there is a better potential of extraction of humic acid via biotechnological methods compared with the conventional methods. Since there is a restriction of usage of humic acid in organic farming due to its chemical production process, this study opens a new way of usage of humic in biologic form in organic farming and with this high leaching potential there can be many studies can be done and new microorganism isolations can be tested with the innovative process of the study. This eligibility of this process to produce humic in biologic form provides an innovative input for organic farming as bio-humic with this study.

Anahtar Kelimeler: Biyo-hümik, Organik tarım, Leonardit, Mikrobiyal konsorsiyum, Biyo-liçing

1. Introduction

Nowadays, the developing countries determined some strategies that target to gain the maximum yield and economic products on agricultural production via using several technologies taken from developed countries. The base of these strategies were composed from increasing agricultural productivity and yield. However, the biodiversity and natural balance, sustainability of agriculture were not taken into account and unbounded chemical input usages have been caused a lot of short and long term environmental problems. To review and strengthen the soil productivity factors with dense chemical inputs are not a sustainable solution for farming. Initially, to solve the problems that causing soil degradation and soil productivity limiting factors will compose the important steps. Depending on the intensive chemical applications, increasing input usages cause addiction to use increasing chemical fertilizers, pesticides and herbicides to gain the same amount of yield due to decreasing biodiversity affects of these chemicals in the soil. Also the intensive usage of chemicals causes soil degradation. The existing part of the nature as water, air circulation, nutrient element cycle, disease and pathogens auto-control, ion change etc. cycles are affected in the soils that have lost their biodiversity and their lack cycles cause the soil productivity losses. Because of these reasons, the supporting activities should be used to increase soil biodiversity. In addition to no-till farming systems and to use the organic based productions as an input provides the organic material and biodiversity increase in 2-3 years. The obtained production will be economical and more products could be provided to the market. Humic acid and derivative organic inputs provide positive effects on soil content and problems as high pH, high lime and low organic matter etc. In Turkey there are five Leonardite sources in Bursa-Davutlar, Balıkesir-Balya, Adana-Tufanbeyli, Tekirdağ-Saray and Konya-Beyşehir. NaOH and KOH are used in chemical process for extraction of humic acid and its components but the outputs as an end of these processes can be used only in conventional farming and this chemical process is not eligible to extract valuable organic farming content as organic acid, amino acid and hormone from Leonardite sources. In the market, organic inputs and their sources are very limited and this problem is common all over the world. Organic farming is an agricultural application system and it has unique standarts. In every level of organic production, the inspection is done by the author foundation and inspectors. In order for a product to be organic, it must have an organic certificate and product label. Bursa-Davutlar, Balıkesir-Balya, Adana-Tufanbeyli, Tekirdağ-Saray and Konya-Beyşehir have the most important leonardite deposits of Turkey. But the direct use of these sources are not possible. Our target is to find the best appropriate source for bio-humic production and convert that source in available forms and provide inputs for organic farming by using biotechnological process via using special PGPRs for natural extraction without chemical process. The aim of this project after pre-experiments, to convert the leonardite sources into bio-humic forms to provide inputs for cosmetic and dermacosmetic, food additive material, organic humic fertilizer input in organic farming, sustainable farming and

even in conventional farming by using the identified PGPRs. These PGPRs have also demineralization capability to dissolve humic materials from the Leonardite with the enzymes they secrete.

The Humic Substances (HS) effects on plant growth have been known for so many times and HS have benefits on soil structure improvement as aeration, aggregation, permeability and water holding capacity (Tan & Nopamornbodi, 1979). In traditional farming the organic wastes and manures have been used and the important form of these organic wastes have been released as humus and to earn the humus status and other chemical and biochemical soil properties they should have heavy metal accumulation properties, organic pollutants and phytotoxic compounds. About these factors the soil and organic matters should be analysed to understand the structure and to clean from toxical structures, the organic matter structure analyses have commonly been made via FTIR "Fourier Transform Infrared Spectroscopy" (Lima et al., 2009). According to these parameters also we have made FTIR analysis on the selected leonardite samples. Humic and Fulvic acids are commonly used in organic crop production and they are a good plant growth stimulator that provides a good root, shoot and stem elongation. Due to water holding capacity of humic acid as seven times more of their volume, they provide a good nutrient taking process about their utilization of the water and it provides for plants a better yield and quality (Wright & Lenssen, 2013).

HS are end products of humification and they are complex and heterogenous mixtures of polydispersed matters as a result of conversion of plant and microbial remains via using some chemical and biochemical reactions (Muscolo, Sidari, & Nardi, 2013). The humic substances have a similar structure with hormones and acting like plant growth hormones that they increase the membrane permeability and provide the transportation of essential elements to the roots, and balance the respiration (Masciandaro, Ceccanti, Ronchi, Benedicto, & Howard, 2002).

Organic agriculture needs a systematic production method and soil is a crucial factor to provide a sustainable management on organic farming systems but soil degradation increase causes the decrease of food safety (Fließbach, Oberholzer, Gunst, & Mäder, 2007). One of the reasons of the decrease of eligible soil for farming is overdose using of chemicals. Organic farming products are limited and due to this, that type of farming is not expanded at enough level. In addition to this 96% of Turkey's farm fields have poor in terms of organic matter. The aim of the study to provide a useful new biological source for organic farming as an input via processing the natural leonardite source with biotechnological method by using several microorganisms and bioleaching. This bioleaching method can provide a potential organic extract from leonardite source. The chemical extraction method with some chemical compounds as NaOH or KOH provides only extraction of humic+fulvic acid on chemical base but can not extract organic acid, amino acid and hormone compounds from raw leonardite. Our target in the study, in addition to biotechnological extraction of humic and fulvic acid, to obtain these organic compounds next to them via using of bioleaching properties of our isolated

microorganisms for organic farming process and to determine the optimum conditions for maximum leaching of bio-humic.

2. Material and Method

2.1. Leonardit Material Selection

The five top biggest leonardite deposits was determined from Turkey as Bursa-Davutlar, Balıkesir-Balya, Adana-Tufanbeyli, Tekirdağ-Saray and Konya-Beyşehir. In each region 30 samples were taken to determine physical and chemical properties of ores via FTIR, SEM and chemical measurements. After determination of the best property providing leonardite ore is Adana-Tufanbeyli, the leonardite ore samples were used for bioleaching process.

2.2. Physical Properties Determination of Leonardite Ore

2.2.1. FTIR Spectroscopy

FTIR spectroscopy measurements were carried out in the MID IR region in the range of 600 to 4000 cm⁻¹ using 25 IR scans for each sample. After drying the humic acids extracted from all samples, spectra were taken without any treatment. Functional group analyzes of each sample were performed by comparison of spectra. The measurements were made with samples prepared at the same pH values (Lima et al., 2009).

2.2.2 SEM Views

Scanning Electron Microscopy with a Hitachi S-3400N SEM was used to determine the samples structure is crystal or not. 5 different samples were taken from 5 different Leonardite ore bed from Turkey's different regions as Bursa-Davutlar, Balıkesir-Balya, Adana-Tufanbeyli, Tekirdağ-Saray and Konya-Beyşehir.

2.3. Culture Collection and Microbial Culture Preparation for Bioleaching Process (Media Composing Process for Bioleaching)

Pseudomonas putida (ATCC® 47054D-5), *Zygosaccharomyces bailii* (ATCC® 8766) and *Rhodotorula mucilaginosa* (ATCC® 2503), *Saccoramicetes cerevisiae*(ATCC® 18824), *Bacillus subtilis* (ATCC® 21332), *Bacillus megaterium* (ATCC® 25848), *Aspergillus niger* (ATCC® 20057), and *Thiobacillus ferrooxidans* (ATCC® 8158), isolates for bioleaching were obtained from Yeditepe University Microbiology Laboratories. For media, agar and vinasse is used. A consortium was composed at 10¹² cfu/ml density.

2.4. The Process of Leonardite Ores Standart Humic Process

The leonardite ore was milled on 200–400 mesh “37–74 mm” dimensions. The milled leonardite ore “400 gr.”, water “575 gr.” and NaOH “25 gr.” was put in reactor. The reactor temperature was 100 °C with obtained steam from steam generator. When the temperature was under or upon 100 °C, the control panel gives direction to steam generator with the taken infos from thermocouples. The reactor was worked for 90 turnover/min and 24 hours. When the work was over, the reactor was cooled and the pressure was pumped out. The media was passed from centrifuge decanter for separation of liquid and solid form. Some of humic matters and non humic matters in leonardite ore were solved in water. The non soluble part of leonardite ore

stayed as solid phase and was separated via decanter from liquid phase.

2.5. Bioleaching Methods

Different Leonardite/media ratios “20, 30, 40, 50, 60, 70%” were selected. The media pHs were selected as 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5. Different days were selected as “1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7”. Different temperatures as “10, 20, 30, 45, 50 °C” were selected for optimization of bioleaching process. The temperature and pH were controlled during the fermentation. Each day the samples were taken and laboratory analysis and controls were made in aseptically conditions.

2.6. TSE and California Methods

For Leonardite as its solid material for humic acid measurement we used TSE Method. For Liquid humic acid ratio from biohumic and standart humic material we used California method.

2.6.1 TSE 5869 ISO 5073 Black coal and Lignites

0.2 gr solid form Leonardite ore was taken for the humic acid extraction. 150 ml alkaline Na₄O₇P₂(Sodium pyrophosphate) was added and the leonardite ore was put in boiling water. After 2 hours boiling, the material was cooled to room conditions and diluted to 200 ml in erlenmeyer flask. Then washing and filtering process was done. 5 ml material was taken and 5 ml K₂Cr₂O₇ solution and 15 ml H₂SO₄ solution were added and put in hot water bath for 30 min. After cooling dilution to 100 ml, 3 ml phenon-troline indicator was added. Titration was done with (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ until colour to tile red.

2.6.2. CDF A Method

After bioleaching, the obtained liquid form was used to measure Humic+Fulvic acid contents via using the gravimetric Humic Acid - California Department of Food and Agriculture (CDF A) (1999) method.

2.7. Statistical Analysis

The statistical analysis were made of the obtained results from study with Minitab 19 program.

3. Results and Discussion

3.1. The Initial Analysis Results of leonardite Samples

The FTIR spectroscopy measurements have been made via using IR Prestige-21 in MID IR region and between 600 to 4000 cm⁻¹ and 25 scanning for each sample. The extracted humic acids spectrum were taken after drying including no process from all samples "Table 1, Figure 1". The comparison of spectrum with functional group analysis belong to each samples have been made. Generally, wide and overlapping pics revealed between 3600–2000 cm⁻¹ region. The wide band between 3400–3000 cm⁻¹ range showed hydroxyl groups that bonded with hydrogen bonds. C-H distention vibrations that should be seen in 3100–3000 cm⁻¹ region, lost in wide bonds. The peaks in 2920–2850 cm⁻¹ region showed distention vibration belong to aliphatic CH, CH₂, CH₃ groups related with aromatic groups. OH vibration is in shoulder carboxyl groups of 2570 cm⁻¹ region. The mutual seen bonds in spectrums, 1712 cm⁻¹ bond show the peak belong to carboxyl, aldehite and ketone carbonyl but according to state of carboxyl

group the height of the peak can be changed by H bonded state or ionized state and shows differences based on peak heights in humic acids from isolated different regions. This difference was sourced from the vibration differences of COOH groups acid and salt forms. In the state of conversion COOH groups into COO-, in the height of 1380 cm-1 peak, the increases occur compared to 1712 cm-1 peak. This state showed differences between carboxyl group amounts from the samples obtained from different regions. Because same steps and same chemicals have been used for determination of humic acids. The peak in 1620 cm-1 occurs from carbonyl groups quinons and nitrates belong to amide groups. The

peak at 1600 cm-1 releases from C=C group took place in aromatic structure and hydrogen bonded C=O group. Approximately in the 1540 cm-1 bond was amide bonds from peptide groups and the peak in 1510 cm-1 was aromatic C=C group. It is thought that 1460 cm-1 peak was sourced by aliphatic C-H slope vibration. The peak group between 1290–1220 cm-1 was sourced by C-O distention and OH degradation. The peak in 1120 cm-1 is released from aliphatic CH₂, OH or C–O groups and the peak group at 995 cm-1 was released from C-O regression vibration and Si-O occurs belong to silicates "Table 1".

Table 1. UV Spectra Results "N=30" Taken From 5 Different Points of 30 Samples Average

Sample	365 nm	465 nm	665 nm	E4/E6 Ratio
Adana-Tufanbeyli	0.452	0.277	0.215	1.29
Balıkesir-Balya	0.625	0.284	0.185	1.54
Bursa-Davutlar	0.336	0.196	0.199	0.98
Konya-Beyşehir	0.233	0.146	0.143	1.02
Tekirdağ-Saray	0.372	0.232	0.194	1.20

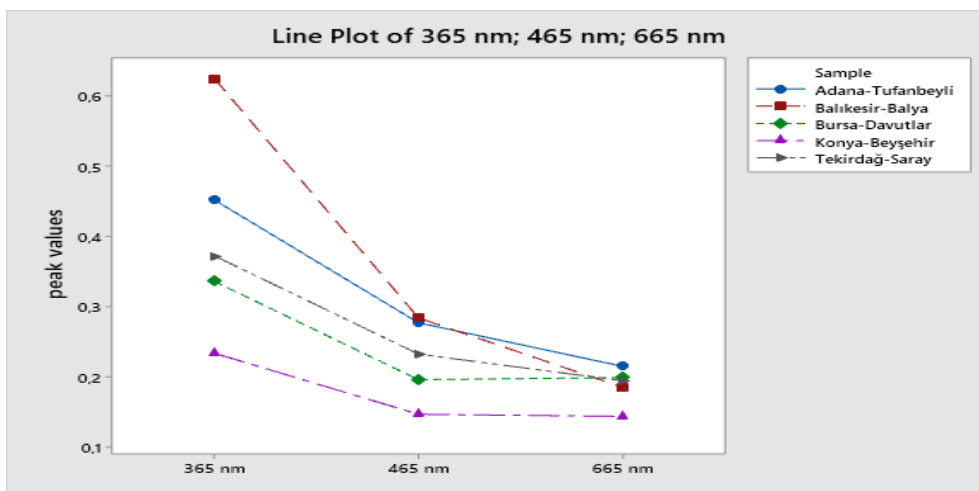


Fig. 1. FTIR Spectroscopy Measurements of Samples From 5 Different Locations

SEM was made to see the samples structure if crystal or not. The SEM analysis results from 5 different location and due to carrying of the properties of most humic including structure, Adana Tufanbeyli sample showed better quality for humic production "Figure 2". According to the SEM views the samples were determined at non crystal structure but found in polymeric or macro molecular structure.

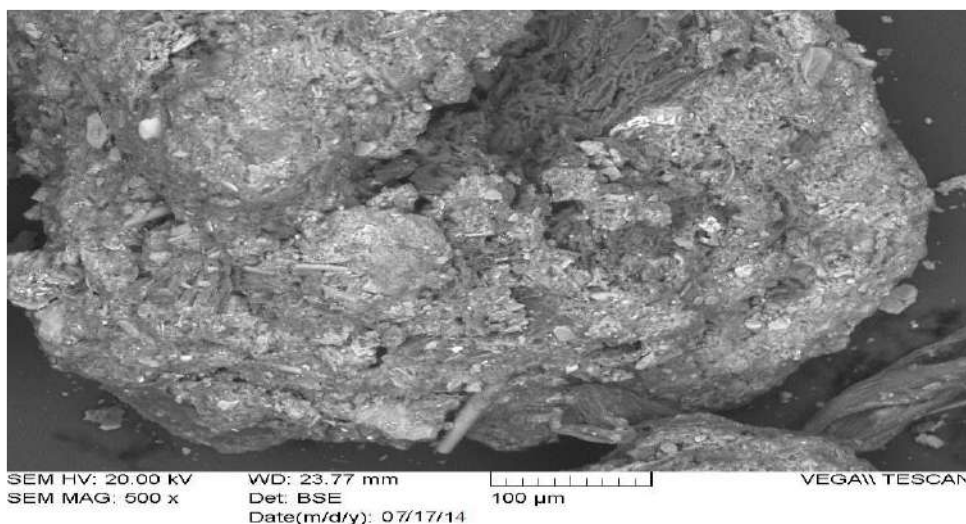


Fig. 2. SEM View of The Sample from Adana-Tufanbeyli Location (Humic Acid Ratio Of Leonardite is 59.5 %).

The measurements were made with the same pH value prepared samples. A similarity were determined in FTIR spectrums of different regions samples "Figure 3".

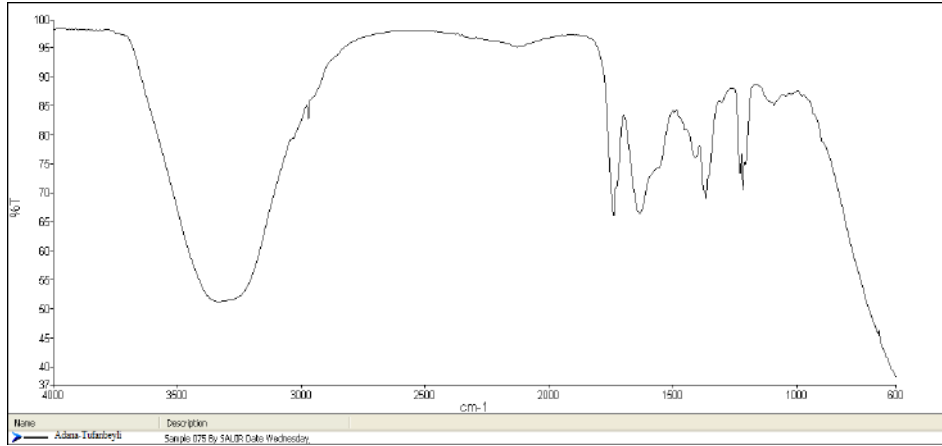


Fig. 3. FTIR Spectra from Adana-Tufanbeyli

When the obtained spectrums were compared, the aliphatic group amounts in structure showed differences. In this situation, the highest probability, in some samples the humic material composing could't be defined totally. In addition to this a significant difference occurred in the hight of 995 cm-1 peak.

There was a big possibility to a big range in addition to carbonhydrates, clay silica and minerals. In "Table 1" the humic acid FTIR and FTIR spectrum possible vibrations and belonging groups were shown "Table 2-6".

Table 2. 30 Samples Averages in FTIR Spectra Bond Vibration Groups From 5 Different Locations.

cm-1	Groups
3626	N-H
3410-3083	H-bonded O-H
2957-2849	Aliphatic C-H
1739	C=O "esther"
1720-1705	C=O "ketone ve/veya carboxylic acid"
1700	C=O "amine"
1665	C=C, C=N "aliphatic imine"
1661	C=C, aromatic C-C
1659-1537	C=C
1537-1514	N-H "amide"
1511	COO-
1506	Aromatic C=C
1455	N-H "amine ve imine"
1462-1450	Aliphatic C-H
1420-1332	O-H "alcohol ve phenol"
1330-1315	O-H "alcohol ve phenol" ve C-H "alkene"
1270-1263	O-H "alcohol" ve C-O-C "arilether"
1228	O-H "alcohol ve phenol" ve C-O-C "arilether"
1224-1199	O-H "phenol" ve C-O-C "arilether"
1161-1146	C-O "alcohol", C-O-C "ether"
1126-1124	Aromatic C-H, C-O-C "ether"
1116	C-O-C "ether", C-N "amide"
1107-1083	C-O "alcohol", C-O-C "ether"
834-795	C-H "alkine"

Table 3. Chemical Analysis Results of 30 Samples Average Taken From Different 5 Locations "N=30"

Region	Humidity %	Ash%	S%	F.M.%	H.A.%	O.M.%	C %	pH	N %	E.C dS/cm	CEC cmol/kg
Adana / Tufanbeyli	41	28	2.1	24	59.5	63.1	36.5	4.8	3.25	1210	205
Konya / Beyşehir	48	25	1.1	24	42.4	52.4	30.39	4.2	2.32	1050	184
Bursa / Keles	31	26	4.5		27.28	39.42	22.86	4.6	1.67	1037	160
Tekirdag / Saray	45	16	1.9	20	24.45	30.6	17.74	5	1.43	985	134
Balıkesir / Balya	5	55		22	22.04	36.08	21.34	4.7	1.64	968	152

Table 4. The Chemical Analysis Results of Obtained Product From Ph 8.0, 45°C Incubation, 144 H Duration, 60% Ore And 40% Microbial Solution Ratio

Properties	Values
pH	8.0±0.35
EC "mS/m"	55.80±1.75
Organic Matter "%"	22.24±0.10
Total Nitrogen	0.65±0.05
Total Phosphorus "P2O5%"	1.14±0.06
Total Potassium "K2O%"	5.74±0.23
Total Calcium "%"	0.54±0.02
Total Magnesium "%"	0.26±0.03
Total Sulphur "%"	0.75±0.02
Total Cu "ppm"	0.35±0.03
Total Fe "ppm"	2375.13±10.75
Total Mn "ppm"	5.66±0.30
Total Zn "ppm"	4.85±0.04
Total Ni "ppm"	3.34±0.82
Total Cd "ppm"	0.18±0.02
Total Cr "ppm"	0.25±0.07
Total Co "ppm"	0.14±0.03
Total Pb "ppm"	0.10±0.01
F "ppm"	0.13±0.01
Si "ppm"	5.14±0.01
Al "ppm"	2.83±0.01

Table 5. The Hormone Analysis Results of Obtained Product From Ph 8.0, 45°C Incubation, 144 H Duration, 60% Ore And 40% Microbial Solution Ratio

Hormone	"ng/ul"
Giberallic acid	13450±12.5
Salicylic acid	11523±14.7
IAA	466±2.3
ABA	1.85±0.24

Table 6. The Amino Acid Analysis Results of Obtained Product From Ph 8.0, 45°C Incubation, 144 H Duration, 60% Ore And 40% Microbial Solution Ratio

Amino acid content	Pmol/µl
Aspartate	44.54±0.82
Glutamate	3.60±0.66
Asparagine	23.65±0.9
Serine	48.74±1.2
Glutamine	5.64±0.1
Histidine	67.12±5.6
Glycine	46.78±0.9
Theonine	29.35±0.7
Arginine	45.36±1.4
Alanine	3.42±0.1
Tyrocine	38.55±1.3

As a result of settling molecules, the composed humic material powder includes nano dimensioned structures. This result also covers the recommended structure for humic material and chemical analysis were made for 5 different locations and for each location 30 samples were taken and the average of these samples were identified including humidity%, ash%, S%, Fulvic Matter%, Humic Acid% and Organic Matter%, C%, pH, N%, EC dS/cm, CEC cmol /kg "Table 3".

After all these measurements due to its humic acid structure, and the best organic matter and humic acid ratio and the other contents, Adana-Tufanbeyli Leonardite ore bed was identified for best qualified ore between the other ores (Konya-Beysehir, Bursa-Keles, Tekirdag-Saray, Balikesir-Balya).

3.2. Statistical analysis

The statistical analysis was made with the help of Minitab 19 program. Firstly, contour plot of bio-humic production ratio due to temperature and pH conditions and the maximum efficiency of bio-humic production was between at 7 to 9 pH and temperature at 40- 50 °C "Figure 4". The response optimization of temperature and Ph for bio-humic production analysis were made with the obtained results. The optimum temperature was determined as

47.17 and optimum pH at this level was 8.0 "Figure 5". The surface plot of temperature and pH for bio-humic production were made at this levels the leaching amount of bio-humic was close to 16% "Figure 6". Main effects plot was made for bio-humic production and between 40 to 50 °C temperature, the leaching ratio was reached the maximum amount as between 15 to 16% and at Ph 8, the leaching ratio reached 15% "Figure 7". The interaction plot was made also for bio-humic production and ph at 10 showed the lowest efficiency for bio-humic leaching between 7-9%. The pH at 6.5 value showed an increase when compared pH at 10. The fitted means of interaction plot for bio-humic production, 8.25 pH was provided the best efficiency for bio-humic leaching between 12-16% "Figure 8". For the optimization after the contour plot and response optimization results the range for ph were taken between 7 to 9 and temperature range was taken 45 and 50 °C, time range was selected from 1 to 7 days and leonardite ore ratio was taken from 20 to 70%.

According to response optimization results of these parameters, pH at 8.0, temperature at 45 °C, 6.5 days and 60% leonardite ore usage conditions were determined the best for bio-humic production. The optimized conditions were provided 23.08% bio-humic leaching ratio "Figure 9".

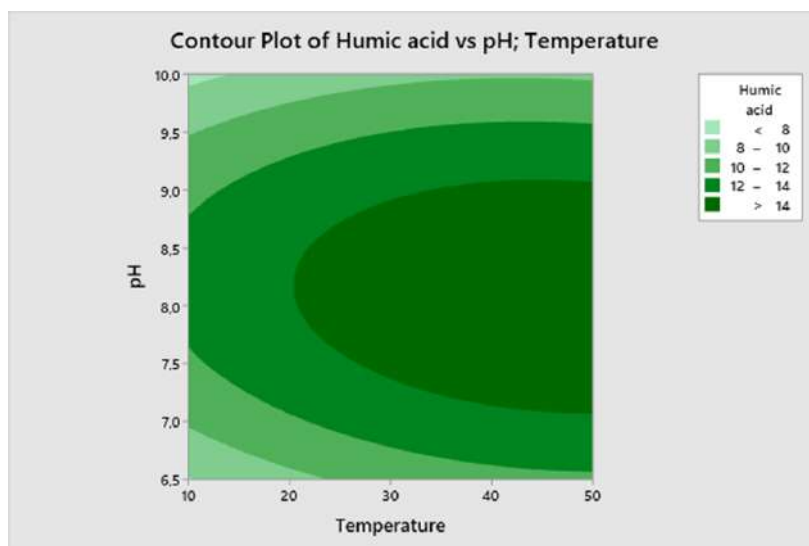


Fig. 4. Contour Plot of Bio-Humic Acid Production Ratio due to Temperature and pH Conditions

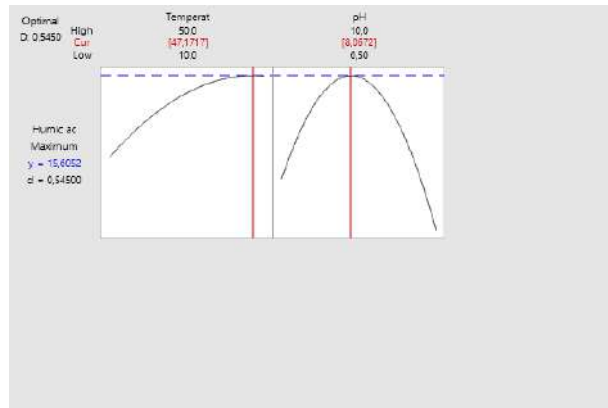


Fig. 5. Response Optimization of Temperature and pH for Bio-Humic Acid Production

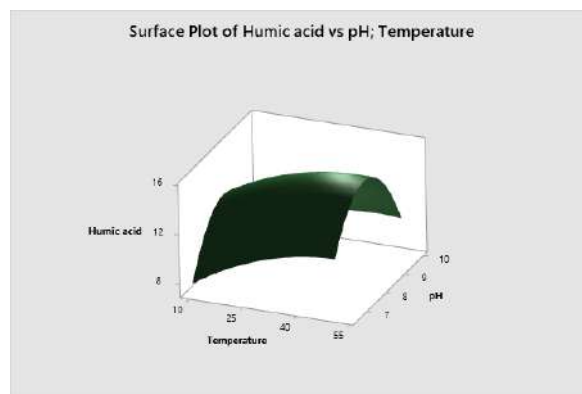


Fig. 6. Surface Plot of Temperature and pH for Bio-Humic Acid Production

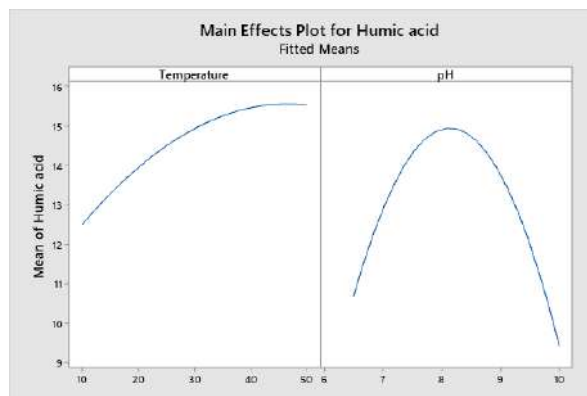


Fig. 7. Main Effects Plot of Temperature and pH for Bio-Humic Acid Production

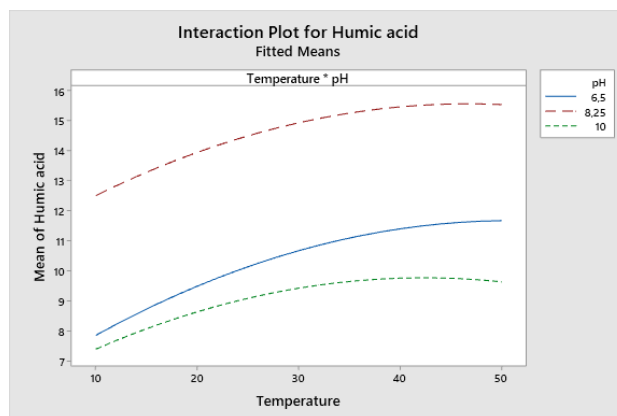


Fig. 8. Interaction Plot of pH and Temperature for Bio-Humic Acid Production

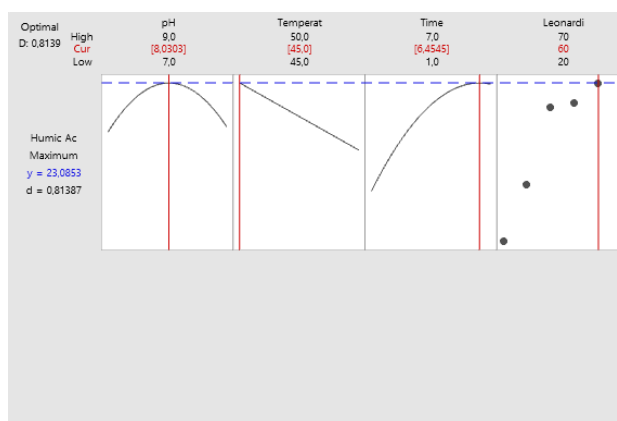


Fig. 9. Response Optimization of Time, Leonardite Ore Ratio with Eliminated Temperature and pH for Bio-Humic Acid Production

3.3. Biologic Humic Acid Production Method Optimization Results

For determined to optimization different pH, temperature and ore/microbial solution ratio on tests for biologic humic acid obtaining from leonardite sources, some specific microorganisms as *Pseudomonas putida* (ATCC® 47054D-5), *Zygosaccharomyces bailii* (ATCC® 8766) and *Rhodotorula mucilaginosa* (ATCC® 2503), *Saccoramicetes cerevisiae*(ATCC® 18824), *Bacillus subtilis* (ATCC® 21332), *Bacillus megaterium* (ATCC® 25848), *Aspergillus niger* (ATCC® 20057), and *Thiobacillus ferrooxidans* (ATCC® 8158), consortium was used to extract the leonardite ore with help of environmental condition

optimization method. Individual and group applications were made for obtained biologic humic acid compounds and the efficiency degrees were determined of humic + fulvic acids via optimization tests of California method. The most effective product from pH 8.0, 45°C incubation, 6-7 days duration, 60% ore and 40% microbial solution ratio, and some chemical "Table 4", hormone "Table 5", amino acid "Table 6", organic acid "Table 7" content was the much more high value compare the standart methods and different pH, ratio and temperature degree. As seen from the figures and tables, we have finished the extraction of humic and fulvic acids from leonardite ores in selected pH, temperature, day and ore/solution ratios "Table 4".

Table 7. The Organic Acid Analysis Results of Obtained Product From Ph 8.0, 45°C Incubation, 144 H Duration, 60% Ore And 40% Microbial Solution Ratio

Organic acid	“ng/ul“
Oxalic acid	6.75±0.2
Propionic acid	6.89±0.1
Tartaric acid	2.14±0.05
Butyric acid	2.78±0.4
Malonic acid	5.12±±0.3
Malic acid	6.33±0.03
Lactic acid	8.56±0.7
Citric acid	7.21±0.5
Maleic acid	1.66±0.2
Fumaric acid	1.85±0.1
Succinic acid	9.95±0.9

4. Conclusions and Recommendations

A new optimized method was produced in the study for biologic humic acid production via using a combination of biotechnological and environmental conditions optimization. This study provided a new source for organic farming as biological humic acid via using the several enzymatic activities of different microorganism consortium. Humic acid is a very good soil regulator and input for farming but until this time it was not possible to use in organic farming due to its chemical production process. The study provides also humic acid usage possibility for organic farming due to its fitted biotechnological process. There are many specific leaching bacterial population in all over the world. This biological humic acid production method will provide to test the maximum efficiency of other bacterium chains and consortiums. Due to its organic and rich content of biologic humic acid, not only humic acid was leached but also several beneficial hormones were absorbed from leonardite ores can increase the efficiency of preparation. In the further studies this preparation efficiency will be tested on many kinds of plants. And several preparation of biologic humic acid efficiency can be tested on many plants growing period and productivity after applying this method with different consortium of bacteria.

4. Acknowledge

This study was entirely funded by TUBITAK with SANTEZ O9032015 coded project. The study is created from Ph.D. thesis data of Nurgül Kıtır in Yeditepe University and laboratories.

References

- Fließbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L., & Mäder, P. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 273-284.
- Lima, D. L., Santos, S. M., Scherer, H. W., Schneider, R. J., Duarte, A. C., Santos, E. B., & Esteves, V. I. (2009). Effects of organic and inorganic amendments on soil organic matter properties. *Geoderma*, 150(1-2), 38-45.
- Masciandaro, G., Ceccanti, B., Ronchi, V., Benedicto, S., & Howard, L. (2002). Humic substances to reduce salt effect on plant germination and growth. *Communications in soil science and plant analysis*, 33(3-4), 365-378.
- Muscolo, A., Sidari, M., & Nardi, S. (2013). Humic substance: relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. *Journal of Geochemical Exploration*, 129, 57-63.
- Tan, K., & Nopamornbodi, V. (1979). Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea mays L.*). *Plant and soil*, 51(2), 283-287.
- Wright, D., & Lenssen, A. W. (2013). Humic and fulvic acids and their potential in crop production.



Potansiyel Bir Adsorban Olarak Perlit İçeren Polisakkarit Esaslı Küresel Hibrit Tanecikler

İlknur Küçük^{1*}, İrem Sarısakal²

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9203-0693), kucuk@yildiz.edu.tr

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2826-1053), cicekirem@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 28 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.774982)

ATIF/REFERENCE: Küçük, İ. & Sarısakal, İ. (2020). Potansiyel Bir Adsorban Olarak Perlit İçeren Polisakkarit Esaslı Küresel Hibrit Tanecikler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 216-222.

Öz

Bu çalışmada, potansiyel bir adsorban olarak kullanılabilir, sodyum aljinat esaslı, perlit içeren küresel hibrit tanecikler ani jelleşme metodu ile hazırlanmıştır. Kerajenin kappa (κ -car) ve ioda (ι -car) olmak üzere iki türü ikinci bir biyopolimer olarak kullanılmış ve hibrit taneciklerin fonksiyonel gruplarını çeşitlendirilmiştir. Pek çok uygulama için çok önemli bir faktör olan tanecik boyutu ve kararlılığına aljinatın molekül ağırlığının, jel çözelti konsantrasyonunun, kerajen ve perlit oranının etkisi incelenmiştir. Hazırlanan hibrit taneciklerin şekil, çap ve şişme dereceleri belirlenerek fiziksel, Fourier Transform Infrared (FTIR) spektroskopisi kullanılarak yapısal ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak morfolojik karakterizasyonu yapılmıştır. Yüksek molekül ağırlıklı ve %2 (w/v) lik sodyum aljinat ile hazırlanan hibrit taneciklerin küresel şekil kararlılığını koruduğu, kerajenin her iki türünün %20 (ağ.)'ye kadar yapıya girmesinin küreselliği bozmadığı, %20 (ağ.) oranına kadar katılan perlitin ise taneciklerin kuru halde küreselliklerini kaybetmelerine neden olduğu görülmüştür. Hazırlanan hibrit tanecikler ile ağır metal olarak seçilen bakırın sulu çözeltilerinden giderim etkinliği araştırılmış ve perlit içeren hibrit taneciklerin 10 ppm başlangıç konsantrasyonunda bakırı %77,1 oranında giderebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hibrit tanecikler, Polisakkarit, Perlit, Ağır metal.

Spherical Hybrid Beads Based on Polysaccharide incorporated with Pearlite as a Potential Adsorbent

Abstract

In this study, spherical hybrid beads based on polysaccharides incorporated with pearlite, which can be a potential adsorbent, were prepared by using instant gelation methods. Kappa (κ -car) and ioda (ι -car) carrageenan were used as a second biopolymer to vary the functional groups of hybrid beads. Particle size and its stability is a very important factor for many applications. The effect of the molecular weight and concentration of the alginate, the ratio of keragen and perlite, to the particle size of hybrid beads and stability were investigated. Hybrid beads have been characterized by physical properties such as appearance, diameter and swelling degree as their structures and morphology were confirmed by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscope (SEM). It was observed that hybrid beads that were prepared by using high molecular weight alginate and its 2%,(w/v) gel solution retains its spherical shape. It was observed that both types of carrageenan ratio in the hybrid beads structure up to 20% (wt) at the 2% (wt) constant jel concentration were not deformed spherical shape of beads while pearlite caused lose their spherical shape at the dry state. Heavy metal removal efficiency of hybrid gel beads was investigated for aqueous copper solution and was found to be 77.1 % for hybrid beads incorporated pearlite (10%, wt) at the 10 ppm initial concentration of the copper solution.

Keywords: Hybrid beads, Polysaccharide, Pearlite, Heavy metal.

* Sorumlu Yazar: kucuk@yildiz.edu.tr

1. Giriş

İnsan sağlığı ve ekolojik sistem için tehdit oluşturan kirlilikler en önemli çevre sorunlarının başında gelmektedir. Bu sorunun çözümüne ve kullanılan teknikleri geliştirilmesine yönelik çalışmalar hiç hız kaybetmezken sulu çözeltilerden ağır metal gideriminde kimyasal çöktürme (Balladeres ve ark., 2018), filtrasyon (Bessbousse ve ark., 2008), iyon değişimi (İbrahim ve ark., 2020), membran teknolojileri (Klaassen ve ark., 2005), adsorpsiyon (Renu ve ark., 2017) gibi çok çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Ağır metal gideriminde önemli bir yer tutan adsorpsiyon yönteminde ise kullanılan adsorban kilit rol oynamaktadır (Saleh ve ark., 2019; Wang ve Chen, 2009).

Çok farklı kaynaklardan elde edilebilen doğal polisakkaritlerin, kolay bulunmaları, biyouyumlulukları (Fouda ve ark., 2015), toksik olmamaları (Keppeler ve ark., 2009), düşük maliyetleri gibi özellikleri onların son yıllarda pek çok alanda tercih edilen malzemelerin başında gelmelerini sağlamaktadır (Dias ve ark., 2011; Yang ve ark., 2015). Hidroksil, karboksil ve amino grupları başta olmak üzere ana zincirleri üzerindeki çok çeşitli fonksiyonel gruplar, polisakkaritlerin kolaylıkla kimyasal ve biyokimyasal olarak modifiye edilebilmesine olanak tanırken (Yang ve ark., 2015); aynı zamanda bu fonksiyonel gruplar gıda, ilaç, doku mühendisliği, biyomedikal uygulamalar, plastik, su arıtımı gibi birçok alanda tanecik (Yang ve ark., 2015; Gotoh ve ark., 2004), film (Campo, 2009), kapsül (Rinaudo, 2008) gibi farklı şekillerde kullanılabilirlerdir. İçeriğindeki karboksil gruplarıyla amino gruplarının eşleşip hibrit yapı oluşturmalarıyla mikroküre ya da nano partiküller halinde tanecikler elde edilmektedir (Gotoh ve ark., 2004).

Alginatın ani jel yöntemiyle (Li ve ark., 2007; Lee and Mooney, 2012) kolaylıkla çapraz bağlanarak küresel tanecikler şeklinde elde edilebilmesi ve kerajenin de bu çapraz bağlı yapı içerisinde hapsedilebilmesi polisakkaritlere önemli avantajlar kazandırmaktadır (Yu ve ark., 2019). Alginat ve kerajen ile hibrit yapıda küresel tanecikler şeklinde elde edilebilmekle birlikte yapıya katılarak hem bu taneciklerin mekanik dayanımına hem de adsorpsiyon kabiliyetine pozitif yönde katkı sağlayabilecek inorganik bileşenlerin araştırılmasına yönelik çalışmalar da önem kazanmıştır (Zang ve ark., 2010).

Perlit ucuz, bol miktarda bulunan; hafif, kimyasal pasifliği bulunan; çevre dostu bir malzemedir (Roulia ve ark., 2003). Ayrıca perlitin gözenekli yapısı hem başına iyi bir adsorban olarak hem de kompozit yapı katılarak kullanılabilmesine olanak tanımaktadır (Roulia ve Vassiliadis, 2008).

Bu çalışmada, içeriğinde karbonil, sülfonil ve hidroksil fonksiyonel gruplarını barındıran alginat ve kerajen biyopolimerleri esas alınarak oluşturulan matris yapıya, ucuz, kolayca elde edilebilen ve bulunduğu yapının mekanik dayanımını arttırabilen perlit eklenerek hem fonksiyonel gruplarını hem de küreselliği muhafaza edilen hibrit yapıda potansiyel bir adsorbanın hazırlanması hedeflenmiştir. Küresel olarak hazırlanabilen bu hibrit taneciklerin fiziksel ve yapısal özellikleri karakterize edilmiş ve ağır metal olarak seçilen bakırı çeşitli başlangıç konsantrasyonlarındaki sulu çözeltilerinden ne oranda giderebileceği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

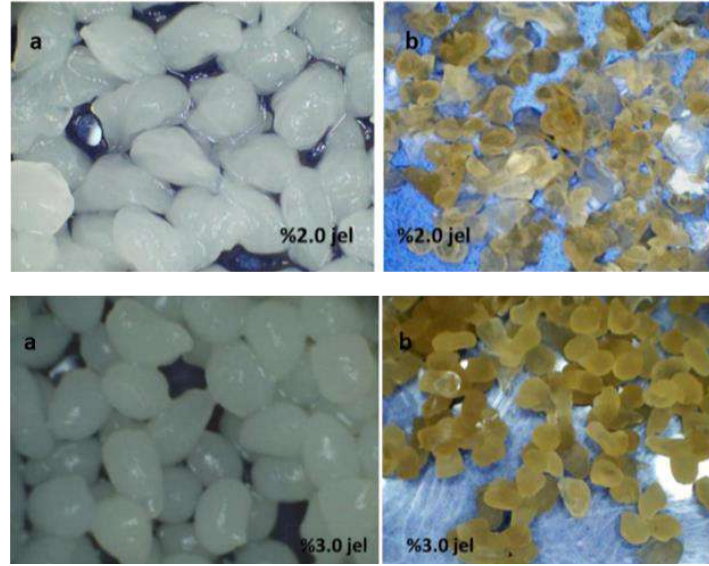
2.1. Jel Çözelti Konsantrasyonunun Belirlenmesi ve Küresel Taneciklerin Hazırlanması

Sodyum aljinat (NaAlg) (yüksek ve düşük molekül ağırlıklarında) ve kalsiyum klorür, bakır stok çözeltisi, Sigma Aldrich'ten, kerajen (ioda ve kappa) Moleculer Recipe, WillPowder'dan ve perlit, Taşper Perlit San. Tic.Ltd.Şti'den temin edilmiş ve herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan kullanılmışlardır.

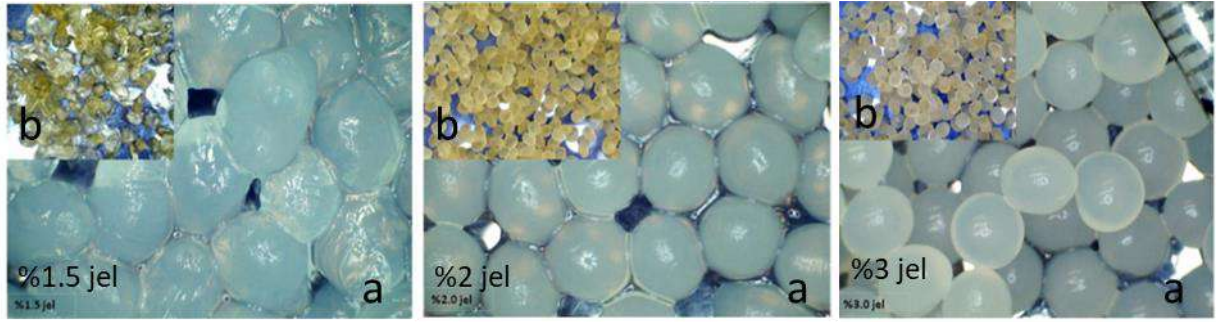
Sodyum aljinat biyopolimerinin molekül ağırlığının ve çözeltideki konsantrasyonunun kombinasyonu, elastikiyetin ve dolayısıyla nihai ürünün şeklinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir. Şekil kararlılığını koruyabilen küresel tanecik eldesinde molekül ağırlığı ve konsantrasyon etkisi belirlemek için öncelikle düşük molekül ağırlıklı (DMA) ve yüksek molekül ağırlıklı (YMA) sodyum aljinat kullanılarak toplam jel konsantrasyonu ağırlıkça %1,5, %2 ve %3 olmak üzere jel çözeltileri hazırlanmıştır. Düşük molekül ağırlıklı sodyum alginat ile %1,5 jel konsantrasyonunda tanecik elde edilemediği, %2 jel konsantrasyonunda hazırlanan taneciklerin ise ıslak ve kuru iken hem küresellikten uzak hem de şekil kararlılığını koruyamadığı görülmüştür. %3 jel konsantrasyonu ile hazırlanan taneciklerinin ıslakken daha küresele yakın, ancak kurduğunda ise yine şekil kararlılığını koruyamadığı görülmüştür (Şekil 1). Yüksek molekül ağırlıklı sodyum aljinat kullanılarak toplam jel konsantrasyonu Şekil 2'de %1,5, %2 ve %3 olmak üzere hazırlanan taneciklerin ıslak ve kuru halleri görülmektedir. %2 ve %3 jel konsantrasyonlarında hazırlanan taneciklerin, %1,5 jel konsantrasyonuna göre çok daha iyi küresellik gösterdiği, ıslak ve kuru haldeyken şekil kararlılığını koruduğu görülmüştür. %2 ve %3 jel konsantrasyonunda hazırlanan taneciklerin benzer küresellikte olmaları dolayısı ile sonraki çalışmalara YMA sodyum aljinat ve toplam jel konsantrasyonu %2 esas alınarak devam edilmiştir.

Jel çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan tipik bir yöntem şöyle verilebilir: %2 lik sodyum aljinat jel çözeltisi, beher içerisinde tartılan 2 g sodyum aljinat üzerine 100 ml distile su eklenerek 24 saat boyunca oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda karıştırılarak hazırlanmıştır. %1,5 lik kerajen çözeltileri ise; 1,5 g kerajen üzerine 100 ml distile su eklenerek, 1 saat boyunca 80 °C'de manyetik karıştırıcıda karıştırılmış daha sonra sıcaklık 35°C'ye düşürülerek 1 saat daha karıştırma işlemine devam edilmiş ve kerajenin homojenliği sağlanmıştır. Aljinat ve kerajen jel karışımları her iki jel çözeltisinin belirlenen oranları için oda sıcaklığında 1 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılması ile hazırlanırken, perlit içeren jeller ise toz perlitin belirlenen oranda jel çözeltilerine eklenerek, oda sıcaklığında 1 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılarak elde edilmiştir.

Küresel taneciklerin hazırlanmasında ani jel yöntemi kullanılmıştır. Jel çözeltisi saf su ile kalibre edilmiş ucuna 5 cm uzunluğunda 0,4 mm çapında nozul takılı peristaltik pompa (Masterflex L/S) ile 500 mL 2 M CaCl₂ içeren çözeltiye damlatılmış ve 24 saat bekletilerek çapraz bağlanmaları sağlanmıştır, daha sonra saf su ile yıkanan tanecikler ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Çalışmada kullanılan ve hazırlanan hibrit taneciklerin bileşimleri ve kodları Tablo 1'de görülmektedir.



Şekil 1. %2 ve %3 Jel Konsantrasyonlarında Hazırlanan DMA-NaAlg Tanecikleri (a:ıslak, b:kuru)



Şekil 2. %1,5, %2 ve %3 Jel Konsantrasyonlarında Hazırlanan YMA-NaAlg Tanecikleri (a:ıslak, b:kuru)

Tablo 1. Çalışmada Hazırlanan Hibrit Tanecikler

Bileşenler	Kodlama	Oran	Çözeltilinin Toplam Jel Konsantrasyonu %2 (w/v)
NaAlg/(κ-car)	AK10	90:10	
	AK20	80:20	
	AK30	70:30	
NaAlg/(ι-car)	AI10	90:10	
	AI20	80:20	
	AI30	70:30	
NaAlg/Perlit	AP10	90:10	
	AP20	80:20	
	AP30	70:30	

2.1.1. Karakterizasyon

Elde edilen tanecikler küresellik, çap ve şişme dereceleri belirlenerek fiziksel olarak karakterize edilmiştir. Islak ve kuru taneciklerin küresellikleri Veho VMS004 markalı dijital bir kamera ile görüntülenmiş; çapları ImageJ programı ile belirlenmiştir. Şişme derecesini belirlemek için tanecikler 25 °C'de sabit ağırlığa kurutularak başlangıç kuru ağırlıkları (W_i) belirlenmiştir. Daha sonra, 24 saat boyunca deiyonize suya daldırılan ve sabit tartıma ulaşan tanecikler sudan çıkarılmış, bir kağıt dokusu kullanılarak tanecik yüzeyi üzerindeki fazla su morfolojik karakterizasyon için JEOL marka JSM6335F model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

uzaklaştırılmış ve nihai ağırlıkları belirlenmiştir (W_f). Taneciklerin şişme derecesi (SD) aşağıda verilen denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$SD \% = \frac{W_f - W_i}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

Hazırlanan taneciklerin yapısal karakterizasyonları; FTIR spektrumu ($4000-400 \text{ cm}^{-1}$) bölgesinde ve 4 cm^{-1} çözünürlükte Perkin Elmer Spectrum One Bruker Marka Tensor 27 Model Platinum FTIR (ATR) spektrometresi kullanılarak yapılırken

Hibrit taneciklerin ne oranda bakır giderebildiğini belirleyebilmek için 10, 30 ve 50 ppm olmak üzere üç farklı başlangıç konsantrasyonunda bakır çözeltisi hazırlanmıştır. 100

mL lik çözelti için 0,5 g hibrit tanecik orbital çalkalayıcıda 190 devir/dakika denge konsantrasyonuna ulaşılan kadar karıştırılmıştır ve bir atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (Analytik Jena Nova 300) ile çözelti konsantrasyonları belirlenmiştir. Adsorbe edilen bakır iyonlarının miktarı aşağıda verilen denklem (2) ile hesaplanmıştır:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C) * V}{m} \quad (2)$$

Burada; Q_e : bakır tutma kapasitesi (mg Cu/g adsorban), C_0 : başlangıç konsantrasyonu (ppm), C : denge konsantrasyonu (ppm), V : çözelti hacmi (mL), m : eklenen adsorban miktarı (g) dir. Hibrit taneciklerin % bakır giderimi ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Giderim} = \frac{\text{Adsorplanan Bakır miktarı}}{\text{Başlangıç çözelti konsantrasyonu}} \times 100 \quad (3)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Sodyum alginatın molekül ağırlığının ve jel özneliti konsantrasyonunun ile tanecik özelliklerini etkilediği, molekül ağırlığının artmasının taneciklerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ve elde edilen taneciklerin kararlı bir yapı gösterdiği bilinmektedir (Caballero ve ark., 2014; Lee ve Mooney, 2012).

Kappa kerajen (κ -car), ioda kerajen (ι -car) ve Perlit içeren hibrit taneciklerin ıslak ve kuru çapları ve şişme dereceleri Tablo 2’de verilmiştir. Hibrit taneciklerin çaplarının 4,3 mm ile 7,4 mm ve kurduklarında ise 1,2 mm ile 1,7 mm arasında değiştiği görülmektedir. Hibrit yapı içerisinde hem κ -car hem de ι -car oranının artmasının hem taneciğin çapını hemde şişme derecesini artırdığı açık olarak görülmektedir. Bu durum özellikle kerajenin her iki türünde sahip olduğu fonksiyonel grupların su ile etkileşmesi ile etkileşmesinin sonucudur (Cabellero ve ark., 2014). Su ile etkileşebilen fonksiyonel gruplarının olmaması dolayısı ile yapı içerisindeki perlitin oranının artması hibrit taneciklerin çap ve şişme derecesini etkilememiştir.

Tablo 2. Hibrit Taneciklerin Çapları ve Şişme Dereceleri

Örnek	Islak çap (mm)	Kuru Çap (mm)	SD (%)
AK10	5,211	1,242	54,05
AK20	6,464	1,623	65,11
AK30	7,451	1,715	75,82
AI10	4,064	1,718	44,22
AI20	4,770	1,612	46,67
AI30	4,715	1,150	47,37
AP10	4,544	1,477	33,11
AP20	4,427	1,507	31,28
AP30	4,331	1,712	32,15

Kappa kerajen (κ -car), ioda kerajen (ι -car) ve Perlit içeren taneciklerin ıslak ve kuru görünüşleri Şekil 3’de görülmektedir.

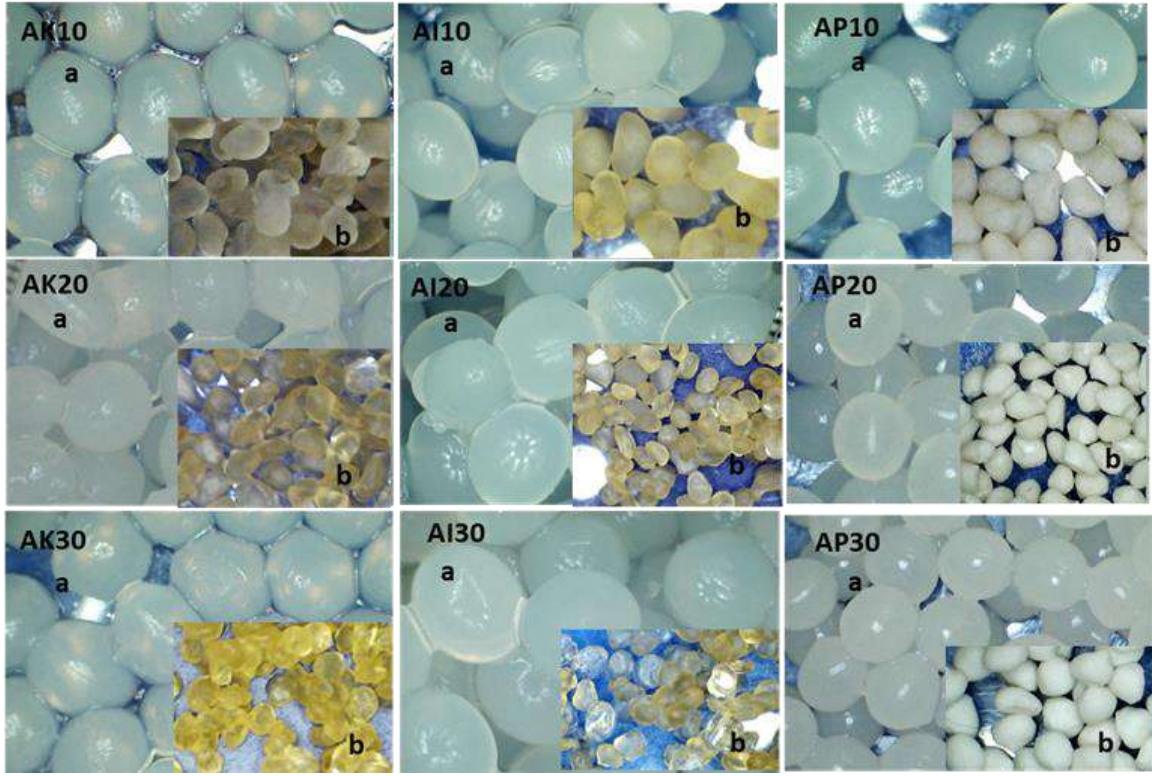
AK10, AI10 ve AP10 hibrit taneciklerinin hem ıslak hem de kuru halde küreselliklerini korudukları görülmektedir. Bununla birlikte, yapı içerisinde her iki tür kerajen ve perlit için konsantrasyonunun artması taneciklerinin kururken şekil kararlılığını korumasını zorlaştırmaktadır. Kerajen içeren tanecikler için bu durum kerajenin fonksiyonel gruplarının su tutma kapasitesini artırması ve taneciğin su ile şişmesinin küreselliğine sebep olması; suyun buharlaşması ile de kuruyan taneciğin şeklini kaybetmesine neden olması ile açıklanabilir (Caballero ve ark., 2014). ι -car içeren taneciklerinin, ıslakken κ -car içeren taneciklerine kıyasla daha az küresel olduğu; ancak kurduğunda küresel şekillerini koruyabildikleri görülmüştür. Kerajen türünün hibrit taneciklerin şekil kararlılığı üzerinde çok fazla etkisi olmadığı açıktır.

AP10, AP20 ve AP30 taneciklerinin ıslak haldeyken küresel, kurduğunda ise küresellikten uzaklaştığı görülmüştür. Perlitin kayaç yapısı sebebiyle kurduğunda küreselliğinin azalması beklenen bir sonuçtur (Sarısakal, 2017). Perlit içeren tanecikleri SEM görüntüleri (Şekil 4) de kayaç yapısını doğrulamaktadır.

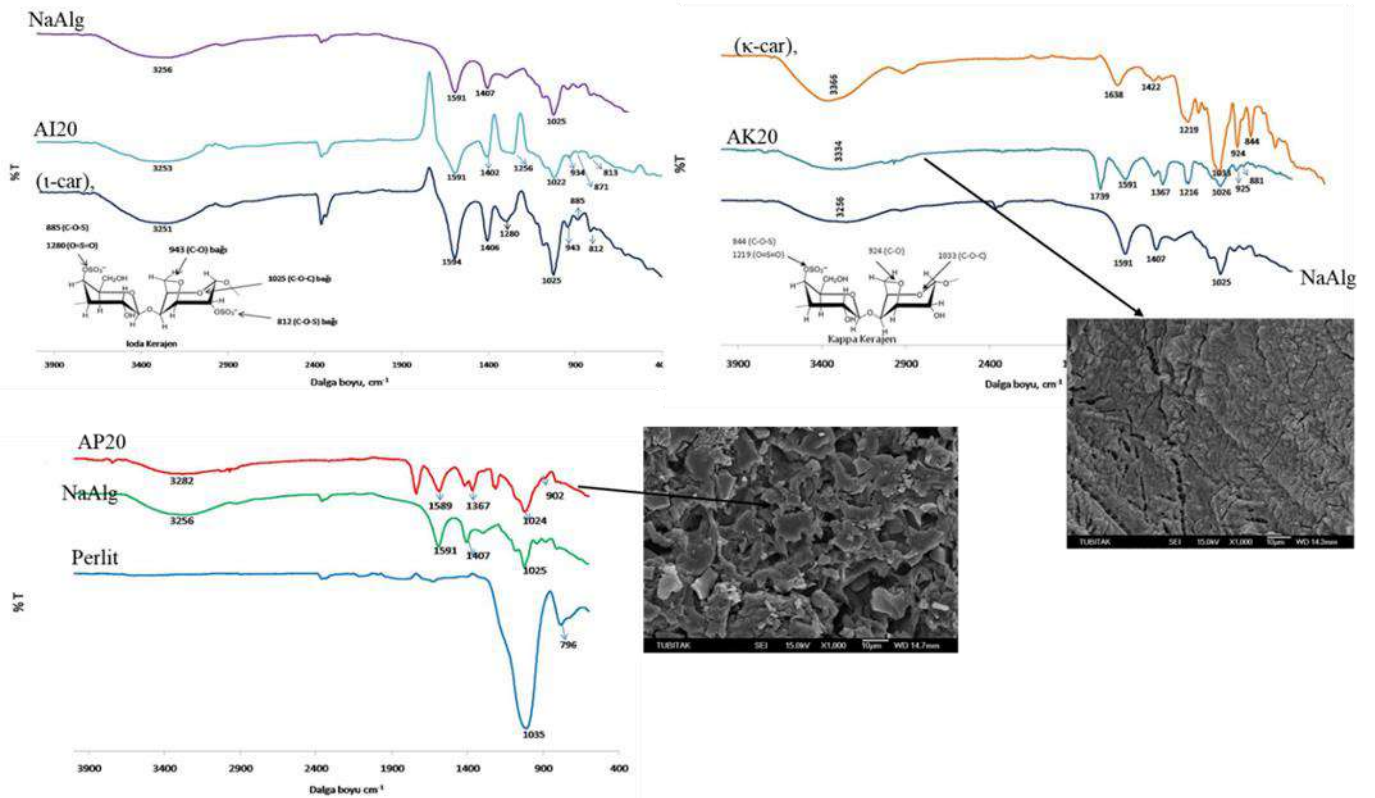
Hibrit taneciklerin FT-IR spektrumları Şekil 4’de gösterilmiştir. NaAlg spesifik pikleri absorbsiyon bandında 3256 cm^{-1} de hidroksil gruplarının piklerini, 1591 ve 1407 cm^{-1} bandlarında ise sırasıyla -COO asimetrik ve -COO simetrik bağlarının piklerini, 1025 cm^{-1} ’de ise C-O-C grubuna ait pikin yer aldığını görülmektedir. Kappa kerajenin karakteristik sülfon grubu (O=S=O) 1219 cm^{-1} ’de, C-O-C bağına ait pik 1033 cm^{-1} ’de, C-O bağına ait pik 924 cm^{-1} ’de ve C-O-S ait pik ise 844 cm^{-1} ’de görülmektedir. AK20 hibrit taneciğinde 1216 cm^{-1} da görülen O=S=O grubuna ait pik yapı içerisindeki κ -car varlığını doğrulamaktadır. Benzer şekilde ioda kerajenin 1280 cm^{-1} de bulunan karakteristik sülfon grubunun (O=S=O), 1256 cm^{-1} ’de AI20 hibrit taneciğinin yapısında yer aldığı görülmektedir. AP20 taneciklerinin FTIR spektrumunda, alginattan gelen -COO asimetrik piki 1589 cm^{-1} ’de, -COO simetrik piki 1367 cm^{-1} ’de görülürken C-O-C bağına ait pik 1024 cm^{-1} ’de, Si-O-Si simetrik piki 902 cm^{-1} ’de görülmüştür. Perlitin 1035 cm^{-1} ’deki Si-O-Si asimetrik pikinin, alginatta hemen hemen aynı hizada yer alan 1025 cm^{-1} ’deki C-O-C bağı ile çakıştığı ve üzerini kapattığı kanısına varılmıştır. AP20 hibrit taneciğine ait SEM görüntüsü yapı içerisindeki perlitin varlığını açıkça ortaya koymaktadır.

Hibrit taneciklerin potansiye adsorban olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla AK10, AI10 ve AP10 tanecikleri seçilerek; 10 ppm, 30 ppm ve 50 ppm başlangıç konsantrasyonlarındaki bakır giderme yüzdeleri incelenmiştir (Şekil 5).

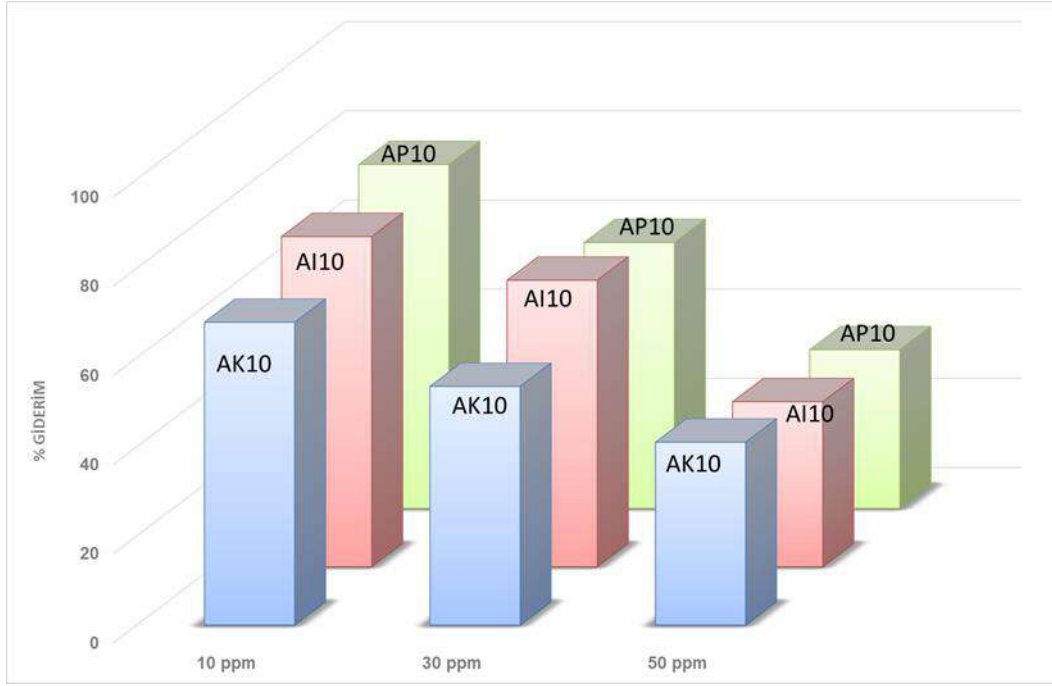
Her üç tanecik içinde en yüksek giderimin başlangıç konsantrasyonu 10 ppm de gerçekleşirken bu konsantrasyonda AP10 taneciklerinin %77,1, AI10 taneciklerinin %74,05 ve AK10 taneciklerinin %67,1 oranında bakırı giderebildiği görülmüştür. Başlangıç konsantrasyonunun artması ile tüm taneciklerin bakır giderim verimliliğinin azaldığı ve yüksek başlangıç konsantrasyonunda tanecik yapısının giderim verimliliğini etkilemediği görülmektedir.



Şekil 3. Kappa kerajen (κ -car), ioda kerajen (ι -car) ve Perlit içeren hibrit taneciklerin ıslak (a) ve kuru (b) görünümleri



Şekil 4. Kappa kerajen (κ -car), ioda kerajen (ι -car) ve Perlit İçeren Hibrit Taneciklerin FT-IR Spekturumları, AP20 ve AK20 Taneciklerinin Yüzey Morfolojisi



Şekil 5. Kappa Kerajen (κ -car), İoda Kerajen (ι -car) ve Perlit İçeren Hibrit Taneciklerin Bakır Giderme Verimi

4. Sonuç

Bu çalışmada, yüksek molekül ağırlıklı aljinat esas alınarak %2 sabit jel konsantrasyonunda yapısında %10, %20 ve %30 oranında kappa kerajen (κ -car), ioda kerajen (ι -car) ve perlit içeren küresel hibrit tanecikler hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm hibrit taneciklerin ıslakken küreselliklerini korudukları görülmüştür. Kerajenin her iki türünün %20 (ağ.)'e kadar yapıya girmesinin küreselliği bozmadığı, ioda kerajen (ι -car) içeren AI taneciklerinin, ıslakken kappa kerajen (κ -car) içeren AK taneciklerine kıyasla daha az küresel olduğu; ancak kurduğunda küresel şekillerini koruyabildikleri ve kerajen türünün hazırlanan taneciğin şekil kararlılığı üzerinde çok fazla etkisi olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde 20 (ağ.) oranına kadar hibrit tanecik yapısına katılan perlitin hibrit taneciklerin ıslakken küreselliklerini bozmadığı ancak kuru halde küreselliklerini kaybetmelerine neden olduğu görülmüştür. Perlitin kayaç yapısı ise kuru AP taneciklerinin küresel şeklini korumasını zorlaştırmıştır.

Kerajenin her iki türü içinde fonksiyonel grupların varlığı taneciklerin çap ve şişme derecesini etkilemiştir.

Hibrit taneciklerin potansiyel adsorban olarak kullanılabilirliği ağır metal olarak seçilen bakırın 10 ppm, 30 ppm ve 50 ppm lik üç farklı başlangıç konsantrasyonunda bulunan sulu çözeltilerden giderimi için araştırılmıştır. AP10 tanecikleri başlangıç konsantrasyonu 10 ppm olan bakır çözeltisinden %77,1 verimle bakırı uzaklaştırabilirken AK10 ve AI10 tanecikleri için bu verimin sırasıyla %74,05 ve %67,1 olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar çalışma kapsamında hazırlanan küresel hibrit taneciklerin potansiyel adsorban olarak kullanılabileceklerini göstermektedir.

5. Teşekkür

Bu makale İrem Sarısakal'ın Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Fen Bilimleri Enstitüsünde yayınlanan ve Yıldız Teknik

Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2014-07-01-YL07 numaralı projesi ile desteklenen Yüksek Lisans tezi'nden faydalanarak hazırlanmıştır.

Kaynakça

- Bessbousse, H., Rhallou, T., Verchere, J.F. & Lebrun, L. (2008). Removal of heavy metal ions from aqueous solutions by filtration with a novel complexing membrane containing poly(ethyleneimine) in a poly(vinyl alcohol) matrix. *Journal of Membrane Science*, 307, 249–259.
- Balladares, E., Jerez, O., Parad, F., Baltierrac, L., Hernández, C., Araneda, E. & Parra, V. (2018). Neutralization and co-precipitation of heavy metals by lime addition to effluent from acid plant in a copper smelter. *Mineral Engineering*, 122,112-129.
- Caballero F., Foradada M., Minarro M., Pérez-Lozano P., García-Montoya E., Ticó J.R. & Suné-Negre J.M. (2014). Characterization of alginate beads loaded with ibuprofen lysine salt and optimization of the preparation method. *International Journal of Pharmaceutics*, 460, 181-188.
- Campo, L.V., Kawano F.D., Da Silva B.D. & Carvalho I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – A review. *Carbohydrate Polymers*, 77, 167-180.
- Dias, A.M.G.C., Hussain, A., Marcos, A.S. & Roque, A.C.A. (2011). A biotechnological perspective on the application of iron oxide magnetic colloids modified with polysaccharides. *Biotechnology Advances*, 29, 142– 155.
- Ibrahim, Y., Abdulkarem, E., Naddeo V., Banat, F. & Hasa, S.W. (2019). Synthesis of super hydrophilic cellulose-alpha zirconium phosphate ionexchange membrane via surface coating for the removal of heavy metals from wastewater. *Science of the Total Environment*, 690,167-180.

- Fouda, M.M.G., El-Aassar, M.R., El Fawal, G.F., Hafez, E.E., Masry, S.H.D & Abdel-Megeed, A.(2015). κ-Carrageenan/poly vinyl pyrrolidone/polyethylene glycol/silvernanoparticles film for biomedical application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 74, 179–184.
- Gotoh, T., Matsushima, K. & Kikuchi, K. (2004). Preparation of alginate–chitosan hybrid gel beads and adsorption of divalent metal ions. *Chemosphere*, 55, 135–140.
- Klaassen, R., Feron, P.H.M. & Jansen, E. (2005). Membrane contactors in industrial applications, *Chemical Engineering Research and Design*, 83(A3), 234–246.
- Keppeler S., Ellis A. & Jacquier J.C. (2009). Cross-linked carrageenan beads for controlled release delivery systems. *Carbohydrate Polymers*, 78, 973-977.
- Li, L., Fang Y., Vreeker R. & Appelqvist I. (2007). Reexamining the Egg-Box Model in Calcium-Alginate Gels with X-ray Diffraction. *Biomacromolecules*, 8, 464-468.
- Lee, K.Y. ve Mooney, D.J (2012). Alginate: properties and biomedical applications. *Prog Polym Sci.* 2012, 37(1), 106–126.
- Popa, E.G., Gomes, M.E. & Reis, R.L. (2011). Cell delivery systems using alginate--carrageenan hydrogel beads and fibers for regenerative medicine applications. *Biomacromolecules*, 11, 3952-3961.
- Renu B., Agarwal, M. & Singh, K. (2017). Heavy metal removal from wastewater using various adsorbents: a review. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(4), 387–419.
- Rinaudo, M. (2008). Review: Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials. *Society of Chemical Industry: Polymer International*, 57, 397–430.
- Rouliia, M., Chassapis, K., Fotinopoulos, C.H., Savvidis, T.H. & Katakis D. (2003). Dispersion and sorption of oil spills by emulsifier-modified expanded perlite, *Spill Science & Technology Bulletin*, 8, 425–431.
- Rouliia M. ve Vassiliadis A. (2000). Sorption characterization of a cationic dye retained by clays and perlite, *Microporous and Mesoporous Materials*, 116, 732–740.
- Sarısakal, İ. (2017). Alginat esaslı hibrit taneciklerle ağır metal giderimi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 78 sayfa.
- Wadhawana, S., Jaina, A., Nayyara, J. & Mehta, S.K. (2020). Role of nanomaterials as adsorbents in heavy metal ion removal from waste water: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 1-17.
- Yu, F., Cui, T., Yang, C., Dai, X. & Ma J. (2019). κ-Carrageenan/Sodium alginate double-network hydrogel with enhanced mechanical properties, anti-swelling, and adsorption capacity. *Chemosphere*, 237, 124417.
- Wang, J. ve Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27, 195-226.
- Zang, J., Wang Q. ve Wang A. (2010). In situ generation of sodium alginate/hydroxyapatite nanocomposite beads as drug controlled release matrices. *Acta Biomaterialia*, 6, 445-454.



Antalya İli'nde Üretilen Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) Popülasyonundan Büyüme Hormonu I Geni İzolasyonu ve Karakterizasyonu

Mesut Yılmaz^{1*}, Mehmet Özbaş², Mehmet Akif Kılıç³

^{1*} Akdeniz Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8799-3452), myilmaz@akdeniz.edu.tr

² Akdeniz Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6277-1095), mozbas@akdeniz.edu.tr

³ Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4356-3343), mkilic@akdeniz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 8 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.781631)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz, M., Özbaş, M., & Kılıç, M.A. (2020). Antalya İli'nde Üretilen Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) Popülasyonundan Büyüme Hormonu I Geni İzolasyonu ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 223-232.

Öz

Bu çalışmada, Antalya İli'nde yetiştirilen gökkuşluğu alabalığı kültür popülasyonundan büyüme hormonu I geni izole ve karakterize edilmiştir. Bu amaçla kültür popülasyonundan 10 birey örnek olarak alınmıştır. Örneklenen balıkların kas dokularından toplam DNA izole edilmiştir. Polimeraz zincir reaksiyonunda kullanılmak üzere primerler dizayn edilmiş ve hedef gen bölgesi çoğaltılmıştır. İzole edilen genin dizi analizi yapılmış ve 4591 nükleotitten oluştuğu tespit edilmiştir. Referans diziyeye kıyasla 2 transisyonel, 14 transversiyonel ve 38 insersiyonel baza karşılık gelen 54 nükleotitten oluşan varyasyon bulunmuştur. Tüm nükleotit farklılıkları genin intron bölgelerinde tespit edilmiştir. Genin intron bölgelerinde yer alan putatif hormon yanıt elemanları (HRE) değerlendirildiğinde ise daha önce raporlanan dizi ile tamamen uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışmada elde edilen veriler filogenetik ve gen aktarım çalışmalarında kullanılabilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Büyüme hormonu geni, *rtghI*, HRE, Gökkuşluğu alabalığı, *Oncorhynchus mykiss*.

Isolation and Characterization of Growth Hormone I Gene from Antalya Culture Population of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792)

Abstract

In this study, the growth hormone I gene was isolated and characterized from the rainbow trout culture population reared in Antalya Province. For this purpose, 10 individuals from the culture population were sampled. Total DNA was isolated from the muscle tissue of fish. Primers used in the polymerase chain reaction were designed and the target gene region was amplified. Sequence analysis of the isolated gene was performed and it was determined that the gene consisted of 4591 nucleotides. Compared to the reference sequence, 54 nucleotide differences were found corresponding to 2 transitional, 14 transversional and 38 insertional bases. All nucleotide variations are located in the intron regions of the gene. When the putative hormone response elements (HRE) were evaluated, they were seen to be completely compatible with the previously reported sequence. The data obtained in this study can be used in phylogenetic and gene transfer studies.

Keywords: Growth hormone gene, *rtghI*, HRE, Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*.

* Sorumlu Yazar: myilmaz@akdeniz.edu.tr

1. Giriş

Genetik bilgi, genomda nükleik asit dizileri ile saklanır. Genler deoksiribonükleik asit (DNA) üzerinde genetik bilgiyi kodlayan birimlerdir ve genlerde ya bir protein kodlanmıştır ya da işlevsel RNA'nın bilgisi barındırılır (Gerstein et al., 2007; Hüttenhofer et al., 2005). Ökaryotlarda genler ekzon ve intron denilen alt birimlerden oluşmaktadır. Ekzonda eksprese edilecek proteine ait aminoasit dizisinin bilgisi 3'lü baz dizilerinden oluşan kodlar ile temsil edilmektedir (Nelson & Cox, 2017). Ekzonlar oldukça korunmuş bölgelerdir. İtron bölgesinde yer alan baz dizileri ise ekzona göre daha fazla varyasyon gösterebilirler (Filiz & Koç, 2011). Nükleik asit baz dizilerinde görülen bu varyasyonlar aynı türe ait popülasyonlar arasında ve türler arasındaki genetik farklılığın bir göstergesi olabilir ve filogenetik çalışmalarda yoğun olarak kullanılırlar (Klug et al., 2018; Kocher & Carleton, 1997). Mitokondriyal genler (Xia, 2008) ve yapısal genler (Marins et al., 2003) bu amaçla kullanılabilen genlerdendir.

Genlerden aynı zamanda gen aktarım çalışmalarında da yararlanılmaktadır. Bu çalışmalarda aynı ya da farklı türlerden alınan DNA parçaları (düzenleyici dizi ve yapısal gen gibi) bir araya getirilerek rekombinant gen kaseti oluşturulmakta ve hedef türe aktarılmaktadır. Başarılı bir gen aktarımı sonucunda aktarılan genin kodladığı protein, hedef türde istenilen karaktere sahip soyların elde edilmesini sağlamaktadır (Yılmaz, 2012). Bu yolla hızlı büyüyen, hastalıklara dirençli, üretim koşullarına toleranslı, istenilen renk ve et kalitesine sahip soylar elde edilebilmiştir.

Büyüme hormonu geni (*gh*) balıklarda hem filogenetik çalışmalarda hem de gen aktarım çalışmalarında kullanılan yapısal bir gendir (Marins et al., 2003; Yılmaz, 2012). Alabalıklarda büyüme hormonu (GH); hipofiz bezinin anterior kısmında somatotrof hücreleri tarafından üretilen ve yaklaşık 22 kDa büyüklüğünde tek zincirden oluşan bir polipeptittir (Mori et al., 2001). Bu hormon balığın büyüme, gelişim ve metabolizmasını düzenlemektedir (Rothan et al., 2014; Kaplan, 1999; Nicoll et al., 1999; Özcan-Gökçek & Işık, 2020).

Salmonidlerde büyüme hormonunun moleküler yapısı ilk olarak chum salmon (*O. keta*) büyüme hormonunun izolasyonu, karakterizasyonu ve kısmi aminoasit dizisinin analiziyle aydınlatılmıştır (Sekine et al., 1985; Wagner et al., 1985). Ardından Agellon ve Chen (1986) gökkuşuğu alabalığı GH aminoasit dizisini ortaya koymuşlardır. Bunu takiben gökkuşuğu alabalığından *ghI* geni izole edilerek tanımlanmıştır (Agellon et al., 1988; Björnsson 1997).

Glukokortikoid, tiroid ve retinoik asit gibi hormonlar, nükleer reseptörler aracılığıyla fizyolojik yanıtlar ortaya çıkarmaktadırlar. Büyüme hormonu geninin ekspresyonunun düzenlenmesinde rol alan sinyal reseptör kompleksi, DNA sekansının belirli bir bölgesine (hormone response element, HRE) bağlanmak ve seçilen genlerin ekspresyonunu düzenlemek üzere bir transkripsiyon faktörü olarak görev alır (Barlow et al., 1986; Slater et al., 1985).

Yapılan bu çalışmada, Antalya ilinde bulunan bir çiftlikte üretilen gökkuşuğu alabalığı popülasyonundan *ghI* geni izole ve karakterize edilerek literatürde rapor edilen (Yang et al., 1997) referans dizi ile benzerlik/farklılıkları araştırılmıştır. Tespit edilen varyasyonların putatif HRE bölgelerinde değişikliğe neden olup olmadığı değerlendirilmiştir. Böylece filogenetik ve

gen aktarım çalışmalarında kullanılabilecek kıymetli bir veri seti oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Balıkların Temini

Gökkuşuğu alabalığı örnekleri (10 adet) Antalya İli'nde yetiştiricilik faaliyeti sürdüren bir çiftlikten temin edilmiştir. Örneklenen bireyler ayrı PE torbalara yerleştirilip etiketlenmiştir. Buzla soğutulmuş kutuda Akdeniz Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yetiştiricilik Laboratuvarına taşınmıştır. Laboratuvarda dorsal yüzgeçlerinin hemen gerisinden laterale yakın bölgeden alınan kas doku parçaları moleküler işlemler uygulanıncaya kadar -40°C derin dondurucuda steril tüpler içinde muhafaza edilmiştir.

2.2. DNA İzolasyonu

Toplam genomik DNA izolasyonu için yaklaşık 5 mg doku örneği ve CTAB DNA izolasyon protokolü (Freeland, 2008) kullanılmıştır. Kalıp DNA miktarları ve kalitesi nanodrop spektrofotometre (Thermo) ile belirlenmiştir (Kennedy & Oswald, 2011). İzole edilen kalıp DNA kullanılabilece kadar -20 °C derin dondurucuda saklanmıştır.

2.3. Primer Dizaynı

Yang et al. (1997) tarafından bildirilen gökkuşuğu alabalığı *GHI* geni (*rtghI*) nükleotit dizisi izolasyon çalışmalarında referans dizi olarak kullanılmıştır. *rtghI* genine ait dizisinin 5' ve 3' ucunda yer alan bölgelerin Temel Bölgesel Hizalama Aracı (Basic Local Alignment Search Tool, BLAST) yardımı ile GenBank veritabanında bulunan diziler ile uyumlarına bakılmıştır. Yapılan taramada yakın akraba türlere ait dizilerin korunmuş bölgeleri primer dizaynı için kullanılmıştır.

rtghI geni DNA bölgesinin PCR yöntemi ile çoğaltılması için gerekli olan primerler hedef DNA bölgelerinin komplementer dizilerine karşılık gelen F 5' GCACTTTCAAGCTAAGTAACCATCCTTGGC 3' ve R 5' GCAGCAGACCCATGTTTGGAAAGTCTG 3' dizilerden oluşturulmuştur. PCR reaksiyonunda kullanılacak primerlerin primer uzunluğu, GC yüzdesi, bağlanma ve çözünme sıcaklıkları, 5' uç kararlılığı, 3' uç spesifikliği gibi kriterleri karşılayacak şekilde (Dieffenbach et al., 1995) dizayn edilmiştir. Primerler hizmet alımı yolu ile sentezletilmiştir (GenScript).

2.4. Polimeraz Zincir Reaksiyonu Koşulları

Hedeflenen *rtghI* DNA bölgelerinin polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ile çoğaltımı için DNA polimeraz (ExTaq, Takara Inc.) üretici firmanın önerileri doğrultusunda kullanılmıştır. Reaksiyon farklı denatürasyon, primer bağlanma ve sentez sıcaklıkları deneyerek optimize edilmiştir (Kennedy & Oswald, 2011). PCR reaksiyonu için kullanılan termal döngü koşulları başlangıç denatürasyonu 95°C'de 3 dak, denatürasyon 98°C'de 10 sn, primerlerin bağlanması 55°C'de 10 sn., DNA sentezi 72°C'de 5,5 dak ve son uzatma 72°C'de 5 dak olarak uygulanmıştır. Denatürasyon, bağlanma ve sentez basamakları 30 döngü olacak şekilde reaksiyon sürdürülmüştür.

2.5. PZR Ürünlerinin Kalitesinin Belirlenmesi, Saflaştırılması ve Dizi Analizi

Total DNA izolatlarının kalitesini belirlemek için örnekler %0,8'lik, PZR ürünleri görmek için örnekler %2'lik agaroz jelde

yürütülerek görüntülenmiştir. Her iki jelin elektroforezi için 8 volt/cm²lik bir elektrik alan kullanılmıştır (Brody & Kern, 2004). Örneklerin moleküler büyüklüklerini tespit etmek için jellerin bir kuyucuğuna 1kb Ladder (Bioron) yüklenmiştir.

Hedef diziyeye ait PZR ürünü jel ekstraksiyon yöntemi ile saflaştırılmıştır. Bu amaçla ticari bir kit (Nanohelix), üretici firmanın önerdiği protokol doğrultusunda kullanılmıştır. İzole edilen genin dizi analizi hizmet alımı yoluyla (Genscript) yaptırılmıştır. Dizi analizinde 1,3-7 kb uzunluğundaki diziler için uygun olan "primer yürütme" tekniği kullanılmıştır (Bhatia & Dahiya, 2015; Clark & Pazdernik, 2013).

2.6. Kullanılan Yazılımlar

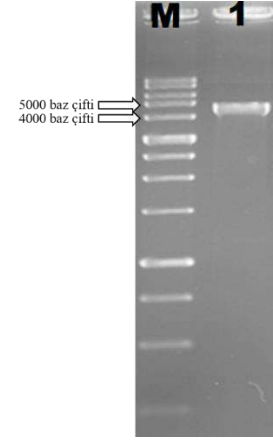
Bu çalışmalar sırasında referans dizinin baz uyumları ile dizayn edilen primer dizilerinin uygunluğunun kontrolü için BLAST, BioEdit (Hall, 1999), CLUSTAL W (Thompson et al., 1994) ve FastPCR Professional (Kalendar et al., 2009) yazılımlarından yararlanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Büyüme hormonu I genine ait özgün nükleotit dizisi türler arasında farklılık gösterebilmektedir. Gökkuşuğu balıklarında yaklaşık 4500 baz çiftine sahip olan bu gen (Şekil 1) *Labeo* türlerinde yaklaşık 2500 baz çifti büyüklüktedir (Rajesh & Majumdar, 2007).

Daha önceki çalışmalarda (Yang et al., 1997; Agellon et al., 1988) rapor edildiği gibi *rtghI* geni 6 ekzon ve 5 introndan oluşmaktadır. Bu yapı baramundi (Yowe & Epping, 1995), atlantik salmon (Johansen et al., 1989; Male et al., 1992), tilapia (Ber & Daniel, 1993) ile benzerlik gösterirken, 5 ekzon ve 4 introna sahip olan *Labeo* türlerinden (Rajesh & Majumdar, 2007) farklıdır. Genin kodladığı amino asit sayısı da türler arasında farklılıklar göstermektedir. Çalışmamızda izole edilen genin referans dizi ile yapılan kıyaslamasında, daha önce rapor edildiği gibi, 6 ekzonda 630 baz çiftinden oluşan açık okuma çerçevesinde 210 amino asit kodladığı görülmüştür. Ancak,

büyüme hormonu geni *Labeo roita* 'da 4. ekzonda görülen 9 baz çiftlik delesyonla 207 amino asit kodlamaktadır (Rajesh & Majumdar, 2007).



Şekil 1. *rtghI* geni PCR ürününün agaroz jel görüntüsü (M: Markır)

Çalışmamızda izole edilen Antalya kültür popülasyonuna ait *rtghI* geninin dizi analizi sonuçları genin 4591 baz çiftine sahip olduğunu göstermektedir. Yang et al. (1997) ise *rtghI* geninin 4552 baz çiftlik bir nükleotit dizisinden oluştuğunu bildirmişlerdir. Genin başlangıç (ATG) ve dur (TAG) kodları arasında yer alan nükleotit dizisi değerlendirildiğinde, bu iki dizinin %98,78 oranda birbiriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Tespit edilen %1,22 oranındaki uyumsuzluk genin intron bölgelerinde yer almaktadır ve 2 transisyonel, 14 transversiyonel ve 38 insersiyonel baza karşılık gelen 54 nükleotit varyasyonu içermektedir. Genin sadece ekzon bölgeleri karşılaştırıldığında, bu iki dizinin %100 uyumlu olduğu görülmüştür (Tablo 1).

Ayrıca Antalya ilinde üretilen kültür popülasyonundan izole edilen *rtghI* geninde yer alan tüm intronların başlangıç ve bitiş dinükleotidleri klasik korunmuş GT/AG uçbirleşme bölgeleri (Mount, 1982) ile uyum içerisindedir.

Tablo 1. Antalya ilinde üretilen kültür popülasyonundan izole edilen *rtghI* geni nükleotid dizisinin referans dizi (Yang et al., 1997) ile karşılaştırması

Yang et al., 1997	1 ACATACTCAACCGACCACCGCACTTTCAAGCTAAGTAACCATCCTTGGCA	50
Mevcut çalışma	1 ACATACTCAACCGACCACCGCACTTTCAAGCTAAGTAACCATCCTTGGCA	50
Yang et al., 1997	51 ATTAAGAGTAAAAATGGGACAAGgtaagcctgctttttctgtctatttat	100
Mevcut çalışma	51 ATTAAGAGTAAAAATGGGACAAGgtaagcctgctttttctgtctatttat	100
Yang et al., 1997	101 tttttcagtggaagtcagtgaccatttagtacaatttaactactgcta	150
Mevcut çalışma	101 tttttcagtggaagtcagtgaccatttagtacaatttaactactgcta	150
Yang et al., 1997	151 tgaggttataatctattgacacagaaccacctgctttaacaacctaacta	200
Mevcut çalışma	151 tgaggttataatctattgacacagaaccacctgctttaacaacctaacta	200
Yang et al., 1997	201 tgtgatccataacatttacatttgagtcatttagcagacactcttatcca	250
Mevcut çalışma	201 tgtgatccataacatttacatttgagtcatttagcagacactcttatcca	250

Yang et al., 1997	251	ga-cgacttacatgagcaattggggttacgtgccttgctcaagggcacat	299
Mevcut çalışma	251	|| |||||	300
Yang et al., 1997	300	cagatttctcacctagtcagctctggggttgaaccagtaacgaccagc	349
Mevcut çalışma	301	|| |||||	350
Yang et al., 1997	350	gctcttaaccgcta-gctattgggtgtacgatggctgagaaaatcttacc	398
Mevcut çalışma	351	|| |||||	400
Yang et al., 1997	399	aatgtatctcaccataaattcgacttactcgttttctacatttctatttg	448
Mevcut çalışma	401	|| |||||	450
Yang et al., 1997	449	aatctctcttttagTGTTTCTGCTGATGCCAGTCTTACTGGTCAGTTGTT	498
Mevcut çalışma	451	|| ||||| TGTTTCTGCTGATGCCAGTCTTACTGGTCAGTTGTT	500
Yang et al., 1997	499	TCCTGAGTCAAGGGGCAGCGATAGAAAACCAACGGCTCTTCAACATCGCG	548
Mevcut çalışma	501	|| ||||| TCCTGAGTCAAGGGGCAGCGATAGAAAACCAACGGCTCTTCAACATCGCG	550
Yang et al., 1997	549	GTCAGCCGGGTGCAACATCTCCACCTATTGGCTCAGAAAATGTTCAATGA	598
Mevcut çalışma	551	|| ||||| GTCAGCCGGGTGCAACATCTCCACCTATTGGCTCAGAAAATGTTCAATGA GRE, PRE, ARE, MRE	600
Yang et al., 1997	599	CTTTgtaagacagcttttgaatcttctttggacatatcaaatagtgtatc	648
Mevcut çalışma	601	|| ||||| CTTTgtaagacagcttttgaatcttctttggacatatcaaatagtgtatc	650
Yang et al., 1997	649	aatgattgttcttcttctttagacagtgctcctcagcacacaaccctcgt	698
Mevcut çalışma	651	|| ||||| aatgattgttcttcttctttagacagtgctcctcagcacacaaccctcgt GRE, PRE, ARE, MRE	700
Yang et al., 1997	699	ggctaaaaaaatctctctctccctttgtgattttgtgcagGACGGTACCC	748
Mevcut çalışma	701	|| ||||| ggctaaaaaaatctctctctccctttgtgattttgtgcagGACGGTACCC	750
Yang et al., 1997	749	TGTTGCCTGATGAACGCAGACAGCTGAACAAGATATTCTGCTGGACTTC	798
Mevcut çalışma	751	|| ||||| TGTTGCCTGATGAACGCAGACAGCTGAACAAGATATTCTGCTGGACTTC	800
Yang et al., 1997	799	TGTAACCTCTGACTCCATCGTGAGCCAGTCGACAAGCAGACTCAGAA	848
Mevcut çalışma	801	|| ||||| TGTAACCTCTGACTCCATCGTGAGCCAGTCGACAAGCAGACTCAGAA	850
Yang et al., 1997	849	GAGTTCAgtaagtaacctggccgaaacacttacgcatggtatgcccttta	898
Mevcut çalışma	851	|| ||||| GAGTTCAgtaagtaacctggccgaaacacttacgcatggtatgcccttta	900
Yang et al., 1997	899	gaaccatataaagtgtcaaactcgctattcaccttaaatatgaactcctcc	948
Mevcut çalışma	901	|| ||||| gaaccatataaagtgtcaaactcgctattcaccttaaatatgaactcctcc	950
Yang et al., 1997	949	atgatgcaagattccaaaaataaataata--taataataattgaaacaat	996
Mevcut çalışma	951	|| ||||| atgatgcaagattccaaaaataaataataatagggcatctcaatttgaacaat	1000
Yang et al., 1997	997	cgatagaacttacggtagtcattagttattgggcaagcagaccaccaatt	1046
Mevcut çalışma	1001	|| ||||| cgatagaacttacggtagtcattagttattgggcaagcagaccaccaatt ERE	1050
Yang et al., 1997	1047	atgtaactccaatttctaattttacatttttaatttgatttgaaccttta	1096
Mevcut çalışma	1051	|| ||||| atgtaactccaatttctaattttacatttttaatttgatttgaaccttta	1100
Yang et al., 1997	1097	tttaactaggcaagtcagttaagaacaaattctcatttataatgacaagc	1146
Mevcut çalışma	1101	|| ||||| tttaactaggcaagtcagttaagaacaaattctcatttataatgacaagc	1150

Yang et al., 1997	1994	gattgattcattttatgctacacaaagatatataacatacatgtttcaac	2043
Mevcut çalışma	2001	|||||	2050
Yang et al., 1997	2044	attttcacaaagatgaacaagttaccagaattttgcaaactcaacttg-a	2092
Mevcut çalışma	2051	|||||	2100
Yang et al., 1997	2093	cgctgatgtggcctgtataccatgagttgcaggccactgtattagggta	2142
Mevcut çalışma	2101	.|||||	2150
Yang et al., 1997	2143	aagctacacctcaaatatggtattatgagataagtcatgtattgttgta	2192
Mevcut çalışma	2151	|||||	2200
Yang et al., 1997	2193	aagacttgaatt-----acttgaaggcc	2215
Mevcut çalışma	2201	|||||	2250
Yang et al., 1997	2216	acaggactgaaaatgaatgacaacagccatgtctctgtcactaacatata	2265
Mevcut çalışma	2251	|||||	2300
Yang et al., 1997	2266	cagtcatgggtgataactacacttcaactcaaaaaggccaggcacactggg	2315
Mevcut çalışma	2301	|||||	2350
Yang et al., 1997	2316	aaattatatttgagacgtggccttagtgggggcattactaaaaaatgtcaa	2365
Mevcut çalışma	2351	|||||	2400
Yang et al., 1997	2366	gctgatacaactcaaatctggacacatcacagggtgactctataggttg	2415
Mevcut çalışma	2401	|||||	2450
Yang et al., 1997	2416	agtaatgactgactataacatcactttaagtaactgcagtcagattctgt	2465
Mevcut çalışma	2451	|||||	2500
Yang et al., 1997	2466	atattaagtgcaacaggtttcctaaaaagtggtgagtaatggcagcacat	2515
Mevcut çalışma	2501	|||||	2550
Yang et al., 1997	2516	tggggtttacagtgcacatgaaagggaaatacctttatgctttcctagtta	2565
Mevcut çalışma	2551	|||||	2600
Yang et al., 1997	2566	gaaagcatagtgtaggaccacgtatgcctcttctcagcagatctttcagg	2615
Mevcut çalışma	2601	|||||	2650
Yang et al., 1997	2616	gctttacattgtgatgtggaactgaccttatccatcatcgtgattatat	2665
Mevcut çalışma	2651	|||||	2700
Yang et al., 1997	2666	cagtgcacccccattcaatgactgaatatcgccccattcaaggacattta	2715
Mevcut çalışma	2701	|||||	2750
Yang et al., 1997	2716	tgcattgtgtcttttgctacgtgtgctttcagaaaggcccaataaacaat	2765
Mevcut çalışma	2751	|||||	2800
Yang et al., 1997	2766	attgatatgcacacatccacccaccatgcatctctctctgtctcccaca	2815
Mevcut çalışma	2801	|||||	2850
Yang et al., 1997	2816	gGGGAGCCAGGATGGCGTACTGAGCCTGGATGACAATGACTCTCAGCAGC	2865
Mevcut çalışma	2851	gGGGAGCCAGGATGGCGTACTGAGCCTGGATGACAATGACTCTCAGCAGC	2900

Yang et al., 1997	2866	TGCCCCCTACGGAACTACTACCAGAACCCTGGGGGGCGACGGAACGTC	2915
Mevcut çalışma	2901	TGCCCCCTACGGAACTACTACCAGAACCCTGGGGGGCGACGGAACGTC	2950
Yang et al., 1997	2916	AGGAGGAAC TACGAGTTGTTGGCTTGCTTCAAGAAGGACATGCACAAGgt	2965
Mevcut çalışma	2951	AGGAGGAAC TACGAGTTGTTGGCTTGCTTCAAGAAGGACATGCACAAGgt	3000
		RXR-RAR	
Yang et al., 1997	2966	cggcaaccatggtgccttcaatatcatgtgccttctctgtattttctacag	3015
Mevcut çalışma	3001	<u>g</u> cgcaaccatggtgccttcaatatcatgtgccttctctgtattttctacag	3050
Yang et al., 1997	3016	tgcggtgttttttgtgttctctattgcaaagtattgtagtaataaact	3065
Mevcut çalışma	3051	tgcggtgttttttgtgttctctattgcaaagtattgtagtaataaact	3100
Yang et al., 1997	3066	cacggacactagagaagc-ttaaccaagtttaattcttcccaaagttct	3114
Mevcut çalışma	3101	cacggacactagagaagc-ttaaccaagtttaattcttcccaaagttct	3150
Yang et al., 1997	3115	gtaccgctgtaatcagacagcaaacatttctcaatccacagtcataac	3164
Mevcut çalışma	3151	gtaccgctgtaatcagacagcaaacatttctcaatccacagtcataac	3200
Yang et al., 1997	3165	atcttacttaaaacactcctccttctcaatccttacagtttatggtcc	3214
Mevcut çalışma	3201	atcttacttaaaacactcctccttctcaatccttacagtttatggtcc	3250
Yang et al., 1997	3215	acaggaagctaataaagaggataacaggacaacaacatttattgctgcc	3264
Mevcut çalışma	3251	acaggaagctaataaagaggataacaggacaacaacatttattgctgcc	3300
Yang et al., 1997	3265	ttcagagaatctgtcctcacctcctgacctcaaccctcatctaatccac	3314
Mevcut çalışma	3301	ttcagagaatctgtcctcacctcctgacctcaaccctcatctaatccac	3350
Yang et al., 1997	3315	agatgtccattgttttttttcggagaaccattaagttctgacatgaccca	3364
Mevcut çalışma	3351	agatgtccattgttttttttcggagaaccattaagttctgacatgaccca	3400
Yang et al., 1997	3365	gtttctttcatttactatctcaatgatcaacgtttagccgattccaacag	3414
Mevcut çalışma	3401	gtttctttcatttactatctcaatgatcaacgtttagccgattccaacag	3450
Yang et al., 1997	3415	tatctttgggtctttaaactatataattattactattattgttcattgatc	3464
Mevcut çalışma	3451	tatctttgggtctttaaactatataattattactattattgttcattgatc	3500
Yang et al., 1997	3465	aagactgttctcgag-aaggtctggtgacctagaacacacacattaaat	3513
Mevcut çalışma	3501	aagactgttctcgagaaaggtctggtgacctagaacacacacattaaat	3550
Yang et al., 1997	3514	gtgtcaactataaaccattcttctttttttgaacccccgagGTCGAGACC	3563
Mevcut çalışma	3551	gtgtcaactataaaccattcttctttttttgaacccccgag GTCGAGACC	3600
		RXR-RAR, RXR-TR, RXR-RXR, TR-TR, TR-RAR	
Yang et al., 1997	3564	TACCTGACCGTCGCCAAGTGCAGGAAGTCACTGGAGGCCAAGTCACTCT	3613
Mevcut çalışma	3601	TACCTGACCGTCGCCAAGTGCAGGAAGTCACTGGAGGCCAAGTCACTCT	3650
		TR-RAR, RXR-TR	
Yang et al., 1997	3614	GTAGACGTGGGCTGGAGAGGCCAGCCAGCAAGAGCCTGTCTCCAGGGTTCG	3663
Mevcut çalışma	3651	G TAGACGTGGGCTGGAGAGGCCAGCCAGCAAGAGCCTGTCTCCAGGGTTCG	3700
		DUR	
Yang et al., 1997	3664	GTTTCCCAGATACAGATTAGGCCTTGCCCTGCACTGAGGTGCATTTTCAA	3713
Mevcut çalışma	3701	GTTTCCCAGATACAGATTAGGCCTTGCCCTGCACTGAGGTGCATTTTCAA	3750

Yang et al., 1997	3714	TTGAGATTCTCCATTAACATGCTTTTCAGTCTAGAGTAATTTTATTTTG	3763
Mevcut çalışma	3751	TTGAGATTCTCCATTAACATGCTTTTCAGTCTAGAGTAATTTTATTTTG	3800
Yang et al., 1997	3764	GATCTAGTAGAGCCTGACTCCAGGGGTTTTTCAGGCATTTGCCTTTTTTTC	3813
Mevcut çalışma	3801	GATCTAGTAGAGCCTGACTCCAGGGGTTTTTCAGGCATTTGCCTTTTTTTC	3850
Yang et al., 1997	3814	TCTGAAATCAACAACAACACTTTCTATATTGACTCTATCACTCTGAGCTA	3863
Mevcut çalışma	3851	TCTGAAATCAACAACAACACTTTCTATATTGACTCTATCACTCTGAGCTA	3900
Yang et al., 1997	3864	CCATTGATTAGTACATTTACAGAAAAGGTTATTAATGTCTTATTAGAT	3913
Mevcut çalışma	3901	CCATTGATTAGTACATTTACAGAAAAGGTTATTAATGTCTTATTAGAT	3950
Yang et al., 1997	3914	ATATGGTTCATGGCGGTGCTACTGTTTATGCATACGTTAATATTTAGGGG	3963
Mevcut çalışma	3951	ATATGGTTCATGGCGGTGCTACTGTTTATGCATACGTTAATATTTAGGGG	4000
Yang et al., 1997	3964	TGAAATGAGAACTTGTAGAGCTCCAAGCTTTTGGATAATATATTTAGAG	4013
Mevcut çalışma	4001	TGAAATGAGAACTTGTAGAGCTCCAAGCTTTTGGATAATATATTTAGAG	4050
Yang et al., 1997	4014	TAATTTCCCTTTACGTATTTTCATTCCTTAATCTTATTGTTTGAACTAAT	4063
Mevcut çalışma	4051	TAATTTCCCTTTACGTATTTTCATTCCTTAATCTTATTGTTTGAACTAAT	4100
Yang et al., 1997	4064	AGTGATTCATGTTTCAATAAAGATGTTCTTCTCTGCAGcacataatctct	4113
Mevcut çalışma	4101	AGTGATTCATGTTTCAATAAAGATGTTCTTCTCTGCAGcacatgatctct	4150
Poly A			
Yang et al., 1997	4114	tggcttctatattaatctttcaaatcaacattttttacaagttccttagc	4163
Mevcut çalışma	4151	tggcttctatattaatctttcaaatcaacattttttacaagttccttagc	4200
Yang et al., 1997	4164	cccaacattcctatggtgtctctcggacaacttagggctggattcaatcc	4213
Mevcut çalışma	4201	cccaacattcctatggtgtctctcggacaacttagggctggattcaatcc	4250
Yang et al., 1997	4214	gtatcgcagatgctccatttgaaatgtaaaggcaatggtcctgcggttcgc	4263
Mevcut çalışma	4251	gtatcgcagatgctccatttgaaatgtaaaggcaatggtcctgcggttcgc	4300
Yang et al., 1997	4264	-gagactgcattcacttcaaagcctgcatatgtcggctcaatcgaaatt	4312
Mevcut çalışma	4301	ggagactgcattcacttcaaagcctgcatatgtcggctcaatcgaaatt	4350
Yang et al., 1997	4313	acctgaaaaatggtatatacggttcttcagcgatacggattgaatccagccc	4362
Mevcut çalışma	4351	acctgaaaaatggtatatacggttcttcagcgatacggattgaatccagccc	4400
Yang et al., 1997	4363	atagttacgtacatttgattgcaaaaacatgaatgtccaccgtctggt	4412
Mevcut çalışma	4401	atagttacgtacatttgattgcaaaaacatgaatgtccaccgtctggt	4450
Yang et al., 1997	4413	gcgaatggtgaataaaactccatttcaactttgtctgccaattgtccata	4462
Mevcut çalışma	4451	gcgaatggtgaataaaactcaatttcaactttgtctgccaattgtccata	4500
Yang et al., 1997	4463	gggttggttggttatatacctcggaaattgagaaaagatatccgatggcac	4512
Mevcut çalışma	4501	gggttggttggttatatacctcggaaattgagaaaagatatccgatggcac	4550
Yang et al., 1997	4513	atattaataaacagactttccaacatgggtctgctgcag	4552
Mevcut çalışma	4551	atattaataaacagactttccaacatgggtctgctgcag	4591

Not: Ekzonlar büyük harfle, intronlar küçük harfle, kodlama bölgesi koyu harflerle belirtilmiştir. Putatif HRE'lerin altı kesikli çizgi, başlama ve dur kodlarının altları çift çizgi ve putatif Poly A sinyal dizisi altı çizili olarak verilmiştir. BŞL: Başlama kodu, DUR: Dur kodu, Poly A: Poliadenilasyon sinyali, GRE: glukokortikoid yanıt elementi, PRE: progesteron yanıt elementi, ARE: androjen yanıt elementi, MRE: mineralokortikoid hormon yanıt elementi, ERE: Östrojen yanıt elementi, RXR: retinoid X reseptörü, RAR: retinik asit reseptörü, TR: tiroid hormon reseptörü.

İzole edilen genin başlangıç kodu 1-3. bazlar, dur kodu ise 3589-3591. bazlar arasında bulunmaktadır. Ayrıca, poliadenilazson sinyali ise 4053-4058. Baz arasında yer almaktadır. Yang et al. (1997)'nin bildirdiği dizide ise başlangıç kodu 1-3. bazlar, dur kodu 3552-3554. bazlar, poliadenilazson sinyali ise 4016-4021. bazlar arasında bulunmaktadır. Özellikle kültür soylarına ait gen havuzları çok farklı kaynak popülasyonlardan gelen bireylerin karılmasından oluşmaktadır. Bunun yanında ıslah çalışmaları ile kültür soyları istenilen karakter yönünde seçilmektedir (Carvalho, 1993). Dolayısıyla kültür popülasyonlarının genetik yapısı farklılıklar gösterebilmektedir. Bu çalışmada gözlenen farklılıkların bahsedilen popülasyonlar arası varyasyondan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

GH geni üzerindeki ilgili putatif HRE'lere glukokortikoid, tiroid hormon ve retinoik asit gibi moleküllerin bağlanmasıyla genin hormonlar tarafından düzenlenmesi sağlanmaktadır (Barlow et al., 1985; Slater et al., 1985). Tablo 1'de işaretlenmiş olan putatif HRE'ler (GRE, PRE, ARE, MRE, ERE, RXR, RAR, TR) daha önce rapor edilen çalışma (Yang et al., 1997) verileri ile uyum içerisindedir. Bu durum tespit edilen 54 nükleotit varyasyonunun genin HRE'ler yoluyla düzenlenmesinde farklılık yaratmadığını düşündürmektedir.

Bu çalışmada Antalya İli'nde yetiştirilen gökkuşuğu alabalığı popülasyonundan büyüme hormonu I geni izole ve karakterize edilmiştir. Genin intron bölgelerinde referans diziyeye kıyasla varyasyonların olduğu, bu varyasyonların genin ekzon bölgesinde olmamasından dolayı kodlanan aminoasit dizisi üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca, intronların başlangıç ve bitiş dinükleotitleri klasik korunmuş uçbirleşme bölgeleri ile uyum içerisindedir. Bunun yanında yine referans diziyeye kıyaslandığında incelenen hormon yanıt elementlerinin de varyasyonlardan etkilenmediği tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Antalya ilinde üretilen gökkuşuğu alabalığı çiftlik popülasyonundan izole ve karakterize edilen rtghI geninin daha önce rapor edilen referans dizi ile olan benzerlik ve farklılıkları ortaya konmuştur. Tespit edilen varyasyonlar intron bölgelerinde yer aldığından genin kodladığı amino asit dizisinde farklılık yaratmamaktadır. Benzer şekilde intron bölgesinde yer alan değerlendirilen putatif HRE'ler de tespit edilen varyasyonlardan etkilenmemektedir. Bu çalışmada elde edilmiş olan veriler filogenetik ve gen aktarım çalışmalarında kullanılabilir niteliktedir. Ayrıca, büyüme hormonu geninin ülkemizde kültürü yapılan tüm soylardaki benzerlik ve farklılıkları araştırılarak su ürünleri genetik ıslah programlarını destekleyecek verilerin oluşturulabileceği çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmaların ışığında büyüme ve gelişme ile genetik varyasyon arasındaki ilişkiler araştırılabilir. Bu yolla verimli soylar tespit edilebilirse katma değeri daha yüksek üretim yapma olanağı doğacaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada uygulanan prosedürler Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Hayvan Bakım-Kullanım ve Hayvan Deneyleti Etik Kurulu tarafından değerlendirilmiş ve 2009.09.40 nolu karar ile etik olarak uygunluğu onaylanmıştır. Çalışma, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi

tarafından 2009.03.0121.012 no'lu proje ile desteklenen Mesut YILMAZ'a ait doktora tezinden üretilmiştir.

Kaynakça

- Agellon, L.B. & Chen, T.T. (1986). Rainbow trout growth hormone: molecular cloning of cDNA and expression in *Escherichia coli*. *DNA*, 5(6), 463-471.
- Agellon, L.B., Davies, S.L., Chen, T.T. & Powers, D.A. (1988). Structure of a fish (*Rainbow trout*) growth hormone gene and its evolutionary implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 85, 5136-5140.
- Barlow, J. W., Voz, M. L., Eliard, P. H., Mathy-Harter, M., De Nayer, P., Economidis, I. V., Martial, J. A. & Rousseau, G. G. (1986). Thyroid hormone receptors bind to defined regions of the growth hormone and placental lactogen genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 83(23), 9021-9025.
- Ber, R., & Daniel, V. (1993). Sequence analysis suggests a recent duplication of the growth hormone-encoding gene in *Tilapia nilotica*. *Gene*, 125, 143-150.
- Bhatia, S. & Dahiya, R. (2015). *Concepts and Techniques of Plant Tissue Culture Science: içinde Modern Applications of Plant Biotechnology in Pharmaceutical Sciences*, Academic Press, California.
- Björnsson, B.T. (1997). The biology of salmon growth hormone: from daylight to dominance. *Fish Physiology and Biochemistry*, 17: 9-24.
- Brody, J.R. & Kern, S.E. (2004). History and principles of conductive media for standard DNA electrophoresis. *Analytical Biochemistry*, 333(1), 1-13.
- Carvalho, G. R. (1993). Evolutionary aspects of fish distribution: genetic variability and adaptation. *Journal of Fish Biology*, 43(sa), 53-73.
- Clark, D. P. & Pazdernik, N. J. (2013). *DNA Sequencing: içinde Molecular Biology (Second Edition)*, Academic Press, California.
- Dieffenbach, C.W., Lowe, T.M.J. & Dveksler, G.S. (1995). General concepts for PCR primer design in: *PCR Primer, A Laboratory Manual*, Dieffenbach CW, Dveksler GS Ed., Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York.
- Filiz, E. & Koç, İ. (2011). Bitki Biyoteknolojisinde Moleküler Markörler. *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2), 207-214.
- Freeland, J. R. (2008). *Ekologia Molekularna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Gerstein, M.B., Bruce, C., Rozowsky, J.S., Zheng, D., Du, J., Korbel, J.O., Emanuelsson, O., Zhang, Z.D., Weissman, S. & Snyder, M. (2007). What is a gene, post-ENCODE? History and updated definition. *Genome Research*, 17 (6), 669-681.
- Hall, T.A. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41, 95-98.
- Hüttenhofer, A., Schattner, P. & Polacek, N. (2005). Non-coding RNAs: hope or hype?. *Trends Genet.*, 21 (5), 289-97.
- Johansen, B., Johnsen, O.C., & Valla, S. (1989). The complete nucleotide sequence of the growth hormone gene from Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Gene*, 77, 317-324.
- Kalendar, R., Lee, D. & Schulman, A.H. (2009). Fast PCR Software for PCR Primer and Probe Design and Repeat Search. *Genes, Genomes and Genomics*, 3(1), 1-14.

- Kaplan, S. L. (1999) Hormonal regulation of growth and metabolic effects of growth hormone. In: Kostyo JL, Goodman HM (Eds) Handbook of Physiology. The endocrine system, Vol V: Hormonal control of growth. Oxford University Press, New York.
- Kennedy, S. & Oswald, N. (2011). PCR Troubleshooting and Optimization: The Essential Guide. Caister Academic Press, Norfolk, UK.
- Klug, W.S., Cummings, M.R., Palladino, M. A. & Spencer, C. A. (2018). Genetik Kavramlar (11. Baskı). Palme Yayıncılık, Ankara.
- Kocher, T.D. & Carleton, K.L. (1997). Base Substitution in Fish Mitochondrial DNA: Patterns and Rates: içinde Molecular Systematics of Fishes, pp 13-24. Academic Press, California.
- Male, R., Nerlaand, A.H., Lorens, J.B., Telle, W., Lossius, I., & Totland, G.K. (1992). The complete nucleotide sequence of the Atlantic salmon growth hormone I gene. Biochem. Biophys. Acta, 1130, 345-348.
- Marins, L. F., Levy, J. A., Folch, J. M. & Sanchez, A. (2003). A growth hormone-based phylogenetic analysis of euteleostean fishes including a representative species of the Atheriniformes Order, *Odontesthes argentinensis*. Genetics and Molecular Biology, 26 (3), 295-300.
- Mori, T., Deguchi, F. & Ueno, K. (2001). Differential Expression of GH1 and GH2 Genes by Competitive RT-PCR in Rainbow Trout Pituitary. General and Comparative Endocrinology, 123, 137-143.
- Mount, S.M. (1982). A catalogue of splice junction sequences. Nucleic Acids Research, 10, 459-472.
- Nelson, D. L. & Cox, M. M. (2017). Lehninger Principles of Biochemistry (7th Ed.). W.H. Freeman and Company, New York.
- Nicoll, C. S., Rodgers, B. D. & Kelly, K. M. (1999) Hormonal regulation of growth and development of nonmammalian vertebrates. In: Kostyo JL, Goodman HM (Eds) Handbook of physiology. The endocrine system, Vol V, Hormonal control of growth. Oxford University Press, NY.
- Özcan-Gökçek, E., & Işık, R. (2020). Associations between genetic variants of the insulin-like growth factor I (IGF-I) gene and growth traits in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). Fish Physiology and Biochemistry, 46, 1131-1138.
- Rajesh, R. & Majumdar, K. C. (2007). A comparative account of the structure of the growth hormone encoding gene and genetic interrelationship in six species of the genus *Labeo*. Fish Physiol Biochem, 33, 311-333.
- Rothan, H. A., Ser Huy, T., & Mohamed, Z. (2014). Effect of Codon Optimisation on the Production of Recombinant Fish Growth Hormone in *Pichia pastoris*. The Scientific World Journal, 1-6.
- Sekine, S., Mizukami, T., Nishi, T., Kuwana, Y., Saito, A., Sato, M., Itoh, S. & Kawauchi, H. (1985). Cloning and expression of cDNA for salmon growth hormone in *Escherichia coli*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 82, 4306-4310.
- Slater, E. P., Rabenau, O., Karin, M., Baxter, J. D., & Beato, M. (1985). Glucocorticoid receptor binding and activation of a heterologous promoter by dexamethasone by the first intron of the human growth hormone gene. Molecular and Cellular Biology, 5(11), 2984-2992.
- Thompson, J. D., Higgins, D. G., & Gibson, T. J. (1994). CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. Nucleic Acids Research, 22(22), 4673-4680.
- Wagner, G.F., Fargher, R.C., Brown, J.C. & Mckeown, B.A. (1985). Further characterization of growth hormone from chum salmon (*Oncorhynchus keta*). General and Comparative Endocrinology, 60, 27-34.
- Xia, J., Xia, K. & Jiang, S. (2008). Complete mitochondrial DNA sequence of the yellowfin seabream *Acanthopagrus latus* and a genomic comparison among closely related sparid species. Mitochondrial DNA, 19(4), 385-393.
- Yang, B., Chan, K., Lin C. & Chen, T.T. (1997). Characterization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth hormone 1 gene and the promoter region of growth hormone 2 gene. Archives of Biochemistry Biophysic, 340, 359-368.
- Yılmaz, M. 2012. Dağ Alası (*Salmo trutta macrostigma* Dumeril, 1858) için β -aktin Promotör-rtg η İfade Vektörünün Hazırlanması. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Yowe, D.L., & Epping, R.J. (1995). Cloning of the barramundi growth hormone-encoding gene: a comparative analysis of higher and lower vertebrate GH genes. Gene, 162, 255-259.



The Relationship between the Flow Properties of Clay Slurry Samples and the Properties of Ceramic Green/Sintered Products

Sedef Dikmen^{1*}, Tuğba Mucur², Zeyni Arsoy³, Bahri Ersoy⁴

^{1*} Eskişehir Technical University, Faculty of Science, Department of Physics, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6164-4710), sdikmen@eskisehir.edu.tr

² Ankara Ceramic A.Ş., R&D Center, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0000-0000-0000), tubamucur@gmail.com

³ Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Mining, Afyonkarahisar, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5694-6338), zeyniarsoy@aku.edu.tr

⁴ Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Mining, Afyonkarahisar, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0075-9039), bersoy@aku.edu.tr

(First received 15 June 2020 and in final form 14 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.752832)

ATIF/REFERENCE: Dikmen, S., Mucur, T., Arsoy, Z. & Ersoy, B. (2020). The Relationship between the Flow Properties of Clay Slurry Samples and the Properties of Ceramic Green/Sintered Products. *European Journal of Science and Technology*, (20), 233-247.

Abstract

This study investigated the effects of various dispersants (Dolapix PC-67, Dolapix SPC 7, Darvan CN, Darvan A821 and Na₂SiO₃) on the flow properties of slurry prepared using ESC-3 clay to find the optimum dispersant type and dispersant dosage to produce the required properties in green and sintered products produced by slip casting. By considering the flow curves of slurry, it was determined that the most suitable dispersant was Dolapix PC-67 and the dosage was ~0.1%. Afterwards, the slurry was prepared in bar-shaped samples keeping the same experimental conditions and using Dolapix PC-67 dosages of 0, 0.03, 0.1 and 1.0 wt. %. The resulting green body samples were dried and sintered at 1200°C. Some physico-mechanical tests were applied to both the green and sintered samples, as well as investigating their microstructure, crystallinity and secondary phase formations using SEM and XRD. Some of the results obtained were as follows: (i) adding dispersant to the slurry had a positive effect on the physical and mechanical properties of the green and sintered products obtained by slip casting. (ii) Determination of the optimum dispersant dosage used in the ceramic slurry by slip casting is an important factor. When the properties of the green/final products and their flow curves measured by Ford cup were considered, it can be said that the dispersant dosage at which the shortest flow duration was obtained did not always correspond to the best results for the physico-mechanical properties of green/final products. (iii) The relationship between the green and sintered samples prepared from slip casting using different dispersant dosages, and the flow curves of these slips, could not be observed from their SEM images.

Keywords: Slip casting, Clay slurry, Dispersant, Flow time, Green/sintered product, Physico-mechanical properties.

Kil Çamuru Örneklerinin Akış Özellikleri ile Seramik Ham/Pişmiş Ürünlerin Özellikleri Arasındaki İlişki

Öz

Bu çalışmada, slip döküm ile üretilen ham ve sinterlenmiş ürünlerde istenilen özellikleri sağlamak için ESC-3 kili kullanılarak hazırlanan çamura çeşitli dispersantların (Dolapix PC-67, Dolapix SPC 7, Darvan CN, Darvan A821 ve Na₂SiO₃), akış özelliklerine etkileri araştırıldı. Çamurun akış eğrileri dikkate alınarak, en uygun dispersantın Dolapix PC-67 olduğu ve dozunun da ~% 0.1 olduğu belirlendi. Daha sonra çamur, aynı deney şartlarında ve sırasıyla ağırlıkça % 0, 0.03, 0.1 ve 1.0 Dolapix PC-67 dozajları kullanılarak çubuk şeklindeki numuneler hazırlandı. Elde edilen ham numuneler kurutulduktan sonra 1200°C'de sinterlendi. Ham ve sinterlenmiş numunelere bazı fiziksel ve mekanik testler uygulanmış, ayrıca SEM ve XRD kullanılarak mikro yapıları, kristallikleri ve ikincil faz oluşumları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan bazıları şöyledir: (i) Çamura dispersant ilave edilmesi, slip döküm ile elde edilen ham

* Corresponding Author: sdikmen@eskisehir.edu.tr

ve sinterlenmiş ürünlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmuştur. (ii)Slip döküm yöntemiyle kil çamuru hazırlanırken kullanılacak dispersant miktarının optimum değerinin belirlenmesi önemli bir husustur. Ancak ford cup ile elde edilen akışkanlık eğrileri ve sonrasında elde edilen ham/sinterlenmiş ürün özelliklerine göre şu söylenebilir: Seramik döküm çamurlarında akış süresinin en düşük (yani akışkanlığın en yüksek) olduğu dispersant dozajında, ham ve sinterlenmiş ürünlerin fiziksel/mechanik özelliklerinin de daima en iyi olacağı anlamına gelmemektedir. (iii) Farklı dispersant dozajlarında hazırlanan çamurdan elde edilen ham ve pişmiş ürünlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile çamurun akışkanlık eğrisi arasındaki ilişkiyi SEM görüntüleriyle ortaya koymak pek mümkün değildir.

Anahtar Kelimeler: Slip döküm, Kil çamuru, Dispersant, Akış süresi, Ham/sinterlenmiş ürün, Fiziko-mekanik özellikler.

1. Introduction

Slip casting is a forming method used to produce both conventional and technical ceramic products. Compared to some forming methods, such as dry pressing and extrusion, slip casting has important advantages that enable it to produce complex-shaped products; it is simple and economical and also achieves a more homogeneous green body [1–7]. One of the most important conditions to produce a fired product with the desired properties by using the slip casting method is to obtain a green body with high green density. This depends on the preparation of a stable and homogeneous suspension or slurry with appropriate rheological properties. Thus, ceramic powders in suspension will be closely packed on a plaster mould surface to obtain homogeneous green bodies with a high green density [8]. Easy and smooth forming depends on the preparation of flowing suspensions with higher packing density, suitable stability and fluidity. This can only be achieved by using various chemical additives called dispersants [1, 9–11]. Dispersants are used to determine the rheological properties by increasing the packing density of the slurry that significantly reduces the amount of water required for fluidity and prevents the tendency of particles to agglomerate. Therefore, a closely packed structure with high green density achieved the formation of a stable microstructure without cracking and fragmentation during the firing process [1, 2, 12, 13]. Moreover, it is very important to determine the slip casting conditions, i.e., the flow behavior that governs the microstructure, by adjusting the type and amount of electrolyte additives used for the suspension and also for forming advanced technology ceramics using this method. The parameters affecting the fluidity of solid suspensions (slurries) can be categorized into three basic groups [10, 14]:

(i) Parameters based on solid properties (solid ratio, particle size distribution, surface area, particle shape, *etc.*)

(ii) Parameters based on medium (fluid type, temperature and viscosity, *etc.*)

(iii) The interaction between particles (electrostatic, steric repulsion and Van der Waals repulsion forces) is related to the type and amount of dispersant used to prepare suspensions or slurries.

Numerous studies have been carried out to examine the effect of various inorganic and organic dispersants on the viscosity of ceramic casting slurries [14–22]. However, in published literature, there are a limited number of studies investigating the effect of the dispersion conditions of ceramic slurries on its slip casting behavior and on the resulting properties of green/fired products. Few studies have been conducted examining the slip casting behavior of clay slurry and the properties of green/fired products [21, 23]. The number of studies concentrating on some advanced ceramic powders like alumina [3], cordierite [14], mullite powders [23], mullite–zirconia [24], cordierite–mullite [25], and cordierite-based glass-ceramic [4, 27] is much higher.

Eygi and Ateşok (2008) [21] used three different types of commercial kaolin, namely ESK-410 (Ukraine), CC-31 (England) and K-2 (Bulgaria). In that study, it was determined that polyelectrolytes were more effective than sodium silicate in decreasing viscosity and thixotropy, and in increasing the strength of the green body for all three kaolin slurries. It was stated that the most suitable dispersant and the optimum amount was different for each type of kaolin slurry. Optimum dispersant amounts used for 100 g of kaolin were determined to be 0.65 mL of Dolapix SPC 7 for ESK-410, 0.45 mL of Aquatreat AR-602-N (sodium polyacrylic acid-based) for CC-31 and 0.70 mL of Dolapix SPC 7 for K-2, respectively. Moreover, another important result obtained from that study was that the strength of the green body decreased with increasing casting rate. The reason for this was that the packing was neither homogeneous nor close due to the faster casting rate. Accordingly, water rapidly left the structure during drying, forming larger porosities. Tsetsekou et al. (2001) [3] investigated the slip casting behavior of alumina slurry with 80 wt. % solid ratio in the presence of different dispersants (Darvan C, Duramax D 3005 and Dolapix CE64). It was stated that polycarboxylic Dolapix CE64 was the most suitable dispersant to prepare a slurry with high stability, and the lowest casting rate and highest packing density was achieved with this dispersant resulting in the highest green and fired density. Mei et al. (2001) [26] investigated the slip casting behaviors of slurry prepared using cordierite and glass powder with 60 wt. % solid ratio in the presence of Dolapix CE64 with different dosages and determined that dispersant dosage had a very important effect on slurry rheology. They stated that the slurry showed Bingham flow at low dosage, while its behavior changed to Newtonian flow with increasing dosage. They determined that when more dispersants were added to the medium than was optimum (the case at the lowest viscosity), the slurry showed time-dependent, shear thickening flow. Moreover, they pointed out that dispersant dosages lower or higher than the optimum value negatively affected the packing and thus the microstructure of the green product. It also increased the porosity. Şakar-Deliormanlı and Yayla (2004) [20] investigated the effect of sodium carbonate (NaCO_3) and calcium hydroxide [Ca(OH)_2] on the slip casting behavior of sanitary ware slurry (24% feldspar, 24% quartz, 35% kaolin and 25% ball clay). As a result of the examinations, they determined that the increase in the amount of dispersant did not cause a significant change in thixotropy, and that the thixotropy value varied between 30 and 33. Based on these results, there was no significant relationship between viscosity and thixotropy. As a result of the slip casting process, they stated that the samples with Ca(OH)_2 increased green and fired product strength more than the NaCO_3 samples. They also found that the bodies obtained by adding Ca(OH)_2 had lower water absorption than those obtained by adding NaCO_3 .

The present study investigated the effect of various silicate based on sodium silicate (Na_2SiO_3) and polymer-based dispersants (Dolapix PC-67, Dolapix SPC 7, Darvan CN and Darvan 821A) on the flow behavior of 60 wt. % solid slurry

prepared with ESC-3 clay to determine the optimum dispersant and dispersant dosage. Slurries were prepared at four different dispersant dosages and their slip casting behaviors and green/fired product properties were characterized.

2. Material and Method

2.1. Raw Material and Characterization

Commercial clay, called ESC-3, was purchased from the Eczacıbaşı Esan Company. The major and minor elements in the raw material were analyzed using a Bruker S8 TIGER X-ray fluorescence (XRF) spectrophotometer. The particle size distribution of ESC-3 clay was measured using a Malvern Mastersizer 2000G laser diffractometer. The specific surface area (S_{BET}) was calculated based on N_2 adsorption-desorption curves at 77 K (Quantachrome, NOVA 1000e instrument). X-ray diffraction (XRD) was performed to determine the mineral composition of the ESC-3 clay. A Shimadzu XRD-6000 diffractometer was used, working at 40 kV/25 mA. Thermal analysis that included thermogravimetric (TG) and differential thermal analysis (DTA) was performed using Setaram Setsys Evolution equipment at a heating rate of 5°C/min in a nitrogen atmosphere. Samples weighing 2 to 5 mg were placed in an aluminum crucible and scanned from 25°C to 900°C. The initial and final degradation temperatures, as well as the corresponding weight loss, were recorded. To observe microstructural changes, Scanning Electron Microscopy (SEM) images were taken (Leo 1430 SEM).

2.2. Dispersants

Five commercially available polymeric and inorganic dispersants were used for slurry stabilization, known by the commercial names Dolapix SPC 7, Dolapix PC-67 (Zschimmer&Schwarz, GmbH), Darvan 821A, Darvan CN (Vanderbilt Company, Inc) and sodium silicate (Na_2SiO_3 , Fluka), respectively. The properties of the commercial dispersants used in the experimental studies are shown in Table 1.

2.3. Experimental Program

The procedures followed to determine the suitable dispersant type and optimum dispersant ratio for ESC-3 clay slurries are as a flow chart in Fig. 1. More detailed explanations about the experimental studies were given belong to Mucur (2010) [28] in the master thesis.

2.3.1. Preparation of Slip Casting Slurry and Flow Tests

Because the final test samples exhibited an ~10% shrinkage after casting the clay-containing suspension, the dimensions of bar samples formed by the mould were designed to be 10% larger ($13.2 \times 3.2 \times 1.25 \text{ cm}^3$). The casting slurry used to determine the flow behavior was obtained by mixing ESC-3 clay and tap water to give a 60 wt. % solid ratio using a mechanical mixer (WiseStir, MS 1000, at 800 rpm) for 20 minutes. After that, the sieve residue and the amount of solid ESC-3 slurry were calculated to be 9.61% and 59.76% using a 63 μ sieve. The weight of the liter was determined to be 159.3 g/L. The dispersant was added to the sieved part of the slurry in controlled amounts. The mixtures were prepared by mixing at 800 rpm for 15 minutes in a beaker at a medium temperature measured to be 27 \pm 1°C. Flow times for the slurry were measured in the presence of different dispersants. By using a stopwatch, the first flow time was recorded in seconds, and after this, the mouth of the Ford cup was closed with a tap. The slurry was poured into the Ford cup again, and after keeping it for 30 minutes, the second flow time was recorded in seconds (see Fig. 2).

To determine the optimum slip casting conditions (optimum dispersant type and dispersant dosage), flow curves were created for the different dispersant dosages. The thixotropy (%) value was calculated using Eq. 1 [27]. As a result of the calculations, curves showing the thixotropy–dosage relationships were drawn.

$$\text{Thixotropy (\%)} = \frac{\text{Flow time 2 (s)} - \text{Flow time 1 (s)}}{\text{Flow time 2 (s)}} \times 100 \quad (1)$$

Table 1. Properties of Commercial Dispersants

Properties	Dolapix SPC 7	Dolapix PC-67	Darvan 821A	Darvan CN	Na_2SiO_3
Molecular weight (g/mol)	7000	7000	3500	15000	122.063
Chemical basis	Silicate-polycarbonate	Polycarboxylic acid	Ammonium polyacrylate	Ammonium polymethacrylate	
Physical state	Yellowish liquid	Yellowish-brown liquid	Pale yellow liquid	Liquid	Colorless
Active matter	approx. 45%	approx. 43%	40%	25%	-
Solubility	Water-miscible	Water-miscible	Highly soluble	-	-
Specific gravity at 20°C (g/cm³)	approx. 1.45	approx. 1.30	1.08 to 1.14	1.041	1.37
pH (at 25°C)	approx. 13.0	approx. 8.0*	7.0 to 8.0*	7.5 to 9.0 [†]	12.31*

*1% solution †5% solution *25% solution

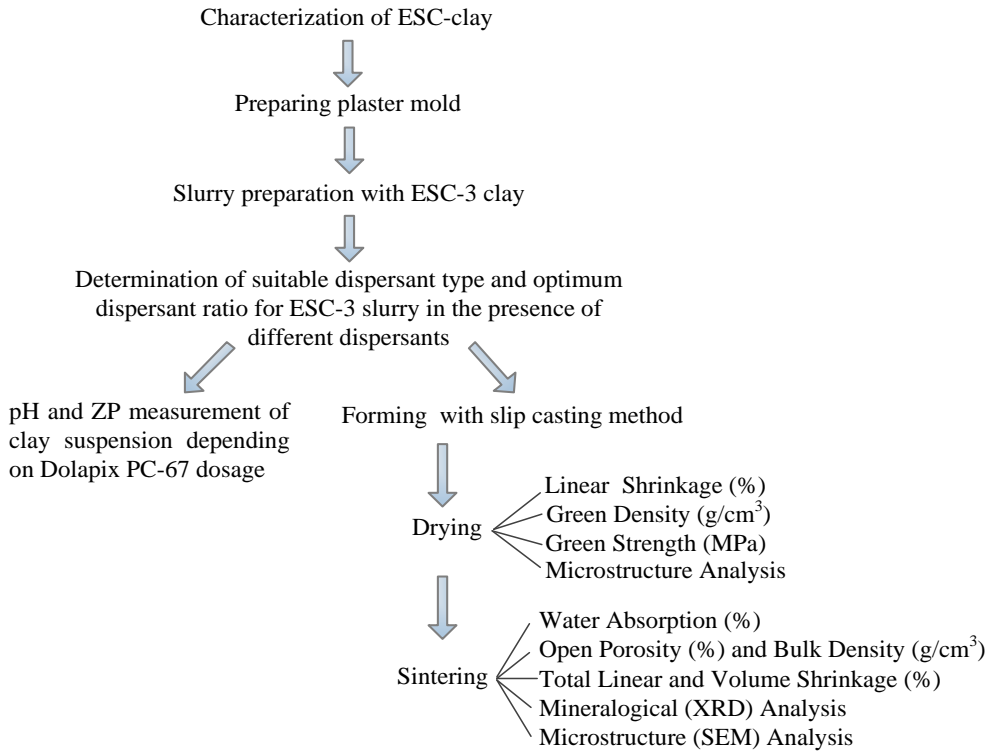


Figure 1. Schematic Diagram of the Experimental Program

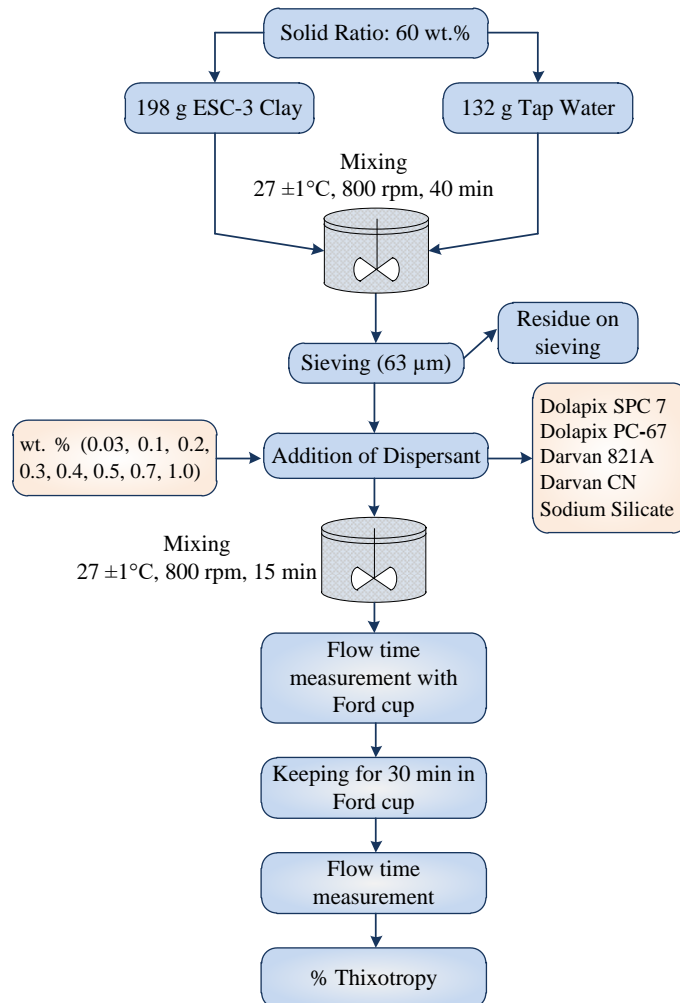


Figure 2. Process Steps for Determining the Ford Cup Flow Time in the Presence of Dispersants

2.3.2. Forming ESC-3 Slurry using the Slip Casting Method

The dispersant (Dolapix PC-67) was selected using the curves obtained from flow time and thixotropy measurements, and the slurry was prepared according to the process steps with different dosages: 0%, 0.03%, 0.1% and 1 wt. % of the selected dispersant – shown in Fig. 3 and then shaped in plaster moulds. After the forming process, 10 pieces of products were obtained using each dosage of the dispersant. The photos in Fig. 4 shows flow test of the slurry with a Ford Cup, slip casting of the slurry and measuring the dimensions of the bar shaped sample after casting, respectively.

2.3.3. Zeta Potential Measurements based on the Dispersant Concentration in the Clay Suspension

Ten grams per liter of Dolapix PC-67 stock solution was prepared before performing pH and zeta potential (ZP) measurements that depend on the dispersant concentration in the clay suspensions. Tap water was used to simulate the working conditions in the ceramic industry. ZP measurements related to dispersant concentration in the clay suspensions were recorded by a Zetameter (Zeta Sizer Nano ZS Model, Malvern, UK). To prepare the desired dispersant concentrations, a sufficient amount of the solution was taken from the stock solution and added to 1 g of ESC-3 clay to give a total volume of 100 mL. The prepared suspensions were then mixed in a magnetic stirrer for 15 minutes at room temperature (RT). A 0.75 mL sample was then taken from the suspension of a known pH and injected into the zeta measurement cell. All measurements were performed at $27 \pm 1^\circ\text{C}$. The tap water used had a pH of 7.5 to 7.9 and a conductivity of $1117 \mu\text{mhos/cm}$. Mobility of the particles was converted into ZP using the Smoluchowski equation given below [17, 38]:

$$U = \frac{\zeta \epsilon_r \epsilon_0}{\eta} \quad (2)$$

where U is the electrophoretic mobility, ϵ_r is the permittivity of the medium, ϵ_0 is the permeability of a vacuum ($8.854 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{Jm}$), η is the viscosity of the medium (Poise) and ζ is the ZP.

2.4. Drying and Sintering Process

The green products taken from the plaster mould were dried for three days at RT ($23 \pm 1^\circ\text{C}$). The dried products were sintered in a Protherm PLF 150-5 model high-temperature oven up to 1200°C for 1 hour at a heating rate of $10^\circ\text{C}/\text{min}$. The final products were obtained by cooling at the same rate.

2.4.1. Green Sample Testing

After the forming process, various tests were carried out to determine the linear drying shrinkage (%), green density and green strength (three-point bending test) of the dried green products. Average values were calculated by using five samples for each dosage. The diagonal lengths of bar samples were measured at RT before (L_0) and after drying (L_1). The linear drying shrinkage (%) was calculated with the equation given below:

$$\text{Linear Drying Shrinkage (\%)} = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

The masses (m) and volumes (V) of bar samples removed from the plaster mould were measured and their densities (g/cm^3) were calculated. Three-point bending tests of bar-shaped samples were performed with a Thermodynamic brand TC20-200 model.

In addition to these physical tests, a small amount of dried samples was powdered, dried at 60°C and then coated with carbon. SEM images were obtained to observe microstructural changes.

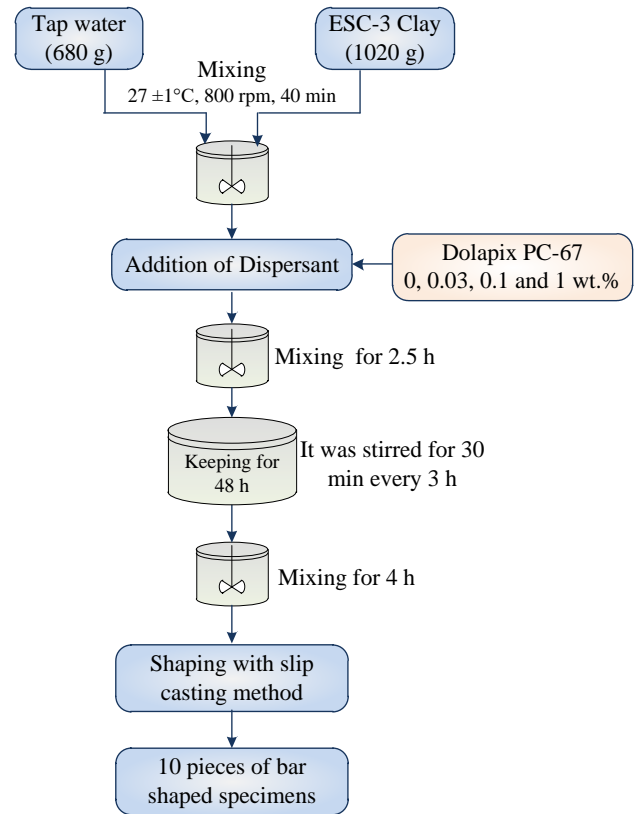


Figure 3. Process Steps for Forming ESC-3 Slurry Based on Dolapix PC 67 Dosage

2.4.2. Sintered Sample Testing

The physical, mineralogical and microstructural properties of fired samples with added Dolapix PC-67 at 0%, 0.03%, 0.1% and 1 wt. % amounts were determined. First, the total linear shrinkage (%), total shrinkage volume (%), open porosity (vol. %), water absorption (wt. %) and bulk densities (g/cm^3) were measured. Three-point bending tests, as well as XRD and SEM analyses, were performed. The test results of five sintered samples for each dosage were averaged. After samples were sintered, the total linear shrinkage (%) values were calculated with Eq. 3 given in Section 3.4.1. Total shrinkage volume (%) values were calculated by Eq. 4 below:

$$\text{Total Shrinkage Volume (\%)} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\% \quad (4)$$

where V_1 is the initial volume calculated after drying, while V_2 is the volume calculated after sintering. Mechanical tests were carried out as in the case of the green strength tests.

Moisture in the sintered samples was removed to determine open porosity and bulk density values for the material. Firstly, the samples were dried in the oven until they reached a constant weight. All dry samples (M_{dry}) were placed in a water bath after being weighed so that they were completely covered by the water which was then boiled for 4 hours. After that, they were kept in water for 24 hours. The thin water film layer on the sample surfaces was removed with a cloth before being weighed (M_{wet}) – or wet weighing. Lastly, the masses of the samples in water were



Figure 4 (a) Flow Test of the Slurry with a Ford Cup (b) Slip Casting of the Slurry (c) Measuring the Dimensions of the Bar Shaped Sample after Casting

measured on an Archimedes balance (M_S). Open porosity (vol. %), water absorption (wt. %) and bulk density values (g/cm^3) were determined by using the equations below ($\rho_{\text{water}} = 1 \text{ g/cm}^3$):

$$\text{Water Absorption (wt. \%)} = \frac{M_{\text{wet}} - M_{\text{dry}}}{M_{\text{dry}}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{Porosity (vol. \%)} = \frac{M_{\text{wet}} - M_{\text{dry}}}{M_{\text{wet}} - M_S} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{Bulk Density (g/cm}^3\text{)} = \frac{M_{\text{dry}}}{M_{\text{wet}} - M_S} \times 100\% \quad (7)$$

Powdered sintered samples were sieved to below $100 \mu\text{m}$, and XRD and SEM analyses of samples with added dispersant were also performed.

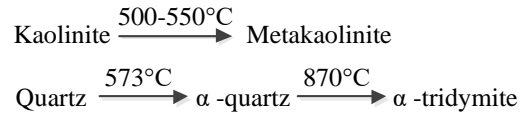
3. Results and Discussion

3.1. Chemical, Mineralogical, Physical and Thermal Analyses

The chemical and mineralogical compositions of ESC-3 clay were obtained by X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD). These analyses are given in Table 2 and Fig. 5, respectively. From the XRD pattern of the raw sample, the major phases of albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) and quartz (SiO_2) were found with their most intense peak at 27.89° and 26.63° respectively, while the less intense peaks of other phases were identified as kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) and illite ($\text{K}_{0.7}\text{Al}_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

TG-DTA analyses results for ESC-3 clay are shown in Fig. 6. When examining TG-DTA analyses, the endothermic DTA peak observed between 50 and 130°C , and the corresponding $\sim 1.7\%$ mass loss in the TG curve, indicated that the sample lost its physical water. It was seen that the mass loss observed in the TG curve continued with increasing temperature, but there were no intense endothermic peaks in the DTA curve. This mass loss continued up to 425°C and the mass loss between 125 and 425°C was due to the removal of water more tightly bonded to the structure. Thus, the mass loss in the first step was 4.12% . There were also quartz and albite phases in the raw material used in addition to kaolinite and illite. The reason for the difference between the TG and DTA curves may be that the raw material contains different phases. It can be said that the second DTA peak and its mass loss occurring from 425 to 650°C , indicated the transformation of kaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{SiO}_2$) to metakaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Energy}$) by losing its structural hydroxyls.

As indicated in published literature, the transformation of quartz to α -quartz at 573°C gives a very weak endothermic peak. However, this weak peak is not seen due to the large endothermic peak formed as a result of clay minerals losing crystalline water at this temperature [27, 29]. The transformation reactions of kaolinite and quartz are given below:



It is known from the published literature that illite produces endothermic peaks at 100°C and 600°C , indicating the removal of physical and structural hydroxyls from the body [27–29].

Table 2. Chemical composition, particle size and surface area of the ESC-3 clay

Oxides	(wt.%)
SiO_2	56.27
Al_2O_3	21.23
Fe_2O_3	4.38
Na_2O	2.72
Cr_2O	2.09
CaO	1.31
K_2O	0.89
TiO_2	0.55
MgO	0.27
P_2O_5	0.18
MnO	0.09
*Other oxides	0.26
Ignition loss (at 1000°C for 2 h)	9.50
Total oxides	99.86
Particle diameters (μm)	
$d_{10\%}$	2.02
$d_{50\%}$	9.27
$d_{90\%}$	60.94
Specific surface area (m^2/g)	11.89

* SrO ; ZrO_2 ; CuO ; NiO ; CoO ; ZnO ; Rb_2O

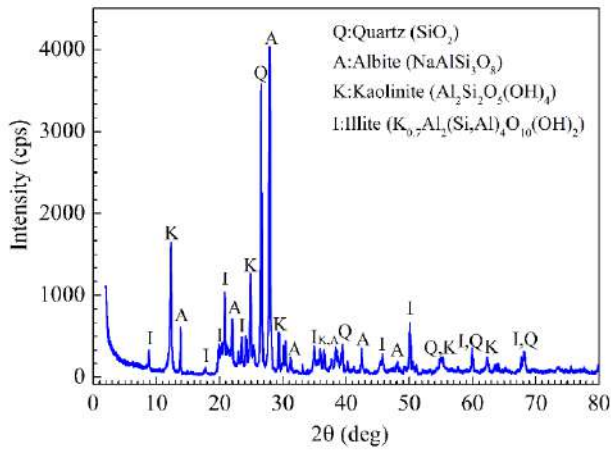


Figure 5. XRD analysis of ESC-3 clay

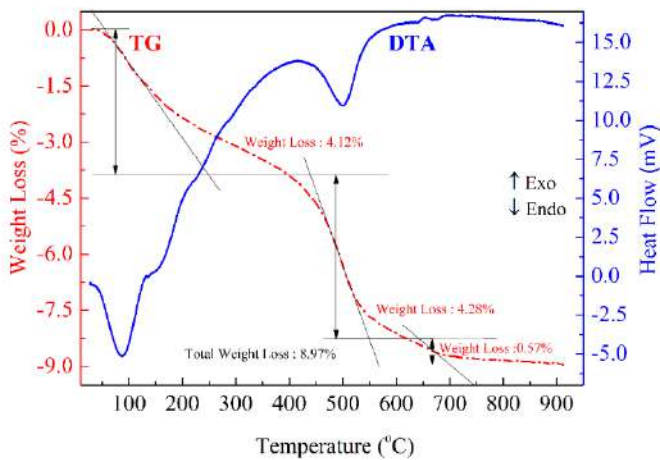


Figure 6. The TG and DTA Curves of ESC-3 Clay

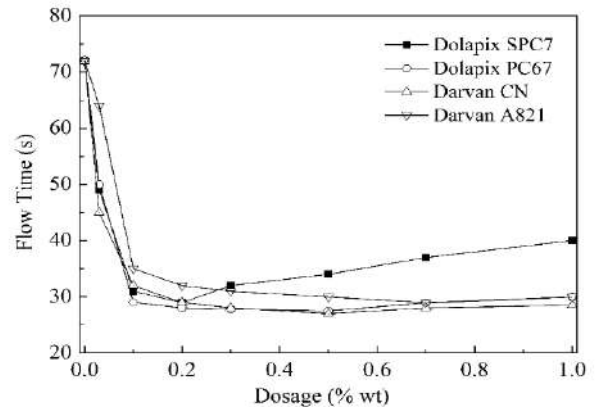
3.2. The Effect of Various Dispersant Types and Dosages on the Flow of Slurry and the Determination of Optimum Slip Casting Conditions

Flow and thixotropy curves were drawn to optimize the dispersion and flow conditions of slurries prepared using ESC-3 clay with 60 wt. %, and the results are shown in Fig 7. As seen in Fig 7 (a), both inorganic (SS) and polymeric dispersants considerably reduced the flow time of the suspensions. The lowest flow times for other dispersants, except for Na₂SiO₃, were observed at a dispersant dosage of 0.1 wt. %. The flow times for Na₂SiO₃, Darvan CN, Darvan A821, Dolapix SPC 7 and Dolapix PC-67 at this dosage were 47, 32, 35, 31 and 28 seconds, respectively. However, flow times increased beyond a certain dispersant dosage.

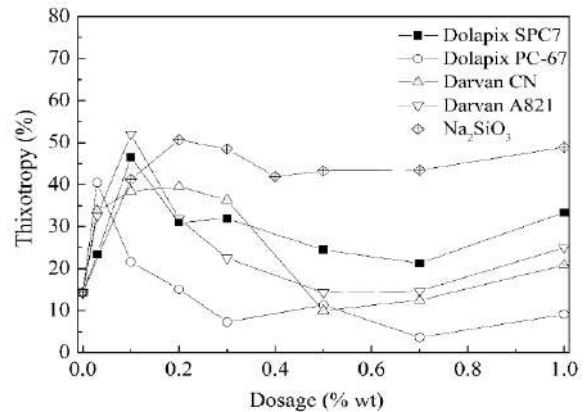
As seen in Fig. 7 (b), thixotropy was the highest at 0.1 and 0.3 wt. % dispersant dosage but decreased at other dosages. In fact, this result is not compatible with the flow time curves. In other words, thixotropy is expected to be lowest in concentration where fluidity is highest (shortest flow time). This is because thixotropy is defined as a temporary decrease in the stability of the slurry and the formation of a network structure in the slurry. Therefore, the formation of this network structure would be expected when its fluidity was at its lowest, but this did not happen. In a study performed by Akpınar (2019) [14], it was determined that the thixotropy of the cordierite suspensions decreased with increasing Darvan A821. In another study related to the sanitary ware ceramic slurry, the effect of NaCO₃ and

Ca(OH)₂ on the slip casting behavior of slurry was examined, and it was observed that the increase in the dispersant amount did not cause a significant change in thixotropy. It was determined that the thixotropy value changed between 30 and 33%. No significant relationship was established between viscosity and thixotropy. At a dispersant dosage of 0.1 wt. %, the thixotropy values of Na₂SiO₃, Darvan CN, Darvan A821, Dolapix SPC 7 and Dolapix PC-67 were 41.25%, 38.46%, 52.05%, 46.55% and 21.67%, respectively [20].

Na₂SiO₃ – an inorganic dispersant – reduces the flow time of ESC-3 slurry by an electrostatic stabilization mechanism. This electrostatic stabilization can be explained by three mechanisms [31–33]: (i) Na₂SiO₃ hydrolyzes in water and multivalent anionic silicate compounds such as [Si₂O₃(OH)₄]²⁻ and [SiO₂(OH)₄]⁴⁻ form. These anions are adsorbed to positively charged centers on the surface edge of the clay, making the total negative charge and zeta potential even more negative. Thus, electrostatic repulsion increases between clay particles, which increases stability and reduces fluidity. (ii) These multivalent anions can exchange an ion with structural OH⁻ ions on the edge. These structural OH⁻ ions can increase the number of negative edge charges. As a result, particles repel each other, that is, they are deflocculated. (iii) When clay minerals are in the water, flocculating cations such as Ca²⁺ and Mg²⁺ can pass into the water. Such cations can cause flocculation and impaired stability. As seen in the reaction below, anionic silicate ions – coming from Na₂SiO₃ in the medium – then form insoluble silicate compounds such as CaSiO₃ with divalent charged cations which then precipitate, thereby eliminating the negative effect of these cations on stability.

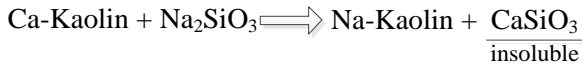


(a)



(b)

Figure 7. (a) Flow Times (b) Thixotropy Values (Solid Ratio: 60 wt. %, T: 27±1°C, Mixing Rate: 800 rpm) for Different Dispersants and Dosages in ESC-3 Slurry



The underlying mechanisms that polymer-based dispersants (Dolapix SPC 7, Dolapix PC-67, Darvan A821, Darvan CN) use to increase the stability of clay slurry and decrease the flow time are both electrostatic and steric stabilization mechanisms [35, 36]. Therefore, the reason that organic dispersants are more effective in increasing both stability and fluidity compared to inorganic dispersant is that they can perform both steric and electrostatic stabilization simultaneously. Similar results were also found in the studies in published literature performed on different ceramic slurries [3, 17, 18, 20–22, 36–38]. Based on these findings, effective polymer dispersants for reducing flow times were Dolapix PC-67, Dolapix SPC 7, Darvan A821 and Darvan CN, respectively. The effective dispersants for decreasing thixotropy were determined to be Dolapix PC-67, Darvan CN and Dolapix SPC 7, respectively. According to these results, the optimum dispersant for the casting process was Dolapix PC-67. For the optimum dosage, 0.1 wt. % produced the lowest flow time.

3.3. The pH and ZP of Clay Suspensions based on the Dolapix PC-67 Concentration

The pH is an important parameter for all colloidal suspensions in terms of both surface formation and flow properties [10, 39, 40]. Therefore, pH measurements were made to determine whether there was a pH change in the slurry proportional to the dispersant concentration. Tap water was used in experiments to achieve similar working conditions to the ceramic industry. As seen in Fig 8, the pH of the clay suspension was ~7.8 in the environment without any dispersant and it increased gradually with the addition of Dolapix PC-67. These pH values are close to the pH values of the dispersants (see Table 1).

ZP measurements in the presence of Dolapix PC-67 are shown in Fig. 7. The ZP value of the suspension was –31.5 mV before the addition of Dolapix PC-67 and it was seen that first, there was a decrease with increasing Dolapix PC-67 concentration and then the ZP value decreased to approximately –28 mV at a concentration of 0.05 g/L. It was seen that ZP increased after 0.1 g/L. The highest ZP value (–45.1 mV) was achieved at 1 g/L and after this dosage, ZP remained almost constant. Anionic polymer molecules formed by water ionization of the polycarboxylic based polymer were adsorbed to both positively charged centers on the clay surface edges in the sample and to positively charged centers of other minerals (quartz and albite), thereby increasing the negative ZP values of particles. An anion exchange mechanism with OH⁻ groups on the surface also played a role when the polymers were adsorbed to particle surfaces. The adsorption mechanism has been discussed in published literature studies where different clay minerals and different polymeric dispersants have been used. This mechanism is explained by the formation of a cationic linkage and anion exchange between metallic cations in clays and the negatively charged centers of the polymer [2, 26, 41–44].

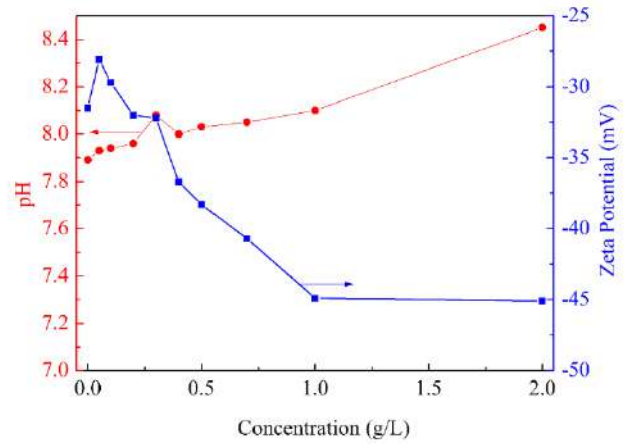


Figure 8. pH and ZP (mV) Changes According to Dolapix PC-67 Concentration in the ESC-3 Clay Suspension: 1 g clay, 100 mL tap water and at 27±1°C

As seen from the ZP curve, it is not possible for the ZP of particles to increase beyond a certain dispersant concentration. This shows that dispersant concentration plays an important role in achieving the stability of suspensions, which is also supported by the flow curves.

3.4. The Effect of Dolapix PC-67 Dosage on the Properties of Green Bodies

3.4.1 Physical and Mechanical Properties

Slip casting was performed for suspensions prepared with different dosages (0, 0.03, 0.1 and 1 wt. %) of Dolapix PC-67. The effect of dispersant dosage on the physical properties on the green bodies obtained is shown in Fig. 9.

The linear drying shrinkage of the additive-free sample was 4.82%. It was observed that there was a decrease in the shrinkage value beyond 0.03 wt. % and it decreased to approximately 4% at the optimum dispersant dosage (0.1 wt. %). Beyond this dosage, the decrease was relatively slow. At the highest dosage (1 wt. %), the shrinkage value was 3.2%. As seen from published literature, one of the desired parameters when forming with the slip casting process is to have minimum linear drying shrinkage [1]. It has been determined in the published literature that there is no linear relationship between dry shrinkage values in green products from sanitary ware slurry with NaCO₃ and Ca(OH)₂. Eygi and Ateşok (2008) [21] determined that dry and sintered shrinkage values of the products obtained from kaolin slurries were independent of the dispersant type but found out that polymeric dispersants achieved higher dry and sintered shrinkage than sodium silicate. In this present study, it was determined that the dry shrinkage values obtained with a 67 to 70 wt.% amount of solid in the presence of different dispersants changed between 0.90 and 1.70%. In addition, the amount of dry shrinkage of a sanitary ware product produced in the Güral Vit Company was 5.8% and this value was found to be quite high compared to the amounts of dry shrinkage obtained in this study.

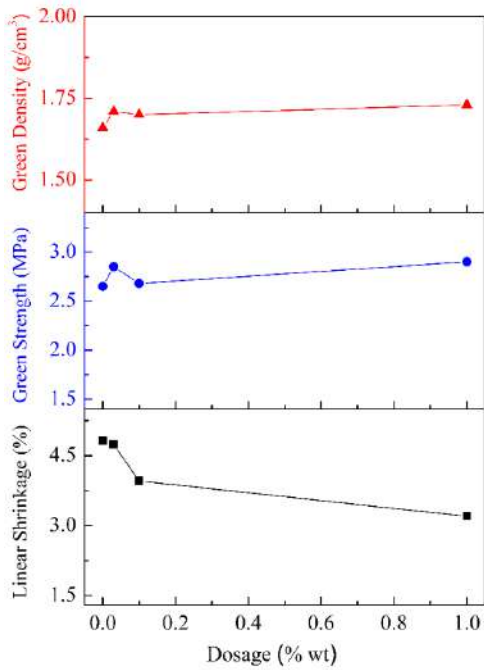


Figure 9. Linear Drying Shrinkage, Green Density and Green Strength Curves of Green Bodies Obtained from ESC-3 Casting Slurry Prepared at Different Dolapix PC-67 Dosages

As seen in Fig. 9, the green density of the additive-free sample was 1.66 g/cm^3 , the density increased to 1.71 g/cm^3 at a dosage of 0.03 wt. % and then remained almost constant. As a result, the addition of dispersant had a positive effect on the density of the green body. In the published literature, a study examining the relationship between the density of a product obtained by dispersant type and dosage, and its green density, was performed by Mei et al. (2003) [4]. The study concentrated on the slurries made from cordierite-based glass ceramics and it was revealed that there was a linear relationship between the viscosity curves obtained based on dispersant concentration and green densities, and the conditions achieving the lowest viscosity also had the best results in terms of green density. Moreover, it was stated that among polymeric dispersants, Duramax D-3021, Targon 1128, Tiron and Dolapix CE-64 and the polycarboxylic acid-based Dolapix CE-64 were effective in reducing ZP and viscosity. It was determined that it yielded the best result by producing a more packed and homogeneous microstructure. SEM images also supported these results. It was stated that performance differences between polymeric dispersants were closely related to hydrocarbon chain lengths, the hydrophilic/hydrophobic ratio of its molecular structure and orientation to the particle surface. All these differences affected the electrostatic and electrosteric stabilization strength of dispersants. It was also determined in the same study that the densities of green bodies obtained from cordierite-glass slurry prepared using 0.2 to 1 wt. % dosages with all dispersants showed little increase compared to the dosage of other dispersants, except for Dolapix CE-64. The increase for Dolapix CE-64 was more effective in increasing the density.

It is seen in Fig. 9, the green strength of the additive-free sample was 2.65 MPa, and it increased to 2.85 MPa at a dosage of 0.03 wt. %. At 0.1 wt. %, it decreased (2.70 MPa) and then increased to 2.90 MPa at a dosage of 1 wt. %. The results show similar behavior with the green density curve. Therefore, because the stability and fluidity of the green product obtained from additive-free ceramic slurry was lower than that of the product

with Dolapix PC-67, the packing of the slurry on the plaster mould surface was also weaker. This reduced the strength a little. However, there was a difference in flow curves with respect to the dispersant dosage. The 0.1 wt. % dosage, which yielded the lowest viscosity, did not give the best results in terms of green strength and density. On the contrary, the best results were obtained at 0.03 wt. %. In a published literature study conducted with inorganic dispersants, it was determined that the strength of the green product obtained from clay slurry using NaCO_3 additive increased in accordance with the dispersant dosage [20]. For example, the green strength, which was 25.11 kg/cm^2 at 0.06 wt. % of sodium carbonate, increased to 26.87 kg/cm^2 at 0.07 wt. %, and it was 27.43 kg/cm^2 at 0.085 wt. %. However, it was observed that these results did not have a linear relationship to the viscosity data. In the same study, it was determined that Ca(OH)_2 increased dry and sintered body strength more than NaCO_3 . All these results reveal that the lowest viscosity (the best fluidity) conditions for clay slurry do not always provide the best conditions in terms of green product properties. Another outcome is that the rheology of slurries and their relationship to the product properties is much more complex than expected.

3.4.2. Microstructural Properties

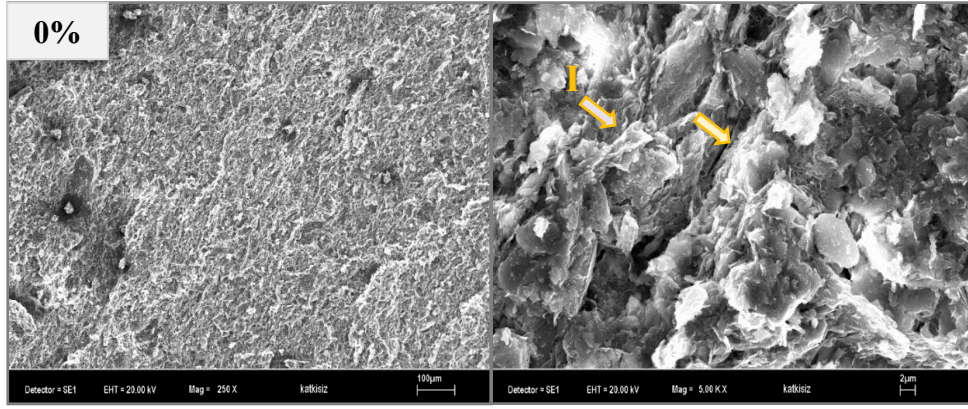
The purpose of SEM analysis was to observe that the green products obtained from slurry prepared with different Dolapix PC-67 dosages were more homogeneous and tightly packed. However, there was no significant difference between the SEM images (Fig. 10 a–d). The study by Mei et al. (2003) [4] examined SEM images of green products obtained from cordierite-glass ceramic slurry prepared with different dispersant types by slip casting. It was seen that the product obtained with the dispersant achieving the best fluidity had a much more homogeneous microstructure and packing. The layered structures of clays make homogeneous packing difficult compared to minerals that have a spherical or spherical-like particle structure. This may create difficulties in monitoring the microstructural differences between additive-free slurry and slurry with added dispersant.

3.5. The effect of Dolapix PC-67 Dosage on the Properties of Sintered Product

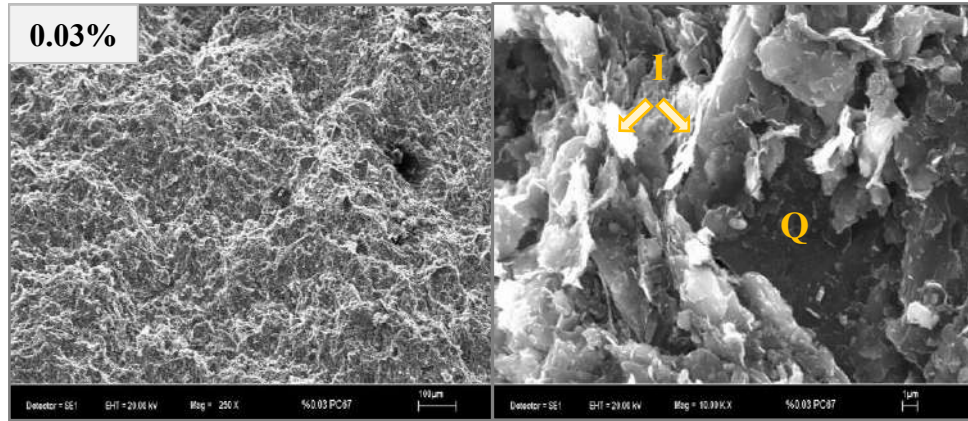
3.5.1. Physical and Mechanical Properties

Fig. 11 shows water absorption (%), open porosity (%) and bulk densities of sintered samples obtained by adding Dolapix PC-67 to the ESC-3 slurry at four different dosages. While the water absorption of the additive-free sample was 16.72%, it suddenly dropped to 2.45% at 0.03 wt. %. When the dosage was increased from 0.1 to 1 wt. %, water absorption increased from 3.34% to 3.39%.

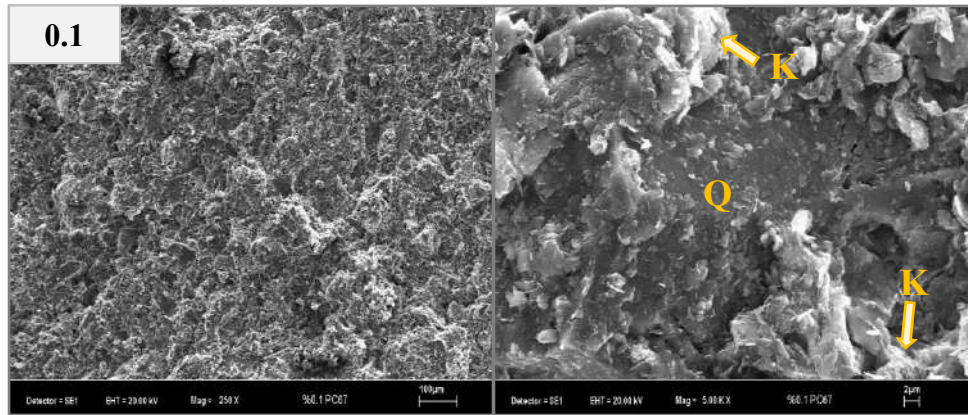
While the open porosity of the additive-free samples was 27.23%, it decreased significantly to 4.36% at 0.03 wt. %. Open porosity increased slightly at 0.1 wt. % dosage, to 5.86%. It became 5.83% at 1 wt. %. According to the results obtained, less porosity occurred in the sintered products because the addition of dispersant increased the stability of the slurry and accordingly increased the packing and density, which in turn reduced the water absorption value. Şakar and Deliormanlı (2004) [20] determined that the structures obtained with Ca(OH)_2 added to the sanitary ware slurry had a lower water absorption value than those obtained with NaCO_3 as the additive. The water absorption value of sanitary ware produced in Güral Vit was 0.5%, which was less than those of the products obtained in this study.



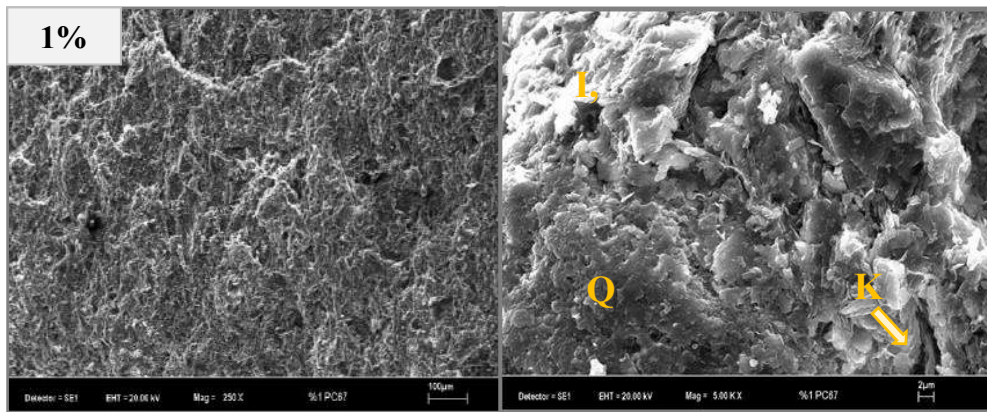
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 10. SEM Images of Green Bodies Obtained from ESC-3 Casting Slurry Prepared at Different Dolapix PC-67 Dosages (I: illite, K: kaolinite, Q: quartz) (a) 0% (250 and 5 K \times) (b) 0.03% (250 and 10 K \times) (c) 0.1% (250 and 5 K \times) (d) 1% (250 and 5 K \times)

As seen in Fig. 11, the bulk density of additive-free samples increased from 1.63 g/cm³ to 1.78 g/cm³ by showing a significant increase at 0.03 wt. %. At the 0.1 wt. % optimum dosage, the bulk density was 1.75 g/cm³ and at 1 wt. %, it was 1.72 g/cm³. It is seen that the results obtained were compatible with the porosity and water absorption values. Density increased as porosity decreased. However, beyond the 0.3 wt. % dispersant dosage, there was no significant effect on the bulk density of the sintered product.

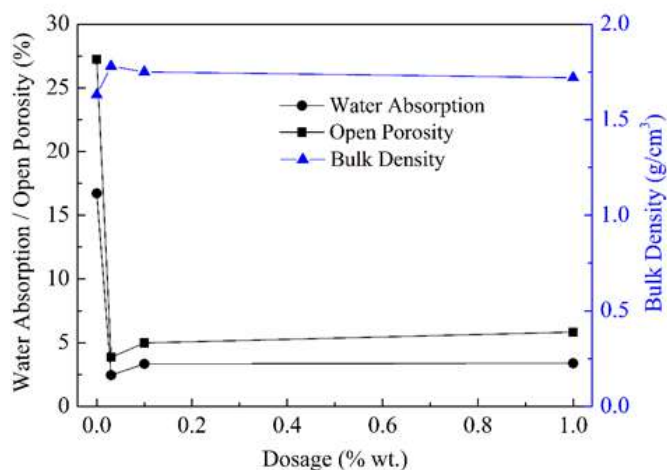
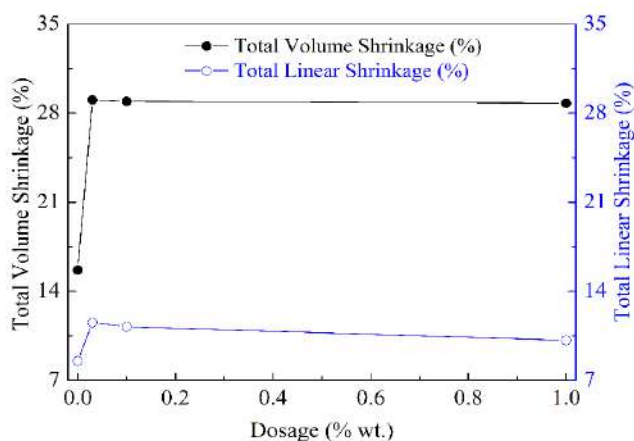
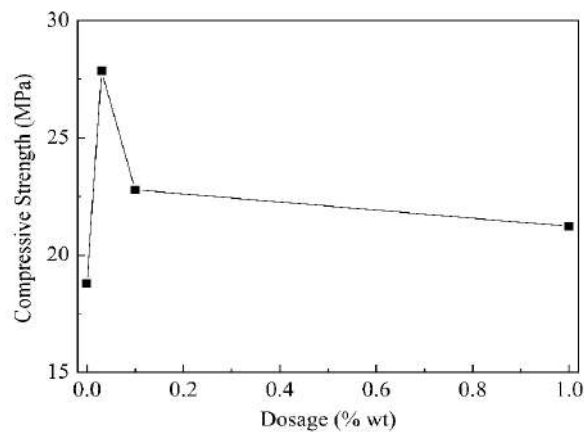


Figure 11. Water Absorption, Apparent Porosity and Bulk Density Results of Sintered Products Obtained from ESC-3 Casting Slurry Prepared with Different Dolapix PC-67 Dosages



(a)



(b)

Figure 12. (a) Total Volume and Linear Shrinkage (b) Strength Results of Sintered Products Obtained from ESC-3 Casting Slurry Prepared at Different Dolapix PC-67 Dosages

As seen in Fig. 12 (a), while the total linear and volume shrinkage values of additive-free samples were 8.52% and 15.66%, they were 11.53% and 29.03% at 0.03 wt. %, respectively. It was seen that the volume shrinkage values increased significantly. At the optimum dosage (0.1 wt. %), they were 11.20% and 28.92%, respectively. The total linear and volume shrinkage of samples with 1 wt. % additive were 10.14% and 28.78%, respectively, and no significant change was observed. These curves were also compatible with water absorption/porosity and bulk density (Fig. 11) curves, and the shrinkage values remained constant beyond a dosage of 0.03 wt. %, similar to other physical properties.

Eygi and Ateşok (2008) [21] determined that the total shrinkage of kaolin slurry did not differ significantly with respect to the dispersant type, but the bodies obtained from polyelectrolyte-added slurry were subject to less shrinkage. In the study by Şakar-Deliormanlı and Yayla (2004) [20], it was seen that the total and dry shrinkage of the sanitary ware slurry was independent of the dispersant type and viscosity change. Tsetsekao et al. (2001) [3], on the other hand, measured linear shrinkage values of the sintered products obtained from alumina by the slip casting technique using Darvan C, Duramax D 3500 and Dolapix CE-64 dispersants. They stated that the dispersant type was moderately effective in linear firing shrinkage (%) and determined the shrinkage value to be 10.5% for Dolapix CE-64 alumina (60 wt. % solid).

It is seen in Fig. 12 (b) that the compressive strength of the additive-free sample was 18.78 MPa, and this value increased to 27.85 MPa at 0.03 wt. % of Dolapix PC-67. At the dosages of 0.1 and 1 wt. %, the strength values were measured to be 22.78 MPa and 21.25 MPa, respectively. According to these results, the mechanical strength results for the optimum dispersant dosage determined from the flow curves are not the same. However, it is clearly seen that samples with added Dolapix PC-67 achieved better results than additive-free samples. The reason for this is that the slurry was more stable in the presence of the dispersant and the green density was higher as a result of better particle packing. Şakar-Deliormanlı and Yayla (2004) [20] measured the bending strength of the fired product obtained from sanitary ware casting slurry in the presence of Ca(OH)₂ and Na₂CO₃ at 1250°C. It was determined that the bodies obtained from Ca(OH)₂ slurry had higher strength. They stated that this result was in accordance with the flow curves, i.e., Ca(OH)₂ added slurry had low viscosity.

3.5.2. XRD Analysis Results

XRD analyses of the sintered bodies prepared from additive-free and slurries with added dispersant were performed (Fig. 13). The phases in sintered products were quartz, anorthite and mullite. It was observed in Fig. 13 that the intensity of the quartz peak in the additive-free body decreased with the addition of dispersant. The reason for this was that the slurry was more closely packed because it was more homogeneous in the added-dispersant dispersed additive environment. Thus, quartz particles reacted with anorthite or clay during firing to form mullite, and thus the intensity of the quartz peak decreased. It is known that mullite forms as a result of the direct phase transformation of kaolinite. On the other hand, the albite (see Fig. 5) within the body of the ESC-3 clay melts at 1200°C, having a glassy phase and, therefore, the albite peaks disappear. Illite in the clay is subjected to dehydroxylation at temperatures beyond 950°C [44] and its crystalline structure changes.

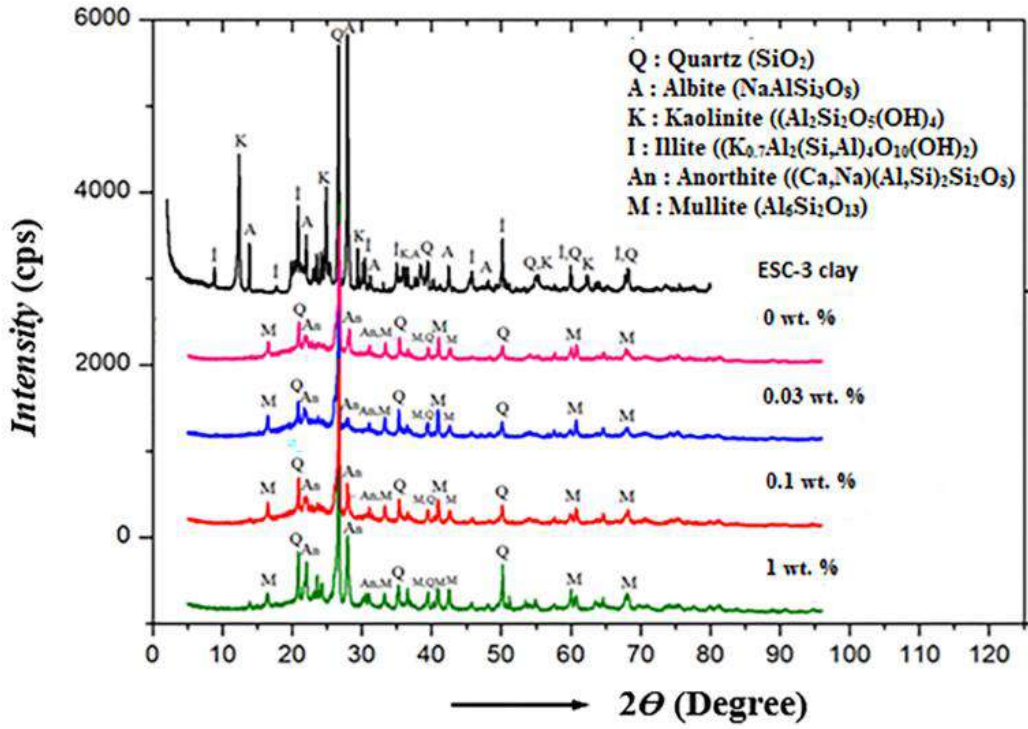
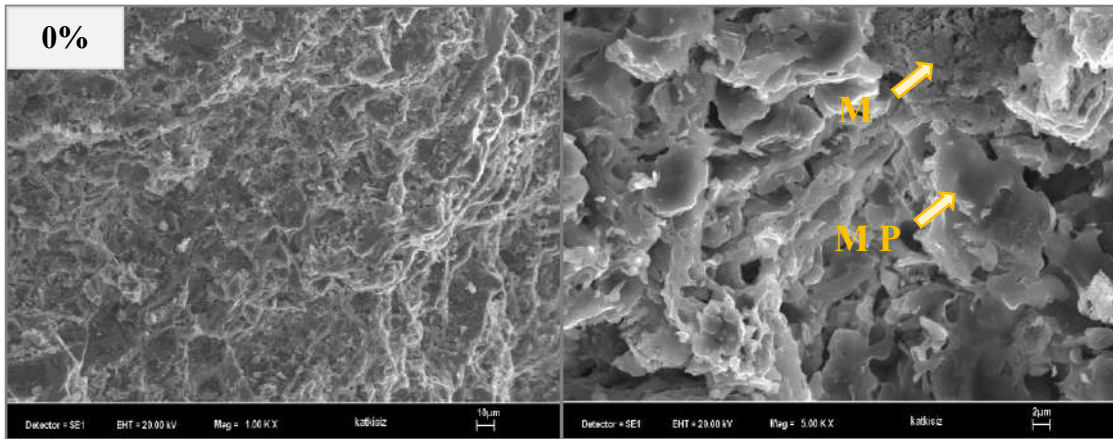
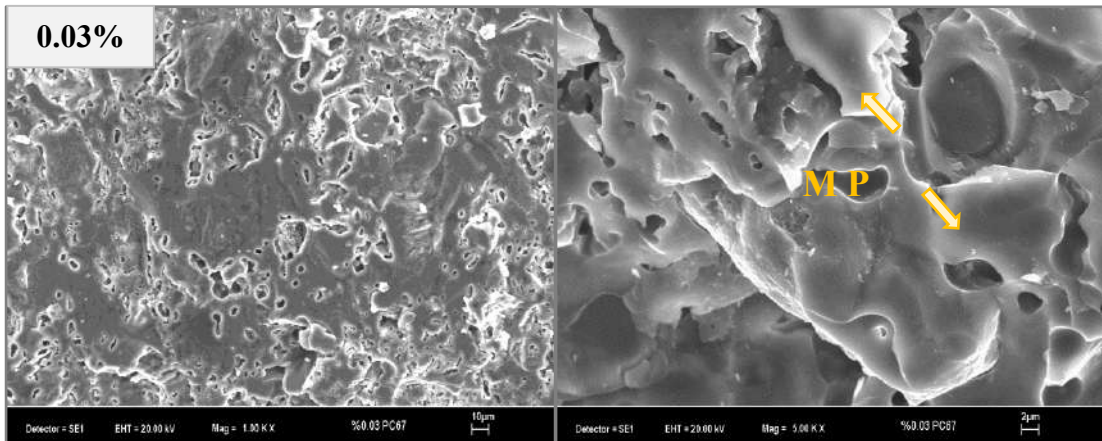


Figure 13. XRD Pattern of Sintered Products Obtained from ESC-3 Casting Slurry Prepared at Different Dolapix PC-67 Dosages



(a)



(b)

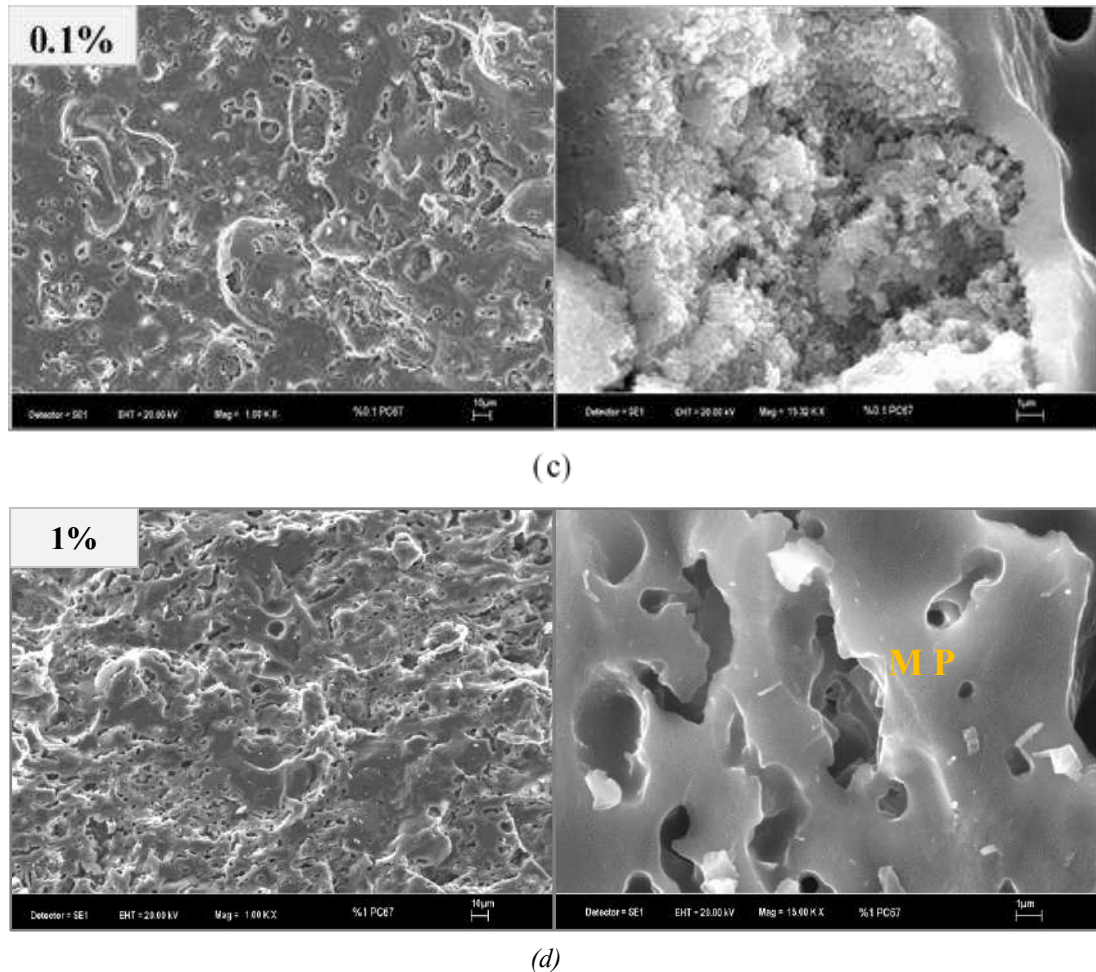


Figure 14. SEM Analysis of Sintered Samples Obtained from ESC-3 Casting Slurry Prepared at Different Dolapix PC-67 Dosages, (M: mullite, MP: molten phase) (a) 0% (1 K \times and 5 K \times) (b) 0.03% (1 K \times and 5 K \times) (c) 0.1% (1 K \times and 15 K \times) (d) 1% (1 K \times and 15 K \times)

According to SEM images of sintered products obtained from ESC-3 casting slurry prepared at the different Dolapix PC-67 dosages shown in Fig. 14, there are no significant differences in terms of homogenization and pore structure within the microstructures. However, considering the higher magnification of the SEM images, it can be said that the structure obtained from the ceramic slurry prepared at the optimum Dolapix PC-67 dosage had a more homogeneous structure compared to the additive-free samples and other structures. For example, when examining the SEM images of the additive-free body and the body with 1 wt. % dispersant, the structures are porous. This is due to the fact that the slurry is not homogeneous and stable enough. All other physical properties related to sintered products show that the addition of dispersant positively contributes both to these properties and homogenization. However, the results were not always consistent with dispersant dosages. In the published literature, there is a study directly related to the effect of dispersant dosage on the microstructure of ceramic slurry.

Mei et al. (2001) [26] examined the effect of Dolapix CE-64 dosage on the microstructure of the products obtained from cordierite-glass ceramic slurry and stated that the microstructure obtained at the optimum dosage – where the fluidity was minimum – was much more homogeneous, and the porosities resulting from flocculation were much less. Mei et al. (2003) [4],

in another study carried out with cordierite-glass ceramic slurry, investigated the effect of dispersant type on the sintered product microstructure. They reported that Dolapix CE-64, which yielded the best results in terms of fluidity among the four different dispersants used in the study, also achieved the best results in terms of microstructure homogeneity.

4. Conclusions

- The addition of dispersant had a positive effect on the physical and mechanical properties of the green and fired products obtained by slip casting. The addition of dispersant increased the stability and packing of the slurry, and therefore increased the green density of the product, resulting in less porosity in the sintered product. This increased the mechanical strength by reducing water absorption.
- It is important to determine the optimum value of the dispersant dosage when preparing clay slurry using the slip casting method. However, it can be said – based on the flow curves obtained with the Ford cup and the properties of the green/fired product – that the optimum dispersant dosage, where the flow time is the lowest (the highest fluidity) in ceramic casting slurry does not mean that this condition is also

optimum for the physical/mechanical properties of those same products.

- It is not always possible to use SEM analysis to reveal the relationship between the flow curve of the slurry and the physical/mechanical properties of green and sintered products obtained from slurry prepared at different dispersant dosages. This condition is affected by the layered structure of clay. Because of the formation of agglomeration or dispersion between clay particles, it does not achieve good results by considering samples prepared from suspensions containing spheres and formed by slip casting.
- Among the dispersants used, the optimum dispersant was determined to be polycarboxylic acid-based Dolapix PC-67, and the optimum dosage was found to be 0.1 wt. % according to the flow curve. The sequence of the effectiveness of the dispersants in reducing the flow time can be listed as follows: Dolapix PC-67 > Dolapix SPC 7 > Darvan 821A > Darvan CN > Sodium silicate.
- Linear shrinkage and mechanical strength values of the green products obtained with dispersant-free slurry were 4.82% and 2.65 MPa, respectively, while these values were 3.96% and 2.68 MPa in the green products obtained from the slurry prepared with 0.1 wt. % of Dolapix PC-67. The total volume shrinkage and mechanical strength values of the sintered product prepared with dispersant-free slurry were 15.66% and 18.78 MPa, respectively, while these values were 28.92% and 22.78 MPa in the green products obtained from slurry prepared with 0.1 wt. % Dolapix PC-6.

References

- [1] Kingery, W.D. (1960). *Introduction to Ceramics*, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- [2] Reed, J.S. (1994). *Principles of Ceramics Processing (second edition)*, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- [3] Tsetsekou, A., Agrafiotis, C., Leon, I. & Miliadis, A. (2001). Optimization of the Rheological Properties of Alumina Slurries for Ceramic Processing Applications Part II: Spray-Drying, *J. Eur. Ceram. Soc.* 21, 493–506.
- [4] Mei, S., Yang, J. & Ferreira, J.M.F. (2003). Comparison of Dispersants Performance in Slip Casting of Cordierite-Based Glass-Ceramics, *Ceram. Int.* 29, 785–791.
- [5] Hotta, Y., Omura, N., Sato, K. & Watari, K. (2007). Slip Casting Using Wet-Jet Milled Slurry, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 27, 753–757.
- [6] Demirkol, N. (2019). Sintering and Technological Properties of Dry Pressed Ceramic Body Containing Kastamonu Mud and Clay, *European Journal of Science & Technology* 15, 499–504.
- [7] Sun, X., Wu, H., Zhu, G., Shan, Y. N., Xu, J., Li, J. & Olevsky, E. (2020). Direct Coarse Powder Aqueous Slip Casting and pressureless Sintering of Highly Transparent AlON Ceramics, *Ceram. Int.* 46, 4850–4856.
- [8] Xu, Y., Mao, X., Fan, J., Li, X., Feng, M., Jiang, B., Leia, F., & Zhang, L. (2017). Fabrication of Transparent Yttria Ceramics by Alcoholic Slip-Casting, *Ceram. Int.* 43, 8839–8844.
- [9] Shanefield, D.J. (1996). *Organic Additives and Ceramic Processing (second edition)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- [10] Dinger, D.R. (2002). *Rheology for Ceramics - Dinger Ceramic Consulting Service*, Clemson, USA.
- [11] Landrou, G., Brumaud, C., Plötze, M. L., Winnefeld, F. & Habert, G. (2018). A Fresh Look at Dense Clay Paste: Deflocculation and Thixotropy Mechanisms, *Colloid Surfaces A.* 539, 252–260.
- [12] Rahaman, M.N. (1995). *Ceramic Processing and Sintering*, Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- [13] Amorós, J.L., Beltrán, V., Sanz, V. & Jarque, J.C. (2010). Electrokinetic and Rheological Properties of Highly Concentrated Kaolin Dispersions: Influence of Particle Volume Fraction and Dispersant Concentration. *Appl. Clay Sci.*, 49, 33–43.
- [14] Akpınar, S. (2019). Influence of Dispersing Agents on Microstructure-Related Properties of Slip Cast Cordierite Ceramics, *Ceram. Int.*, 45, 15488–15495.
- [15] Singer, F.S. (1963). *Industrial Ceramics*, Chapman and Hall, London, England.
- [16] Fangli, Y., Huanrui, W., Yu, B. & Jianfeng, Y. (2010). Preparation and Characterization of Porous Si₃N₄ Ceramics Prepared by Compression Molding and Slip Casting Methods, *Bull. Mater. Sci.*, 33(5) 619–624.
- [17] Greenwood, R. (2003). Review of the Measurement of Zeta Potentials in Concentrated Aqueous Suspensions using Electroacoustics, *Adv. Coll. Inter. Sci.*, 106, 55–81.
- [18] Gören, R., Ersoy, B., Özgür, C. & Alp, T. (2012). Colloidal Stability-Slip Casting Behaviour Relationship in Slurry of Mullite Synthesized by the USP Method, *Ceram. Int.*, 38, 679–685.
- [19] Ganesh, I. (2011). Aqueous Slip Casting of MgAl₂O₄ Spinel Powder, *Bull. Mater. Sci.*, 34 (2), 327–335.
- [20] Şakar-Deliormanlı, A. & Yayla, Z. (2004). Effect of Calcium Hydroxide on Slip Casting Behaviour, *Appl. Clay Sci.*, 24, 237–243.
- [21] Eygi, M.S. & Ateşok, G. (2008). An Investigation on Utilization of Poly-Electrolytes as Dispersant for Kaolin Slurry and its Slip Casting Properties, *Ceram. Int.*, 34, 1903–1908.
- [22] Marco, P. & Liorens, J. (2009). Surface Charge and Rheological Properties of Raw Porcelain Gres Suspension with Acrylic Bearing Carboxylic Groups, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 29, 559–564.
- [23] Burgos-Montes, O. & Moreno, R. (2007). Colloidal Behaviour of Mullite Powders Produced by Combustion Synthesis, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 27, 751–757.
- [24] Temoche, F., Garrido, L.B. & Aglietti, E.F. (2005). Processing of Mullite-Zirconia Grains for Slip Cast Ceramics Slip Casting of Cordierite and Cordierite-Mullite Materials *Ceram. Int.* 31, 917–922.
- [25] Camerucci, M.A., Cavalieri, A.L. & Moreno, R. (1998). Slip Casting of Cordierite and Cordierite-Mullite Materials, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 18, 2149–2157.
- [26] Mei, S., Yang, J. & Ferreira, J. M. F. (2001). Effect of Dispersant Concentration on Slip Casting of Cordierite-Based Glass Ceramics, *J. Coll. Inter. Sci.*, 241, 417–421.
- [27] Lao, X., Xu, X., Jiang, W., Liang, J., Miao, L. & Wu, Q. (2020). Influences of Impurities and Mineralogical Structure of Different Kaolin Minerals on Thermal Properties of Cordierite Ceramics for High-Temperature Thermal Storage, *Appl. Clay Sci.*, 187, 105485.
- [28] Mucur, T. (2010). Optimisation of the Dispersion/Flowing Properties of Ball Clay used in

- Sanitary Ware Ceramic Productions and Its Influence on the Properties of Green and Fired Products, Afyon Kocatepe University, Institute for the Natural and Applied Sciences, Ms. Sc. Thesis.
- [29] Grim, R.E. (1968). Clay Mineralogy (second edition), McGraw-Hill Book Comp, New York, USA.
- [30] Karakaya, M. (2006). Properties and Identification Methods of Clay Minerals, Bizim Büro Basımevi, Ankara, Turkey.
- [31] Leja, J. (1982). Surface Chemistry of Froth Flotation, Plenum Press, New York, USA.
- [32] Huertas, F. J., Chou, L. & Wollast, R. (1999). Mechanism of Kaolinite Dissolution at Room Temperature and Pressure Part II: Kinetic study, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63(19–20), 3261.
- [33] Lagaly, G. (1989). Principles of Flow of Kaolin and Bentonite Dispersions, *Appl. Clay Sci.*, 4, 105–123.
- [34] Gregory, J. (1989). Fundamental of Flocculation, *Crit. Rev. Environ. Control*, 19, 185–230.
- [35] Lagaly, G. & Ziesmer, S. (2003). Colloid Chemistry of Clay Minerals: The Coagulation of Montmorillonite Dispersions *Adv. Colloid Interface*, 100–102, 105–128.
- [36] Johnson, S. B., Franks G. V., Scales, P. J., Boger, D. V. & Healy, T. W. (2000) Surface Chemistry-Rheology Relationships in Concentrated Mineral Suspensions *Int. J. Miner. Process.*, 58, 267–304.
- [37] Ferrari, B. & Moreno, R. (1997). Electrophoretic Deposition of Aqueous Alumina Slips, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 17, 549–556.
- [38] Tadros, T. T. (2005). Applied Surfactants, Principles and Applications, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co.KGAA, Weinheim
- [39] Hunter, R. J. (1981). Zeta Potential in Colloid Science, Academic Press Inc., San Diego, USA.
- [40] Çelik, M. S. & Ersoy, B. (2004). In Schwarz, J. A., Contescu, C. I. & K Putyera (eds), Mineral Nanoparticles: Electrokinetics: in Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology (Marcel-Dekker Inc, New York) pp. 1991–2005.
- [41] Chassagne, C., Mietta, F. & Winterwerp, J. C. (2009). Electrokinetic Study of Kaolinite Suspensions, *J. Coll. Inter. Sci.*, 336 352–359.
- [42] Zaman, A. A., Tsuchiya, R. & Moudgil, B. M. (2002). Adsorption of Low-Molecular-Weight Polyacrylic Acid on Silica, Alumina, and Kaolin *J. Coll. Inter. Sci.*, 256 73–78.
- [43] Taylor, M. L., Morris, G. E., Self, P. G. & Smart, R. St. C. (2002). Kinetics of Adsorption of High Molecular Weight Anionic Polyacrylamide onto Kaolinite: The Flocculation Process, *J. Coll. Inter. Sci.*, 250, 28–36.
- [44] Ersoy, B., Evcin, A., Uygunoglu, T., Akdemir, Z. B., Brostow, W. & Wahrmond, J. (2014). Zeta Potential–Viscosity Relationship in Kaolinite Slurry in the Presence of Dispersants, *Arab. J. Sci. Eng.*, 39, 5451–5457.
- [45] Lavat, A. E., Grasselli, M. C. & Julia, E. T. (2007). Phase Changes of Ceramic Whiteware Slip-Casting Bodies Studied by XRD and FT-IR, *Ceram. Int.*, 33, 1111–1117.



Ağır Akut Solunum Yolu Yetersizliği Sendromu Koronavirüsü 2 (SARS-CoV-2) Dünya Çapındaki Analizi ve Gelecekteki Durumu

Mehmet Bilge Han Taş^{1*}, Mete Yağanoğlu²

¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6135-1849), bilgehantas@gmail.com

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3045-169X), yaganoglu@atauni.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 9 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.764638)

ATIF/REFERENCE: Taş, M. B. H. & Yağanoğlu, M. (2020). Ağır Akut Solunum Yolu Yetersizliği Sendromu Koronavirüsü 2 (SARS-CoV-2) Dünya Çapındaki Analizi ve Gelecekteki Durumu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 248-253.

Öz

Coronaviridae ailesinin bir cinsi olan Koronavirüsler, büyük bir artı iplikli RNA genomuna sahip zarflı virüslerdir. Serolojik olarak farklı üç koronavirüs grubu tanımlanmıştır. Her grupta virüsler konakçı aralıkları ve genom dizileri ile karakterize edilir. Koronavirüsler farelerde, sıçanlarda, tavuklarda, hindilerde, domuzlarda, köpeklerde, kedilerde, tavşanlarda, atlarda, sığırlarda ve insanlarda tanımlanmıştır ayrıca gastroenterit ve solunum yolu hastalıkları gibi çeşitli ciddi hastalıklara neden olabilir. Bulaşıcılığı çok yüksektir. Solunum yoluyla bulaşabilen bu virüs, damlacık yoluyla da aktarılması yani bulaşması çok kolaydır. Yapılan çalışmaların gösterdiği gibi yakın temasta bulunan bireylerin birbirlerine çok kısa bir zaman içinde bulaştırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında bulaşan virüs, solunum yollarına yerleşerek akciğerlere oturur ve orada bölünmeye devam eder. Bunun sonucunda akciğerlere büyük ve kalıcı hasar vererek konak canlıya ölümcül bir şekilde zarar vermektedir. Yeni koronavirüsün (COVID-19) küresel etkisi büyüyen bir ivmeyle dünyayı sarmaktadır. Doğrulan vakaların doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve sağlıklı bir çıkarım yapabilmek için yalnızca vakalar değil ayrıca ölüm ve iyileşme sayısının analizini de gerektirir. Bununla birlikte, öngörme için geniş bir geçmiş verisi gerekir. Aynı zamanda, gelecek nadiren geçmişle aynı şekilde tekrarlandığı için hiçbir tahmin kesin değildir. Ayrıca, tahminler verilerin güvenilirliğinden, kazanılmış ilgi alanlarından ve hangi değişkenlerin tahmin edildiğinden etkilenir. Psikolojik faktörler, insanların hastalıktan kaynaklanan tehlikeyi ve onları kişisel olarak etkileyebileceği korkusunu nasıl algıladığı ve bunlara nasıl tepki gösterdiği konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma COVID-19'un devamını basit, ancak güçlü bir yöntemle öngörmek için objektif bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Kullanılan veriler Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) paylaşmış olduğu ve her ülkenin bu bilgileri paylaştığı güvenilir verilerdir. Hastalığın yapılan tahminler sonucunda teyit edilmiş COVID-19 vakalarında sürekli bir artış olduğunu göstermektedir. Risk günden güne artmakta ve kısmi ölçüde düşüşe geçmeye meyilli bir hâl almaktadır. Bu çalışma planlama ve karar verme için büyük etkileri olan canlı bir tahmin çalışmasının zaman çizelgesini açıklamakta ve teyit edilmiş COVID-19 vakaları için objektif tahminler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Coronavirus, Covid-19, Veri Bilimi, Makine Öğrenmesi, Tahmin Etme

Worldwide Analysis and Future Status of Severe Acute Respiratory Failure Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2)

Abstract

Coronaviruses, a genus of the Coronaviridae family, are enveloped viruses with a large plus-strand RNA genome. Three serologically different coronavirus groups have been identified. Viruses in each group are characterized by host ranges and genome sequences. Coronaviruses have been identified in mice, rats, chickens, turkeys, pigs, dogs, cats, rabbits, horses, cattle and humans, and can cause a variety of serious illnesses such as gastroenteritis and respiratory diseases. Its infectiousness is very high. This virus that can be transmitted by inhalation is also very easy to transmit via droplet. As the studies show, it has been observed that individuals who are in close contact infect each other for a very short time. In addition, the infected virus settles in the respiratory tract, sits in the lungs and continues to divide there. As a result, the host harms the creature fatally by causing great and permanent damage to the lungs. The global

* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6135-1849, bilgehantas@gmail.com

impact of the new coronavirus (COVID-19) surrounds the world with a growing momentum. It requires not only the cases but also the analysis of the number of deaths and recovery in order to accurately predict the confirmed cases and make a healthy conclusion. However, extensive historical data is required for forecasting. At the same time, no prediction is certain, as the future is rarely repeated in the same way as in the past. In addition, estimations are impressed by the reliability of the data, gained interests and which variables are estimated. Psychological factors play an important role in how people perceive and react to the danger caused by the disease and the fear that it can affect them personally. This study presents an objective approach to predict the continuation of COVID-19 with a simple but robust method. The data used are reliable data that the World Health Organization (WHO) and each country shared. As a result of the estimations, it is seen that there is a continuous increase in confirmed COVID-19 cases. The risk is increasing day by day and partially tending to decrease. This study describes the timeline of a live estimation study with major impacts for planning and decision making and provides objective estimations for confirmed COVID-19 cases.

Keywords: Coronavirus, Covid-19, Data Science, Machine Learning, Forecast.

1. Giriş

Yeni koronavirüsün ortaya çıkması, aşilar ve tedavi için hedeflenen terapötiklerin kullanılmadığı bir pandemik solunum yolu hastalığına (COVID-19) neden olmuştur (Wang ve diğerleri, 2020). Salgın, dünya çapında halk sağlığı hakkında büyük endişelere neden olmaktadır. Aynı zamanda, hanenin virüsün yayılmasını yavaşlatmak için evde kalması gerektiği için ekonomik sonuçlarla ilgili endişeler artmaktadır. Ekonominin duraklamasının; tedarik zincirleri, firmaların, finans sektörünün ve hane halklarının finansal istikrarı üzerindeki etkisi büyük ölçüde bilinmemektedir. Sonuç olarak, politikacılar, işletmeler ve piyasa katılımcıları büyüme beklentilerini kısa, orta ve uzun vadede revize etmeye çalışmaktadırlar (Gormsen ve Koijen, 2020). Koronavirüsün etkileri çok geniş bir skala içinde düşünülebilir. İnsan sağlığı açısından çok tehlikeli olması sebebiyle maske ve eldiven kullanımı birçok ülkede zorunlu hale gelmektedir. Bunun yanında tüm dünya ülkelerinde görülen bu pandemi sağlık sektörünü de çok büyük bir şekilde etkilemektedir. Yeterli hastane sayısı olmaması, hastanelerde yeterli sayıda solunum cihazı olmaması gibi faktörler ölüm oranlarını ciddi şekilde artırmaktadır. Bunların yanında birçok ülkede uygulanan sokağa çıkma yasağı veya sokağa çıkma tedbirleri gibi uygulamalar, tüm dünya ülkelerinde ekonomik bir buhrana yol açmaktadır. Para akışı çok sınırlanmış ve kişilerin hayatta kalabilecek kadar yaşam standartlarına girmesi sebebiyle birçok ülke ekonomik anlamda sıkıntı çekmektedir. Sokağa çıkma yasağı veya kısıtlaması uygulanan ülkelerde, evde kalan hane halkı hem ekonomik hem de sağlık sıkıntıları çekmelerinin yanında bir de psikolojik anlamda bunalıma girmesi söz konusudur. Sosyal hayatı sınırlanan hane halkı büyük ölçüde zorluk çekmektedir. Tüm bu negatif yansımaların yanında bir de doğa açısından bakarsak, doğa kendini tamir etmeye başlamış ve bir nebze de olsa temizlenmeye çalışmıştır.

Bu çalışmada tüm dünya ülkelerinden toplanan verilerin istatistiksel bir anlamda analizini sunmakla birlikte geleceğe dair birtakım çıkarımlarda bulunulmaya çalışılmıştır. Yapılan gözlemler makine öğrenimi yöntemiyle bir tahmin etme çalışmasına dökülmüştür. Özellikle Türkiye'nin seçilmiş birkaç ülkeyle birlikte karşılaştırması yapılmıştır. Bunun yanı sıra Türkiye'nin diğer ülkelere göre ne durumda olduğu ve gelecekte

Koronavirüsün ülkede ne seviyede olacağına dair objektif bir yorum katacaktır. Bu yorumları yapabilmek adına veriler her ülkenin beyan ettiği veriler doğrultusunda, makine öğrenmesi kullanılarak ve bu veriler ışığında regresyon eğrileri çıkartarak, geleceğe dair birtakım tahminler üretmek mümkündür. Bu tahminleri değerlendirip önümüzdeki zaman doğrultusunda nasıl

bir ivme kazandığı söylenebilir. Bu ivmenin birçok değişkeni içerdiği ve söz konusu tedbirlerin gevşetilmesi gibi durumlarda değişiklik gösterebilmektedir. Çünkü bu veriler geçmiş günlerden alınan kurumsal bilgilerin, geleceğe dair bir çıkarımı sonucunda yapılmaktadır.

Günümüzde artan veri miktarı ve kaynak erişiminin kolaylığından dolayı veri analizi için otomatik yöntemlere olan ihtiyaç artmaya devam etmektedir. Makine öğrenmesinin amacı, verilerdeki kalıpları otomatik olarak algılayabilen yöntemler geliştirmek ve daha sonra gelecekteki verileri veya ilgilenilen diğer sonuçları tahmin etmek için ortaya çıkarılan kalıpları kullanmaktır. Makine öğrenimi bu nedenle istatistik ve veri madenciliği alanlarıyla yakından ilişkilidir. Ancak vurgusu ve terminolojisi açısından biraz farklıdır. Çalışmada makine öğrenimi yapılarak, toplanan veriyi kendi terminolojisi içinde değerlendirerek, bilgisayarın insanlara sağlamış olduğu hesaplama hızını en yüksek seviyede kullanıp, işleyerek bizlere istenen sonuçları vermesi açısından çok önemli bir görev üstlenmektedir (Murphy, 2012).

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Seti Tanımı

Veri seti alınırken temelde üç farklı öznelik ele alınarak veri seti kullanımı yapılmıştır. Bunlar; teyit edilmiş vakalar, ölümler ve iyileşenler. Bu veriler Johns Hopkins Üniversitesi Sistem Bilimi ve Mühendisliği Merkezi (CSSE) tarafından oluşturulmuş veriler olup buradan temin edildi (<https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19> 14/06/2020 tarihinde erişildi). Her gün kaydedilen toplam vakalar, 22 Ocak 2020 ile 15 Mart 2020 arasındaki süreyi kapsamaktadır. Hem "laboratuvar onaylı" hem de "klinik olarak teşhis edilmiş" vakalar dahil edildi. Onaylanmış vakalar veya ölümler kadar medyada yer almayan iyileşmiş vakaların da büyük bir önemi mevcuttur. Çünkü verilerin doğruluğu medyada oluşmuş veriler değil, hükümetlerin resmi organlarından duyurmuş olduğu verilerdir. Her üç veri modeli de devamlı artış gösterirken hem teyit edilen vakaların hem de ölümlerin eğilimleri dünya genelinde şubat ayında, Türkiye'de ise nisan ortasında azalmıştır; Güney Kore, İran ve Avrupa'daki vaka sayısındaki artışın bir sonucu olarak şubat ve mart ayı sonlarında ikinci bir üstel artış görülmektedir. Aynı zamanda, iyileşen vakaların sayısı giderek artmaktadır.

2.2. Veri Analizi

Eğitim setlerinin her biri bir tahmin üretmek için ve algoritma eğitmek için kullanıldı. Bu tahminleri üretebilmek için veri, çeşitli algoritmalar kullanılarak test edildi. Bu sınıflandırma kuralı daha sonra görülmeyen iki bileşikten hangisinin en büyük aktiviteye sahip olduğunu tahmin etmek için kullanılabilir. Böyle bir kuralın genelleme yeteneği, yani etkinlik açısından görünmeyen iki

bileşimi doğru bir şekilde sıralayabilme olasılığı tahmin edilir. Eğitilmiş sınıflandırıcıların her biri, karşılık gelen test setini sınıflandırmak için kullanılır. Bu hata oranının her biri gerçek hata oranının bir tahminidir ve nihai tahmini ortalamaları olarak alınır. Verilerin ortaya koyduğu bilgiler ışığında veri setleri bağımsız olarak çizilse bile, sınıflandırma test setlerinin sınıflandırma eğitim setlerinden bağımsız olmadığı unutulmamalıdır. Böylece, gerçek hata oranı tahmini aşağıya doğru eğimli olacak ve görülmeyen vakalarda hata oranının iyimser bir tahminini verecektir. Bununla birlikte, tekniklerin karşılaştırılması için yeterlidir (Burbidge ve diğerleri, 2001).

Kullanılan bu algoritmalar, her biri kendi içinde optimize edilerek en iyi sonucu vermesi ve tahmin edilecek verinin ne kadar yanından geçmesi gerektiği test edilerek eniyileştirme yapılmıştır. Bulgular sonucunda gene en yüksek değeri yani bugüne kadar gelmiş vakaların geleceğe ışık tutması için bu verilerle en iyi eşleşebilen bir doğruluk eğrisi bulunmaya çalışılmıştır. Bulunan bu eğri ile gelecekte virüsün ne durumda olacağı ve ne kadar kişiyi etkileyeceği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu veriler resmi kayıtlarla tespit edilmiş günlük vaka sayıları, günlük ölüm sayıları ve günlük iyileşen kişilerin sayılarından oluşmaktadır. Bu veriler analiz edilerek en iyi tahmini yapabilmek adına kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan algoritmalar ve eğrileri şu şekildedir; lineer regresyon eğrisi, polinomial eğrisi, destek vektör makinesi (SVM), karar ağacı ve rasgele orman algoritması ve eğrisi kullanılmıştır.

2.3. Kullanılan Algoritmalar

2.3.1 Lineer Regresyon

Lineer regresyon, gözlemlenen veya elimizde olan verilere doğrusal/lineer bir denklem yerleştirerek veya başka bir deyişle bir doğru çizen iki değişken arasındaki ilişkiyi gösterebilmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bir değişkenin bağımsız bir değişken olduğu, diğerinin bağımlı bir değişken olduğu kabul edilerek kullanılır. Daha önce verilen değer ile yani bağımlı değişkenle diğer değişkenler arasındaki korelasyonun sürdürülmesi ve bu korelasyonun bir bağlamda en iyi şekilde ayırabilmesini sağlar. Daha önce verilmiş bu bağımlı değişken kümesinin diğer bağımsız değişkenler arasındaki farkı ortaya koyabilmek adına en iyi şekilde ama doğrusal bir şekilde bir çizgi ile bu kümülatif değerlerin birbirinden ayrılmasına olanak sağlar (Song ve diğerleri, 2005).

2.3.2 Polinomial Regresyon

Fuller (1969) ve Gallant (1974) tarafından açıklanan segmentli polinom modelleri, bir dizi uyarlanmış alt modelden oluşur. Bir bağımsız değişken olması durumunda, alan bölümlere ayrılır ve bölümün her bir bölümünde farklı bir polinom alt modeli tanımlanır. Bu alt modeller daha sonra bölümlere ayrılmış polinom modeli oluşturmak üzere birlikte uygulanır. Bazen veriler arasında direkt bir korelasyon mevcut olmayabilir. Bu durumda polinomial regresyon eğrisi bu korelasyon olmayan veriler arasında yani düzensiz ve karmaşık verilerden bir eğri uydurma konusunda kullanılabilir.

2.3.3 Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine (SVM))

SVM, sınıflandırma ve örüntü tanıma için kullanılan çok basit ve etkili bir sınıflandırma algoritmasıdır. Destek Vektör Makineleri algoritması 1995 yılında Vladimir Vapnik tarafından tanıtıldı. Bu algoritmanın temel amacı hiper düzlemleri veya

sınırları inşa eden bir fonksiyon elde etmektir. Bu hiper düzlemler, farklı girdi veri noktaları kategorilerini ayırmak için kullanılır. SVM ikili sınıflandırma kullanır ve değerleri belirli bir spesifikasyona göre ayırt etmek için yüksek boyutlardaki özellik uzayında hiper düzlemler kullanan sistemlerdir. Hiper düzlemler, istatistiksel öğrenmeyi kullanmak için belirli algoritmalar ile eğitilir. SVM sınıflandırma yöntemi, özellik çıkarmayı içeren ve istenen çıktıları üreten denetimli öğrenmeye benzer. SVM'nin avantajı, eğitilmesinin çok kolay olmasıdır. Yüksek boyutlu verileri sinir ağlarından daha iyi ölçekleyebilir. Tipik olarak iki tip SVM sınıflandırıcısı vardır bunlar doğrusal ve doğrusal olmayandır. Ayrıca SVM, ortam denetiminde kullanılabilen çekirdek işlevlerine sahiptir (Jain ve diğerleri, 2020; Yağanoğlu ve Köse, 2017).

2.3.4 Karar Ağacı

Karar ağacı, denetimli öğrenme algoritmalarına ait bir makine öğrenme algoritmasıdır. Sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılır. Bu çalışmada, önceki verilerden (eğitim ve test aşamaları) elde edilen bazı türetilmiş karar kurallarına dayalı olarak bağımlı değişkeni tahmin etmek için bir karar ağacı sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Örneklerin özelliklerini sınıflandırmak için kök düğümlerin kullanıldığı düğümler ve düğümler olarak temsil edilir. Yaprak düğümleri (çocuksuz düğümler) kararları veya sınıflandırmaları gösterir. Her aşamadaki diğer tüm özellikler arasında en yüksek kazancı (en homojen dallar) değerlendirmek, her bir düğümdeki bir karar ağacının temel seçimidir. Karar ağacının performansı bir karışıklık matrisi kullanılarak değerlendirilir (Qawqzeh ve diğerleri, 2019).

2.3.5 Rastgele Orman

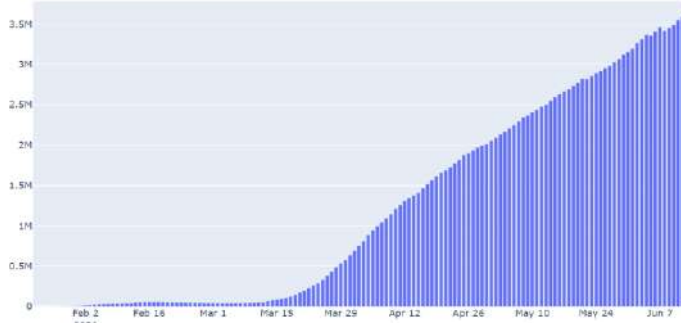
Sınıflandırma yöntemi olarak Rastgele orman (Random Forest) sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Rastgele orman sınıflandırıcısı, her sınıflandırıcının girdi vektöründen bağımsız olarak örneklenen rastgele bir vektör kullanılarak oluşturulduğu, ağaç sınıflandırıcıların bir kombinasyonundan oluşur ve her ağaç, bir giriş vektörünü sınıflandırmak için en popüler sınıf için bir birim oyu verir yani sayımlama yapar (Breiman, 1999). Bir karar ağacının tasarımı, bir nitelik seçim ölçüsü ve budama yönteminin seçimini gerektirir. Karar ağacı indüksiyonu için kullanılan özelliklerin seçiminde birçok yaklaşım vardır ve çoğu yaklaşım doğrudan niteliğe bir kalite ölçüsü katar. Karar ağacı indüksiyonunda en sık kullanılan nitelik seçimler bilgi kazanç oranı kriteri (Quinlan, 2014) ve Gini Endeksi'dir (Brieman ve diğerleri, 1984). Rastgele orman sınıflandırıcısı, Gini Dizini'ni, öznelitliklerin sınıflara göre safsızlığını ölçen bir öznelitlik seçim ölçüsü olarak kullanır. Rastgele orman kısaca sınıflandırıcısı ormanlar arasında gezerek, dallara doğru bir ilerleme yapar. Dalların sonuna geldiğinde bir oylama yapar. Burada "n" gezilmesi gereken ağaç sayısını ifade eder. Örneğin n sayısını 4 seçersek, 4 adet ağaç arasından sonuca gidilir ve bir oylama yapılır. Oylama sonucunda en çok oy almış sınıf veya tahmin sonucu elde edilir. Bu sayede başarılı bir tahmin veya sonuç fırsatı yakalanmış olur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Dünyadaki Veriler

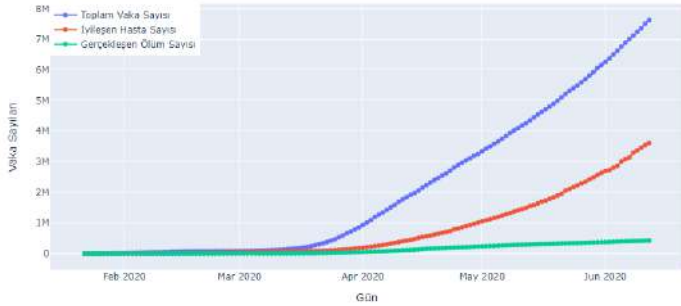
Dünyada gitgide tırmanmakta olan Koronavirüs salgını, son günlerde biraz duraklamaya geçmiş olsa da Şekil-1'de görüldüğü üzere dünyada toplam aktif vaka sayısı 3.5 milyonu geçmektedir.

Tüm dünya ülkeleri bu konuda önlem almasına rağmen virüsün kolay bulaşması ve insanları kolay bir şekilde konak olarak ölmesine neden olmaktadır. Dünyada toplam vaka sayısı ise 7.5 milyonu geçmiş durumdadır.



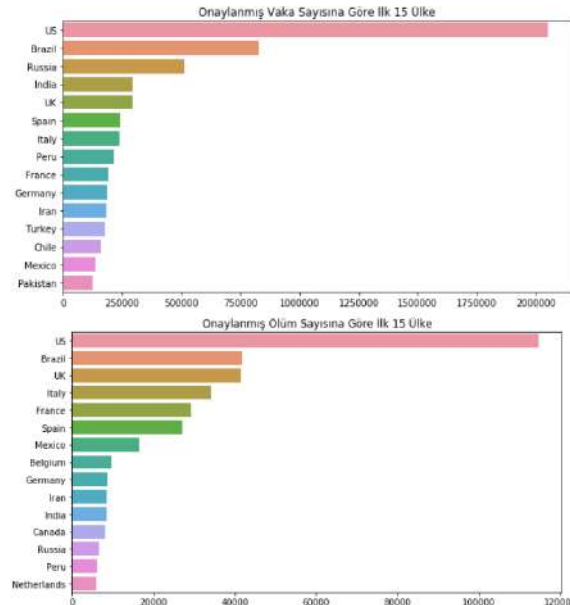
Şekil-1 (Dünyada Görülen Toplam Aktif Vaka Sayısı)

Dünyada etkisini gösteren bu pandemide iyileşen hasta sayısı 3.5 milyonu geçmektedir. Öte yandan ölen insan sayısı 425 bin üzerindedir. Tüm dünyada bu sayılar durağan hale gelirken eğer önlemler aynı şekilde alınmaya devam edilmezse bu değerler artan bir grafikte devam edecektir.



Şekil-2 (Dünyadaki Toplam Vaka, İyileşen Hasta, Ölüm Sayıları)

Dünyadaki her ülkede görülen koronavirüs gün geçtikçe artan bir grafikte ilerlemektedir. Virüsün çıktığı ülke olan Çin en yüksek hasarı almamasına rağmen, Amerika bu virüsten çok büyük bir ölçüde etkilenmiş durumdadır. Son günlerde Brezilya ve Rusya'daki vaka artışı da koronavirüsün henüz kontrol altına alınamadığının en büyük kanıtıdır.



Şekil-3 (Dünyada en çok görülen 15 ülkenin vaka sayıları ve ölüm sayıları)

3.2. Türkiyedeki Veriler

Türkiye, Dünya Sağlık Örgütü'nün de (WHO) dikkatini çeken bir şekilde bu pandemi dönemini geçirmektedir. Birçok ülke turizm için Türkiye'yi güvenli ülke olarak düşünmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri Türkiye'de yapılan özverili çalışmalarıdır. Bu çalışmaların yapılmasında öncelikli olarak Türk doktorlarının özverisi daha sonra medikal malzemelerin üretimi noktasında yapılmış çalışmalar ile birçok dünya ülkesine bu pandemi sürecinde çeşitli yardımlarda da bulunulmuştur. Şekil-4'te görüldüğü gibi görülen vaka eğrisinin burnu aşağı doğru ivme almış ve duraklama aşamasına gelmiştir. Bunun yanında iyileşen hasta sayısı ile birlikte aktif vaka sayısı 30 bin civarlarındadır. Ölüm oranının diğer ülkelere nazaran çok düşük olmasının en temel sebebi Türk doktorları ve sağlık çalışanlarının göstermiş olduğu özveriyle direkt olarak bağlantılıdır. Pandemi döneminde uygulanan sağlık politikasının da etkisi büyüktür. Dünya ülkelerinde genel olarak yapılan uygulama, yoğun bakıma alınan hastalara ilaç tedavisi başlanmaktadır. Ancak Türkiye'de alınan kararla durumu ciddiye gittiği düşünülen hastalara direkt olarak ilaç tedavisi başlanmaktadır. Bu da ölüm oranının çok düşük olmasının en temel sebeplerinden birisidir. Günlük vaka sayıları Şekil-5'te verildiği üzere çok düşük seviyelere gelmişken son günlerde yukarıya doğru bir artış trendi görülmektedir.

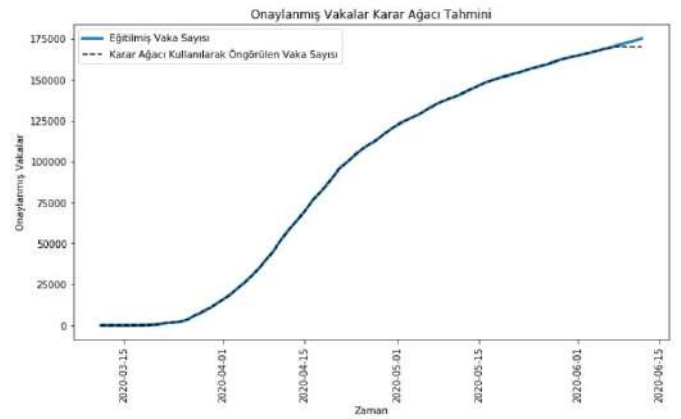
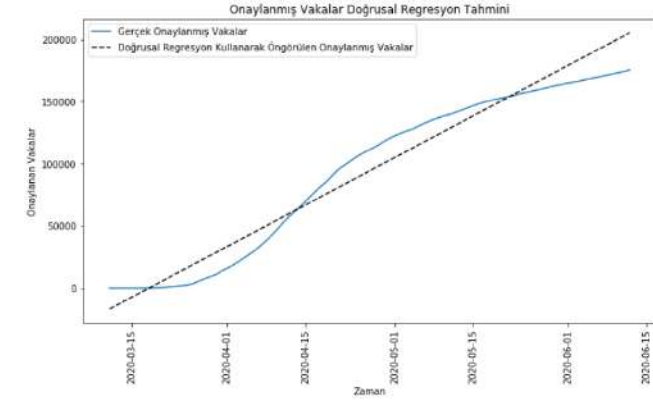


Şekil-4 (Türkiye'deki toplam vaka, iyileşme oranı, ölüm oranları)



Şekil-5 (Türkiye'de görülen günlük vaka, iyileşen, ölüm sayıları)

3.3. Veriler ile Gelecekteki Durumunun Tahmin Edilmesi



Şekil-6 (Türkiye’deki vakaların soldan sağa doğru sırasıyla Linear, Polinom, SVM, Rastgele Orman, Karar Ağacı eğrileriyle belirlenmesi)

Kullanılan çeşitli algoritma karşılaştırmaları sonucunda, gerçek rakamlarla oluşturulmuş eğri grafiği ile tahmin edilmiş eğri grafiği göz önünde bulundurulduğunda en çok örtüşme görülen eğri tahmin için kullanılabilir. Bu bilgi ışığında kullanabileceğimiz üç adet grafik mevcuttur. Şekil-6’da verildiği üzere Polinom Regresyon, Rastgele Orman ve Karar Ağacı eğrileri bu veri seti için en iyi tahmin yapabilen eğriler olduğu görülmektedir. Küçük farklılar gösterse de en çok örtüşen algoritma, Karar Ağacı algoritmasıdır. Karar Ağacı regresyon eğrisine göre 178 bin olan toplam vaka sayısı gün geçtikçe azalarak yaklaşık 2 aylık bir dilimde 254 bin civarına gelerek hızla biteceği çıkarımını yapabilmekteyiz. Dünyadaki artış trendinin aksine belli başlı birkaç ülke dışında artık vaka sayıları duraklamaya girmiş olup, aynı şekilde Türkiye’de de duraklamaya girmiştir. Bu çalışmada kullanılan eğri uydurma yöntemleri ile geleceğe dair bir çıkarım yapılabilmekte olup, bu çıkarımların şu anki günümüz perspektifine göre objektif bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar eğer günümüz tedbirleri devam ettiği takdirde gerçekleşecek sonuçlardır. Eğer ki ilerleyen günlerde tedbirleri kararları değişirse ve insanlar bu tedbirlerin aksine hareket ederse bu sonuçlardan çok daha fazla şekilde etkilenebilir durumu söz konusudur.

4. Sonuç

Koronavirüs dünyayı hızla saran ve bulaşıcılığı çok yüksek bir virüs türüdür. Bu bulaşıcılığı solunum yolundan bulaşabildiği için çok hızlı yayılım göstermektedir. Aynı zamanda hayvanlardan da geçebildiği için çok geniş bir konak yelpazesi vardır. Ancak gerekli tedbirle alınırsa ve bu tedbirler sabırlı bir şekilde uygulanabilirse bu bulaşıcılığı azalmaktadır. Bulaştığı canlılarda çeşitli kronik hastalığı olanlar daha fazla olmak üzere kalıcı hasarlar bırakmaktadır. Bunun yanında bu virüs geniş yayılma ağı sayesinde çok fazla canlıya ve insana erişimi mümkündür. Mümkün mertebe bu virüsten korunma yoluna başvuran ülkeler genellikle daha az can kaybıyla veya daha az kronik hastayla pandemi dönemini atatabilecektir. Türkiye’nin bu konudaki durumu çok açık bir şekilde göstermektedir ki gerekli önlemler ve sağlık protokolleriyle başarıya ulaşabileceği yadsınamaz bir gerçektir.

Bu çalışmada makine öğrenmesi kullanılarak ve bunu destekleyecek yaygın algoritmalar kullanılarak, geleceğe dair bir çıkarımda bulunulmuştur. Bu çıkarımlar günümüz perspektifi ve

gelecekteki şartların tahayyülü ile daha doğru bir çıkarımda bulunulmuştur. Günümüz şartlarındaki tedbirlerin devamı ile daha hızlı bir iyileşme aşamasına dönülebilir. Kullanılan algoritmalar kendi içlerinde optimize edilerek, diğer algoritmalarla kıyası yapılmıştır. Bu eniyileme işlemleri sonucunda ve geçmişteki veriler ışığında en uygun sonuçlara götürecek biçimde eğriler oluşturulmuştur. En uygun gelen algoritmayla yetinmeyip, diğer algoritmaları da bu problemin çözümüne uygun bir eğri çıkarabilmek için hepsini eniyileyerek kullanılmıştır. Daha sonra bu kıyasların arasında bir seçim yaparken de en iyi sonuca varabilmek için hep diğer algoritmalarla karşılaştırma yapılmıştır.

Kaynakça

- Wang, Chunyan, Wentao Li, Dubravka Drabek, Nisreen M.A. Okba, Rien van Haperen, Albert D.M.E. Osterhaus, Frank J.M. van Kuppeveld, Bart L. Haagmans, Frank Grosveld, and Berend-Jan Bosch, "A human monoclonal 1 antibody blocking SARS-CoV-2 infection," bioRxiv, 2020.
- Gormsen, N. J., & Koijen, R. S. (2020). Coronavirus: Impact on stock prices and growth expectations. *University of Chicago, Becker Friedman Institute for Economics Working Paper*, (2020-22).
- Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: a probabilistic perspective*. MIT press.
- Burbidge, R., Trotter, M., Buxton, B., & Holden, S. (2001). Drug design by machine learning: support vector machines for pharmaceutical data analysis. *Computers & chemistry*, 26(1), 5-14.
- Song, K. B., Baek, Y. S., Hong, D. H., & Jang, G. (2005). Short-term load forecasting for the holidays using fuzzy linear regression method. *IEEE transactions on power systems*, 20(1), 96-101.
- Fuller, W.A. 1969. Grafted polynomials as approximating functions. *Aust J Agric Econ* 13:35-46.
- Gallant, A. R. 1974. The theory of nonlinear regression as it relates to segmented polynomial regressions with estimated join points. *Institute of Statistics Mimeograph Series No. 925*, 25 p. Raleigh, N.C.
- Jain, M., Narayan, S., Balaji, P., Bhowmick, A., & Muthu, R. K. (2020). Speech emotion recognition using support vector machine. *arXiv preprint arXiv:2002.07590*.
- Qawqzeh, Y. K., Otoom, M. M., Al-Fayez, F., Almarashdeh, I., Alsmadi, M., & Jaradat, G. (2019). A Proposed Decision Tree Classifier for Atherosclerosis Prediction and Classification. *IJCSNS*, 19(12), 197.
- Breiman, L. (1999). Random forests. *UC Berkeley TR567*.
- Quinlan, J. R. (2014). *C4. 5: programs for machine learning*. Elsevier.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., & Olshen, R. A. (1984). *Classification and regression trees*. CRC press.
- Yağanoğlu, M., & Köse, C. (2017). Wearable vibration based computer interaction and communication system for deaf. *Applied Sciences*, 7(12), 1296.



Alışveriş Merkezlerinde Ortak Kullanımlı Yemek Alanlarının Tasarım Kriterleri

Gülşah Karyağdı^{1*}

^{1*} Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık (TR) Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5377-1074), gulsahkaryagdi@beykent.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.765304)

ATIF/REFERENCE: Karyağdı, G. (2020). Alışveriş Merkezlerinde Ortak Kullanımlı Yemek Alanlarının Tasarım Kriterleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 254-259.

Öz

Alışveriş, insanlar arasında iletişimi sağlayan en eski sosyal eylemlerden biri olmakla beraber, tarih boyunca içinde bulunduğu coğrafyaya göre farklılıklar göstermiştir. Toplumların kültürel yapısı, yaşam koşulları, yönetim şekilleri alışveriş mekânlarının oluşumunu ve birbirleriyle olan ilişkilerini etkilemiştir. Avrupa şehirlerinin büyük çoğunluğunda 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra dünya savaşlarının ardından strüktürel ve kültürel yeni bir yapılanma başlamıştır. Yaşam standartlarının yükselmeye başlaması, motorlu araçların yaygınlaşması, kadınların iş hayatında daha aktif yer almaya başlaması, rekabetin artması, bireysel girişimciliğin önem kazanması bu yapılanmaların itici güçleri olmaya başlamıştır. Aynı zamanda moda gibi kavramların önem kazanması, bireysel kimlik toplu iletişim araçları ile farklı bir etkileşim içersine girerek bireysel kimliğin tüketim ürünleri ile tariflenmesi öne çıkmıştır. Bu dönüşüm birçok bilimsel çalışmaları, araştırmaları ve deneyleri beraberinde getirmektedir. Şehirlerin ekonomik gelişiminde ve tüketim imkânlarının kolaylaşmasında önemli bir yere sahip olan ve önemli ekonomik yatırımlar gerektiren alışveriş merkezleri kentsel strüktürü, alt ve üst yapıyı etkileyen yapılar olmaktadır. Alışveriş merkezleri toplumsal hayatta farklı bir sosyalleşme ortamı yaratmaktadır. Günümüz teknolojisi ile bu yapıların iç mekânlarını entegre etmek ve kullanıcılara yeni deneyimler kazandırmak ve farklılık oluşturmak gerekmektedir. Çalışma kapsamında tarihsel süreç içinde alışveriş eylemindeki değişim ve gelişimlerin alışveriş mekânları üzerindeki etkisi genel olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, alışveriş merkezlerinde ortak kullanımlı yemek alanları tasarım ve düzenlemelerinin tüketici üzerindeki etkisini iç mimari açıdan tasarım kriterlerine yönelik vitrin/cephe, logo, aydınlatma tasarımı, malzeme seçimi, mobilya tasarımı/kullanımı başlıkları altında incelemektir. Araştırma kapsamında bilgi toplama, nitel analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu bağlamda ortak yemek alan düzenlemelerinin tüketici eğilimlerini nasıl etkilediğini incelemekle beraber insan eğilimlerinin malzeme, tasarım ve düzenleme ile nasıl bütünleştiğine dikkat çekmek hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alışveriş Merkezleri, Tasarım, Mobilya Tasarımı, AVM Yemek Alanı, İç Mekân.

Design Criterias Of Food Court In Malls

Abstract

Although shopping is one of the oldest social action that provide communication between people, it has varied according to the geography it is in throughout history. The cultural structure of the societies, living conditions and forms of management have influenced the formation of the shopping places and their relations with each other. 20th century With the second half, a structural and cultural restructuring started in European cities after the world wars. The driving forces of these organizations have started to increase in living standards, the widespread of motor vehicles, the more active women take part in business life, the increase in competition, and the individual entrepreneurship gain importance. At the same time, concepts such as fashion gained importance and the definition of individual identity with consumer products under the influence of mass media became prominent. This transformation brings with it many scientific studies, researches and experiments. Shopping centers are structures that affect the urban structure, infrastructure and superstructure that require large economic investments. It creates a different socialization environment in social life. With today's technology, it is necessary to integrate the interiors of these structures and to provide new experiences and awareness to users. Within the scope of the study, the effects of changes and developments in the shopping action on the shopping places in the historical process have been generally examined. The aim of this study is to examine the effects of the design and arrangements of common use dining areas in the shopping malls on the consumer under the headings of showcase / facade, logo, lighting design, material selection, furniture design / use for design criteria. In the research, information gathering and qualitative analysis method were used. In this context, while examining how common dining arrangements affect consumer trends, it is aimed to draw attention to how human trends integrate with material, design and regulation.

Keywords: Shopping Centers, Design, Furniture Design, Food Court, Interior Space.

* Gülşah Karyağdı, Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık (TR) Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5377-1074) gulsahkaryagdi@beykent.edu.tr

1. Giriş

Alışveriş, insanlar arasında iletişimi sağlayan en eski sosyal eylemlerden biri olmakla beraber tarih boyunca içinde bulunduğu coğrafyaya göre farklılıklar göstermiştir. Toplumların; kültürel yapısı, yaşam koşulları, yönetim şekilleri alışveriş mekânlarının oluşumunu ve birbirleriyle olan ilişkilerini etkilemiştir.

20. yy. dünyayı etkileyen savaşların yaşandığı bir çağ olmuş; Avrupa şehirlerinin birçoğunda dünya savaşları ve özellikle 20.yy. ikinci yarısından sonra strüktürel ve kültürel yeni bir yapılanma başlamıştır. Kentlerin savaş sonrasında yeniden inşası sırasında kent merkezleri, farklı alt merkezlerin bir araya geldiği birimlere dönüşmeye başlamıştır. Bu dönüşüm beraberinde bazı sorunları da getirmiştir. Özellikle şehirlerde yaşayan insanlar; sosyal, kültürel ve ticari aktivitelere erişimde sıkıntılar çekmeye başlamıştır. Bu nedenden dolayı XIX. yy. sonu ve XX. yy.'ın başlarında görülmeye başlanan alışveriş merkezleri, şehir merkezi yerine banliyölerde konumlandırılmıştır (Durukan, 2018). Alışveriş Merkezi tasarımcılarının öncülerinden olan Viktor Gruen 'alışveriş merkezlerinin bu gündelik hayatın getirdiği yüklerden bunalan insanlar için kaçış noktası olabildiğini' belirtmiştir (Gruen, 1960). Alışveriş Merkezleri bu bakış açısıyla yapılandırılmaya başlanarak, insanların sadece alışveriş yapmaktan ziyade biraraya gelmek için kullandıkları mekânlar haline gelmişlerdir.

Alışveriş mekânları, kâr etme amacı ile kurulan ticari işletmeler olarak insan hayatında önemli bir yere sahiptir. Satış ve satıştan elde edilen kâr oranları, ticari işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri için önemlidir. Bu yüzden satış ve kârlılığın sağlanabilmesi için, alışveriş ve günlük ihtiyaçları karşılayan, eğlence, iletişim ve etkileşimi bir araya getiren mekânlar tasarlanmaya başlanmıştır. Alışveriş eylemindeki değişiklikler yine alışveriş mekânlarındaki yapılanmayı etkilemiştir.

Günümüzde kolaylıkla bulunabilen, ulaşılabilen ürünler artık satış yapma zorunluluğunun ötesine geçerek, rekabetin arttığı ortamlarda alışveriş mekânlarını farklılaşmaya zorlamaktadır. Alışveriş mekânları tasarımında, mekânlara kimlik ve özgünlük ekleyecek disiplinler arası yaklaşım ve etkileşimlerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Küresel perakende ve eğlence alanı, makro demografik eğilimler tarafından yönlendirilen kalıcı ve yapısal değişimlerden geçmektedir. Bu eğilim ve beklentilerin birleşimi, tüketici harcama modelleri ve alan tahsisi üzerinde, hem perakende hem de gıda hizmetleri sektörlerini küresel çapta etkilemektedir. Yapılan araştırmalar, yemek tüketimine harcanan tutarların diğer tüketim ihtiyaçlarına harcanandan daha fazla olduğunu göstermektedir. Stratejik olarak, alışveriş mekânları içinde yeme-içme alanlarının konumlandırılması, bu mekânların daha çok rağbet görmesini sağlamaktadır (Pekpostalcı, 2015b). Bu gerçeklik ise yeme-içme sektörünün hızla gelişmesini ana faktör olarak karşımıza çıkarmaktadır. Doğru bir uygulama yöntemi izlendiğinde, yeme-içme hizmetleri, dürtüyü, alışveriş mekânında kalış süresini, harcamaları ve genel satışı arttıran bir nitelik kazandırmaktadır.

Alışveriş merkezleri ortak yemek alanlarının tasarımında; insanı anlayan, ona hitap eden ve insan deneyimlerini temel alan doğru uygulamaların kullanımı müşteri bağlılığını sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı günümüz teknolojisi, değişen insan ihtiyaç ve eğilimlerine göre tasarlanmış ortak

yemek alanlarının tasarım ve düzenlemelerini incelemektir. Tüketici eğilimlerinin malzeme, tasarım ve düzenleme ile nasıl bütünleştiğine dikkat çekmek hedeflenmektedir. Araştırma kapsamında bilgi toplama, nitel analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu bağlamda çalışmada; tarihi perspektif içinde alışveriş kavramı ve alışveriş mekânlarının gelişimi, tüketici etkileşiminde öne çıkan faktörler ve alışveriş merkezlerinin ortak kullanımlı yemek alanlarının tasarım kriterleri incelenmiştir.

Bahsi geçen kriterlere göre tasarlanmış ortak yemek alanlarının müşteri memnuniyeti, müşteri bağlılığı ve kârlılık oranları konusunda alışveriş merkezlerinin genel kârlılık oranlarına katkı sağladığı görülmüştür.

2. Alışveriş Merkezlerinin Tarihsel Gelişimine Genek Bakış

İnsanların birbirleri ile karşılıklı yarar sağlayıcı ilişkilere girme eylemi olan alışveriş, ürün veya hizmetin elde edilmesidir. Tarihsel süreç içinde alışveriş eylemindeki gelişim ve değişimler, temel ihtiyaçların giderilmesinin dışına çıkarak, müşteri memnuniyeti ve statü kaygısının giderilmesini sağlamaya yönelik, gelen müşteriye tek merkezde hizmet vermek amacıyla özel olarak tasarlanmış alan ve yapıları etkileyerek eylemin yapıldığı mekânları geliştirmiştir. Doğan yeni ihtiyaçları karşılamak amacı ile düzenli, organize mekân ve yapıları ihtiyaç duyulmuştur.

MÖ 3000 yıllarından günümüze, insanların ihtiyaçlarını gidermek için gittikleri, ekonomik faaliyetlerin yürütüldüğü alışveriş mekânlarının ilk örneklerinden olan çarşı ve pazar yerleri zamanla agora, arasta, bedesten ve kapalı çarşılarla dönüşmeye başlayıp günümüz büyük alışveriş merkezlerine kadar gelmiştir.

Endüstri Devrimi, 19. yüzyıldan sonra Avrupa'da kentleşme olgusunu güçlendirerek şehir merkezlerinde ticari ve iş hayatına ait merkezlerin ve alışveriş alanlarının artmasına neden olmuştur. Teknolojideki gelişmelerin etkisi ile kentin merkezinde daha büyük ve çok katlı ticaret, iş ve alışveriş mekânlarının yapılmasına başlanmıştır. Günlük perakende ve toptan alışverişin yapıldığı ilk büyük pazar yeri ve "Hall" için, Paris'te 1834 yılında inşa edilen Madeleine Market Hall, 1835 yılında Londra'da inşa edilen Hungerford Fish Market ve 1826 yılında yapılan Boston'da Faneuil Hall Pazar yeri örnek olarak göstermek mümkündür (Tokol, 1996).

Değişik türde ürünlerin, değişik gelir düzeyindeki müşteriye hizmet verecek şekilde pazarlandığı pazar ve hallerin gösterdiği değişim ve gelişim, büyük mağazaların oluşmasına etki etmişlerdir. Paris'te 1850'li yıllarda açılan Bon Marche (URL-1) adlı mağaza büyük mağaza alışveriş merkezi kavramına yaklaşan bir örnek oluşturmaktadır (Pekpostalcı, 2015a). Bu yüzyılda başarıya ulaşan büyük mağazalar Avrupa ve Amerika'da alışveriş merkezleri yapılmasına etki etmişlerdir.

Amerika'da 1916 yılında yapılan Market Square, planlı alışveriş merkezlerinin ilk örneği olarak gösterilmektedir. 1950'li yıllardaki bölgesel alışveriş merkezleri, alışveriş merkezlerinin aslını oluşturmaktadır. 50'li ve 60'lı yıllar açık planlı olan bu merkezlerin terk edilmesi kapalı ve içe dönük tasarımların gelişmesine neden olmuştur. 20. yüzyıldaki gelişmeler alışveriş merkezlerinin tasarımını, müşteri kitlesini ve alışveriş kavramını etkilemiş ve beraberinde bu yapıları iyileştirmeler getirmiştir (Pekpostalcı, 2015a).

3. Alışveriş Merkezleri Tüketici Etkileşiminde Öne Çıkan Faktörler

Tüketim, genel anlamda tüketicilerin ihtiyaç ve memnuniyeti sağlamak için mal ve hizmetlerin kullanılması olarak tanımlanmaktadır (Cochrane, Bell, 1956). Üreticiler daha önceki süreçlerde tüketicileri kontrol altında tutmakta iken, günümüzde değişen tüketici profili ve kültürü ile tüketiciler, üretimi kontrol altına almaya başlamışlardır. Tüketiciler ihtiyaçlarının sınırlarını belirlemede, çeşitlendirmekte ve kişiselleştirmektedirler (Pekpostalcı, 2015a). Kültürel etkenler bireylerin temel istek ve ihtiyaçlarının nedeni veya temel belirleyicisi olup; insanların oluşturduğu değerler sistemi içerisindeki örf, adet, gelenek, görenekler, ahlaki değerler, tutum, sanat, inançlar bir toplumda ortak payda sembolleri olmakla birlikte yiyecek, içecek, binalar, mobilyalar ve araç-gereçler gibi somut kavramlar ile eğitim, adalet, kanun, refah gibi soyut kavramları da kapsamaktadır. Bu faktörlerin tümü bireylerin harcama kararları üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir (Satici, 2000).

3.1. Sosyolojik Faktörler

Tüketici davranışları kültürel faktörlerin dışında aile, rol, statü gibi farklı sosyal ve çevresel faktörlerden de etkilenmektedir (Satici, 2000). Kolay ulaşılabilen, otoparkı olan, müşteri konforu göz önüne alınarak iklimlendirilmiş günümüz alışveriş merkezleri, perakende alışveriş, yeme-içme, eğlence olanaklarıyla çekim merkezleri haline gelmiştir.

Alışveriş merkezi konseptleri farklı tüketici gruplarına uygun, toplumsal faktörler göz önünde bulundurularak oluşturulmaktadır. Günümüz sistemleri, tüketicilerin neyi ne kadar harcamayacaklarına karar vermelerini manipüle etmekle bunu bir sosyal görev haline getirmektedir. Ekonomik yönden güçlü ülkelerde, tüketim sürekli artış halindedir ve bütün ülkelerde de sürekli teşvik halinde yükseltilmektedir. Kapitalist ekonomik sistem, yönetilebilir tüketici toplum ile beslenir. Sistem görevini yapıp tüketim toplumu oluştururken, tüketici eğilimlerinde değişimler gerçekleşmektedir. Tüketici eğiliminde oluşan değişimler, benmerkezci, makro düşünen ve ayrıntıya önem vermeyen klasik pazarlama anlayışını sona erdirmiş; tüketici odaklı, mikro düşünen ve ayrıntılara önem veren, tüketicilerin istek ve ihtiyaçlarından yola çıkarak başarılı olmaya çalışan modern pazarlama anlayışı önem kazanmıştır (Pekpostalcı, 2015a).

3.2. Psikolojik Faktörler

Genel anlamıyla "ruh bilimi" olarak tanımlanan psikoloji, bir kişiyi veya grubu etkileyen ve tanımlayan, duygu ve düşünce biçimlerin bütünü (Göka, 2001) olarak tarif edilmektedir. Bu tarif referans alınarak, mekân psikolojisini kişiyi ve grubu etkileyen duygu ve düşünme biçimlerine mekânın yapmış olduğu etki olarak tanımlamak doğru olacaktır (Göka, 2001). Yeni bir mekâna ait algının oluşmasında psikolojik olarak iki süreçten bahsetmek mümkündür. Bunlardan ilki duyumsal süreçtir. Duyumsal süreçte kişi ilk kez gördüğü mekâna ait deneyimlerini kazanır ve mekânsal algının ilk bölümü oluşur. İkinci aşamada ise zihinsel bir süreç devreye girerek zihinde kalan imgelerle mekânı tekrar tekrar yaşatabilmektedir (Özen, 2006). Alışveriş mekânı ile birey arasında bir duygusal birliktelik oluşturabilmek için mutluluğu, huzuru ve güveni temsil eden sembolik öğelerin tasarımıyla bütünsel olarak mekân içinde vurgulanması gerekmektedir. Alışveriş mekânlarının

mimarisi de bu anlamda psikolojik olarak ele alınmalı ve tasarlanmalıdır (Pekpostalcı, 2015a).

3.3. Ekonomik Faktörler

Tüketim, ilk olarak satın alınan nesnelerin dayanıklılığına göre sınıflandırılmakla beraber dayanıklı tüketim malları, dayanıklı olmayan tüketim malları ve hizmetler olarak diğer başlıklar altında da incelenir. Gıda, giyim, konut, ısıtma ve enerji, sağlık, ulaşım, ev aletleri ve mobilya, iletişim ve teknoloji, eğitim, eğlence olarak, tüketimi karşılayacak ihtiyaçlara göre de sınıflandırılır. Küçük, orta ve büyük ölçekli tüketim sınıfı olmak üzere üç ana tüketim sınıfı bulunur. Küçük ölçekli tüketim sınıfının harcamalarının büyük bir kısmını yiyecekler oluştururken, orta ölçekli tüketim sınıfının harcamalarının büyük kısmı teknolojik ürünler ve yiyecekler oluşturur. Büyük ölçekli tüketim sınıfının harcamaları ise genellikle teknolojik ürünlerden oluşur (Ayıtis, 2008). Tüketicinin harcama kararı, onun kişisel özelliklerinden, yaşı ve yaş döneminden, mesleğinden, ekonomik durumundan ve yaşam tarzından etkilenir. Tüketim günümüzde daha çok, kendini ifade etme ve kimlik oluşturma olarak bireyleri etkilemeye başlamıştır. Tüketim sınıflarında ilerlemek, tüketicinin sosyo/toplumsal yönü beslenerek daha prestijli bir standarda ulaşmak belirli bir sosyal statüyü kazanmak anlamına gelir.

3.4. Teknolojik Faktörler

Bilim ve teknolojiye kendisine sağladığı faydalardan dolayı önem veren tüketici profili, eğilim olarak yalnız elektronik ve mekanik ürünlere değil, bilim ve teknolojiyi her anlamda kullanan tüm mal ve hizmet üreticilerine/markalara rağbet etmektedir. Teknolojik bağımlılığın neden olduğu ve insanların giderek daha çok ihtiyaç duyduğu toplumsal iletişim ve sosyalleşme arzusu, duyuşsal ve duygusal yaklaşımları beraberinde getirmektedir. Tasarımda kullanılan malzemelerin, üretim teknolojilerindeki gelişimi sonucu artan kalite ve çeşitlilik, kent merkezlerinde var olan geleneksel çarşı görünümlerine sahip mekânları, kapalı mekânlar içinde yaşatarak tüketicilerin hizmetine sunmaktadır. Bilim ve teknolojiyi kullanan firmalar başarı grafiklerindeki artışın devamlılığını sağlamaya yönelik teknolojik gelişmeleri yakından takip etmektedirler. Günümüzde yüz tanıma teknolojisi, akıllı aynalar, yapay zekâ kullanımı, artırılmış gerçeklik, robotik mağaza görevlileri ve sesli asistanların kullanımı gibi teknolojik gelişmeler, gündelik yaşamımızda daha çok söz konusu olmaya başlamıştır (Kaplanseren, 2020).

3.5. Değişen Tüketici İhtiyaçları

İnsan, içinde yaşadığı toplumun normları ve kurallarına göre yaşamını sürdüren sosyal bir varlıktır. Bir insan doğduğu andan itibaren içinde bulunduğu aile, arkadaş çevresi ve toplumdan gördüğü ve öğrendiği bilgiler doğrultusunda kodlanarak, kendine tanımlanan rollere bürünerek görevlerini yerine getirmek suretiyle hayatını şekillendirmektedir. Günümüz toplumu geçmişe kıyasla üretim toplumundan tüketim toplumu haline gelmiştir. Bocock'a göre insanların kim olduğu ve/veya kim olmak istedikleri ile ilgili duyarlılıklarını korumayı sağlayan yöntemleri tüketim etkilemektedir.

Günümüz alışveriş merkezleri, değişen tüketici ihtiyaçlarına cevap verebilmek için müşterilerine sinema, oyun alanları, eğlence alanları, dinlenme alanları, restoranlar gibi müşterilerin sosyal, kültürel, sportif etkinliklerine hitap eden birimleri bünyelerine katarak, geleneksel alışveriş kavramının ötesine

geçmiştir. Tüketici beklentilerinin perakende sektörünün gelişimine paralel olarak sürekli değişmesi, yeni ürünler ve farklı hizmetlerin talep edilmesine neden olmakta ve tüketicilerin beklentilerinin karşılandığı yerleri tercih etmesine sebep olmaktadır (Pekpostalcı, 2015a).

4. Alışveriş Merkezlerinde Ortak Kullanımlı Yemek Alanlarının Tasarım Kriterleri

Alışveriş mekânları, kâr etme amacı ile kurulan ticari işletmeler olarak insan hayatında önemli bir yere sahiptir. Satış ve kârlılığın sağlanabilmesi için, alışveriş ve günlük ihtiyaçları karşılayan, eğlence, iletişim ve etkileşimi bir araya getiren mekânlar tasarlanmaya başlanmıştır. Son yıllarda insanların dışarıda daha fazla yemek yemesi beraberinde yeme-içme sektörünün hızla gelişmesini sağlamış ve çeşitlilikler getirmiştir. Hızla gelişen yeme-içme sektörüne yönelik doğru uygulamalar, kullanıcı ihtiyaç ve taleplerinin karşılanması AVMler’de kalış süresinin, harcamaların ve genel satışın artmasını sağlayacaktır.

Alışveriş merkezleri ortak kullanımlı yemek alanlarının tasarımında, insanı anlayan, ona hitap eden ve insan deneyimlerini temel alan doğru uygulamalar, müşteri bağlılığı sağlar. Genellikle fast-food sağlayan birimlerden oluşan ortak kullanımlı yemek alanları, genç-yaşlı olmak üzere geniş bir müşteri kitlesinin ihtiyaçlarını karşılayabilmelidir (Coleman 2006). Bu nedenle, yiyecek-içecek satışı yapan birimlerin marka karmaları belirlenirken, yaşam tarzlarının farklı olduğu bireyler de göz önünde bulundurulmalı ve çeşitlilik sağlanmasına önem verilmelidir. İyi tasarlanmış ortak kullanımlı yemek alanları, marka karmasına ek olarak dükkân büyüklükleri, yerleri ve sayısını da içerir. Alışveriş merkezi ortak kullanımlı yemek bölümünde bulunan yemek satış birimlerinin hem hitap ettiği kesimle hem de diğer markalarla uyum içinde olması önemlidir (Coleman 2006).

Yemek bölümlerinin alışveriş merkezi içindeki konumları önemlidir. Kolaylıkla görülebilen, tanımlı ve her alanı kullanılmış, ana dolaşım alanları ile bağlantılı konumlandırılmalıdır. Yemek alanları, alışveriş merkezleri için birer çekim noktası oldukları için mümkün olduğunca birçok mağazanın yemek bölümlerinden algılanmasını sağlayacak çözümler göz önünde bulundurulmalıdır. Ortak kullanımlı yemek alanları, ortak bir oturma bölümü ve çevresinde yan yana, karşılıklı ya da tasarlanmış bir bölüm içinde dizilmiş olan açık cepheli yemek dükkânlarından oluşur. Bu dükkânlardan yararlanmak için sıraya giren, aradığını bulmak için gözlem yapan kişiler için yürüme, oturma ve sirkülasyon alanlarının belirlenmesi gerekmektedir (Coleman 2006).

Genel dolaşım alanlarında insanların aradıklarını kolayca bulabilmelerini sağlayacak yönlendirme, bilgilendirme tabelalarına yer verilmelidir. Alışveriş merkezi içerisinde kullanılan her türlü tabela ve görsel bina girişinden en üst kata kadar binanın mimarisi ile uyum içerisinde olmalı ve uygun bir şekilde tasarlanmalıdır. Standart özelliklere sahip olan ve evrensel kullanımı olan yön tabelalarında (acil çıkış, yangın, toplanma noktası, wc, kat planları, vb.) dil birliğine uygun tasarıma önem verilmelidir (Beddington 1991).

Alışveriş merkezleri ortak kullanımlı yemek alanları tasarımında malzeme seçimi, renk kullanımı ve oturma alanlarının kurgusu, müşteri konforunu arttırmaya yönelik

çözümlemelidir. Alışveriş merkezinde yer alan yemek bölümleri belli bir temaya sahip olmalı bunun da müşteri ilgi ve talebini artırıcı etkisine dikkat edilmelidir (ULI, 1999). Alışveriş merkezlerinde ortak kullanımlı yemek alanlarının tasarımında vitrin/cephel, logo ve aydınlatma tasarımı, malzeme seçimi, mobilya tasarımı/kullanımı gibi tasarım kriterleri yer almaktadır.

4.1. Vitrin/Cephe Tasarımı

Yemek satış birimlerinin vitrin tasarımı, dükkân içinin daha iyi algılanmasını sağlayacak açıklık seviyesine sahip olmalıdır. Mağazaların dış cephesi müşterinin mağazaya ilişkin olumlu-olumsuz düşüncelerinin ilk, hatta bazen tek ipucu olabilmektedir (Arslan, 2004). Tek akslı dükkânlarda cephenin vitrin bölümleri mekân içinin tamamını görsel olarak dışarıdan algılanacak şekilde tasarlanmalıdır. Tamamen kapalı/duvar örülü vitrinler görüş açısını kısıtlamaktadır. Yemek satış birimlerinin cephesine yerleştirilecek teşhir ürünleri ve tasarım bu doğrultuda oluşturulmalıdır. Vitrin cephesinde bulunan logo alanı, giriş, tezgâh ve diğer alanların kesintisiz bir tasarımı olmalıdır. Çerçevesiz/çerçevesiz cam sistem uygulamaları içinde tam yüksekliğin kullanıldığı modern tasarımların kullanılması önerilmektedir. Vitrin bazaları ortak alan süpürgelikleri hizasında bitirilmelidir.

4.2. Logo Tasarımı

Logolar ve marka isimleri algılanabilir şekilde marka kimliğine uygun olarak tasarlanmalı ve dükkânların cephe vitrin yüksekliği ve isimlik alanı tanımlanan alanlara, tanımlanan şekilde yerleştirilmelidir. Tüm logo alanını kaplayan, ışık kutusu tipinde logolar yerine logo aydınlatması led armatürler ile minimum 1000 lux aydınlatma yapılmalı ve AVM’nin açık olduğu saatlerde logo ışığı sürekli açık kalacak şekilde planlama yapılmalıdır. Logo yüksekliği tüm cephe tasarımı bütünlüğü ve cephenin görünürlüğü ile uyumlu olmalıdır. Bayi ismi, mağaza logosu ile aynı ölçülerde olmalı, daha belirgin olmamalıdır.

4.3. Aydınlatma Tasarımı

Ortak kullanımlı yemek alanlarında satış yapan kafe, kiosk ve restoranların aydınlatması ticari olarak satış alanının çekim gücünü artıran ve güçlendiren bir tasarım kriteri olarak görülmektedir. Müşterinin dikkatini çekme ve satış alanına yönlendirme açısından vitrin tasarımı ve aydınlatması özel olarak ele alınmalıdır. Vitrin aydınlatma tasarımında, dolaşım alanındaki ziyaretçilerde göz kamaşma problemi oluşması engellenmelidir. Aydınlik düzeyleri ise 400 lux tezgâh, 800 lux yiyecek sergileme bölümleri içi, 200 lux oturma alanları/dimmer opsiyonlu, 1200 lux logo aydınlatması için önerilmektedir. Servis edilen yiyecekler ve menü alanı maksimum seviyede aydınlatılmalıdır. Logo ve vitrin aydınlatmaları AVM’nin açık kaldığı süre boyunca kullanımda olmalıdır. Tasarım aşamasında düşük enerji tüketimli armatür kullanımı teşvik edilmelidir.

4.4. Malzeme Seçimi

Sürdürülebilir ürün, malzeme, enerji ve tasarım başlıklarında çevresel etkinin azaltılması ve operasyon maliyetlerinin düşürülmesini sağlayacak fırsatları değerlendirmek temel amaçların başında gelmelidir. Tüm yüzeylerde kaliteli malzemeler kullanılmalıdır. Kiracılar tüm imalatlarını yönetmeliklere uygun olarak yürütmekle yükümlüdürler. Kiracıların imalatlarında kullanacakları malzemeler TSE (Türk Standartlarına Uygunluk Belgesi olan

malzemeler), sürdürülebilirlik, engelli erişimine ve sağlık koşullarına uygun olarak seçilmelidir.

Alışveriş merkezi ortak kullanımlı yemek alanlarının genelinde ve yemek satış birimlerinin içinde kullanılan döşemelerin uzun ömürlü, bakım ve temizliği kolay, tasarım konseptine uygun bir malzeme olmasına dikkat edilmelidir (ULI, 1999). Seçilen zemin malzemesinin uygun kayganlık sınıfında olması gerekmektedir. Dükkan zeminini ile AVM ortak dolaşım alanı zemininin birleşme noktası düzayak geçiş sağlayacak şekilde çözümlenmelidir. Kot farklılıkları ve profilli çözümler estetik açıdan uygun görülmemektedir. Geri çekilmeli giriş tasarımlarında dışarıda kalan zemin, ortak alan kaplamasına uygun/eşdeğer malzemeler ile yapılmalıdır.

Dükkanların duvarlarında kullanılan boya ya da duvar kâğıtları zemin, tavan renkleri ile uyumlu olmalı, kaygan olmayan, kir tutmayan, kiracı değişimlerinde yeni kiracının değişiklik yapmasını kolay hale getirecek niteliklerde olmalıdır (Beddington, 1991).

Servis tezgâhları dayanıklı malzemeden, girintisiz olarak tercih edilmelidir. Servis tezgâhı ortak alan sınırında yapılacak ise tüm cephe boyunca kesintisiz yerleştirilmeli, köşe dönüşlerinde tezgâh mümkün olduğunca geniş tutulmalıdır.

4.5. Mobilya Tasarımı/Kullanımı

Ortak kullanımlı yemek alanları, ortak bir oturma bölümü ve çevresinde yan yana, karşılıklı ya da tasarlanmış bir bölüm içinde dizilmiş olan sabit ve hareketli mobilyalar ile çevrelenmektedir. Amaç; oturma sayısı ve çeşitliliğini arttırırken müşteriler için de konfor sağlamakla beraber birbirine geçiş sağlayan, akışkan alanlar oluşturmaktır. Malzemeler doğal taş, yüksek basınçlı laminat (HPL), alüminyum, doğal ahşap, akrilik ve benzeri malzemelerden seçilerek kullanılır. Müşterilerin rahat ve sakin bir yemek yemesi için gerekli düzenlemelerin yapılması ve yemek yenildikten sonra ise müşterilerin kalkıp yerini hızlıca başkalarına devretmesine imkân sağlamak önemlidir.

Yerleşim planına göre mobilyalar, yemek bölümünün konsept ve tasarımına uygun olarak, sabit ve/veya hareketli olarak tasarlanır. Sabit bank oturma grupları; oturma yüzeyi minderli ya da mindersiz olarak mekân bölümlenmesine özel üçgen, daire, dikdörtgen veya kare formlarda çift yönlü serbest kullanımlı ya da L, I ve U formlarda tek yön kullanımlı olarak uygulanırlar. Oturma alanlarında, iki ya da dört sandalyeli oturma düzeni ile masa büyüklükleri ve sirkülasyon aralıkları belirlenir. Konseptte bağlı olarak gruplar için, beraber oturabilecekleri daha geniş ve uzun özel tasarım bar tipi masalar I, oval, yuvarlak ve üçgen tip olarak ya da mekâna özel formda tasarlanarak mekân kurgusuna yönelik kullanılırlar. Seçilen masa ve sandalye malzemeleri darbeye dayanıklı, yangın yönetmeliklerine uygun ve kolay temizlenebilen malzemelerden, sandalyeler ise gerektiğinde üst üste istiflenebilen özellikte tercih edilmelidir.

Ortak kullanımlı yemek alanlarında mekân bölünmeleri için kullanılan bölücü elemanlar; mekân, mobilya ve konseptte bağlı olarak kitaplık, bitki, süs ve bölücü eleman olarak tasarlanan sabit elemanlar olmanın yanı sıra aynı zamanda aydınlatma, tabela ve görseller içinde kullanılan ünitelerdir. Oturma alanlarının üzerinde ise görsel estetiği sağlamak için sabit elemanlara bağlanarak gölgelik etkisi veren düşey elemanlarla beraber de tasarlanarak kullanılırlar. Ana gövde yüksek basınçlı laminat (HPL), alüminyum, doğal ahşap, ferforje, akrilik ve benzeri malzemelerden seçilerek kullanılır.

Alışveriş merkezlerinde her kesime hitap edecek tasarımlar yapılmalıdır. Özellikle nüfusun %14'ünü oluşturan engelli bireyler için önlemler ve iyileştirmeler düşünülmelidir. Çünkü bu bireyler de bir tüketici olup, alışveriş merkezinden yararlanabilecektir. Engelli Tüketici Hakları Komitesi tarafından 2003 yılında yapılan bir araştırma engelli vatandaşların %75'inin ara sıra, %13'ünün hiç alışverişe çıkmadığını ve %12'sinin ise düzenli alışverişe çıktığını ortaya koymuştur. Alışverişe hiç çıkmayan engelli bireylerin büyük çoğunluğunun zihinsel ya da görme engeline sahip olduğu araştırma ile ortaya konulmuştur (Bulut ve diğerleri, 2003). Yemek alanlarında engelli bireyler için tekerlekli sandalye alanlarına ve şarj ünitelerine de yer verilmelidir.

Yiyecek-içecek satışı yapan kioskların birçoğunun ortak kullanımlı yemek alanları içinde yer almalarından dolayı yemek bölümleri içinde önemli bir yere sahiptir. Kiosklar etkili bir duruş sergilemeli ve bu amaçla yapılan çok özel tasarımların ürünü olmalıdır. Açık ve içinde dolaşılabilen kiosk tasarımları teşvik edilmelidir. Ürün teşhiri tasarımında; servis elemanları, eviye, çay makinesi vb. teknik ekipmanlar görsel estetiği bozmayacak şekilde çözümlenmelidir. Kiosk çevresindeki oturma elemanları ve onları çevreleyen paneller kiosk konseptinin parçası ve ortak tasarımın tamamlayıcısı olacak şekilde çözümlenmelidir.

5. Sonuç

Gelenek ve göreneklerin, toplumsal davranışların değişmesi ile yeniden şekillendiği son yıllarda, alışveriş kavramı da yeniden tanımlanmakta ve yeni bir tüketici kültürünün ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Yeni oluşan tüketici kültürü, farklılaşan mekân ihtiyaçlarını, ürün ya da marka aramaktan daha çok sosyalleşebilecekleri kafe ve restoranlar olarak belirlemeye başlamıştır. Yapısal olarak bir kabuk işlevi görmekten ziyade daha çok aktiviteler bütünü tasarlamak, sosyal hayatı içinde barındıran, dış mekânı mümkün mertebe iç mekâna yansıtarak iç ve dış kurguyu bütünsel bir yaklaşıma getirmek, sokak kültürünü, sokak algısını yaşanmışlıklarla ve deneyimlerle çeşitlendirmek gerekmektedir.

Ofis, konut ve eğlence gibi fonksiyonları içeren karma projeler dahilindeki dördüncü kuşak alışveriş merkezlerinde hizmet veren yeme-içme alanları güçlü bir çekim gücüne sahip olduğundan diğer mağazalara katkı sağlayarak ortak bir sinerji oluşturmaktadır. Ziyaretçilerin bu alanlarda daha uzun vakit geçirmesi ciroların yükselmesine katkıda bulunmaktadır.

Alışveriş merkezi etkinlik alanları, genç nüfusun popülasyon yüzdesinin yüksek olduğu ülkelerde teknolojik gelişmeler ile sosyal ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli değişmekte olup, yeme-içme mekânlarından bağımsız düşünülememektedir.

Yeni nesil alışveriş merkezlerinde değişen alışkanlık ve ihtiyaçlara kolayca uyum sağlayabilen, doğaya ve doğallığa öncelik veren, çevresi ile ilişkilendirilmiş, peysaj alanları ve bitkisel tasarımlarla kurgulanmış, kullanıcılara sokak dokusu ve deneyimini yaşatan iç-dış ayrımını aşarak akışkan hacimler sunan mekânlar oluşturmak gerekmektedir.

Alışveriş merkezi projelerinin farklı aktivite alanlarını kapsayan geniş ölçekli mekânlar bütününde, bu alanların doğru fiziksel ve altyapısal koordinasyonunun sağlanmasının yanı sıra enerji üretimi, kullanımı ve verimliliğine önem verilmesi, konsept bütünlüğünün, tutarlılığının korunması ve uzun vadeli işletme gereksinimlerinin gözetilmesi önem taşımaktadır. Doğru malzeme ve detay çözümlenmeleri ile mekânlar birbirleriyle ilişkilendirilmelidir.

Yapılan incelemelere göre; alışveriş merkezlerinin tasarımında ferahlık, uygun malzeme seçimi, renk kullanım ve mekân donanımı, müşterilerin konforunu arttırmaya yönelik mekân çözümlerinde önem taşımaktadır. Belli bir temaya sahip yemek bölümleri müşterilerin ilgisini daha fazla çekmekte ve alışveriş merkezinin daha çok talep görmesini sağlamaktadır.

Ortak kullanımlı yemek alanlarında çeşitli yiyecek ve içecek satan farklı markalarla çeşitliliği sağlayan kioskların yeterli sayıda bulunması yemek satış alanlarını hareketlendirmekte ve mekândaki boş alanların da verimli bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Kiosk çevresindeki oturma elemanları ve onları çevreleyen paneller kiosk konseptinin parçası ve ortak tasarımın tamamlayıcısı olacak şekilde çözümlenmelidir.

Ortak kullanımlı yemek alanlarında konsept bütünlüğü içinde; vitrin/cephce tasarımları, mağaza içinin daha iyi algılanmasını sağlayacak açıklık seviyesinde, müşteriye etkileyen, davetkâr çözümlerle desteklenmelidir. Mağaza isimlerinin algılanabilir biçimde kurgusu, müşteriye rahatsız etmeyen ve ürünleri öne çıkaran aydınlatma seviyelerinin belirlenmesi, sürdürülebilir malzeme kullanımı, malzeme çeşitliliği ve oturma alanlarında sabit oturma ve masa gruplarının kullanımı, hareketli mobilyalarda çeşitlilik sağlanması, çocuk mobilyalarının kullanımı, tekerlekli sandalye kullanıcıları için şarj ünitelerinin bulunması ve oturma alanlarının çeşitli görseller ve bitkilerle etkileyici bir hale getirilmesi önemlidir. Tercih edilen her malzeme ve ürünün TSE, sürdürülebilirlik, engelli erişimi ve sağlık koşullarına uygun olarak seçilmesi ve belirlenen standartlara göre uygulanması gerekmektedir. Mağaza tasarımlarında AVM geneli için planlanan standartın sağlanabilmesi amacıyla, kiracı mağaza konseptleri AVM yönetimi ile iş birliği içinde yürütülmelidir.

Mimari sistemlerin kurgu ve planlama ile bütünleşmesi sonucu ortaya çıkan alışveriş merkezleri, ticari hedeflerine ulaşabilmek için tüketici beklentilerine insan odaklı bir yaklaşım içinde; çocuk, aile, gençler ve engelli bireylerin ihtiyaçlarına ve fonksiyonellik ve estetik bakımından da yanıt verebilecek şekilde tasarlanmalı ya da yenilenmelidir (Durukan, 2015). Yaratıcılık ve yenilikler olabildiğince ön plana çıkarılmalıdır.

Sonuç olarak alışveriş merkezlerinin müşterilerinin ilgilerini canlı tutabilmek adına beş yılda bir yenilenmesi gerektiği tavsiyeleri dikkate alındığında; her dönemin etkin olan bir eyleminin, ihtiyacının ortaya koyduğu oluşumların, rekabetin devam ettirilebilmesi için yenilenmeye ve yönlendirilmeye ihtiyacı olduğu ve bu yönde çalışmalar yapılarak işlerliğin sürdürülebileceği görülmektedir. Gelirin düzenli hale getirilebilmesi için, her geçen gün gelişen ve değişen dış dünya, perakende sektörü tarafından takip edilmeli, tüketici taleplerindeki değişikliklere, ihtiyaçlara cevap verecek şekilde hareket edilmelidir. Belli zaman aralıklarında yapı içerisinde tadilatlar, iyileştirmeler yapılarak güncel ve modern malzemelerin kullanılması ile farklılık yaratılmalı, müşteri kitlesini koruyarak yeni müşteri çekme hedefleri içinde ve tüketici talep ve beğenilerine yönelik sürekli devinim içinde olunmalıdır. Ayrıca başarılı bir alışveriş merkezinin kurgusu mimarlar, iç mimarlar, şehir planlamacıları, sosyologlar, perakendeciler, yatırımcılar ve diğer ilgili disiplinler bir araya gelerek oluşturulmalıdır. Yapılan araştırmalar, günümüz koşul ve tüketici eğilimleri çerçevesinde değişimi takip eden ve kendini yenileyebilen alışveriş merkezlerinin rakiplerine fark atarak kolayca fark edilebileceklerini göstermektedir.

5. Teşekkür

Doktora tez çalışmamdan yararlanarak hazırlamış olduğum bu makalede emeği geçen tez danışmanım Prof. Dr. İpek FİTÖZ'e, her daim beni destekleyen Doç. Dr. Saadet AYTIS ve Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DURUKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- Arslan, F.M., (2004). *Mağazacılıkta Atmosfer*, İstanbul, Derin Yayınları
- Aytis, S. (2008). *Günümüz Alışveriş Merkezleri: Dün, Bugün, Yarın Tasarım/Uygulama Esasları*, Arkitekt, Mart-Nisan, Sayı: 516, İstanbul, Şafak Gazetecilik ve Matbaacılık.
- Beddington, N., 1991. *Shopping Centres: Retail Development, Design and Management*, Oxford: Butterworth Architecture.
- Bocock, R., (1947). *Tüketim*, Ankara, Dost Kitabevi Yayınları
- Bulut, B., Doğan, C., Şahin, F. ve Genç, N., 2003. Engelli Tüketicinin Hakları, *Tüketiciler Derneği*.
- Cochrane, W W. ve Bell, C.S., 1956. *The Economics of Consumption*, MCGraw- Hill Book Company, New York.
- Coleman, P., (2006). *Shopping Environments: Evolution, Planning and Design*, Architectural Press, London.
- Durukan A., (2015). Alışveriş mekânı tasarımında insan odaklı yaklaşım: 'deneyimsel alışveriş mekânları'. *1. Ulusal İç Mimari Tasarım Sempozyumu*, (s.454-459). Trabzon, Türkiye.
- Durukan A., (2018). Gelişim sürecinde alışveriş mekanları ve günümüzün deneyimsel alışveriş mekanı anlayışı. *Turan-sam: Uluslararası Bilimsel Hakemli Dergisi*, vol.10, pp.740-747, 2018.
- Göka, Ş., (2001). *İnsan ve Mekân*, İstanbul: Pınar Yayınları
- Gruen, V. ve Smith, L., (1960). *Shopping Towns USA*, New York: Reinhold Cooperation
- Kaplanşeren, E., (2020, 14 Şubat). Bu teknolojiler alışveriş alışkanlıklarını değıtirecek. *Milliyet Gazetesi*. Erişim adresi <https://www.milliyet.com.tr/teknoloji/bu-teknolojiler-alisveris-aliskanliklarini-degistirecek-6144928>
- Özen, A. (2006). *Mimari Sanal Gerçeklik Ortamlarında Algı Psikolojisi*, Bilgi Teknolojileri Kongresi IV. Akademik Bilişim, Denizli.
- Pekpostalcı, A. (2015a). *Alışveriş Mekânlarının Tasarımında Deneysel Pazarlama Metodu ve Örnekler Üzerinden Analizi* (Doktora tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Pekpostalcı A., (2015b). Deneyimsel pazarlama metodu ve bu metodun alışveriş mekânları tasarımında kullanımı. *4. Ulusal İç Mimarlık Sempozyumu*, (s.143-160). İstanbul, Türkiye.
- Satıcı, Ö. (2000). *Tüketici Davranışlarını Etkileyen Faktörler*, doi: 10.13140/RG.2.1.3974.2804
- Tokol, T. (1996). *Alışveriş Merkezleri, Çevre ve Mekân İlişkisi* (Yüksek lisans tezi). T.C. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İç Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- ULI, (1999). *Urban Land Institute Shopping Center Development Handbook*, Washington, D.C.
- URL 1. <http://www.lebonmarche.com/decouvrir/historie.html>, (Erişim Tarihi: Mart, 2020).



The Impact of the Different Voltages and Frequencies on Resistivity of the TiO₂-based Memristors with 3D Observation in MATLAB

Niloufar Rajabiyoun^{1*}

¹ Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3955-2489)

(First received 30 July 2020 and in final form 8 September 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.769921)

ATIF/REFERENCE: Rajabiyoun, N (2020). The impact of the different voltages and frequencies on resistance of the TiO₂-based memristors with 3D observation in MATLAB. *European Journal of Science and Technology*, (20), 260-264.

Abstract

Memristor is the fourth fundamental element that was theoretically discovered about 40 years ago by Professor Leon Chua and was introduced alongside three other existing elements (resistor, capacitor and inductor) in the electronic world. Until recently, however, the construction of a physical example of this had not yet taken place. Finally, in 2008, HP introduced a nanometer-sized TiO₂ structure with predictable memory behavior and hysteresis. In this paper, after introducing the general characteristics and structure of the memristor, a 3D MATLAB model with nonlinear ion deflection for the titanium dioxide memristor made by HP with current or voltage control capability is presented. By setting the model parameters for the specifications of this memory, some simulations are performed and the results are displayed.

Keywords: Memristor, TiO₂, 3D Matlab simulations

1. Introduction

Memristor or memory resistor are two dual terminal elements of circuits. The memristor is made in nanoscale dimensions and its resistance depends on the amplitude, polarity, and duration of the applied voltage. The hysterical current-voltage curve in the memristor allows this element to act as a non-volatile resistor and to remember information until a voltage of different magnitude and polarity is applied to it, even up to a year later [1-3].

RAM is inherently completely erased after a power outage. However, in 1971 the idea of memory conservation was put forward in theory, and this phenomenon came to fruition in 2008 [4].

Memristor or Memory Resistor an electrical member has two terminals in which a functional connection is established between an electric charge and a magnetic flux. When the current enters the same device from one direction, the electrical resistance increases, and when current flows in the opposite direction, the resistance decreases. But when the current stops, this component of the circuit maintains the last resistance it has, and when the load current starts again, the resistor will be at the last time of operation. It is a resistance actuator with almost linear resistance as long as the current diagram remains in a certain range over time [5-6].

Memristor was formally formulated and named by Chua in an article published in 1971. In 2008, a team in the HP Laboratory officially announced the production of a variable-layer, thin-film

memory. This means that the memristor can be used for nanoelectronic memory and computer neuromorphic structures.

In the 1971 article, Shen Chua received a concept between the resistor and the inductor-capacitor and was inspired by a simple, basic idea similar to that of a device such as a memristor. Although the relationship between voltage and current in a memristor is not as linear as that of a varistor, other scientists have previously described nonlinear relationships for electric charge flux, but Chua's theory was more pervasive. The resistance of the memristor depends on the correct input port given to the terminal (unlike the varistor, which depends on the amount of instantaneous input). This component of the circuit inflates the amount of current it emits, which was discarded by Chua as a memristor. In other words, the memristor is a neutral member of the circuit and has two terminals that can maintain the relationship between the function of current in time and voltage in time. The graph of this function is called memory; And is similar to the variable resistance. Batteries also have a memristor but are not a neutral member. The definition of a memristor is specifically based on the main variables of the circuit, namely current and voltage, and their relationship to time. Just like resistors, capacitors, and inductors.

Unlike these three circuit components (resistor, inductor, and capacitor) which can have constant values with respect to time, the memristor relation is nonlinear and can be expressed as a function of the circuit variable, ie net load current. There is no such thing as a standard memristor. Instead, any device that plays a functional role in expressing voltage in terms of current or vice

* Corresponding Author: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3955-2489), niloufar.rajabiyoun12@ogr.atauni.edu.tr

versa. A type of memristor is a simple resistor. Like other two-circuit components (capacitor, resistor, and inductor), there is no ideal memristor. Rather, it has a small amount of resistance, capacitance, and induction [7-10].

Obtaining a pure model for the memristor helps to predict the behavior of this component and features of the memristor need understanding the reaction of this element under different voltages, currents and frequencies. In this way, generating a 3D model to show the specifications of this component under voltage-current-frequency will be very useful. This paper shows the reaction of the model of the TiO₂-based memristor generated by Chua under different window functions.

2. The Structure, Properties and Formulas of the Memristor

2.1. General Features of the Memristor

Memristor stands for Memory Resistor. In terms of hardware, it is a microscopic instrument that can maintain its previous electrical condition, and with this trick, it is possible to preserve temporary memory even after a power outage.

If we consider resistance as a water pipe, and water as electric charge. The amount of resistance will be proportional to the diameter of the tube. So far, the resistors have had a fixed pipe diameter, but the memristor is like a pipe whose diameter changes with the amount and direction of flow. If the flow is in the right direction, the diameter of the pipe is more. The current remains constant. These unique features have prompted the construction of the Memorial to promise a greater transformation than the transformation of the twentieth-century transistor invention.

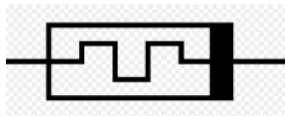


Figure 1. Memristor

2.2. Titanium dioxide memorizers:

Spintronic Memristor:

Xin Chen and Xiobin Wang, two researchers in hard disk drive technology at Seagate Technology in Bloomington, Minnesota, described three possible examples of magnetic memristors in March 2009. In one of the three samples, the resistance created by the rotation of the electrons in one part of the device's pointer in a different direction than the other parts creates a boundary "wall wall" between the two states. Electrons moving towards the device have a special spin that causes a change in the magnetic state of the device. The magnetic change, in turn, causes the field wall to move and change the resistance of the device. This work has received a lot of attention in the electronic press, including interviews on the IEEE spectrum.

Magnetic resistance of rotational torque transmission:

MRAM Spin torque transmission is a well-known instrument that shows memristive behavior. The resistance depends on the relative rotation between the two sides of the magnetic tunnel connection. This, in turn, can be controlled by the torque induced by the current through the connection. However, the duration of the current through the connection determines the amount of

current required, for example, the electric charge charged in this way is the main variable.

In addition, as reported by Krzysteczko et al., The MgO tunnel connections based on MgO show the mammoth behavior based on the discharge of oxygen vacuum inside the MgO layer of insulation (resistance change); Thus, the combination of torque and resistance switching naturally results in a second-order master system with $W = (W1, W2)$ in which W1 represents the magnetic state of the magnetic tunnel connection and W2 represents the resistance state of the MgO barrier. Note that in this case the current is controlled in the W1 switch (torque is due to the high current density) while in the W2 switch the voltage is controlled. (Oxygen discharge is high due to high electric fields).

Magnetic Memory System:

Although the use of the word "memristor" has not been described, a study of two-layer manganese-based oxide layers for non-volatile memory was conducted by researchers at the University of Houston in 2001. Some diagrams show the tunable and adjustable resistance based on the number of voltage pulses applied, similar to the effects of titanium dioxide on memristor materials.

Wavy tunneling diode memristor:

In 1994, FABoyt and E.K. Rajagopal at the U.S. Naval Research Laboratory demonstrated that the "current-voltage" bow-like (IV) feature in AIAs / OaAs / AIAs quantum diodes involved the design of a specific doping layer of separating layers in Agree with published experimental results. This characteristic of the bow-current voltage (like I-V) is characteristic of a memristor, although the term memristor is not explicitly used in the articles. There is no magnetic interaction in the analysis of Hyperion features such as I-V [10-12].

3. MATLAB Codes and Results

In this section for the mentioned doped (TiO₂) and undoped (Ti) blocks, different types of the input voltages under Memristor Parameters: Ron = 100, Ro = 4k condition are given are results are reported. Different window functions with P=1, 2, 5, and 10 are presented and the results are presented.

MATLAB simulation for Ti and TiO₂ blocks was carried out by means of the following codes, and the applied voltage, current, and current-voltage curves were obtained. The important detail is that, for applying the voltage to the structure, two thin layers of the platinum is considered.

3.1 Resistance of memristor respect to different votages:

In this step, different voltages from -3 to 3 volts by 0.01V steps are imposed to output terminals of the memristor, and the resistivity of this component is analyzed. Below the MATLAB codes are presented and the Resistance-Time-Voltage cure is shown in figure 2:

```
clear all
t=0:0.01:2;
v=-3:0.01:3;
Ri=6000;
f=1;
Ron=100;
Roff=16000;
```

```

D=0.00000001;
DDM=0.0000000000000001;
k=DDM.*Ron^2./D^2;
for ii=1:length(t);
for jj=1:length(v);
R(ii,jj)=sqrt(Ri.^2-((2.*v(jj)).*k*(Roff-
Ron))./(pi.*f)).*sin(pi.*f.*t(ii)).^2);
end
end
mesh(real(R))
ylabel('Time')
xlabel('Voltage')
zlabel('Resistance')

```

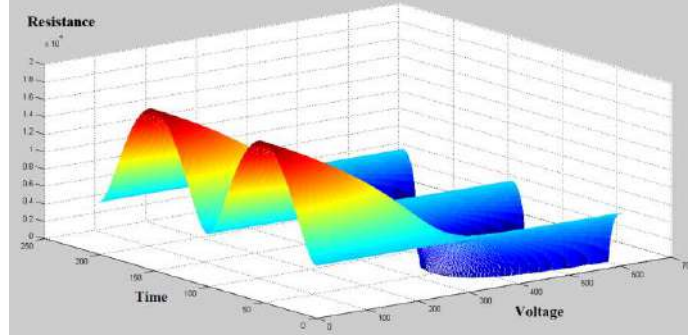


Figure 2. The Resistance-Time-Voltage curve for Chua TiO₂ Memristor

3.2 The resistance curve respect to different voltages and frequencies:

This subsection presents the Resistance-Voltage-Frequency curve under different window function coefficients from P=1 to P=10. The general MATLAB codes can be written as follows:

```

clc;
clear all;
close all;
p=0.7;
v_d(1)=0;
f_p=[];
L=[];
F=5:-0.01:0.5;
for ii=1:length(F)
    f=F(ii);
    t = 0:0.01./f:1./f;
    v(:,ii)=-3*sin(2*pi*f*t);
    d = 10^(-8);
    j=2;
    u_v=10*10^-15;
    r_on=100;
    r_off=16000;
    r_i=4000;
    w(1)=(r_off-r_i)/(r_off-r_on)*d;

```

```

x(1)=w(1)/d;
m(1)=r_on*(w(1)/d)+r_off*(1-w(1)/d);
% f_p(1)= 1 - (2*x-1)^(2*p); %Joglekar window
f_p(1)=j*(1 - ((x(1)-0.5)^2+0.75)^p); %Prodromakis window
for index=2:length(t)
    i(index,ii)=v(index)/m(index-1);
    v_d(index)=(u_v*r_on*i(index)*f_p(index-1))/d;
    w(index)=v_d(index)*(t(index)-t(index-1))+w(index-1);
    x(index)=w(index)/d;
    % f_p(index)=1 - (2*x(index)-1)^(2*p); %Joglekar window
    f_p(index)=j*(1 - ((x(index)-0.5)^2+0.75)^p); %Prodromakis window
    m(index,ii)=r_on*(w(index)/d)+r_off*(1-w(index)/d);
    if m(index)<r_on
        m(index)=r_on;
    end
    if m(index)>r_off
        m(index)=r_off;
    end
    x(index)=w(index)/d;
end
end
F1= repmat(F,101,1);
mesh(v,F1,m)
xlabel('Voltage')
ylabel('Frequency')
zlabel('Resistance')

```

Figures 3, 4, 5, and 6 presents the results for window function coefficients from P=1 to P=10 respectively.

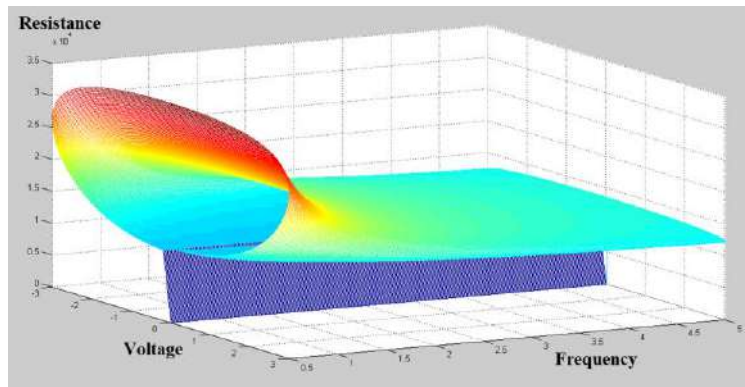


Figure 3. The Resistance-Voltage-Frequency curve for Chua TiO₂ Memristor with P=1.

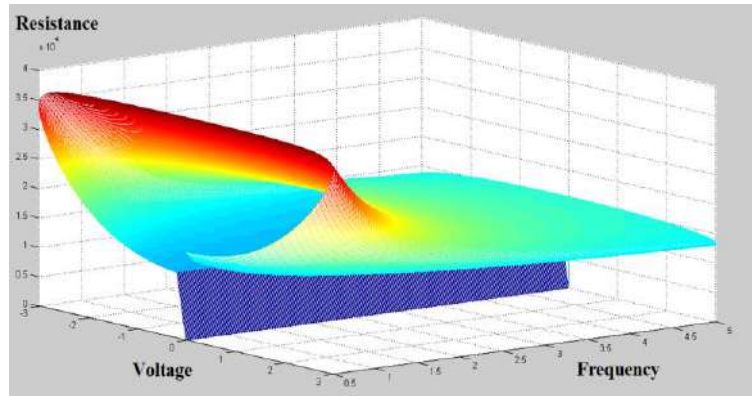


Figure 4. The Resistance-Voltage-Frequency curve for Chua TiO₂ Memristor with P=2.

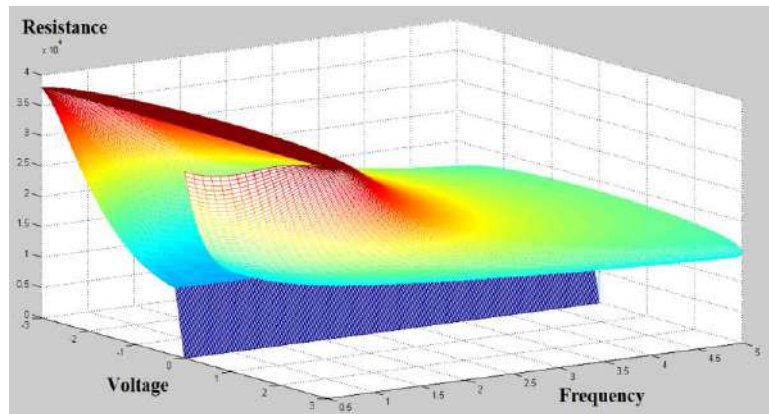


Figure 5. The Resistance-Voltage-Frequency curve for Chua TiO₂ Memristor with P=5.

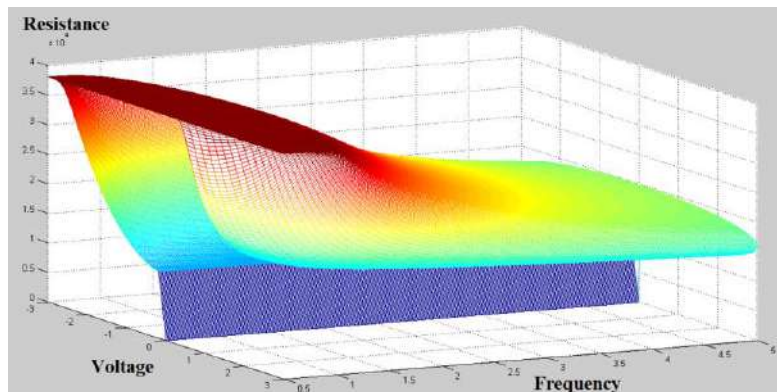


Figure 6. The Resistance-Voltage-Frequency curve for Chua TiO₂ Memristor with P=10.

3.3 The Voltage-Current Hysteresis curves respect to different voltages and frequencies:

The I-V characteristics of the TiO₂-based memristor are obtained by follows codes and figure 7.


```

clear;
clear all;
close all;
p=1;
v_d(1)=0;
f_p=1;
F(1);
F=1:0.01:0.5;
for ii=1:length(F)
    F_p(F(ii));
    t = 0:0.01./F;.:/F;
    v(1,ii)=1*sin(2*pi*F*t);
    d = 10^(-8);
    j=0;
    u_v=10*10^-15;
    r_on=100;
    r_off=16000;
    r_i=4000;
    w(1)=(r_off-r_i)/(r_off-r_on)*d;
    x(1)=w(1)/d;
    m(1)=r_on*(w(1)/d)+r_off*(1-w(1)/d);
    % f_p(1)=1 - (2*x(1))^2*p; %Joglekar window
    f_p(1)=1 - ((x(1)-0.5)^2+0.75)^p; %Sprodiromakis window
    for index=2:length(t)
        i(index,1)=v(index)/m(index-1);
        v_d(index)=(u_v*r_on*(index)*f_p(index-1))/d;
        w(index)=v_d(index)*(t(index)-t(index-1))-w(index-1);
        x(index)=w(index)/d;
        % f_p(index)=1 - (2*x(index-1))^2*p; %Joglekar window
        f_p(index)=1 - ((x(index)-0.5)^2+0.75)^p; %Sprodiromakis window
        m(index,1)=r_on*(w(index)/d)+r_off*(1-w(index)/d);
        if m(index)<r_on
            m(index)=r_on;
        end
        if m(index)>r_off
            m(index)=r_off;
        end
        x(index)=w(index)/d;
    end
end
end
F1=repmat(F,101,1);
mesh(F1,v,i)
xlabel('Frequency')
ylabel('Voltage')
zlabel('Current')

```

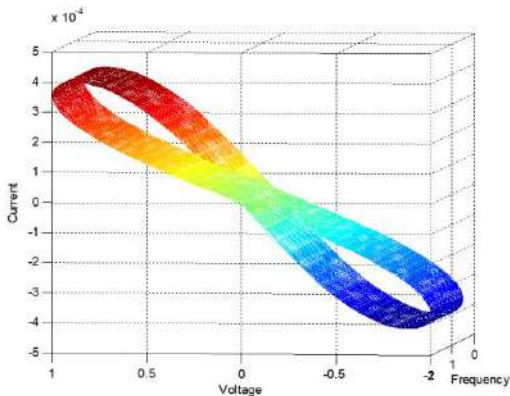


Figure 7. The I-V characteristics for Chua TiO₂ Memristor with voltage from -1 to 1 and frequencies from 0 to 2 Hz.

4. Conclusion

This study presents the MATLAB codes for the estimation of the resistive behavior of the TiO₂-based memristors according to the model that is presented by Leon Chua. Results show that many of the parameters like the function window coefficient, and voltages and frequencies values are important and act as the effective issues for the modeling. Based on the results, for voltages closed to zero, the frequency can not affect the resistivity more, but when the voltage is being larger (V>0) or smaller (V<0), for the lower frequencies, the resistivity is more and for the higher frequency values the resistivity is less. This makes the memristor ready for the higher current feature in higher frequencies. Although the study presents a frequency-based observation, still the reaction of the memristor devices under high frequencies in the kHz domain is a serious concern.

References

1. Rajabiyoun, N. Karacalı, T. A new approach to modeling TiO₂-x-based memristors using molecular dynamics

simulation. *Appl. Phys. A* 125, 296 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00339-019-2602-0>

2. Rajabiyoun, N. (2020). Investigation of the Current and Voltage Waveforms for a TiO₂-based Memristor with MATLAB. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (19) , 303-311. DOI: 10.31590/ejosat.723069.

3. L. Chua, "Memristor-The missing circuit element," in *IEEE Transactions on Circuit Theory*, vol. 18, no. 5, pp. 507-519, September 1971, doi: 10.1109/TCT.1971.1083337.

4. Tuszynski, J.A., Friesen, D., Freedman, H. *et al.* Microtubules as Sub-Cellular Memristors. *Sci Rep* 10, 2108 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58820-y>.

5. A. Ascoli, I. Messaris, R. Tetzlaff and L. O. Chua, "Theoretical Foundations of Memristor Cellular Nonlinear Networks: Stability Analysis With Dynamic Memristors," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 67, no. 4, pp. 1389-1401, April 2020, doi: 10.1109/TCSI.2019.2957813.

6. F. Corinto, M. Di Marco, M. Forti and L. Chua, "Nonlinear Networks With Mem-Elements: Complex Dynamics via Flux-Charge Analysis Method," in *IEEE Transactions on Cybernetics*, doi: 10.1109/TCYB.2019.2904903.

7. O. Krestinskaya, A. P. James and L. O. Chua, "Neuromemristive Circuits for Edge Computing: A Review," in *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 31, no. 1, pp. 4-23, Jan. 2020, doi: 10.1109/TNNLS.2019.2899262.

8. Itoh M. Chua L. (2019) Memristor Cellular Automata and Memristor Discrete-Time Cellular Neural Networks. In: Chua L. Sirakoulis G., Adamatzky A. (eds) *Handbook of Memristor Networks*. Springer, Cham.

9. Chua, L. Five non-volatile memristor enigmas solved. *Appl. Phys. A* 124, 563 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00339-018-1971-0>.

10. Shyam Prasad Adhikari, Hyongsuk Kim, Changju Yang, Leon O. Chua, Building cellular neural network templates with a hardware friendly learning algorithm, *Neurocomputing*, Volume 312, 2018, Pages 276-284, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.05.113>.

11. A. G. Radwan, M. A. Zidan and K. N. Salama, "HP Memristor mathematical model for periodic signals and DC," 2010 53rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems, Seattle, WA, 2010, pp. 861-864, doi: 10.1109/MWSCAS.2010.5548670.

12. A. G. Radwan, M. A. Zidan and K. N. Salama, "On the mathematical modeling of memristors," 2010 International Conference on Microelectronics, Cairo, 2010, pp. 284-287, doi: 10.1109/ICM.2010.5696139.



Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin KOİ, BOİ₅ ve AKM Yönünden İşletme Verimliliğinin Değerlendirilmesi

Şule Tatar^{1*}, Mehmet Nedim Sağlam²

^{1*}Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Laboratuvar Teknolojileri Bölümü, Tunceli, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8962-0107), sytatar@munzur.edu.tr

²Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4315-5964), mnedimsaglam@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 16 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 9 Ekim 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.770260)

ATIF/REFERENCE: Tatar, Ş. & Sağlam, M.N. (2020). Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin KOİ, BOİ₅ ve AKM Yönünden İşletme Verimliliğinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 265-269.

Öz

Son yıllarda kentleşme oranının artmasıyla evsel nitelikli atıksular, çevre kirliliğinin ortaya çıkmasında rol oynayan önemli sebeplerden biri haline gelmiştir. Kentsel atıksu arıtma tesisleri bu kirliliği engellemek için yapılmış olan, evsel nitelikli atıksuların aktarılacağı alıcı ortama varmadan önce zararlı etkilerini engelleyen veya olabilecek en düşük seviyeye indiren tesislerdir. Bu çalışmada Kızıltepe Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde 8 ay boyunca günlük tesis giriş ve çıkışından alınan 24 saatlik kompozit numuneler ile KOİ, BOİ₅ ve AKM parametreleri analiz edilmiş ve tesis verimliliği gözlemlenmiştir. Buna göre tesis; %93 KOİ, %93 BOİ₅ ve %94 AKM giderimi ile çalışmaktadır. Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü kontrolündeki Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği deşarj limitlerine göre değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma verimliliği, Atıksu, Biyolojik arıtma, İleri arıtma.

Evaluation of Process Efficiency of Kızıltepe Advanced Biological Wastewater Treatment Plant in terms of COD, BOD₅ and SS

Abstract

With the increasing world urbanization rate, domestic regional wastewater has become one of the leading factors in the emergence of environmental pollution. Urban wastewater production facilities are facilities that have been constructed to avoid such pollution and preventor minimize the harmful effects of it before reaching to the receiving environment where the domestic wastewater will be transferred to. In this study, in The Kızıltepe Advanced Biological Wastewater Treatment Plant, the 24 hours composite samples taken from the entry and exit points of the facility on a daily basis during the 8 months of period were analyzed with the COD, BOD₅ and SS parameters and the resulting productivity was observed. Accordingly, the plant operates with 93% COD, 93% BOD₅ and 94% SS removal. The Kızıltepe Advanced Biological Wastewater Treatment Plant institution which is under the control of the General Directorate of Mardin Water and Sewerage Administration was evaluated according to the Urban Wastewater Treatment Regulations.

Keywords: Advanced treatment, Biological treatment, Treatment efficiency, Wastewater.

*Sorumlu Yazar: sytatar@munzur.edu.tr

1. Giriş

Canlılığın vazgeçilmez bir parçası olması nedeniyle artan nüfusla birlikte suya olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. Yetersiz su kaynakları ve kaynakların kalitesinin bozulması Dünya'nın birçok yerinde kaygıyla karşılanmakta ve bu durumun yüzyılın başlıca sorunlarından biri olacağı uluslararası forumlarda açıkça belirtilmektedir. İçinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli sorunlarından bir diğeri de iklim değişikliği ve buna bağlı olarak su kaynaklarının olumsuz etkilenmesidir. Dünya Su Geliştirme Raporu'na göre, 2050 yılında Dünya nüfusunun 9,3 milyar civarında olması beklenmektedir ve iklim değişikliği nedeniyle 7 milyar insanın su kıtlığı ile karşı karşıya geleceği raporlanmıştır (Duman, 2017).

Var olan su kaynakları, hayat standartları, toplumsal alışkanlıklar, ekonomik yaşam koşulları, iklim, eğitim seviyesi gibi birçok faktör, günlük su ihtiyaçlarının da değişiklik göstermesine neden olmaktadır. Kara, hava ve su kaynaklarından gelen kontrolsüz boşaltımlar araştırılmalı, tanımlanmalı ve alıcı ortamlara tesiri kontrol edilmelidir (Kanat vd., 2018). Teknoloji ve endüstrileşmenin paralelinde hızlıca gelişen kentleşme ile birlikte, çevrede görülen sosyal aktiviteler Türkiye' de gün geçtikçe ilerlemektedir (Akkoyunlu vd., 2017). Özellikle sanayi devriminden sonra gelişen kentleşme, endüstriyel ve zirai faaliyetler, suya olan talebi de beraberinde arttırmış ve buna bağlı olarak var olan temiz su kaynakları da kirlenerek kullanılamaz bir hal almıştır. Bu gibi faaliyetler sonucunda kirlenmiş veya fiziksel ve kimyasal karakteristikleri kısmen veya tamamıyla değişikliğe uğramış sular atıksu olarak tanımlanmaktadır (Eskikaya, 2018).

Kullanım amacı çeşitlilik kazanan su, birbirinden farklı özellikte atıksuların oluşmasına sebep olmuştur. Oluşan bu atıksular bir arıtma ünitesinden geçirilmeden doğal ortama deşarj edilirse en önemli kaynaklardan olan yeraltı sularının kirlenmesine, ekolojik dengenin de bozulmasına neden olacaktır. Bu sebeple kirliliği yüksek atıksuların doğru yöntemlerle arıtılması ve doğal ortama arıtmadan sonra deşarj edilmesi sürdürülebilir kalkınma amacı çerçevesinde önem kazanmaktadır (Boduroğlu, 2008). Suların çeşitli kullanımlar sonucunda atıksu haline dönüşerek yitirdikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırabilmek ve/veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin birini veya birkaçını uygulayarak atıksuların arıtılması gerekmektedir (SKKY, 2004).

Endüstriyel atıksuların özellikleri, üretim teknolojisi, çalışma prensibi ve proses suyunun çeşidi gibi faktörlerden büyük ölçüde etkilenmekte ve endüstriyel faaliyetin çeşidine göre atıksular tümüyle farklı özellikler gösterebilmektedir (Ayrak, 2010). Evsel atıksular, konutlardan, kurum ve kuruluşlardan gelen atıksular, yağmur suları, yüzeysel sular ve yeraltı sularının bileşimi olarak ifade edilebilir (Yıldırım, 2006).

Atıksular arıtılmadan alıcı ortama bırakılırsa, bünyesindeki organik maddelerin ayrışması sonucu kötü kokular ortaya çıkar. İlâveten arıtılmamış atıksular bünyelerinde hastalık yapıcı mikroorganizmaları (patojenler), besi maddelerini (azot ve fosfor) ve tehlikeli maddeleri de içermektedir. Bu sebeple atıksuların arıtılarak bu zararlı ve tehlikeli maddelerin

giderilmesi veya azaltılması gerekmektedir (Samsunlu, 2011). Atıksuların, barındırdıkları zararlı bileşenlerden arındırılmadan su yataklarına verilmesi ya da alıcı ortama deşarj edilmesi yüzeysel ve yeraltı sularını kirletmektedir. Evsel ve endüstriyel atıklar ile kontamine olmuş sular, atık cinsine, yeryüzü şekline, iklimsel şartlara, toprak yapısına ve zamana bağlı olarak alıcı ortamlarda ötrofikasyona neden olmaktadır (Gülsoy, 2017).

KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), organik maddelerin kimyasal olarak oksitlenebilmesi için gerekli oksijen miktarı olarak ifade edilir ve asidik ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici yardımıyla ölçülür (Sinan, 2010). BOİ₅ (biyolojik oksijen ihtiyacı), sudaki organik maddelerin 5 günde biyolojik olarak ayrıştırılması esnasında harcanan oksijen miktarını ifade eder. Kirleticilerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve arıtma tesislerinin tasarımında kullanılan önemli bir dizayn parametresidir. Organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu yavaş ilerleyen bir işlemdir ve teorik olarak sonsuza kadar sürer. Oksidasyon işleminin %95-99'luk kısmı 20 günlük bir periyotta tamamlanır. Oksitlenmenin %60-70'lik kısmı BOİ₅ ölçümünde kullanılan 5 günlük sürede gerçekleşir (Sinan, 2010). AKM (askıda katı madde), su numunelerinin standart filtre kağıdından süzülerek filtrenin kurutulmasıyla elde edilen kalıntıları ifade eder. AKM, suların fiziksel görünümü ile içme suyu ve endüstriyel amaçlarla kullanımını sınırlamaktadır. Suyun ışık geçirgenliğini azaltarak dip birikintilerine yol açar veya sudaki canlılara doğrudan zarar verir. Bu özellikleri ile AKM atıksularda önemli bir parametredir (Sinan, 2010).

Bu çalışmada, Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde 8 ay boyunca tesis giriş ve çıkışından alınan 24 saatlik kompozit numunelerde KOİ, BOİ₅ ve AKM parametreleri analiz edilip, arıtma tesisinin giderim verimliliği gözlenmiştir. Tesis 2017 yılında işletmeye alınan yeni bir tesis olmakla birlikte, çalışmamız, tesisin işletme verimliliği ile ilgili yapılan ilk çalışmadır ve bundan sonra tesisin çalışma verimliliğinin takibinde ve konu ile ilgili yapılacak diğer çalışmalarda yol gösterici olacaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında uygulama alanı olarak seçilen Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis, Mardin iline 27 km mesafedeki Kızıltepe ilçesinde yer almaktadır (Şekil 1). Atıksu arıtma tesisi (AAT) 2017 yılında işletmeye alınmıştır. 2032 yılı için 64.749 m³/gün, 2047 yılı için 79.256 m³/gün ortalama atıksu kapasitesi ile inşa edilmiştir. Tesis; fiziksel arıtma, biyolojik nütrient giderimi ve çamur çürütme, biyogaz eldesi ve yoğunlaştırma-susuzlaştırma bölümlerinden oluşmaktadır. Proses akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Çalışma süresince KOİ, BOİ₅ ve AKM analizi yapılmıştır. KOİ ölçümleri Hach Lange DR3800 model spektrofotometre, BOİ ölçümleri ise Aqua Lytic AL606 BOİ cihazı ile yapılmıştır. AKM analizinde ise standart metotlar uygulanmıştır (APHA, 1998).



Şekil 1. Çalışma alanı

gözlemlenmiştir. KOİ aylık ortalama değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği deşarj limitleri (Anonim, 2006)

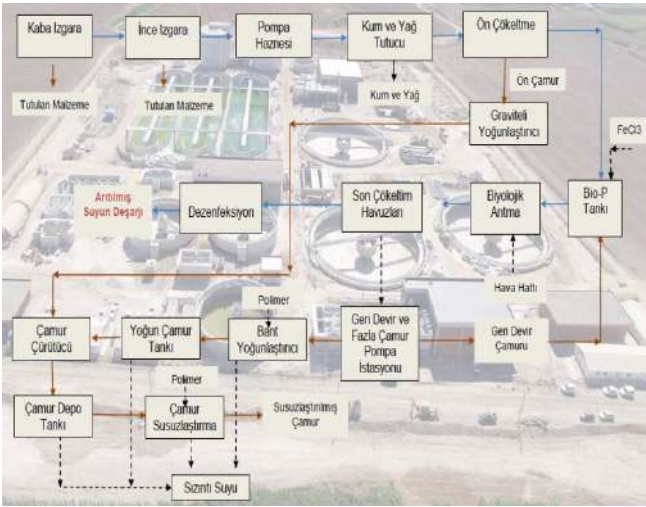
Parametreler	Konsantrasyon (mg/l)	Minimum arıtma verimi (%)
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (20°C'de BOİ ₅)	25	70-90
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	125	75
Toplam askıda katı madde (TAKM)	35 (10000 E.N.'den fazla) 60 (2000-10000 E.N.)	90 (10000 E.N.'den fazla) 70 (2000-10000 E.N.)

Tablo 2. AAT giriş-çıkış suyu KOİ konsantrasyonları ve giderim verimleri

Tarih	Giriş KOİ değeri (mg/L)	Çıkış KOİ değeri (mg/L)	Verimlilik (%)
Eylül 2018	562	30	94
Ekim 2018	406	34	91
Kasım 2018	326	33	90
Aralık 2018	339	27	91
Ocak 2019	399	26	93
Şubat 2019	439	23	94
Mart 2019	429	21	95
Nisan 2019	482	32	94
Ortalama	430	28	93

Tablo 2 incelendiğinde, çıkış suyunda ölçülen KOİ konsantrasyonlarının 8 ay boyunca deşarj limiti olan 125 mg/L'nin altında kaldığı görülmektedir. KOİ giriş değerinin en yüksek olduğu ay Eylül 2018, en düşük olduğu ay ise Aralık 2018; KOİ çıkış değerinin en yüksek olduğu ay Ekim 2018, en düşük olduğu ay ise Mart 2019 olarak ölçülmüştür. Bu verilere göre, tesis KOİ giderim veriminin Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliğinin deşarj limitine uygunluğu gözlemlenmiştir (Tablo 1) (Anonim, 2006).

Şama (2017) tarafından yapılan çalışmada Ocak 2014-Haziran 2015 tarihleri arasında Taşköprü AAT'nin giriş ve çıkış sularından alınan 2 saatlik kompozit numuneler ile KOİ verimlilik analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre 18 aylık KOİ giderim verimi; min. %84.8, max. %97.2 ve ort. %94.3 olarak bulunmuştur. Azman (2005) tarafından yapılan çalışmada ise Kasım 2013 tarihinde 1 aylık Ankara merkezi AAT'nde giriş ve çıkış sularından alınan 24 saatlik kompozit numunelerde KOİ analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre 1 aylık KOİ giderim verimi; min. %85, max. %96 ve ort. %90 olarak belirlenmiştir. Tanyol ve Uslu (2013), Tunceli ili Eysel AAT'nin giriş ve çıkışında KOİ değişimini Nisan-Haziran 2013 ayları arasında incelemişlerdir. Yapılan analizlere göre KOİ giderim verimi; min. %82, max. %95 ve ort. %90'dır. SKKY'ne göre nüfusu 10000-100000 kişi olan yerleşim merkezlerinin evsel nitelikli atıksularının alıcı ortama deşarj standardı, 2 saatlik kompozit örnekte KOİ için 140 mg/L'dir. Standartlarla karşılaştırıldığında



Şekil 2. Proses akış diyagramı

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kızıltepe İleri Biyolojik AAT'de 8 ay boyunca günlük KOİ, BOİ₅ ve AKM parametreleri analiz edilip gözlemlenmiştir. Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü kontrollüğündeki Kızıltepe İleri Biyolojik AAT'nin deşarj limitleri 08.01.2006 tarih 26047 sayılı Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği'ne göre değerlendirilmiştir. Tablo 1'de Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği deşarj limitleri gösterilmiştir (Anonim, 2006).

3.1. KOİ Arıtım Verimi

Kızıltepe AAT'nin giriş ve çıkış sularından 2018 yılının Eylül ayından 2019 yılının Nisan ayına kadar alınan 24 saatlik kompozit numuneler analiz edilmiştir. Günlük yapılan analiz sonuçlarının aylık ortalama değeri alınarak tesis verimliliği

deşarj edilen KOİ konsantrasyonlarının standartların altında olduğunu belirlemişlerdir. Öz (2009) tarafından yapılan çalışmada, Akzo Nobel-Marshall Ortak Endüstriyel AAT'nde Mart 2008, Mayıs 2008 ve Ocak 2009 aylarında tesis giriş ve çıkış noktalarından kompozit 2 saatlik örnekler alınmış olup KOİ analizleri SM 5220- Açık Refluks yöntemine göre yapılmıştır. KOİ giderim verimini %98 olarak belirlemiştir. Topal ve Arslan Topal (2011) tarafından yapılan çalışmada 2010-2011 kış sezonunda Elazığ Belediyesi AAT'nde KOİ parametresinin değişimleri gözlemlenmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre KOİ konsantrasyonu sınır değer 120 mg/L olarak verilmiştir (Tablo 1) (Anonim, 2006). 2010-2011 kış sezonunda 24. gün 124 mg/L olarak ölçülerek deşarj standardının üstünde olduğu, 24. gün dışında diğer günlerin uygun olduğu izlenmiştir. Doğan (2010) tarafından yapılan tez çalışmasında; 10 farklı atıksu arıtım tesisinde mevsimsel olarak KOİ verimini gözlemiştir. En düşük verimlilik genel olarak kış aylarında yaşanmış olup İzmir-Çiğli AAT'nde %72 olarak gözlenmiştir. En yüksek verim ise genel olarak yaz aylarında yaşanmış olup ilkbahar aylarında Kayseri AAT'nde %98 olarak gözlenmiştir.

3.2. BOİ₅ Arıtım Verimi

Kızıltepe AAT'nin giriş ve çıkış sularından 2018 yılının Eylül ayından 2019 yılının Nisan ayına kadar alınan 24 saatlik kompozit numuneler analiz edilmiştir. Günlük yapılan analiz sonuçlarının aylık ortalama değeri alınarak arıtım verimliliği gözlenmiştir. Aylık ortalama BOİ₅ değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo3. AAT giriş-çıkış suyu BOİ₅ konsantrasyonları ve giderim verimleri

Tarih	Giriş BOİ ₅ değeri (mg/L)	Çıkış BOİ ₅ değeri (mg/L)	Verimlilik (%)
Eylül 2018	414	19	95
Ekim 2018	301	23	92
Kasım 2018	259	23	91
Aralık 2018	229	19	91
Ocak 2019	270	17	93
Şubat 2019	310	15	95
Mart 2019	297	14	95
Nisan 2019	332	21	94
Ortalama	301	19	93

Tablo 3 incelendiğinde, çıkış suyunda ölçülen BOİ₅ konsantrasyonlarının 8 ay boyunca deşarj limiti olan 25 mg/L'nin altında kaldığı görülmektedir BOİ₅ giriş değerinin en yüksek olduğu ay Eylül 2018, en düşük olduğu ay ise Aralık 2018, BOİ₅ çıkış değerinin en yüksek olduğu ay Ekim 2018, en düşük olduğu ay ise Mart 2019 olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre, tesis BOİ₅ giderim veriminin Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinin deşarj limitine uygunluğu gözlenmiştir (Tablo 1) (Anonim, 2006).

Şama (2017) tarafından yapılan çalışmada Ocak 2014-Haziran 2015 tarihleri arasında Taşköprü AAT'nin giriş ve çıkış sularından alınan 2 saatlik kompozit numuneler ile BOİ₅ verimlilik analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre 18 aylık BOİ₅ giderim verimi; min. %83.3, max. %98 ve ort. %94.2 olarak tespit edilmiştir. Azman (2005) tarafından yapılan çalışmada ise Kasım 2013 tarihinde 1 aylık Ankara merkezi AAT'nde giriş ve çıkış sularından alınan 24 saatlik kompozit numunelerde BOİ₅

analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre 1 aylık BOİ₅ giderim verimi; min. %91, max. %97 ve ort. %94,97 olarak bulunmuştur. Tanyol ve Uslu (2013) tarafından Tunceli ili evsel AAT'nin arıtma verimini incelemek amacıyla tesis giriş ve çıkışında BOİ₅ değişimi, Nisan-Haziran 2013 ayları arasında incelenmiştir. Yapılan analizlere göre BOİ₅ giderim verimi; min. %83, max. %93 ve ort. %93 olarak belirlenmiştir. Standartlarla karşılaştırıldığında deşarj edilen BOİ₅ konsantrasyonları standartların altında olduğunu belirtmişlerdir. Öz (2009) tarafından yapılan çalışmada Akzo Nobel-Marshall Ortak Endüstriyel AAT'nde Mart 2008, Mayıs 2008 ve Ocak 2009 aylarında tesis giriş ve çıkış noktalarından kompozit 2 saatlik numuneler alınmış olup, BOİ₅ analizleri SM 5210 yöntemine göre yapılmıştır. Sistemin BOİ₅ giderim verimi %96.8 olarak belirlenmiştir. Doğan (2010) tarafından yapılan tez çalışmasında; 10 farklı atıksu arıtım tesisinde mevsimsel olarak BOİ₅ verimi gözlenmiştir. En düşük verimlilik genel olarak kış aylarında yaşanmış olup İzmir-Çiğli AAT'nde %85, en yüksek verim ise genel olarak yaz aylarında yaşanmış olup ilkbahar aylarında Kayseri AAT'nde %99 olarak gözlenmiştir.

3.3. AKM Arıtım Verimi

Kızıltepe AAT'nin giriş ve çıkış sularından 2018 yılının Eylül ayından 2019 yılının Nisan ayına kadar alınan 24 saatlik kompozit numuneler analiz edilmiştir. Günlük yapılan analiz sonuçlarının aylık ortalama değeri alınarak AKM verimliliği gözlenmiştir. Aylık ortalama AKM değerleri Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. AAT giriş-çıkış suyu AKM konsantrasyonları ve giderim verimleri

Tarih	Giriş AKM değeri (mg/L)	Çıkış AKM değeri (mg/L)	Verimlilik (%)
Eylül 2018	471	17	96
Ekim 2018	403	18	95
Kasım 2018	305	18	94
Aralık 2018	285	18	93
Ocak 2019	401	22	94
Şubat 2019	462	21	95
Mart 2019	398	20	94
Nisan 2019	512	42	92
Ortalama	405	22	94

Tablo 4 incelendiğinde, AKM çıkış suyu konsantrasyonlarının Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği deşarj limitine uygun olduğu gözlenmiştir (Tablo 1) (Anonim, 2006). AKM giriş değerinin en yüksek olduğu ay Nisan 2019 en düşük olduğu ay ise Aralık 2018, AKM çıkış değerinin en yüksek olduğu ay Nisan 2019, en düşük olduğu ay ise Eylül 2018 olarak ölçülmüştür.

Şama (2017) tarafından yapılan çalışmada Ocak 2014-Haziran 2015 tarihleri arasında Taşköprü AAT'nin giriş ve çıkış sularından alınan 2 saatlik kompozit numuneler ile AKM verimlilik analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre 18 aylık AKM giderim verimi; min. %73.3, max. %95.5 ve ort. %90'dır. Yapılan çalışmanın deşarj limitinin altında olduğunu göstermekte olup Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinin deşarj limitine uygunluğunu gözlemiştir (Tablo 1) (Anonim, 2006). 2015 yılının Ocak ayında hesaplanan ortalama giderim veriminin %73.3 olmasının nedeni giriş suyundaki kirlilik yüklerindeki düşüşten dolayı verimin düşüşüne neden olduğunu belirtmiştir.

Azman (2005) tarafından yapılan çalışmada ise Kasım 2013 tarihinde 1 aylık Ankara merkezi AAT'nde giriş ve çıkış sularından alınan 24 saatlik kompozit numunelerde Standart Metod 2540 ile AKM analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre 1 aylık AKM giderim verimi; min. %88, max. %97 ve ort. %93.26 olarak bulunmuştur. Tanyol ve Uslu (2013) tarafından yapılan çalışmada Tunceli ili evsel AAT'nin arıtma verimini incelemek amacıyla tesis giriş ve çıkışında AKM değişimi Nisan-Haziran 2013 ayları arasında incelenmiştir. Yapılan analizlere göre AKM giderim verimi; min %86, max. %94 ve ort. %84'tür. Standartlarla karşılaştırıldığında deşarj edilen AKM konsantrasyonlarının standartların altında olduğunu belirlemişlerdir. Öz (2009) tarafından yapılan çalışmada Akzo Nobel-Marshall Ortak Endüstriyel AAT'nde Mart 2008, Mayıs 2008 ve Ocak 2009 aylarında tesis giriş ve çıkış noktalarından kompozit 2 saatlik örnekler alınmış olup AKM analizleri SM 2540-D 103-105°C kurutma ile toplam askıda katı madde tayin yöntemine göre yapılmıştır. Sistemin AKM giderim verimi %97.83 olarak belirlemiştir. Tesisin AKM giderim veriminin, yaz mevsiminde diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Topal ve Arslan Topal (2011) tarafından yapılan çalışmada 2010-2011 kış sezonunda Elazığ Belediyesi AAT'nin bazı parametrelerle değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmada 2010-2011 kışsezonunda AKM parametresinin değişimleri gözlenmiştir. En yüksek AKM giderim verimi Şubat ayında gerçekleşmiş olup %96,3 giderim sağlanmıştır. En düşük AKM giderim verimi ise yine Şubat ayında %90 olarak gerçekleşmiştir. AKM konsantrasyonunun yönetmelikte belirlenen sınır değerinin altında kaldığını belirtmişlerdir (Tablo 1) (Anonim, 2006). Doğan (2010) tarafından yapılan tez çalışmasında; 10 farklı atıksu arıtma tesisinde mevsimsel olarak AKM verimi gözlenmiştir. En düşük verimlilik genel olarak kış aylarında yaşanmış olup İzmir-Çiğli AAT'nde %83, en yüksek verim ise genel olarak yaz aylarında yaşanmış olup sonbahar aylarında Lara AAT'nde %99 olarak gözlenmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde 8 ay boyunca günlük tesis giriş ve çıkışından alınan 24 saatlik kompozit numuneler ile KOİ, BOİ₅ ve AKM parametreleri analiz edilip giderim verimliliği gözlenmiştir.

KOİ parametresinin 8 aylık ortalama giriş değeri 429.83 mg/L çıkış değeri ise 28.10 mg/L'dir. 8 aylık ortalama KOİ konsantrasyonunun verimliliği %92.67 olarak hesaplanmıştır.

BOİ₅ parametresinin 8 aylık ortalama giriş değeri 400 mg/L çıkış değeri ise 25 mg/L'dir. 8 aylık ortalama BOİ₅ konsantrasyonunun verimliliği %92 olarak hesaplanmıştır.

AKM parametresinin 8 aylık ortalama giriş değeri 404.71 mg/L çıkış değeri ise 22.14 mg/L'dir. 8 aylık ortalama AKM konsantrasyonunun verimliliği %94.10 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre tesis, KOİ, BOİ₅ ve AKM parametreleri bakımından Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliğinin deşarj limitlerine uygun olarak işletilmektedir (Anonim, 2006).

Kaynakça

Akkoyunlu, A., Avsar, Y., Erguven, G.O. 2017. Hazardous Waste Management in Turkey. *Journal of Hazardous Toxic and Radioactive Waste*, 21(4): 04017018.

Anonim (2006). Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği. *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, Türkiye.

APHA, 1998. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. *American Public Health Association*, Washington, D.C.

Ayrak, B. 2010. Evsel atıksuların arıtılması ve maliyet analizi. *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze-Kocaeli, Türkiye, 83s.

Azman, H.E. 2005. Evsel atıksuların arıtılmasında arıtma verimi-enerji ilişkisinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, Türkiye, 95s.

Boduroğlu, B.H. 2008. Evsel atıksuların arıtılması ve havalandırma parametrelerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 57s.

Doğan, F. 2010. Mevcut atıksu arıtma tesislerinin fosfor giderimi için rehabilitasyon seçeneklerinin değerlendirilmesi. *Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı*, Türkiye, 163s.

Duman, H. 2017. Arıtılmış kentsel atıksuların sulamada yeniden kullanımı kayseri atıksu arıtma tesisi örneği. *Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü*. Ankara, Türkiye, 100s.

Eskikaya, B.O. 2018. Kahramanmaraş merkez atıksu arıtma tesisi giriş atıksuyukarakterizasyonu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, Türkiye, 59s.

Gülsoy, İ. 2017. Kentsel atıksu arıtma tesisinin online izlenmesi ile enerji etüt ve optimizasyonu. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, Türkiye, 97s.

Kanat, G., İkizoglu, B., Erguven, G.O., Akgun, B. 2018. Determination of Pollution and Heavy Metal Fractions in Golden Horn Sediment Sludge (Istanbul, Turkey). *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(6): 2605-2611.

Öz, A. 2009. Atıksu arıtma tesislerinde verimlilik kontrolü ve işletme sorunları. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, Türkiye, 119s.

Samsunlu, A. 2011. Atıksuların Arıtılması, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.

Sinan, R.K. 2010. Evsel atıksu arıtma tesislerinde ön arıtım ve biyolojik arıtım çıkış parametrelerinin YSA ile tahmini. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, Türkiye, 140s.

SKKY, 2004. 31.12.2004 tarih ve 25867 sayılı Resmî Gazete.

Şama, A. 2017. Taşköprü (Kastamonu) atıksu arıtma tesisi için proje aşamasında öngörülen ve mevcut durumda sağlanan verimin sürekliliğinin karşılaştırılması. *İller Bankası Anonim Şirketi*, Türkiye, 129s.

Tanyol, M., Uslu, G. 2013. Tunceli evsel atıksu arıtma tesisinin arıtma etkinliğinin değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 24-29.

Topal, M., Arslan Topal, E.I. 2011. 2010-2011 kış sezonunda Elazığ Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'nin bazı parametrelerle değerlendirilmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 32(2), 12s.

Yıldırım, A.K. 2006. Evsel atıksu arıtma tesislerinde debi-maliyet ilişkileri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, Türkiye, 126s.



Kitosan Esaslı İlaç Taşıyıcı Sistem Üretimi ve *In vitro* Performansının Belirlenmesi

Yeliz Erşan¹, Sakip Önder^{2*}

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0104-7807), yelize@yildiz.edu.tr

^{2*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8170-7929), sonder@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 9 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.770863)

ATIF/REFERENCE: Erşan, Y. & Önder, S. (2020). Kitosan Esaslı İlaç Taşıyıcı Sistem Üretimi ve *In vitro* Performansının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 270-279.

Öz

Sunulan çalışmanın amacı kemik dolgu malzemesi ve ilaç taşıma sistemi olarak kullanılabilen kitosan mikro kürelerin üretimi, karakterizasyonu ve performansının *in vitro* olarak belirlenmesidir. Bu amaçla; kitosan esaslı mikro küreler emülsiyon çapraz bağlama yöntemi ile üretilmiş olup, mikro kürelerin boyut, şekil ve ilaç yükleme verimliliklerine etki eden karıştırıcı hızı, çapraz bağlama ajanı gibi faktörler incelenmiştir. İlaç çalışmalarında kullanılmak üzere bakteriyel enfeksiyonların tedavisinde kullanılan antibiyotik ciprofloksacin tercih edilmiştir. Ayrıca, hazırlanan mikro kürelerin biyoaktivitelerini test etmek için yapay vücut sıvısı (SBF) hazırlanmış ve 3 hafta boyunca mikro küreler SBF içerisinde bekletilerek hidroksiapatit çökmesi (HA) takip edilmiştir. SBF içerisine konulan mikro küreler haftalık olarak toplanmış, Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile analiz edilmiştir. Işık Mikroskopu ve SEM analizlerine göre küre boyutları karıştırma hızı arttıkça azalmış ve $102,27 \pm 34,58 \mu\text{m}$ den $16,38 \pm 3,26 \mu\text{m}$ ye kadar düşmüştür. Düşük miktarda kullanılan çapraz bağlayıcı ajan glutaraldehit (GA) ($\text{NH}_2\text{:CHO}$, 10:1 mol:mol) ise küre şekillerinde bozukluğa neden olurken, yüksek miktarda GA kullanımı ($\text{NH}_2\text{:CHO}$, 1:10 mol:mol) kürelerin şeklinde iyileşmeye, küre boyutunda ve ilaç yükleme verimliliğininde azalmaya, ilaç salım hızında ise yavaşlamaya neden olmuştur. SBF ile inkübe edilen mikro kürelerin SEM görüntülerine göre HA yapıları 1. haftadan sonra yüzeylerde birikmeye başlamış, bu yapılar 3. haftada yüzeylerde daha belirgin hale gelmiştir. FTIR analizleri de HA çökmesini işaret eden PO_4^{3-} gruplarının 3. haftada daha belirgin olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlara göre antibiyotik ciprofloksacin yüklü kitosan mikro küreler emülsiyon çapraz bağlama yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilmiş olup, karıştırma hızı ve çapraz bağlayıcı ajanı GA miktarlarının mikro küre boyut, şekil ve salım profillerine etkisi ortaya konmuştur. Biyoaktivite testlerinde kitosan mikro kürelerin, osteoentegrasyonu artırma potansiyelinin olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla kitosan mikro küreler, kemik doku hasarlarında lokal olarak biyomoleküllerin salımını yapabilen dolgu malzemesi olarak veya implant malzemelerin yüzeylerinin modifikasyonunda kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Kitosan, İlaç Salımı, Biyoaktivite.

Synthesis of Chitosan Based Drug Delivery System and Evaluation Its Performance *In Vitro*

Abstract

The aim of the present study is to synthesize, characterize chitosan microspheres that can be used as bone-filling material and drug carrier system, and to evaluate its performance *in vitro*. For this purpose; chitosan-based microspheres were synthesized by the emulsion cross-linking method and factors such as stirring rate and cross-linker that may affect the size, shape, and drug loading efficiency of microspheres were examined. Antibiotic ciprofloxacin that is used in the treatment of bacterial infection was preferred for drug studies. Furthermore, simulated body fluid (SBF) was prepared to determine the bioactivity of the microspheres, and hydroxyapatite (HA) precipitation on microspheres was followed for 3 weeks in SBF. Microspheres were collected from SBF weekly

* Sorumlu Yazar: sonder@yildiz.edu.tr

and characterized using light microscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM), and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). According to the light microscope and SEM analysis, the sphere dimensions decreased as the stirring rate increased and decreased from $102,27 \pm 34,58 \mu\text{m}$ to $16,38 \pm 3,26 \mu\text{m}$. Low amount of cross-linking agent (glutaraldehyde (GA)), (NH_2 : CHO, 10: 1 mol: mol) caused distortion in the shape of microspheres, while the high amount of GA (NH_2 : CHO, 1:10 mol: mol) caused smooth microspheres, a reduction in the size and drug loading efficiency, and a slowdown in the drug release rate. According to the SEM images of the microspheres incubated with SBF, HA structures began to precipitate on the surfaces after the first week, and these structures became more pronounced in the third week. PO_4^{3-} groups attributed to HA precipitation in FTIR spectrum were more obvious at week 3. In conclusion; antibiotic ciprofloxacin loaded chitosan microspheres were synthesized successfully by the emulsion crosslinking method, and the effect of stirring rate, crosslinking agent GA amounts on microsphere size, shape, and release profiles were demonstrated. Enhanced HA precipitation was shown on chitosan microspheres in bioactivity tests. Hence, chitosan microspheres may be used as bone-filling material that can release biomolecules to damaged sites locally, or as coating to modify the surfaces of implant materials.

Keywords: Chitosan, Drug Release, Bioactivity.

1. Giriş

İlaç taşıma sistemleri; belirli zaman aralıklarında yerel veya sistemik olarak uzun vadeli bir tedavi için önceden belirlenmiş ve tekrarlanabilir kontrollü ilaç salınımını sağlamaktadır (Nathan & Scobell, 2012). Geleneksel yöntemde ilaç bir seferde ve yüksek dozda verilir ve doz birkaç saat veya bir gün sonra tekrarlanmalıdır. Bu yöntem ekonomik değildir ve zararlı yan etkilere sahiptir (Nanjwade vd., 2011). Kontrollü ilaç salım sistemlerinin amacı, ilaç tedavisinin performansını arttırmaktır. Bu mekanizma terapötik aktiviteyi artırır ve doz frekansı, doz azaltımı ve tedavi sırasında doz aşımı nedeniyle toksisiteyi düşürerek yan etkileri azaltır. Kontrollü ilaç salım sistemi, kan plazmasında sabit bir ilaç konsantrasyonu seviyesi sağlar. İlaç konsantrasyonu seviyesi sabit değilse, ilaç normal seviyenin altına düşer veya toksik seviyenin üzerine çıkar. Bu durum hastada istenmeyen yan etkilere neden olabilir.

Kontrollü ilaç taşıma sistemi bir polimerin bir ilaç ya da başka bir aktif ajan ile birleştirilmesiyle üretilir. İlaç taşıma sistemlerinde kullanılan polimerler, toksik olmayan, alerjik olmayan, yüksek saflıkta ve tekrarlanabilir olmalı, *in vivo* koşullarda biyolojik olarak parçalanabilmeli ve parçalanma işlemi sonrası oluşan yapılar metabolizmada kullanılabilir (Seyfoddin & Al-Kassas, 2011). Biyomalzeme olarak kullanılan biyolojik olarak bozunabilir polimerler doğal veya sentetik olabilir. Sentetik polimerler, bireysel ihtiyaçlara göre uyarlanabildiği için daha fazla esneklik sağlar ve doğal polimerler uygun, ucuz ve kimyasal olarak modifiye edilebilir (Kalia & Avérous, 2011). Kitosan toksik olmaması, biyoyumluluğu, biyolojik bozunabilirliği, düşük allerjenite ve muko-yapışması nedeniyle tıbbi uygulamalar alanında önemli bir role sahiptir (Di Martino vd., 2005; Khor & Lim, 2003; Şenel & McClure, 2004). Özellikle yüksek biyoyumluluğu ve biyolojik olarak parçalanabilirliği tıbbi uygulamalar için önemli fırsatlar sağlamaktadır. Kitosanın biyolojik olarak parçalanabilir özelliği ilaç taşıma sistemleri için önemli bir avantajdır (Dash vd., 2011). Memeli vücudunda kolondaki lizozim ve bakteriyel enzimler, metabolik aktivitelerde kitosanı parçalayabilir (Dias vd., 2013). Kitosan toksik olmaması nedeniyle de FDA tarafından Japonya, İtalya ve Finlandiya'da diyet uygulaması ve yara pansumanında kullanılmak üzere onaylanmıştır (Illum, 1998; Thanou vd., 2001; Wedmore vd., 2006).

Mikro küre esaslı ilaç taşıma sistemleri ilaçların çeşitli polimerlerle kombinasyonu/formülasyonu yoluyla spesifik uygulama alanına uyarlanmasını sağlar. Mikro küre esaslı sistemler biyoaktif maddelerin salınımını kontrol eder ve aktif bileşenlerin ömrünü uzatabilir. Kitosan esaslı mikro küreler,

ilaçların kontrollü salınımı için yaygın olarak kullanılan ilaç taşıma sistemleridir. Anti-hipertansif ajanlar, anti-kanser ajanları, anti-inflamatuar ajanlar, proteinler, peptid ilaçlar ve aşılardan kitosan esaslı mikro kürelerden salımı literatürde çalışılmaktadır (Sinha vd., 2004). Kitosan esaslı mikro küreler püskürtürerek kurutma, eleme yöntemi, koaservasyon/çökeltme, emülsiyon çapraz bağlama, iyonik jelleştirme vb. gibi çeşitli tekniklerle üretilmektedir (Agnihotri vd., 2004). Emülsiyon çapraz bağlama yönteminde kitosanın reaktif fonksiyonel amino grubunun çapraz bağlayıcı maddenin mevcut reaktif gruplarıyla çapraz bağlanmasından yararlanmaktadır. Bu yöntemde, yağ içinde su emülsiyonu, kitosan sulu çözeltisinin yağ fazında emülsiyon haline getirilmesi ile hazırlanır. Sulu damlacıkları stabilize etmek için uygun bir yüzey etkin maddesi kullanılır. Daha sonra uygun çapraz bağlayıcı ortama eklenerek damlacıkların (mikro kürelerin) mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanır. Son işlem olarak mikro küreler filtrelenerek yıkanır ve kuruma işlemine bırakılır (Akbuğa & Durmaz, 1994).

İlaç taşıma sistemlerinin üretilmesinde kullanılan polimerlerin yapısında bulunan reaktif gruplar sadece çapraz bağlayıcı maddelerin bağlanması için değil, belirli bir organa/dokuya hedeflenmiş ilaç taşıma sistemlerinin ve polimerik kompozit yapılarının üretilmesi içinde oldukça önemlidir (Bhattacharya vd., 2016; Hreczuk-Hirst vd., 2001; Mattu vd., 2016). Örneğin, Depan vd., organik-inorganik hibrid 3B yapı üretmek amacıyla kitosan ve nano hidroksiapatit (nHA) yapılarını kullanmışlardır (Depan vd., 2011). Kitosanın yapısında bulunan $-\text{NH}_2$ gruplarına propilenoksit bağlanmış, nHA yapısı etilen glikol ile fonksiyonel hale getirilmiş ve doku mühendisliği uygulamalarında kullanılmak üzere mekanik özellikleri, fiziksel-kimyasal özellikleri, biyoyumluluğu artırılmış hibrid yapılar üretilmiştir. Aynı şekilde, Zhe vd, ise PLGA esaslı mikro kürelerin yüzeyinde nano hidroksiapatit büyütebildiğini göstermişlerdir (Zhe vd., 2011). Bu çalışmada polimerin yapısında bulunan $-\text{COOH}$ gruplarının Ca^{2+} bağlama özelliğinden yararlanılmış ve PLGA yüzeyleri nHA yapıları ile kaplanmıştır.

Hidroksiapatit (HA) ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) doğal bir mineral olup diş minesi, dentin, kemik gibi dokuların yapısında yer almaktadır. Sentetik ve doğal seramik malzemelerin yapı iskelesi olarak kullanılmaya potansiyelinin keşfinden sonra bu malzemeler özellikle kemik doku mühendisliği alanında kendilerine geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır (Burg vd., 2000). Bunun temel sebebi seramiklerin kemiğin doğal inorganik kısmına çok benzemeleri, yüksek biyoyumluluğu ve osteokondaktif özelliğinin olmasıdır (Leukers vd., 2005; Teixeira vd., 2009). Kemik-implant ara yüzeyinde çok kuvvetli bağlar

oluşturabilmektedir (Onder vd., 2015) ve kemiğin bu yüzeyde büyüebilmesini hızlandırmaktadır. HA gözenekli yapısı sayesinde hücrelerin, gözeneklerin içine doğru büyümesine izin verir ve dokuların implante nüfuz etmesini sağlar. Ayrıca HA'nın yapısındaki gözenekler, kanallar sistemi gibi davranıp, kemik yapıya kanın ve diğer önemli vücut sıvılarının ulaşmasını sağlar (Pasinli & Aksoy, 2010). Yapılan çalışmalarda HA yapısı ile yüzeyi modifiye edilmiş titanyum malzemelerde, yüzeyi modifiye edilmeyenlere göre osteoblast hücrelerin tutunma, büyüme ve farklılaşma kabiliyetlerinin arttığı görülmüştür (Lee vd., 2009; Liu vd., 2011). Bu seramikler yüksek kırılma güçlüğü yüzünden kemiklerin mekanik özelliklerini taşımamaktadır ve bu yüzden doğrudan sert doku implantı olarak kullanılamazlar. Fakat bahsedilen özelliklerinden ötürü metal implant malzemeleri için kaplama malzemesi olarak, tek başlarına veya farklı biyomalzemeler ile karıştırılarak kemik yaralanmalarının tedavisinde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler.

Kontrollü ilaç sistemlerinin ve HA yapısının sırasıyla hastalıkların tedavisi ve sert doku uygulamalarındaki pozitif etkileri göz önüne alındığında, HA ve kitosan esaslı ilaç taşıma sisteminden oluşan hibrit bir yapının hasarlı kemik dokuların tedavisine önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada; (i) ilaç taşıma sistemi/kemik dolgu malzemesi olarak kullanılabilir ve kontrollü salım yapabilecek kitosan mikro kürelerin üretimi ve karakterizasyonu, (ii) SBF içerisinde kitosan mikrokürelerin yüzeylerinde HA büyümesinin tespiti çalışılacaktır. Bu amaçla, kitosan esaslı mikro küreler emülsiyon çapraz bağlama yöntemi ile üretilecek olup, mikro kürelerin boyut, şekil ve ilaç yükleme verimliliklerine etki eden karıştırıcı hızı, çapraz bağlama ajanı gibi faktörler incelenecektir. Bahsedilen faktörlerin etkisi ışık mikroskobu, SEM ve ilaç salım çalışmaları ile tespit edilecektir. Mikro kürelerin biyoaktif testleri ise SBF içerisinde yapılacak olup, yüzeylerdeki HA büyümesi SEM, Enerji Dağılımı Spektrometresi (EDS) ve FTIR ile takip edilecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan mineral yağı, kitosan (deasetilasyon oranı= %96, 50494 Sigma), glutaraldehit (GA), ciprofloksacin, NaCl, NaHCO₃, KCl, K₂HPO₄.3H₂O, MgCl₂.6H₂O, HCl, CaCl₂, Na₂SO₄ ve (CH₂OH)₃CNH₂ Sigma Aldrich' ten temin edildi.

2.2. Metot

2.2.1. Kitosan Mikrokürelerin Üretimi

Mikro küre üretiminde emülsiyon çapraz bağlama yöntemi kullanıldı. Bunun için 50 ml mineral yağı içerisine 1000 µl span 80 eklenerek oda sıcaklığında mekanik karıştırıcı ile 10 dakika karıştırıldı. 0,1 gr kitosan asetik asit (0.1 M) içerisinde çözülürülerek %2'lik kitosan çözeltisi hazırlandı (5ml). Hazırlanan polimer solüsyonu, şırınga yardımıyla sabit bir hızda yağ karışımına damlatılarak eklendi ve 30 dakika boyunca 500 rpm hızla karıştırıldı. Çapraz bağlayıcı ajanı, (125 µl) 25 % Glutaraldehit (GA) eklendi ve 1 saat karıştırıldı. Karışım 60 °C de 1,5 saat inkübe edilerek çözücünün ortamdan uzaklaştırılması ve kürelerin çökmesi sağlandı. Kürelerden yağın uzaklaştırılması için küreler hekzan ile 5dk boyunca 3 defa yıkandı. Yıkama işlemi için santrifüj (4000 rpm, 5 dk) kullanıldı. Yıkanan küreler

kuruması için 1 gün 37 °C de bekletildi. Kuruyan küreler, kullanılabilece kadar desikatörde muhafaza edildi.

2.2.2. GA Miktarının Mikro Küre Boyutu Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Kitosan mikro kürelerin yüzeylerinde bulunan -NH₂ grupları GA tarafından çapraz bağlama işlemi için kullanılmaktadır. Bu sebeple çapraz bağlama işleminin küre boyutları ve salım profilleri üzerine etkisinin incelenmesi için küre üretimi esnasında farklı GA miktarı kullanıldı. Ortama eklenen kitosanın yapısındaki -NH₂ gruplarının ve GA yapısındaki -COOH gruplarının oranları NH₂:COOH, 10:1,1:1,1:10 mol:mol olacak şekilde ayarlandı (Filipkowska & Józwiak, 2013) ve bu hesaba göre küre yapımı sırasında ortama sırasıyla 40, 400 ve 4000 µl (%25'lik) GA çapraz bağlayıcı ilave edildi. Elde edilen kürelerin şekil ve boyutunu analiz etmek için ışık mikroskobu ve SEM kullanıldı.

2.2.3. Karıştırma Hızının Mikro Küre Boyutu Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Karıştırma hızının mikro küre boyutu üzerine etkisini belirlemek için, yağ/sıvı karışımı farklı karıştırma (200-600 rpm) hızlarında karıştırıldı. Küre boyutlarını analiz etmek için yine ışık mikroskobu ve SEM kullanıldı.

2.2.4. GA Miktarının İlaç Yükleme Verimliliği ve İlaç Salımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

İlaç mikro küre üretiminde kullanılacak polimer solüsyonu içerisinde çözülürdü ve küre oluşumu sırasında tutuklama işlemi gerçekleştirildi. Küre üretimi sırasında, %2'lik kitosan solüsyonu (5ml) içerisine 500 µg/ml derişiminde 1 ml ilaç (ciprofloksacin) eklenerek karıştırıldı (500 rpm). İlaçlı polimer solüsyonu yağ karışımına eklenerek ilaç yüklü mikro küreler üretildi. Bu işlem 40, 400 ve 4000 µl GA miktarları için tekrarlandı. Yağ fazında, yüklenmeyen ilaç miktarının analizi zor olduğundan ilaç yükleme verimi ilaç salım profili elde edildikten sonra hesaplandı.

İlaç salım profillerinin belirlenmesi için 40, 400 ve 4000 µl GA içeren mikro kürelerden 250'şer mg alınarak 15 ml'lik falkon tüplere yerleştirildi. Her bir falkon tüpünün içerisine sıcaklığı 37°C olan 3 ml PBS (0.1 M) çözeltisi eklendi ve bu tüpler 37°C de çalkalayıcı üzerinde (100 rpm) salıma bırakıldı. Bu denemeler üçlü setler halinde yapıldı. Numune toplama aşamasında falkon tüplere 4000 rpm de 3 dakika süren santrifüj işlemi uygulandı ve dikkatli bir şekilde örnekler üst fazdan toplandı. Numunelerin alınmasından sonra ortama tekrar PBS eklenerek örnekler 37°C muhafaza edildi. 500 µg ilaç eklenerek hazırlanan mikro kürelerden salımı yapılan ilaç miktarı 2-400 saat aralığında toplanan örnekler üzerinde çalışıldı. Toplanan örneklerdeki ilaç miktarları kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplandı. Kalibrasyon eğrisi bilinen ilaç miktarlarına karşılık UV-VIS spektrofotometre kullanılarak 278 nm'de okumalar yapılarak çizildi. Farklı miktarda çapraz bağlayıcı kullanılan çalışmalarına ait sonuçların salım profilleri elde edildikten sonra yükleme verimliliği şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{ilaç yükleme verimliliği (\%)} = \frac{\text{salımı yapılan ilaç miktarı}}{\text{eklenen ilaç miktarı}} \times 100$$

2.2.5. Mikro Kürelerin Biyoaktivite Çalışmaları

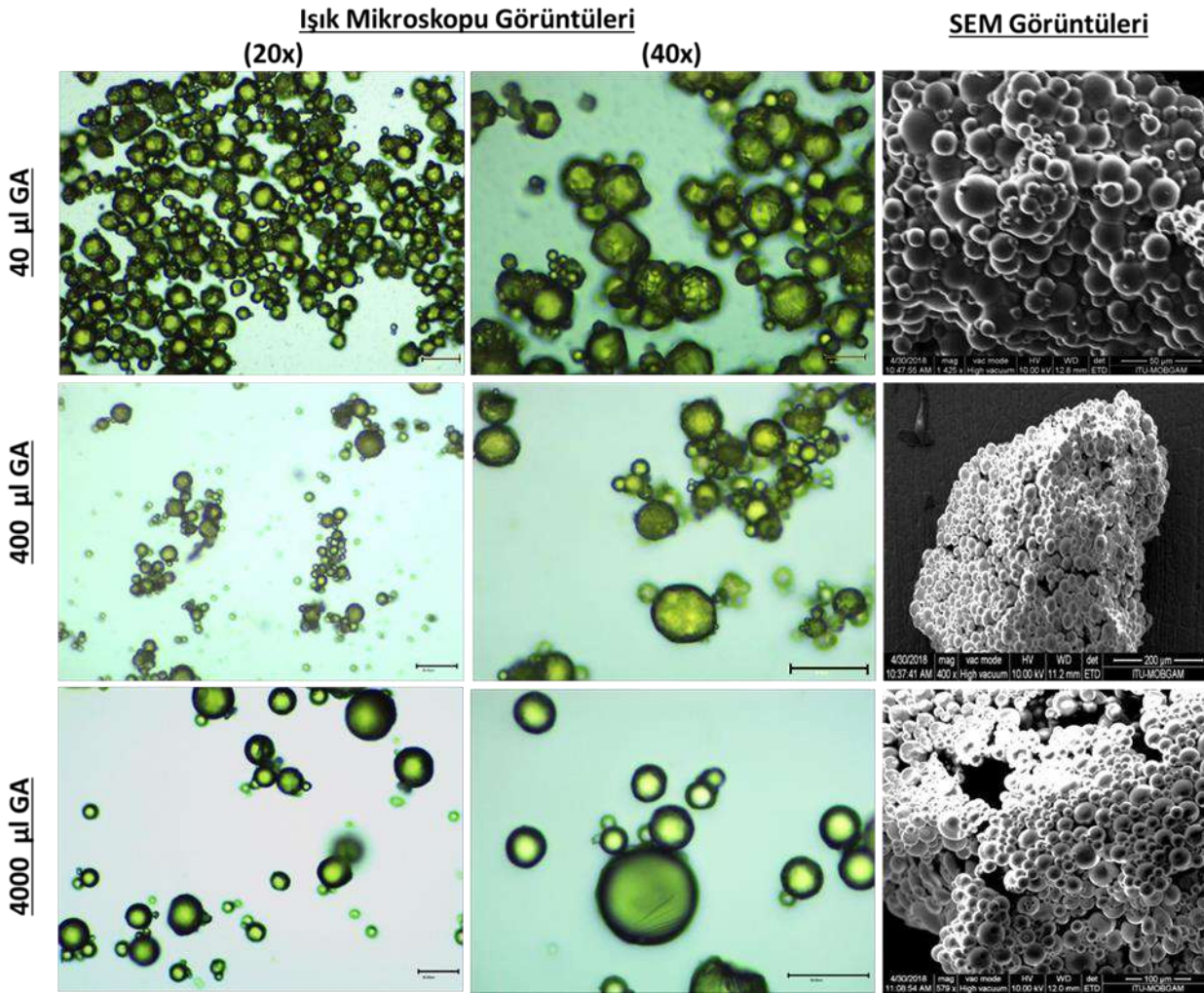
Mikro kürelerin biyoaktiviteleri yapay vücut sıvısı (SBF,1X) ile değerlendirilmiştir. SBF hazırlanmasında daha önceki çalışmada kullanmış olduğumuz prosedür uygulanmıştır (Onder vd., 2013). Kısaca, 40 ml 1X SBF çözeltisi hazırlamak için distile su içerisine sırasıyla 0,319 gr NaCl, 0,013 gr NaHCO₃, 0,009 gr KCl, 0,009 gr K₂HPO₄.3H₂O, 0,01 gr MgCl₂.6H₂O, 1,48 ml HCl (1 M), 0,01 gr CaCl₂, 0,003 gr Na₂SO₄ ve 0,24 gr (CH₂OH)₃CNH₂ eklendi ve pH değeri 37 °C de 7.4 olacak şekilde ayarlandı. pH değerlerinin ayarlanmasında 1M HCl veya

1M NaOH çözeltileri kullanıldı. SBF hazırlandıktan sonra 100 mg küre 5 ml SBF içerisinde 37 °C çalkalayıcıda 3 hafta boyunca inkübasyona bırakıldı. SBF çözeltisi 2 günde bir yenisi ile değiştirildi ve haftada bir örneklerden numuneler alınarak SEM, EDS ve FTIR analizleri yapıldı.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. GA Miktarının Mikro Küre Boyutu Üzerine Etkisi

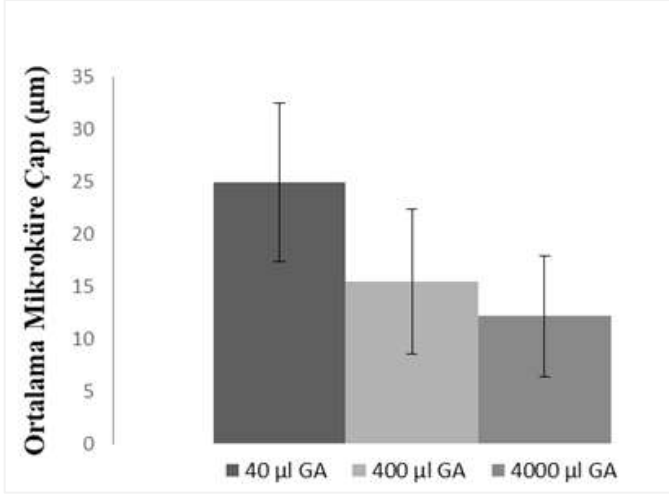
40 µl'lik GA kullanımında elde edilen kürelerin ışık mikroskopi görüntülerinde özellikle kürelerin daha fazla miktarda birbirine yapıştığı ve bozulmuş küre yapılarının varlığı gözlemlendi (Şekil 1). Bunun bir sebebi ortamda yeterince çapraz bağlayıcı olmaması ve aynı çapraz bağlayıcının farklı



Şekil 1. Farklı miktarlarda GA ile üretilen kitosan mikro kürelerin ışık mikroskopi (ölçü çubuğu 50µm) ve SEM görüntüleri.

kürelerin yüzeylerinde bulunan -NH₂ grupları ile bağ kurması olabilir. 400 ve 4000 µl çapraz bağlayıcı kullanımında ise mikro kürelerin boyutlarının daha homojen dağıldığı ve şekil olarak daha küresel forma sahip olduğu görülmektedir. SEM analizleri de ışık mikroskopi analizlerini desteklemektedir.

Elde edilen kürelerin çaplarının belirlenmesi için ışık mikroskopi altında farklı GA varlığında üretilmiş ve farklı



Şekil 2. Farklı GA miktarları kullanılarak üretilen mikro kürelerin boyut analizi.

boyutlara sahip küreler üzerinde boyut analizleri yapılmıştır (Farklı boyutlara sahip seçilmiş 100 adet mikro kürenin çapı ölçülmüştür). Bu analize göre 40 µl GA ile üretilen mikro kürelerin ortalama çapı $25 \pm 7,5$ µm, 400 µl GA ile üretilen mikro kürelerin ortalama çapı $15,5 \pm 6,9$ µm ve 4000 µl GA ile üretilen mikro kürelerin ortalama çapı $12,2 \pm 5,8$ µm'dir (Şekil 2).

Dolayısıyla GA miktarındaki artış küre boyutlarında küçülmeye neden olmaktadır. GA çapraz bağlayıcısının kitosan kürelerin yapısında bulunan serbest $-NH_2$ grupları ile bağ yaptığı göz önüne alınırsa, GA miktarındaki artış ile küre yüzeylerinde serbest $-NH_2$ gruplarının miktarında azalma olması, daha sağlam ve küreye benzer yapıların oluşması beklenmekteydi. Kürelerin çaplarında meydana gelen azalma bu görüşü desteklemektedir. Ayrıca 400 ve 4000 µl GA kullanılarak oluşturulan kürelerin boyutları arasındaki farkın 40 µl ve 400 µl GA kullanılarak oluşturulan kürelerin boyutları arasındaki farktan daha az olması, 400 µl çapraz bağlayıcının kullanıldığı yüzeylerde çapraz bağlama işleminden sonra küre yüzeylerinde serbest $-NH_2$ gruplarının bulunduğunu fakat miktarında bir azalmanın olduğunu göstermektedir.

Kitosan yüzeyinde bulunan amino grupları $pH < 6.5$ değerinde proton kazanmakta olup (Ali & Ahmed, 2018), yüzeylerde hidroksiapatit büyümesi için çekirdeklenme merkezi oluşturma potansiyeline sahiptir. Mikro küre yüzeylerinde daha fazla $-NH_2$ grubuna sahip olunması durumunda mikro kürelerin biyoaktivitelerinin artması sağlanabilir. Bu nedenle daha homojen küre boyutlarının üretilmesine olanak sağlayan 400 µl GA bundan sonraki küre çalışmalarında kullanılacak en uygun çapraz bağlayıcı miktarı olarak belirlenmiştir.

3.2. Karıştırma Hızının Mikro Küre Boyutu Üzerine Etkisi

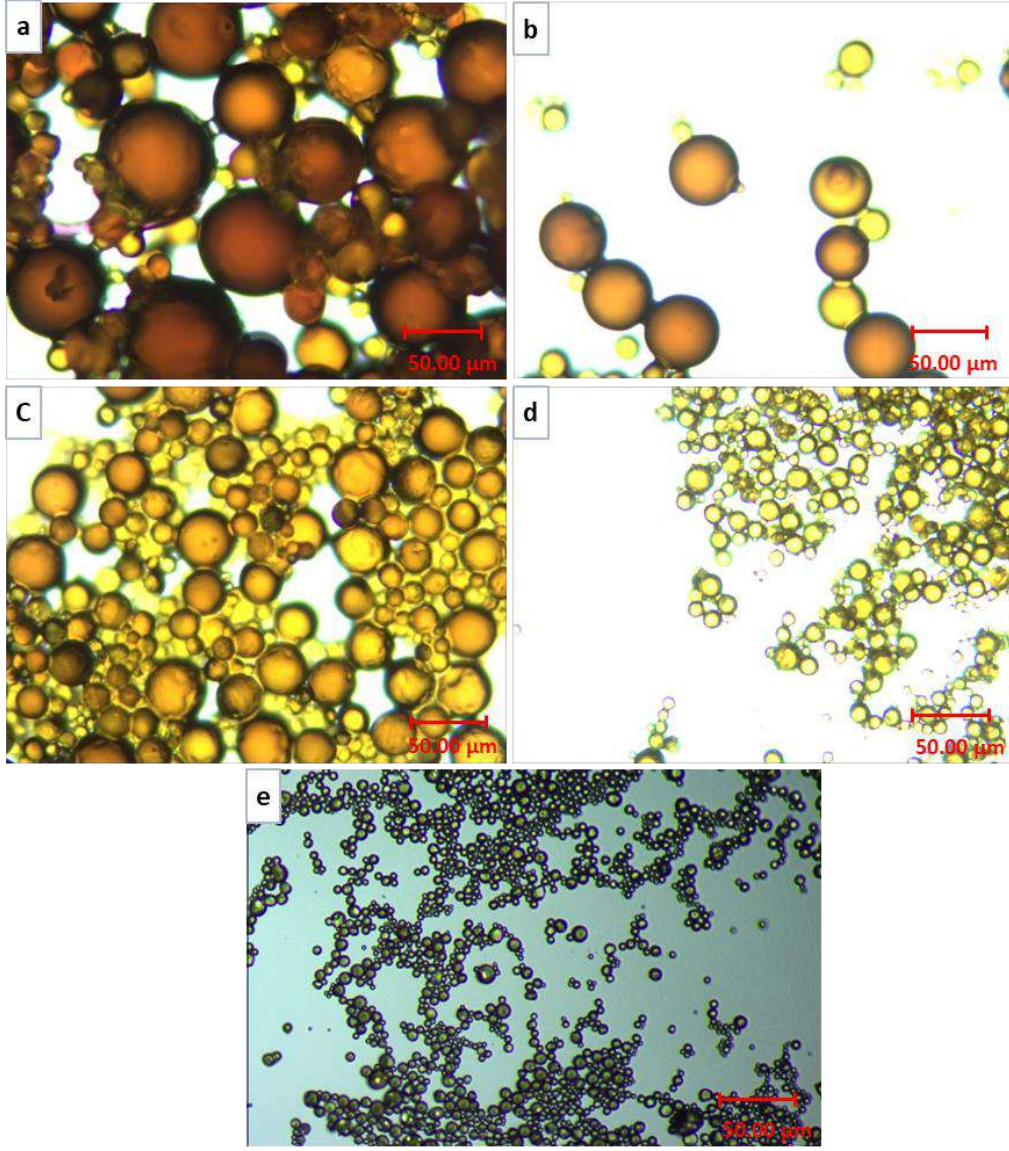
Işık mikroskopu analizlerine göre karıştırma hızı arttıkça oluşan küre boyutları küçüldü (Şekil 3). Farklı karıştırma hızlarının kullanıldığı üretim işlemlerinin sonunda elde edilen farklı boyutlardaki mikro küreler üzerinde yapılan boyut analizinde (Farklı boyutlara sahip seçilmiş 100 adet mikro kürenin çapı ölçülmüştür) küre boyutlarının 200 rpm'de $102,27 \pm 34,58$ µm, 300 rpm'de $61,03 \pm 20,59$ µm, 400 rpm'de $48,81 \pm 11,41$ µm, 500 rpm'de $21,86 \pm 4,34$ µm ve 600 rpm'de $16,38 \pm 3,26$ µm olduğu görüldü.

Dolayısıyla karıştırma hızındaki artışın da küre boyutlarında azalmaya neden olduğu ortaya konuldu. 200-600 rpm karıştırma hızı aralığında ortalama 15-100 µm çapında mikro kürelerin üretiminin mümkün olduğu gösterilmiştir. Fakat düşük karıştırma hızlarında küre boyutlarındaki farklılık artış göstermekte ve homojen boyutta küre üretimi zorlaşmaktadır. Bu nedenle çalışmalara 500 rpm karıştırma hızı ile devam edilmiştir.

3.3. GA Miktarının İlaç Yükleme Verimliliği Üzerine Etkisi

İlaç yükleme verimliliğinin hesaplanmasında kullanılan ölçümleme eğrisi Şekil 4a 'da verilmiştir. İlaç salım profillerine göre 40, 400 ve 4000 µl GA kullanılarak hazırlanan mikro kürelerin ilaç tutuklama verimlilikleri sırasıyla %50,4 ($252,58 \pm 2,39$ µg), %43,4 ($216,93 \pm 4,52$ µg) ve %20,6 ($103,22 \pm 0,56$ µg) olarak hesaplanmıştır (Şekil 4b).

GA miktarı arttıkça mikro kürelerin ilaç tutuklama



Şekil 3. Farklı karıştırma hızları kullanılarak üretilen mikro kürelerin ışık mikroskobu görüntüleri (10x). (a) 200, (b) 300, (c) 400, (d) 500 ve (e) 600 rpm.

verimliliklerinde bir azalma olduğu görüldü. GA miktarındaki artış kürelerin boyutlarında bir azalmaya ve dolayısıyla kürelerin şişmesinde ve yüzey alanlarında küçülmeye neden olmuştur. GA miktarındaki artışın ilaç yükleme verimliliğinde düşmeye neden olmasını bu sebeplerle açıklayabiliriz.

3.4. GA Miktarının İlaç Salım Hızına Etkisi

İlaç yüklü mikro kürelerin 400 saatlik salım profilleri incelendiğinde, bu süre sonunda farklı GA ile üretilen mikro küreler hemen hemen tutuklanmış olan ilacın tamamını salmış durumdadır (Şekil 5a). Mikro kürelere yüklenen ilaç miktarlarına bakıldığında 40 ve 400 µl GA kullanılan mikro kürelere ortalama 252 ve 216 µg, 4000 µl GA kullanılan mikro kürelere ise 103 µg ilaç yüklemesi yapılmıştır.

Dolayısıyla 400 saat sonunda 40 ve 400 µl GA kullanılan kürelerden salınan ilaç miktarlarının daha fazla olması, daha az miktarda ilaç yüklenen 4000 µl GA uygulanan kürelerden daha az miktarda ilaç salımının olması beklenen bir sonuçtur. Salım profilleri incelendiği zaman ilaç salım hızlarının birbirinden farklı olduğu görüldü (Şekil 5b). GA miktarındaki artışa bağlı olarak ilaç salım miktarında bir yavaşlama meydana gelmiştir.

Örneğin 40 ve 400 µl GA kullanılan mikro kürelere ait 12 saatlik ilaç salım profilleri incelendiğinde; 40 µl GA kullanılan mikro kürelerdeki ilacın yaklaşık % 89'nun (yaklaşık 225 µg) salımı

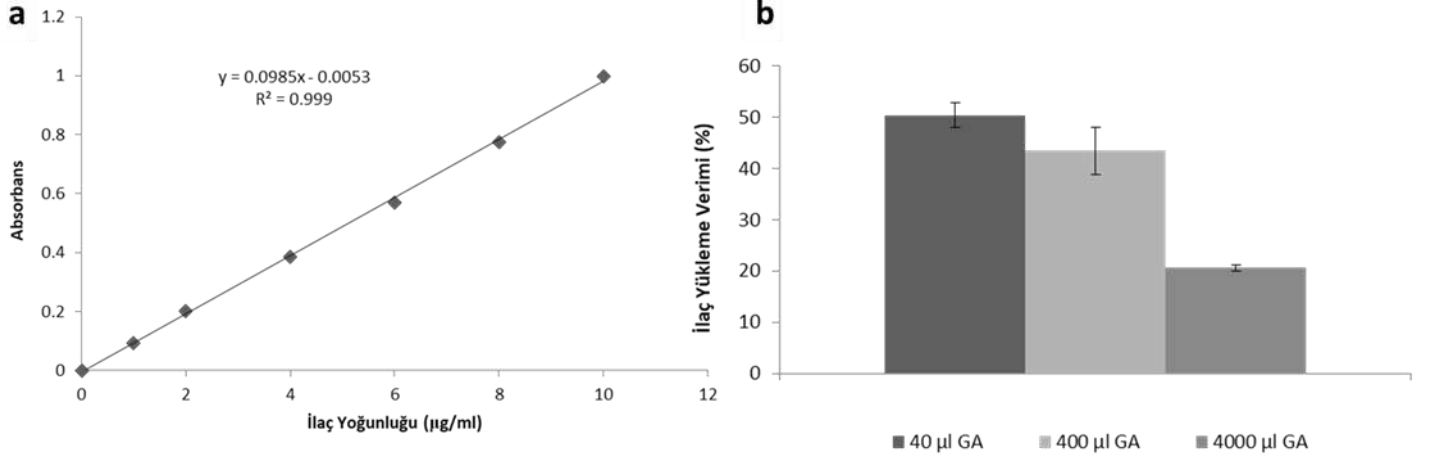
yapılmışken, 400 µl GA kullanılan mikro kürelerdeki ilacın ise sadece %65'nin (141 µg) salımı gerçekleşmiştir (Şekil 5b). GA miktarındaki artış mikro kürelerin şişmesine ve yüzey alanının azalmasına neden olmuş ilaç salımını yavaşlatmıştır. 4000 µl GA kullanımında ise daha fazla GA kullanılmasına rağmen daha hızlı ilaç salımı gerçekleşmiş gibi görünmektedir, çünkü grafiğe göre mikro kürelere yüklenen ilacın %82 salınmıştır. Fakat salımı yapılan ilaç miktarına bakıldığında sadece 85 µg olup, bu süre zarfında salımı yapılan en az ilaç miktarıdır.

3.5. SBF Çalışmaları

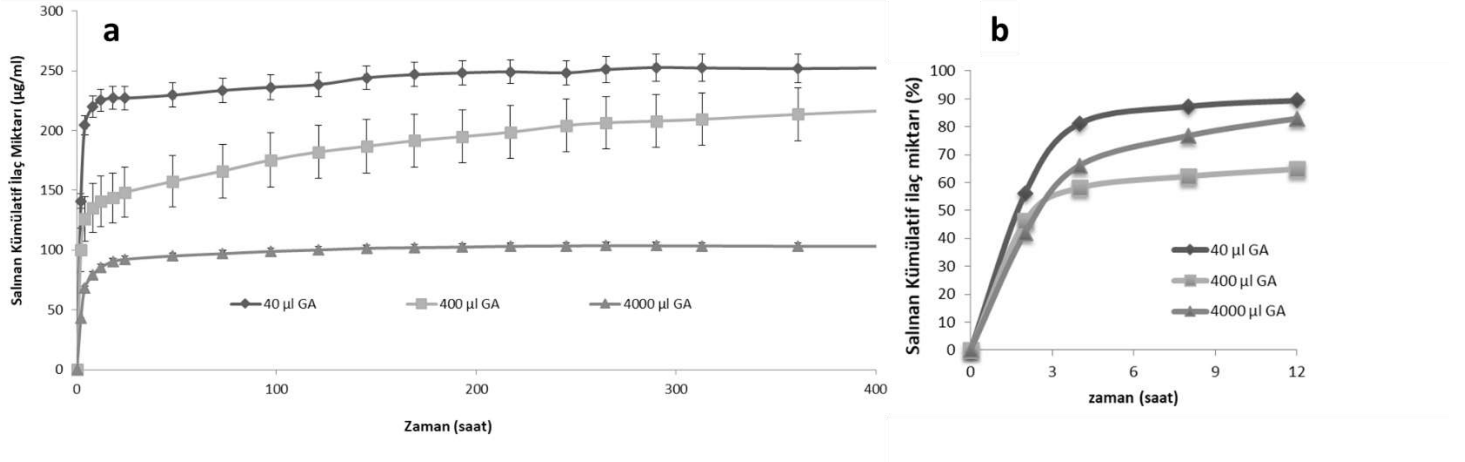
Mikro kürelerin SBF ile inkübe edilmeden ve edildikten sonraki SEM görüntüleri Şekil 6' da verildi. Bu görüntülere göre inkübasyondan 1 hafta sonra mikro küre yüzeylerinde hidroksiapatit büyümesi çok az olup 2. ve 3. haftalarda ise oldukça artmıştır. Yapılan EDS analizlerinde küre yüzeylerinde oluşan çöketilerin Ca-P yapıları olduğu teyit edilmiştir (Tablo 1).

Literatürdeki HA örneklerine ait FTIR analizlerine bakıldığında HA çökmesini işaret eden piklerin 560, 600 ve 1046 cm^{-1} dolaylarında PO_4^{3-} grupları olduğu görülmektedir (Li vd., 2011). PO_4^{3-} grupları 500-1500 cm^{-1} aralığında yer

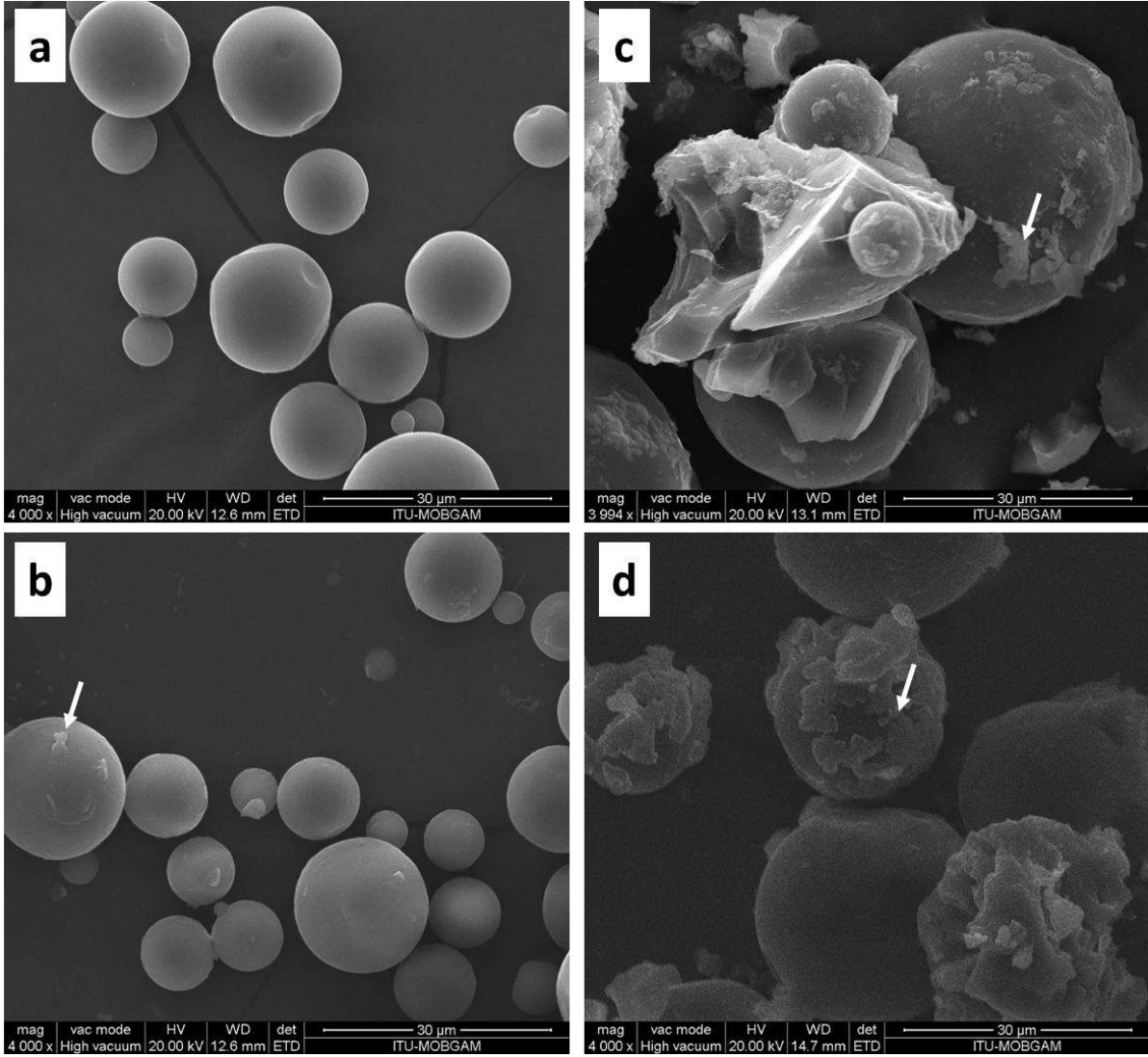
aldığından FTIR analizlerinde bu dalga boyu aralığına odaklanılmıştır (Şekil 7). Mikro kürelere ait FTIR analizlerinde HA çökmesini işaret eden PO_4^{3-} grupları 3 hafta sonunda



Şekil 4. (a) Kalibrasyon eğrisi ve (b) yüklenen mikro kürelerin farklı miktarda çapraz bağlayıcı kullanılması durumunda ilaç yükleme verimlilikleri (400 saat ilaç salımı sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmıştır).



Şekil 5. İlaç yüklü mikro kürelerin (a) 400 saatlik, (b) ilk 12 saatlik (%) ilaç salım grafikleri.



Şekil 6. Mikro kürelerin (a) $t=0$ hafta, (b) $t=1$ hafta, (c) $t=2$ hafta ve (d) $t=3$ hafta SBF içerisinde bekletildikten sonraki SEM görüntüleri (Ok işaretleri HA çökelmelerini ve EDS analizlerinin yapıldığı noktaları işaret etmektedir).

Tablo 1. Küre yüzeylerinde biriken HAYapılarına ait Ca ve P miktarları

Şekil	Ca (at %)	P (at %)	Ca:P
b	0.5	0.7	0.7
c	9.5	9.1	1.0
d	0.3	0.2	1.5

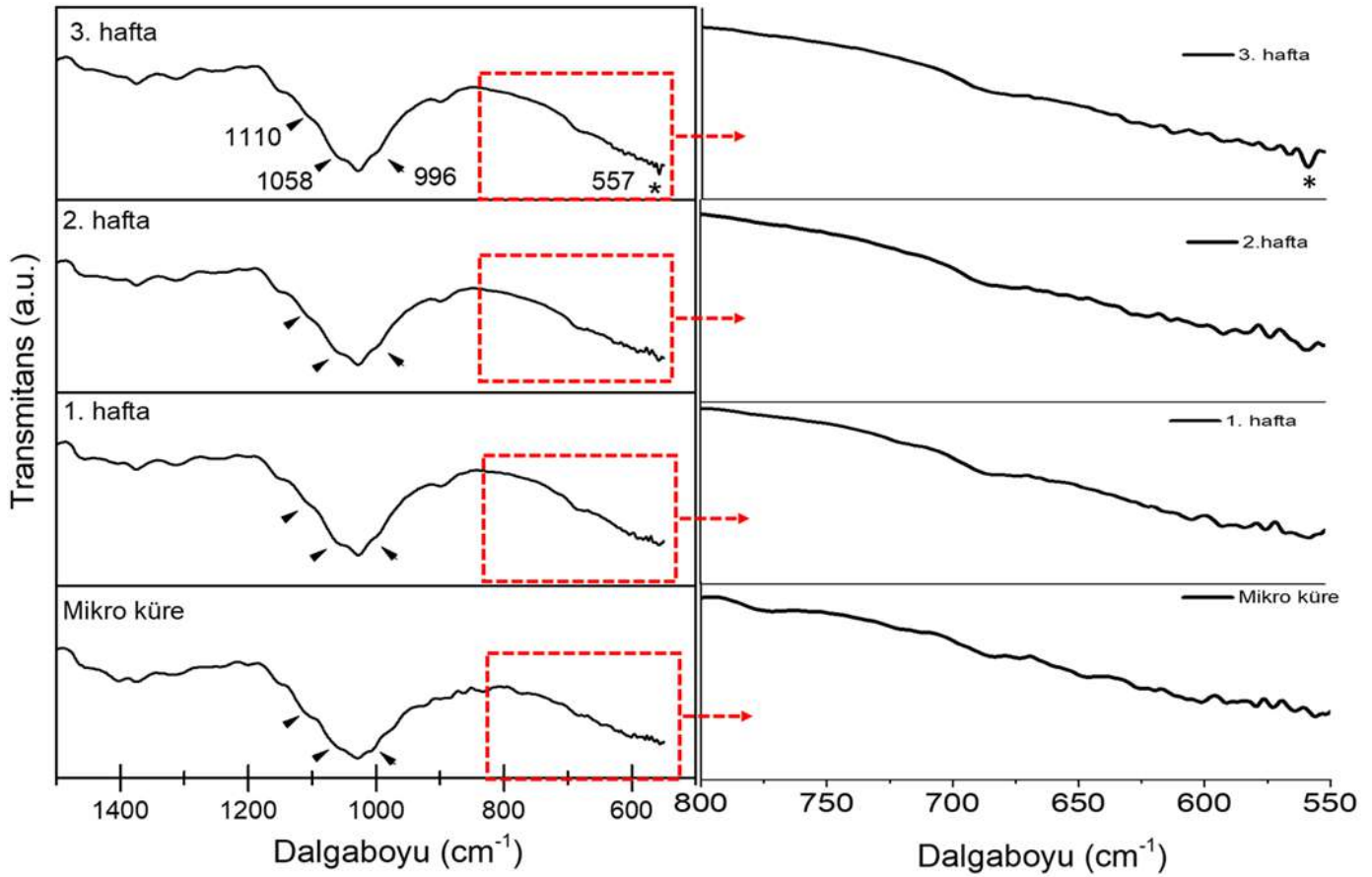
belirgin olmamakla birlikte yeni oluşmaya başlamıştır. Bu yüzeylerde PO_4^{3-} grupları 557 cm^{-1} dolaylarında oluşmaya başlamıştır.

HA çökmesine ait belirgin bir PO_4^{3-} piki de 1040 cm^{-1} civarında bulunmakta olup kitosan kürelere ait pikler ile örtüşmektedir. Dolayısıyla HA çökelmiş yüzeylerde bu pikin direkt tespiti zor olmaktadır. Ayrıca mikro kürelere ait 3 haftalık

FTIR analizleri incelendiğinde, örneğin 996 , 1058 ve 1110 cm^{-1} dolaylarında kitosana ait geniş piklerin HA çökmesinden sonra daha dar bir forma dönüşmeye başladığı görüldü. Bu durumun 1040 cm^{-1} dolaylarındaki PO_4^{3-} grubunun varlığından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Kitosan mikro küre yüzeylerinde HA büyüme mekanizmasına bakıldığında ise, kitosanın yapısında bulunan $-NH_2$ gruplarının ve $-OH$ gruplarının HA büyümesi için çekirdeklenme merkezi oluşturdukları (Li vd., 2013) ve yüzeylerde apatit büyümesine neden oldukları düşünülmektedir. SBF çalışmasının sonuçlarına göre kitosan mikro küreler kemik dokular ile arttırılmış bir osteoentegrasyon sağlama potansiyeline sahiptir.

4. Sonuç

Kitosan esaslı mikro küreler emülsiyon çapraz bağlama yöntemi ile üretilmiş ve antibiyotik ciprofloksacin in vitro salım profilleri ve biyoaktiviteleri incelenmiştir. Yapılan incelemeye



Şekil 7: Biyoaktivite çalışmaları sonucunda kürelere ait FTIR analizleri. ◀ kitosana ait grupları, * HA çökelmesine işaret eden PO_4^{3-} gruplarını göstermektedir.

göre karıştırma hızı ve çapraz bağlayıcı ajan üretilen mikro kürelerin şekil, boyut ve ilaç yüklemeye verimliliğini etkilemektedir. Karıştırma hızı ve çapraz bağlayıcı ajan GA miktarındaki artış küre boyutlarında azalmaya neden olurken, yüksek GA miktarları mikro kürelerin ilaç yüklemeye verimliliklerinde düşmeye ve ilaç salım hızlarında yavaşlamaya neden olmuştur. Ayrıca düşük GA kullanımı mikro kürelerin şeklinde bozulmaya neden olurken, yüksek GA kullanımında küre boyutlarının daha homojen olduğu görülmüştür. SBF içerisinde yapılan biyoaktivite testlerinde ise mikro kürelerin HA biriktirme potansiyelinin olduğu gösterilmiş olup, özellikle 3 hafta dolaylarında mikro küre HA çökelmesinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum SEM ve FTIR analizleri de ile doğrulanmıştır. Bu sonuçlara göre kitosan esaslı ilaç taşıma sistemleri kemik dolgu malzemesi olarak kullanılmaları durumunda osteoentegrasyonu artırma potansiyeline sahip olabilir, hasarlı bölgenin onarılması için farklı biyomoleküllerin lokal olarak salımında kullanılabilirler.

5. Teşekkür

Sunulan bilgiler TÜBİTAK tarafından deteklenen proje (proje # 217M220) kapsamında elde edilmiştir.

Kaynakça

Agnihotri, S. A., Mallikarjuna, N. N., & Aminabhavi, T. M. (2004). Recent advances on chitosan-based micro- and nanoparticles in drug delivery. İçinde *Journal of Controlled Release* (C. 100, Sayı 1, ss. 5–28).

- <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2004.08.010>
- Akbuğa, J., & Durmaz, G. (1994). Preparation and evaluation of cross-linked chitosan microspheres containing furosemide. *International Journal of Pharmaceutics*, 111(3), 217–222. [https://doi.org/10.1016/0378-5173\(94\)90344-1](https://doi.org/10.1016/0378-5173(94)90344-1)
- Ali, A., & Ahmed, S. (2018). A review on chitosan and its nanocomposites in drug delivery. İçinde *International Journal of Biological Macromolecules* (C. 109, ss. 273–286). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.078>
- Bhattacharya, D., Behera, B., Sahu, S. K., Ananthakrishnan, R., Maiti, T. K., & Pramanik, P. (2016). Design of dual stimuli responsive polymer modified magnetic nanoparticles for targeted anti-cancer drug delivery and enhanced MR imaging. *New Journal of Chemistry*, 40(1), 545–557. <https://doi.org/10.1039/c5nj02504d>
- Burg, K. J. L., Porter, S., & Kellam, J. F. (2000). Biomaterial developments for bone tissue engineering. *Biomaterials*, 21(23), 2347–2359. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(00\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(00)00102-2)
- Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R. M., & Chiellini, E. (2011). Chitosan - A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. İçinde *Progress in Polymer Science (Oxford)* (C. 36, Sayı 8, ss. 981–1014). <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.02.001>
- Depan, D., Venkata Surya, P. K. C., Girase, B., & Misra, R. D. K. (2011). Organic/inorganic hybrid network structure nanocomposite scaffolds based on grafted chitosan for tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, 7(5), 2163–2175. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2011.01.029>

- Di Martino, A., Sittinger, M., & Risbud, M. V. (2005). Chitosan: A versatile biopolymer for orthopaedic tissue-engineering. İçinde *Biomaterials* (C. 26, Sayı 30, ss. 5983–5990). <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.03.016>
- Dias, K. B., Pereira Da Silva, D., Ferreira, L. A., Fidelis, R. R., Da Luz Costa, J., Lopes Da Silva, A. L., & Scheidt, G. N. (2013). Chitin and chitosan: Characteristics, uses and production current perspectives. *J. Biotec. Biodivers*, 4(3), 184–191.
- Filipkowska, U., & Józwiak, T. (2013). Application of chemically-cross-linked chitosan for the removal of Reactive Black 5 and Reactive Yellow 84 dyes from aqueous solutions. *Journal of Polymer Engineering*, 33(8), 735–747. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2013-0166>
- Hreczuk-Hirst, D., German, L., & Duncan, R. (2001). Dextrins as carriers for drug targeting: Reproducible succinylation as a means to introduce pendant groups. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 16(5), 353–365. <https://doi.org/10.1106/QBKY-E3VM-19K4-3GA5>
- Illum, L. (1998). Chitosan and its use as a pharmaceutical excipient. İçinde *Pharmaceutical Research* (C. 15, Sayı 9, ss. 1326–1331). <https://doi.org/10.1023/A:1011929016601>
- Kalia, S., & Avérous, L. (2011). Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications. İçinde *Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications*. <https://doi.org/10.1002/9781118164792>
- Khor, E., & Lim, L. Y. (2003). Implantable applications of chitin and chitosan. *Biomaterials*, 24(13), 2339–2349. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(03\)00026-7](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(03)00026-7)
- Lee, W. K., Lee, S. M., & Kim, H. M. (2009). Effect of surface morphology of calcium phosphate on osteoblast-like HOS cell responses. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15(5), 677–682. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2009.09.044>
- Leukers, B., Gülkan, H., Irsen, S. H., Milz, S., Tille, C., Schieker, M., & Seitz, H. (2005). Hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering made by 3D printing. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 16(12), 1121–1124. <https://doi.org/10.1007/s10856-005-4716-5>
- Li, B., Wang, Y., Jia, D., & Zhou, Y. (2011). Gradient structural bone-like apatite induced by chitosan hydrogel via ion assembly. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 22(4–6), 505–517. <https://doi.org/10.1163/092050610X487800>
- Li, M., Wang, Y., Liu, Q., Li, Q., Cheng, Y., Zheng, Y., Xi, T., & Wei, S. (2013). In situ synthesis and biocompatibility of nano hydroxyapatite on pristine and chitosan functionalized graphene oxide. *Journal of Materials Chemistry B*, 1(4), 475–484. <https://doi.org/10.1039/c2tb00053a>
- Liu, Y., Jiang, T., Zhou, Y., Zhang, Z., Wang, Z., Tong, H., Shen, X., & Wang, Y. (2011). Evaluation of the attachment, proliferation, and differentiation of osteoblast on a calcium carbonate coating on titanium surface. *Materials Science and Engineering C*, 31(5), 1055–1061. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2011.03.003>
- Mattu, C., Silvestri, A., Wang, T. R., Boffito, M., Ranzato, E., Cassino, C., Ciofani, G., & Ciardelli, G. (2016). Surface-functionalized polyurethane nanoparticles for targeted cancer therapy. *Polymer International*, 65(7), 770–779. <https://doi.org/10.1002/pi.5094>
- Nanjwade, B. K., Singh, J., Ahmad, K., & Manvi, F. V. (2011). Bio-pharmaceuticals: Emerging proniosomes drug delivery. İçinde *Biodegradable Polymers: Processing, Degradation and Applications* (ss. 639–654).
- Nathan, A. J., & Scobell, A. (2012). How China sees America. İçinde *Foreign Affairs* (C. 91, Sayı 5). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Onder, S., Calikoglu-Koyuncu, A. C., Kazmanli, K., Urgen, M., Torun Kose, G., & Kok, F. N. (2015). Behavior of mammalian cells on magnesium substituted bare and hydroxyapatite deposited (Ti,Mg)N coatings. *New Biotechnology*, 32(6), 747–755. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2014.11.006>
- Onder, S., Kok, F. N., Kazmanli, K., & Urgen, M. (2013). Magnesium substituted hydroxyapatite formation on (Ti,Mg)N coatings produced by cathodic arc PVD technique. *Materials Science and Engineering C*, 33(7), 4337–4342. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.06.027>
- Pasinli, A., & Aksoy, R. S. (2010). Yapay Kemik Uygulamaları İçin Hidroksiapatit Hydroxyapatite For Artificial Bone Applications. *Xxx*, 2010(1), 41–51.
- Şenel, S., & McClure, S. J. (2004). Potential applications of chitosan in veterinary medicine. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 56(10), 1467–1480. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2004.02.007>
- Seyfoddin, A., & Al-Kassas, R. (2011). Biodegradable polymers for controlled delivery of bioactive macromolecules. İçinde *Biodegradable Polymers: Processing, Degradation and Applications* (ss. 471–500).
- Sinha, V. R., Singla, A. K., Wadhawan, S., Kaushik, R., Kumria, R., Bansal, K., & Dhawan, S. (2004). Chitosan microspheres as a potential carrier for drugs. İçinde *International Journal of Pharmaceutics* (C. 274, Sayılar 1–2, ss. 1–33). <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2003.12.026>
- Teixeira, S., Rodriguez, M. A., Pena, P., De Aza, A. H., De Aza, S., Ferraz, M. P., & Monteiro, F. J. (2009). Physical characterization of hydroxyapatite porous scaffolds for tissue engineering. *Materials Science and Engineering C*, 29(5), 1510–1514. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2008.09.052>
- Thanou, M., Verhoef, J. C., & Junginger, H. E. (2001). Oral drug absorption enhancement by chitosan and its derivatives. İçinde *Advanced Drug Delivery Reviews* (C. 52, Sayı 2, ss. 117–126). [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(01\)00231-9](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(01)00231-9)
- Wedmore, I., McManus, J. G., Pusateri, A. E., & Holcomb, J. B. (2006). A special report on the chitosan-based hemostatic dressing: Experience in current combat operations. *Journal of Trauma - Injury, Infection and Critical Care*, 60(3), 655–658. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000199392.91772.44>
- Zhe, Z., Zhang, S., Venkatraman, S. S., & Lei, S. (2011). Growth of hydroxyapatite coating on polymer microspheres. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 3(4), 472–476. <https://doi.org/10.1166/nml.2011.1204>



The Role of Machine Learning in Productivity: A Case Study of Wine Quality Prediction

Ramazan Ünlü^{1*}

¹Gümüşhane Üniversitesi, İktisadive İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1201-195X)

(First received 25 July 2020 and in final form 12 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.773736)

ATIF/REFERENCE: Ünlü, R. (2020). The Role of Machine Learning in Productivity: A Case Study of Wine Quality Prediction. *European Journal of Science and Technology*, (20), 280-286.

Abstract

Machine learning has been used in many areas in recent years and has achieved quite successful results. Machine learning methods have been used from healthcare to driverless vehicles, it might also play a big role to increase productivity in the production sector. In this study, we have compared the performance of some machine learning strategies on an abnormally distributed dataset. Any machine learning methods can be easily applied to normally distributed data sets. However, it is necessary to alter the theoretical structure of the algorithm or data transformation process while a dataset is abnormally distributed. In this regard, three different methodologies are compared in this study. Initially, Support Vector Machines, which are often used in the literature, is used. Besides, Weighted Support Vector Machines, which is the revised version of the Support Vector Machines to produce successful results in abnormally distributed data sets. Finally, the Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) is applied, and the distribution of the dataset was artificially changed to normal distribution. Three techniques are compared in terms of sensitivity, specificity, precision, prevalence, F-1 score, and G-Mean evaluation criteria. Based on the results of the methods, Weighted Support Vector Machines produced the most successful results according to the chosen evaluation criteria.

Keywords: Support Vector Machines, Weighted Support Vector Machines, SMOTE

Verimlilikte Yapay Zeka'nın Rolü: Şarap Kalitesinin Tahminine Yönelik Bir Vaka Çalışması

Öz

Yapay zeka son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sağlık sektöründen sürücüsüz araçlara kadar birçok alanda kullanılan yapay zeka, üretim sektöründe de verimliliğin artırılması için sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmada normal olarak dağılmamış bir veri setinde yapay zeka algoritmalarının kullanılmasına yönelik bir çerçeve çizilmeye çalışılmıştır. Normal dağılım gösteren veri setlerinde herhangi bir yapay zeka algoritması kolaylıkla uygulanabilirken normal dağılım göstermeyen veri setlerinde ya verinin kendisine farklı bir işlem uygulanması gerekir veya algoritmanın teorik yapısının revize edilmesi gerekmektedir. Bu açıdan bu çalışmada iki farklı yöntemde uygulanmıştır. İlk olarak literatürde sıklıkla kullanılan Destek Vektör Makinaları kullanılmıştır. Buna ek olarak Destek Vektör Makinalarının normal dağılmayan veri setlerinde başarılı sonuçlar vermesi için uyarlanmış şekli olan Ağırlıklandırılmış Destek Vektör Makineleri uygulanmıştır. Son olarak Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (SMOTE) tekniği uygulanmış ve kullanılan veri seti yapay olarak normal dağılıma yakınsanmıştır. Kullanılan üç teknikte duyarlılık, hassaslık, özgüllük, yaygınlık, F skor ve Geometrik Ortalama (G-Mean) değerlendirme kriterleri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucuna göre Ağırlıklandırılmış Destek Vektör Makineleri kullanılan değerlendirme kriterlerine göre en başarılı sonuçları vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Destek Vektör Makineleri, Ağırlıklandırılmış Destek Vektör Makineleri, SMOTE.

* Corresponding Author: Gümüşhane Üniversitesi, İktisadive İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1201-195X>, ramazanunlu@gumushane.edu.tr

1. Introduction

Productivity can be defined as a measure of the efficiency of a person, machine, production systems, etc., in converting inputs into useful outputs. As different from a few decades ago, autonomous systems have become more popular and have been used in our age to increase the productivity of a system. As computers become capable of learning freely, reasoning, and determining the best course-of-action in real-time, they are started to be integrated into the real production systems to increase productivity. When it is said learning ability, the first things that come to the mind is artificial intelligence (AI) and machine learning (ML). Machine learning systems that take place under the umbrella of artificial intelligence provide splendid learning capabilities to computers. There available numerous machine learning approaches such as Multilayer Perceptrons, Support Vector Machines, Decision Trees, Clustering methods used in a broad spectrum of domains (Chen et al., 2017; Mondal et al., 2018; Segatori et al., 2018; Ünlü & Xanthopoulos, 2017, 2019).

Thanks to the advance of the learning algorithms over the last decade, machines might make a much more accurate prediction than a human in many applications. Based on the study of (Manyika, 2017), a machine can predict an image with a 26% error rate while human gives a 5% error in 2011. Thanks to proposed advanced methodologies, the error rate of autonomous machines decreased to 3% as of 2016. In the same study, they have claimed that automation will be a vital contributor to the productivity boost and automation of some sectors such as manufacturing, agriculture, transportation, and warehousing, etc., which will be inevitable in the future.

The ability of a machine is not limited to prediction from a dataset – that can eventually be thought of as solvable mathematical problems-, but they can beat a professional human in much more complex problems. The game field can be given as a sophisticated example, AlphaGo which is a collection of complex algorithms being able to learn how to play Go game beat Lee Sedol professional Go player in the Google Deep Mind challenge (Silver et al., 2016). These examples show us machine learning algorithms can be utilized in many different domains and might provide much more successful results than a human. From this perspective, machine learning techniques also can be implemented into the field in which productivity is an essential problem and one can increase the productivity of a system regardless of the complexity of the process.

In the literature, we can find various machine learning frameworks used to increase productivity. Xanthopoulos and Razzaghi developed a weighted support vector machine framework to identify machine failure (Xanthopoulos & Razzaghi, 2014). In that study, they worked on imbalanced datasets consist of different types of machine failures such as uptrend, downtrend, upshift, etc. They have proved that machine learning algorithms might work well even for a highly imbalanced dataset. This finding might help to increase productivity by

2. Material and Method

In our study, we have focused on an imbalanced dataset which is commonly seen in the operation of the production system (i.e. machine failure). Being able to handle with the imbalanced dataset can help to increase the productivity of the system. With

surpassing human sense performance on identifying a rare failure occurrence. Another study of (Chalfin et al., 2016) demonstrated that machine learning techniques can help to improve the prediction of worker productivity. They tested the proposed framework in two important applications – police hiring and teacher tenure decisions.

In recent years, studies discussed machine condition monitoring and fault diagnosis due to potential advantages to be gained from decreased maintenance costs and increased productivity. Jack and Nandi, for example, used Support Vector Machines and Artificial Neural Networks to detect the fault of the roller bearing (Jack & Nandi, 2002). Sugumaran et al., (2007) have used a different method called decision tree to handle the same problem. Another important component affecting the productivity of a system in many industrial processes is the induction motor. Some studies have implemented machine learning methodologies to classify or predict the fault of an induction motor. To give examples, studies of (Fang, 2006; Poyhonen et al., 2002; Zhitong et al., 2003) have utilized the SVM method to handle the aforementioned problem.

Another interesting area of machine learning has touched is agriculture. Increasing agricultural productivity might be thought as a global concern and producing enough and well quality products can help humans all over the world. For this, many machine learning-based approaches are used to increase agricultural productivity. Researchers have used different methodologies to provide rich recommendations and insights for farmers. Liakos et al., (2018) have reviewed machine learning related approaches used in agriculture in the study of. Based on his study, machine learning approaches are used for crop management, disease detection, weed detection crop quality, species recognition, livestock management, welfare and livestock production, water management, and soil management to increase agricultural productivity.

Based on some given examples from different fields, machine learning methodologies can give us good opportunities to improve the productivity of any application. For this reason, through our study, we have investigated several machine learning approaches and utilized them for a benchmark dataset to give a better insight into how to choose, apply, and evaluate a machine learning algorithm. We have tried to set a machine learning strategy to classify wines based on their qualities. This process is usually made by an expert. The main problem is the rate of undesired wines can be too low and a human can fail to detect it. So, we have tried to find the answer to the question of how well a machine learning system can be successful in terms of predicting the class of a wine which is under the desired quality level.

The following parts of the chapter are organized as follows. In section 2, we have explained the theory of the chosen machine learning methodologies. In section 3, we explained how we set up our experiment and give the results of the algorithms for the used dataset. Finally, we have discussed and concluded our study in terms of the context of productivity in section 4.

this goal, we have investigated several strategies related to machine learning concept. The main algorithm chosen to utilize is Support Vector Machines which is a commonly used machine learning method in various applications. In addition to using baseline model SVM, we have applied weighting data samples and producing synthetic samples strategies. In what follows, we have explained the details of each strategy and discussed the main motivation behind them.

2.1. Data Preparation

Used dataset throughout the experiment is collected by (Cortez et al., 2009). This dataset is about the red and white wine quality and collected from May/2004 to February/2007 (Cortez et al., 2009). We chose the red wine quality consisting of 1599 samples with 11 different attributes and 6 different quality labels ranging from 0 to 10. Each wine sample was evaluated by a minimum of three sensory assessors by using blind tastes, and they are given a score ranging from 0 (very bad) to 10 (excellent). The final quality score is given by the median of these evaluations. To create a binary imbalanced dataset, we picked the wine samples that are labeled as 4 and 5. There are total of 734 samples of which 681 is quality 5 and 53 is quality 4. The following Figure 1 illustrates the volume of chosen samples.

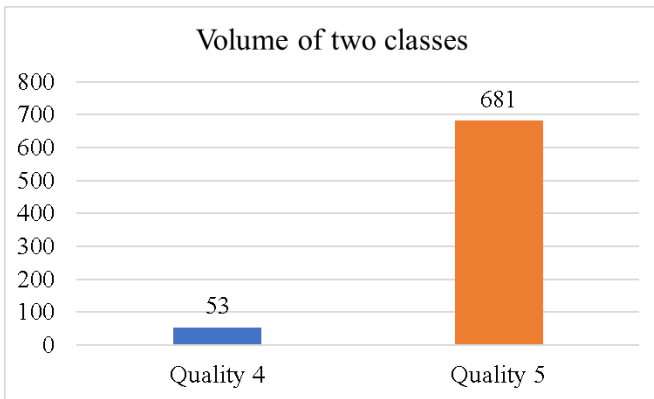


Figure 1. Frequency of Red Wine Samples

2.2. Support Vector Machines (SVMs)

The support vector machine is a commonly used ML method in literature and is considered one of the most influential algorithms. It is first proposed by (Boser et al., 1992). SVM has some theoretical advantages over some other ML algorithms such as the absence of local minima which might be a crucial problem for some methods such as Artificial Neural Networks. To mathematically formulate it assume that we have a training dataset $\{(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l)\}$, where each $x_i \in \mathbb{R}^n$ and $y_i \in \{-1, +1\}$. The main idea of the SVM is separating samples from different classes by finding a hyperplane whose distance is maximum concerning the data points of each class. The hyperplane can be defined by the parameters w and b . These parameters can be calculated by solving the following convex optimization problem 1 (see Equations 1a and 1b).

$$\min \frac{1}{2} \|w\| \quad (1a)$$

$$s.t. \quad y_i(w\phi(x) + b) \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (1b)$$

where ϕ denotes kernel function which is a non-linear mapping from R^n to R^m where $m \geq n$. This problem is as known as hard margin SVM and if the classification problem is not separable, it is then infeasible. In this case, slack variables $\xi_i, i=1, 2, \dots, l$ is added to the objective function, and the problem is transformed into the soft margin SVM. Soft margin SVM can be formulated as in optimization problem 2 (see equations 2a, 2b, and 2c).

$$\min \frac{1}{2} \|w\| + C \sum_{i=1}^l \xi_i \quad (2a)$$

$$s.t. \quad y_i(w^T \phi(x_i) + b) \leq 1 - \xi_i \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (2b)$$

$$\xi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, l \quad (2c)$$

where C refers to the magnitude of penalization. For faster and more stable convergence given optimization problem can be operated on the Lagrangian dual problem. The Lagrangian dual problem will be as shown in problem 3 (see Equations 3a, 3b, and 3c)

$$\max \sum_{i=1}^l \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad (3a)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^l \alpha_j y_j = 0 \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (3b)$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (3c)$$

where $K(x_i, x_j) = \phi(x_i)^T \phi(x_j)$ is the kernel function that measures the similarity between two arbitrary points.

2.3. Weighted Support Vector Machines (WSVMs)

As can be seen in Equation 4, regular SVM assigns equal weight to data classes regardless of the size of them. This strategy can harm the overall performance of the algorithm (i.e. might cause overfitting). To handle with an imbalanced dataset, assigning different weights associated with the positive class size (C^+) and negative class size (C^-) are proposed by (Veropoulos et al., 1999). The optimization problem is revised as in Equations 4a, 4b, and 4c.

$$\min \frac{1}{2} \|w\| + C^+ \sum_{\{i|y_i=+1\}} \xi_i + C^- \sum_{\{i|y_i=-1\}} \xi_i \quad (4a)$$

$$s.t. \quad y_i(w^T \phi(x_i) + b) \leq 1 - \xi_i \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (4b)$$

$$\xi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, l \quad (4c)$$

The problem can be transformed into the Lagrangian dual with the Kuhn–Tucker conditions. The Lagrangian dual is given by Equations 5a, 5b, 5c, and 5d.

$$\max \sum_{i=1}^l \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad (5a)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^l \alpha_j y_j = 0 \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (5b)$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C^+ \quad \text{if } y_i = +1 \text{ and } i = 1, 2, \dots, l \quad (5c)$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C^- \quad \text{if } y_i = -1 \text{ and } i = 1, 2, \dots, l \quad (5d)$$

Thus, the main motivation behind assigning different weights to each class is forcing SVM to give more attention to minority class samples. C^+ and C^- is calculated as being inversely proportional to frequencies in the input data as shown in Equations 6a and 6b.

$$C^+ = n / (\text{number of classes} \times n^+) \quad (6a)$$

$$C^- = n / (\text{number of classes} \times n^-) \quad (6b)$$

Where n^+ and n^- represent the size of positive and negative classes respectively and n is the total number of samples.

2.4. Synthetic Minority Over-Sampling Technique (SMOTE)

Smote proposed by (Chawla et al., 2002) is another methodology to handle with the imbalanced datasets. The motivation behind it is to create synthetic data samples without replacement. The minority class is oversampled by taking each sample from the minority class and introducing the synthetic examples along the line segment of all the k nearest neighbors. For example, if one needs over-sampling 300%, only three of k nearest neighbors are chosen and a synthetic sample is created in the direction of each. Those samples are created in a way that taking the difference between the picked sample and (feature vector) and its nearest neighbor. Then, multiply this difference by a random number between 0 and 1, and add it to the feature vector picked at the beginning. This yields a selection of a random point on the line segment between the feature vector and its nearest neighbor.

2.5 Evaluation of the Methods

There available various evaluation metrics used for classification problems. One, maybe the most well-known- is the accuracy rate. It can be simply defined as the rate of correctly classified samples. This metric is powerful in the case of the balanced classification problem. However, accuracy might be misleading if the dataset is imbalanced. For example, assume we are given a dataset consisting of 99 positive samples and 1 negative sample. Predicting all samples as positive will yield %99 accuracy. Despite such a high accuracy rate, it cannot be concluded the model is successful because of being a failure of predicting rare cases.

Instead of using accuracy metrics, we can look at some other such as sensitivity, precision, specificity, F score, etc. To understand the concept of these terms, we need to first look at the confusion matrix. The confusion matrix is a table that is often used to describe the performance of the classification model on a test set in which ground true labels are known. The following Figure illustrates a confusion matrix for the binary classification problem. There are 4 different main arguments in a confusion matrix i) True Positive (TP): Cases in which the model predicts the class of samples as 1 and they are actually in a class of 1 ii) True Negative (TN): Cases in which the model predicts the class of samples as 0 and they are actually in a class of 0 iii) False Positive (FP): Cases in which the model predicts the class of samples as 1, but they are in the class of 0 iv) False Negative (FN): Cases in which the model predicts the class of samples as 0, but they are in the class of 1.

	Predicted 0	Predicted 1
Actual 0	True Negative (TN)	False Positive (FP)
Actual 1	False Negative (FN)	True Positive (TP)

Figure 2. Confusion Matrix

Based on these parameters, different metrics can be calculated. The following Table 1 shows the used evaluation metrics through our experiment.

Table 1. Formulations of the evaluation metrics

Evaluation Metrics	Formulations
Sensitivity/Recall	TP/Actual Positive
Specificity	TN/Actual Negative
Precision	TP/Predicted Positive
Prevalence	Actual Positive/Total number of samples
F1 score	$2 \times (\text{Precision} \times \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall})$
G-Mean	$\sqrt{\text{Sensitivity} \times \text{Specificity}}$

3. Results and Discussion

In this section, we have given the results of all methods. A well-known machine learning library Scikit-learn version of 0.19.2 running on the Python version of 3.6 is used for the experiment. Before utilizing any of the methods, the attributes of the dataset are normalized as being between 0 and 1. Also, as described above, three main strategies are applied which are SVM, WSM, and SVM with SMOTE. For the SMOTE process, we have oversampled minority class with a rate of 300% and called it SVM-SMOTE.

In addition to the mentioned pre-process of the data, we have applied parameter optimization by grid search method to get the optimum performance from the chosen methods. The performance of the methods is validated by the 5-fold cross-validation process. At this point, we can start by investigating our baseline model SVM. The following Table 2 shows the optimum parameters for the SVM model.

Table 2. Optimized parameters of the SVM model

SVM Parameters	Optimized values
C	1
Gamma	0.3
Kernel	Rbf

As we mentioned above, all classifier is run with 5-fold cross-validation to ensure the validity of the results. Using the optimized parameters given in Table 2, SVM produces the following results shown in Figure 3.

	Predicted 0	Predicted 1
Actual 0	14 (TN)	39 (FP)
Actual 1	0 (FN)	681 (TP)

Figure 3. Confusion Matrix of SVM

Based on the confusion matrix given in Figure 3, our baseline model SVM gives high performance on predicting the examples in a positive class. However, we cannot say the same thing for the data samples in the negative class. Out of 53 samples from the negative class, it correctly predicted only 14 samples. In other words, specificity in the negative class is only $14/53=0.265$. We can also infer from the confusion matrix misclassification rate is $39/734=0.5313$. The following Table 3 gives the results of all calculated metrics which are determined based on the equations given in Table 1.

Table 3. The performance of SVM in terms of chosen evaluation metrics

Evaluation Metrics	Values
Sensitivity/Recall	1
Specificity	0.265
Precision	0.945
Prevalence	0.929
F1 score	0.971
G-Mean	0.514

According to the given results, we can conclude that SVM needs to be leveraged to make more trustworthy predictions. To do this, we have first implemented WSVM. The number of data samples in positive and negative of the classes (n^+ and n^-) are 53 and 681, respectively. Thus, the weight will be assigned to each sample in negative and positive class should be $781/(2*53)=7.368$ and $781/(2*681)=0.574$. The following Table 4 shows the optimum parameters for the WSVM classifier. One needs to note that the C parameter in the optimization problem will be set as $class - weight_i \times C$ for the class of i .

Table 4. The performance of WSVM in terms of chosen evaluation metrics

WSVM Parameters	Optimized values
C	0.2
Gamma	2
Kernel	Rbf
C+	0.574
C-	7.368

With the optimized parameters confusion matrix of the WSVM is shown in Figure 4.

	Predicted 0	Predicted 1
Actual 0	53 (TN)	0 (FP)
Actual 1	1 (FN)	680 (TP)

Figure 4. Confusion Matrix of WSVM

Based on the confusion matrix, WSVM inevitably produced much better results than SVM. It not only correctly predicts samples in positive class but shows high performance for samples in negative class as well. Out of 53 negative samples, it assigns all samples to the correct class. In other words, the specificity of the WSVM is $53/53$. Without any doubt, it outperforms regular SVM in terms of the majority of the chosen evaluation metrics. The following Table 5 represents the performance of WSVM for all chosen evaluation metrics.

Table 5. The performance of WSVM in terms of chosen evaluation metrics

Evaluation Metrics	Values
Sensitivity/Recall	0.998
Specificity	1
Precision	1
Prevalence	0.929
F1 score	1
G-Mean	1

Based on the values shown in Table 5 WSVM is an excellent candidate to be the best classifier to given imbalanced data. The last method we have implemented is creating some synthetic points in the negative class by using the SMOTE method. As we mentioned above, we have oversampled the minority class with a rate of 300%. Meaning that we have created an extra 159 synthetics point in the minority class to make the dataset more

balanced. The total number of samples now became 893. After doing that, we have again optimized the parameters as shown in Table 6.

Table 6. Optimized parameters of the SVM-SMOTE model

SVM Parameters	Optimized values
C	3
Gamma	0.5
Kernel	Rbf

The confusion matrix of the SVM-SMOTE model is shown in Figure 5. Based on the confusion matrix. We can say that the SVM-SMOTE model outperforms the regular SVM but cannot beat the WSVM. Its specificity rate is $208/212=0.98$. Thus, it might be a highly effective classifier strategy for imbalanced dataset. The performance of SVM-SMOTE for all chosen evaluation metrics is represented in Table 7.

	Predicted 0	Predicted 1
Actual 0	208 (TN)	4 (FP)
Actual 1	1 (FN)	680 (TP)

Figure 5. Confusion Matrix of WSVM

Table 7. Optimized parameters of the SVM-SMOTE model

Evaluation Metrics	The values
Sensitivity/Recall	0.998
Specificity	0.981
Precision	0.994
Prevalence	0.762
F1 score	0.995
G-Mean	0.989

To wrap up all results, we can say that WSM outperforms other classifiers, regular SVM and SVM-SMOTE. In terms of handling the imbalanced dataset, SVM does not perform well enough. Despite its predictions is good for the samples in the majority class, it fails to predict samples in the minority class. On

the other hand, the SVM-SMOTE model is better than regular SVM. As it is expected, transforming the dataset as being more balanced makes it more separable. By doing this, the SVM-SMOTE model leveraged the performance of SVM. WSM, on the other hand, outperforms all the chosen method in terms of the evaluation metrics. It shows outstanding performance for predicting data samples in the minority class in addition to samples in the majority class.

4. Conclusions and Recommendations

Increasing productivity is one of the most important goals of the many systems (i.e. production). In our studied case, we have investigated the role of machine learning methods in terms of identifying a product that falls under the predetermined quality level. This kind of process is usually made by an expert in those specific products. Thus, the quality control process highly depends on the human sense. However, one of the biggest problems is that the frequency of undesired cases is likely too low during a production system. For example, a machine failure rarely occurs during the whole process, a product does not often fall a certain quality limit. This fact might make the identification of desired and undesired products by a human very hard. From this perspective, we have focused on how a machine learning algorithm can be used to successfully find rare cases. For this purpose, we have compared three methodologies called SVM, WSVM, and SMOTE. Based on our findings, an appropriate strategy can produce outstanding prediction results. The following Table 8 represents the comparison of methods in terms of the accuracy rate in the negative (rare cases) and positive class (i.e. specificity and sensitivity).

Table 8. The comparison of all methods

Evaluation Metrics	SVM	WSVM	SVM-SMOTE
Specificity	0.265	1	0.981
Sensitivity/Recall	1	0.998	0.998

Among the chosen methods, WSVM produces a very high classification rate in both negative and positive classes. Almost every single sample is correctly classified. Even though the SVM-SMOTE method produced inevitably good results, it did not outperform the WSVM methodology. However, we cannot the same thing for the SVM method. While it accurately predicts the samples in positive class, it fails to classify samples in the negative class. Hence, we can list the following arguments to wrap up our study

- The best method, in this case, WSVM, produced a 0.998% accuracy rate. This is an excellent classification rate, especially for the imbalanced dataset. It also might be much better than the accuracy rate of a human sense. That is why we can conclude that a well-designed machine learning strategy can help to investigate undesired products, and so it might help to companies/systems to increase the total productivity.
- This study has focused on the binary classification problem (desired and undesired products). However, it can be easily extended to a multiclass classification

problem. This might help to classify a range of products with different quality standards.

Explained strategies can be used not only to find undesired products but predicting some important events which might affect the productivity of a system. For example, correctly predicting a machine failure before it occurred might help to take precautions. By doing this, the overall productivity of a system can be increased by avoiding long time system disruption. For future research, we aim to extend this framework to a multiclass classification problem. Besides, a state-of-art data creation method can help better to obscure imbalancedness of a dataset.

References

- Boser, B. E., Guyon, I. M., & Vapnik, V. N. (1992). A training algorithm for optimal margin classifiers. *Proceedings of the Fifth Annual Workshop on Computational Learning Theory*, 144–152.
- Chalfin, A., Danieli, O., Hillis, A., Jelveh, Z., Luca, M., Ludwig, J., & Mullainathan, S. (2016). Productivity and selection of human capital with machine learning. *American Economic Review*, 106(5), 124–127.
- Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321–357.
- Chen, Q., Xu, J., & Koltun, V. (2017). Fast image processing with fully-convolutional networks. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2497–2506.
- Cortez, P., Cerdeira, A., Almeida, F., Matos, T., & Reis, J. (2009). Modeling wine preferences by data mining from physicochemical properties. *Decision Support Systems*, 47(4), 547–553.
- Fang, R. (2006). Induction machine rotor diagnosis using support vector machines and rough set. *International Conference on Intelligent Computing*, 631–636.
- Jack, L. B., & Nandi, A. K. (2002). Fault detection using support vector machines and artificial neural networks, augmented by genetic algorithms. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 16(2–3), 373–390.
- Liakos, K., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Manyika, J. (2017). A FUTURE THAT WORKS: AI, AUTOMATION, EMPLOYMENT, AND PRODUCTIVITY.
- Mondal, A., Ghosh, A., & Ghosh, S. (2018). Scaled and oriented object tracking using ensemble of multilayer perceptrons. *Applied Soft Computing*, 73, 1081–1094.
- Poyhonen, S., Negrea, M., Arkkio, A., Hyotyniemi, H., & Koivo, H. (2002). Fault diagnostics of an electrical machine with multiple support vector classifiers. *Intelligent Control, 2002. Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium On*, 373–378.
- Segatori, A., Marcelloni, F., & Pedrycz, W. (2018). On distributed fuzzy decision trees for big data. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(1), 174–192.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., & Lanctot, M. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529(7587), 484.
- Sugumaran, V., Muralidharan, V., & Ramachandran, K. I. (2007). Feature selection using decision tree and classification through proximal support vector machine for fault diagnostics of roller bearing. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21(2), 930–942.
- Ünlü, R., & Xanthopoulos, P. (2017). A weighted framework for unsupervised ensemble learning based on internal quality measures. *Annals of Operations Research*, 1–19.
- Ünlü, R., & Xanthopoulos, P. (2019). Estimating the number of clusters in a dataset via consensus clustering. *Expert Systems with Applications*.
- Veropoulos, K., Campbell, C., & Cristianini, N. (1999). Controlling the sensitivity of support vector machines. *Proceedings of the International Joint Conference on AI*, 55, 60.
- Xanthopoulos, P., & Razzaghi, T. (2014). A weighted support vector machine method for control chart pattern recognition. *Computers & Industrial Engineering*, 70, 134–149.
- Zhitong, C., Jiazhong, F., Hongpingn, C., Guoguang, H., & Ritchie, E. (2003). Support vector machine used to diagnose the fault of rotor broken bars of induction motors. *Electrical Machines and Systems, 2003. ICEMS 2003. Sixth International Conference On*, 2, 891–894.



Diazonyum Tuzu Kullanılarak Elektrokimyasal Olarak Modifiye Edilmiş Karbon Kompozit Elektrot

Tuğba Özer^{1*}

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5928-9940), tozer@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 1 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 14 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.776369)

ATIF/REFERENCE: Özer, T. (2020). Diazonyum Tuzu Kullanılarak Elektrokimyasal Olarak Modifiye Edilmiş Karbon Kompozit Elektrot. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 287-292.

Öz

Karbon kompozit termoplastik elektrotlar (TPE'ler), grafit, termoplastik bağlayıcı ve çözücü kullanılarak üretilmiştir. TPE'ler, yüksek iletkenlik, iyi elektron transfer kinetiği, düşük maliyetli olma, kolay şekil verilebilme ve tekrar kullanılabilirlik gibi üstün özellikleri nedeniyle kullanılmıştır. TPE'ler, ilk kez p-nitroanilin kullanılarak aril diazonyum tuzları ile modifiye edilmiştir. Termoplastik elektrotlar için diazonyum iyon sentezine dayanan bir modifikasyon yöntemi geliştirilmiştir. Sulu fazda bir aril amin, p-toluensülfonik asit ve sodyum nitrit karışımı hazırlanmış ve diazonyum tuzunun sentezlenmesi için birlikte öğütülmüştür. Reaksiyon sonucunda diazonyum iyonu oluşumunun göstergesi olarak pastanın rengi yeşil renkten sarı renge dönüşmüştür. Diazonyum iyonunun sentezlenmesi ve graf edilmesi için 4-nitroanilin kullanılmıştır. Termoplastik elektrot yüzeyinde üretilen nitrofenil monodiazonyum kationları elektrokimyasal olarak aminofenil gruplarına indirgenmiştir. Elektrotun yüzeyindeki aminofenil gruplarının varlığı elektrokimyasal yolla doğrulanmıştır. Sulu asidik ortamdaki elektrokimyasal indirgeme işleminden sonra, 4-aminofenil ile modifiye edilen termoplastik elektrotun elektrokimyasal davranışı ferrisiyanür varlığında araştırılmıştır. Dönüşümlü voltametri ile elektrot yüzeyinde graf edilen grupların oluşması nedeniyle karakteristik pikler elde edilmiştir. Ag/AgCl referans elektrota karşı yaklaşık -0,4 V'de 4-aminofenilin indirgenerek amino grupları oluşmuştur. Modifiye edilen TPE'ler ile tarama hızı testi yapılarak anodik pik akımın 100 mV/s'ye kadar lineer bir davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu da elektroaktif türlerin TPE yüzeyine graf edildiğini göstermiştir. Ayrıca, sentezlenmiş diazonyum tuzunun elektrot yüzeyi üzerindeki inkübasyon süresi optimize edilmiştir ve optimum inkübasyon süresi 5 dakika olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Diazonyum, Katı faz sentezi, Termoplastik elektrot.

Electrochemically Modified Carbon Composite Electrode Using Diazonium Salt

Abstract

Carbon composite thermoplastic electrodes (TPEs) were fabricated using graphite, thermoplastic binder and solvent. TPEs were used due to their outstanding properties such as high conductivity, good electron transfer kinetics, inexpensive, easy patterning and reusability. TPEs were modified with aryl diazonium salts using p-nitroaniline for the first time. An *in-situ* modification method based on diazonium ion synthesis was developed for thermoplastic electrodes. A mixture of aryl amine, p-toluenesulfonic acid, and sodium nitrite in aqueous phase was prepared and grinded together in order to synthesize diazonium salts. A color change (from green to yellow) of the synthesized paste occurred upon reaction, which indicated diazonium ion formation. 4-nitroaniline was used to synthesize and graft diazonium ion. *In-situ* generated nitrophenyl monodiazonium cations were electrochemically reduced to aminophenyl groups on the surface of the thermoplastic electrode. The presence of aminophenyl groups on the surface of the electrode was confirmed via electrochemistry. After electrochemical reduction in aqueous acidic media, the electrochemical behavior of a 4-aminophenyl modified thermoplastic electrode was investigated in the presence of ferricyanide. Characteristic peaks were obtained due to the formation of grafted groups on the electrode surface by cyclic voltammetry. The reduction of the 4-aminophenyl resulted in the product of amino groups at about -0.4 V versus Ag/AgCl reference electrode. A scan rate study was performed by modified TPEs and a linear dependence of the anodic peak current was observed up to 100 mV/s indicating that the electroactive species were grafted at the TPE surface. Furthermore, incubation time of synthesized diazonium salt on the electrode surface was optimized and found as 5 min.

Keywords: Diazonium, Solid-phase synthesis, Thermoplastic electrode

* Sorumlu Yazar: tozer@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Karbon elektrotlar elektroaktivite, biyoyoumluluk, kimyasal kararlılık, yüksek iletkenlik, geniş potansiyel aralık ve düşük maliyetli olma özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Rana, Baig, & Saleh, 2019). Karbon elektrotlar arasında camı karbon, serigrafi karbon (SPE), karbon pasta (CPE), bor katkılı elmas (BDD), karbon siyahı, pirolitik grafit, karbon nanotüpler ve grafen bulunmaktadır (McCreery, 2008). Karbon temelli elektrotların uygulama alanları arasında piller, yakıt hücreleri, atık su arıtma, süper kapasitör ve kimyasal sensörler yer almaktadır (Mussa, Othman, & Abdullah, 2015; Randviir, Brownson, Metters, Kadara, & Banks, 2014). Kompozit elektrotlar (CE) karbon ve karbon partiküllerini bir arada tutan iyonik sıvılar, epoksi, poli (metil metakrilat) (PMMA), teflon, polietilen gibi çeşitli bağlayıcılardan yapılmaktadır (Heard & Lennox, 2020; Jasmin et al., 2016). Karbon kompozit elektrotların üretimi kolay olsa da genellikle iletkenlikleri düşüktür ve elektron transfer kinetiği yavaştır. Sonuç olarak, karbon kompozit elektrotların düşük maliyetli olması, kolay üretilebilmesi ve aynı zamanda yüksek iletkenlik ve elektrokimyasal performansa sahip olması beklenmektedir. Son yıllarda, karbon kompozitlerin yeni bir formu olan yüksek iletkenlik, iyi elektron transfer kinetiği, tekrar kullanılabilirlik, düşük maliyet, farklı şekillerde üretilebilme gibi özelliklere sahip olan termoplastik elektrotlar (TPE) ortaya koyulmuştur (Klunder, Nilsson, Sambur, & Henry, 2017). Daha önce yapılan çalışmalarda, TPE performansı karbon türü, plastik türü ve karbon:plastik oranına bağlı olarak değişmektedir. Metakrilat termoplastik karbon kompozit elektrotlar büyük ölçüde karmaşık üretim yöntemlerine sahiptir ve şekil verilebilme özelliği bulunmamaktadır (Kauffmann, Laudet, & Patriarche, 1982). Polimetil metakrilat (PMMA): karbon nanotüp kullanılarak elektrokimyasal cihazlar yapılması için polimerizasyon tekniği geliştirilmiştir (Regel & Lunte, 2013). PMMA ve polikapralakton (PCL) düşük maliyetli olması, hazır bulunabilirliği, çeşitli çözücülerdeki çözünürlükleri ve analitik cihazlarda yaygın olarak kullanılması gibi özelliklerinden dolayı bağlayıcı olarak kullanılmaktadır.

Basit ve düşük maliyetli bir yöntemle TPE çözücü destekli olarak istenilen şablonlarda üretilebilmektedir. TPE üretiminde kurutma işleminin yanı sıra basınç uygulaması da elektrot malzemesinin eş dağılımı açısından önemlidir. Termoplastik elektrotlar şablon yazdırma, kabartma ve lazerle kesme yoluyla mikrometre boyutlu özelliklere sahip olarak elde edilebilmektedir. Plastik: karbon oranı değiştirilerek geleneksel ekran baskılı karbon elektrotlardan 10 ile 100 kat daha yüksek elektrot iletkenlikleri elde edilebilmektedir. Tayin ölçümlerinde seçicilik ve tayin sınırlarını olumsuz etkileyen atık akım oluştuğundan TPE kapasitansı ölçülmektedir. Elektrotların elektrokatalitik aktivitelerinin belirlenmesi için dönüşümlü voltametri (CV) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemiyle redoks probu kullanılarak TPE yüzeyinin elektrokimyasal özellikleri test edilmektedir.

Elektrotlarda genellikle istenilen seçiciliği ve hassaslığı elde edebilmek için ve pek çok uygulama alanı bulunduğu elektrot modifikasyonu yapılması gerekmektedir. Grafitli karbon malzemeler tayinden moleküler elektroniğe, endüstriyel ve tıbbi alanlarda kaplamalara kadar pek çok uygulama alanında kullanılması amacıyla diazonyum tuzları ile modifiye edilmektedir. Camı karbonun aril diazonyum tuzu ile modifikasyonu ilk olarak 1992 yılında ortaya koyulmuştur ve

modifikasyon yöntemi diğer maddelere de uygulanarak genişletilmiştir (Delamar, Hitmi, Pinson, & Saveant, 1992). Elektrograf yönteminde bir elektron indirgenmesi aril radikallerinin üretimine sebep olarak yüzeyde kovalent bağların oluşmasını sağlamaktadır. Diğer dediazonasyon yöntemleri ise kimyasal indirgeme, ısıtma, UV ışığı ve ultrasonik dalgaya maruz kalma, mekanik çizilme ve bilyalı frezelemedir (Pandurangappa, Ramakrishna, & Compton, 2009; Zhao et al., 2009). Buna ek olarak, çözünmüş diazonyum tuzlarının çeşitli karbon malzemeler dahil olmak üzere kendiliğinden indirgenmeye yol açtığı bilinmektedir (Barrière & Downard, 2008). Graf sonucunda elde edilen film tek tabakalı ve çok tabakalı olabilmektedir. İnce katmanlar elde etmek için uygulanan stratejiler arasında diazonyum iyon çözeltisine radikal temizleyicilerin eklenmesi ve elektrograf işleminin iyonik sıvı ortamda yapılması yer almaktadır. Aril yerine kullanılacak ikame maddelerin var olması ve oluşan kovalent bağın kararlılığı sebebiyle diazonyum graf yönteminin farklı uygulama alanları bulunmaktadır. Elektrot malzemelerinin birden fazla diazonyum iyonu türünün graf edilmesi sonucunda organik tabakalar oluşmaktadır. Sentez, izolasyon ve bazı diazonyum tuzlarının kararsız olması karşılaşılan sorunlar arasındadır. Bu sorunların bertarafı için diazonyum tuzları yerinde sentezlenerek elektrokimyasal olarak üretilen nitritle diazotizasyon sağlanmaktadır (Agullo, Canesi, Schaper, Morin, & Bélanger, 2012; Shul, Parent, Mosqueda, & Bélanger, 2013). Bu metot alkil, nitro, siyanür, karboksil, ester, alkol, tiol ve halojenli gruplar gibi terminal özelliği olan aril gruplarının çeşitli yüzeylere (karbon, altın, yarı iletkenler ve silikon) aril radikalinin üretilmesi ile elektrot yüzeyine kovalent olarak bağlanmasına olanak tanımaktadır.

Elektrot yüzeyindeki amin gruplar uygun ortamda elektrokimyasal yolla nitro gruplara dönüştürülebilmektedir. Bu çalışmada, elektrotların iletkenlik ölçümlerinin ardından dönüşümlü voltametri ile redoks probu olarak ferrisiyanür kullanılarak elektrokimyasal karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, çözücü içermeyen bir yaklaşımla diazonyum iyonu sentezlenmiş ve TPE yüzeyine graf edilmiştir. Aril amin olarak p-nitroanilin kullanılarak elektrotlara asidik ortamda dönüşümlü voltametri yöntemi uygulanmıştır. Böylece fonksiyonel gruplar elektrot yüzeyine bağlanmıştır. TPE yüzeyine immobilize edilen 4-nitrofenil grupların elektrokimyasal davranışı asidik çözeltide incelenmiştir. Ayrıca sentezlenen diazonyum tuzunun elektrot yüzeyindeki inkübasyon süresi optimize edilerek EIS ve CV yöntemleri ile test edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Kimyasallar analitik kalitede Sigma-Aldrich (MO, ABD) satın alınmıştır ve tüm çözeltiler 18,2 MΩ·cm ultra saf su (Milli-Q sistem, ABD) kullanılarak hazırlanmıştır. Termoplastik elektrot üretiminde karbon kaynağı olarak 3569 grafit ve MG-1599 grafit, bağlayıcı madde olarak polimetilmetakrilat (PMMA) ve polikapralakton (PCL), çözücü olarak metilen klorit kullanılmıştır. 4-nitroanilin, p-tolüensülfonik asit monohidrat, sodyum nitrit, sülfürik asit, potasyum hidroksit, 2-propanol (Fisher) satın alındığı şekliyle kullanılmıştır. Tampon çözelti potasyum hidrojen fosfat (Fisher), potasyum dihidrojen fosfat ve potasyum klorit (Fisher) kullanılarak hazırlanmış ve çözeltinin pH'ı 0,1 M sodyum hidroksit veya 0,1 M hidroklorik asit

kullanılarak ayarlanmıştır. Branson model 1510 ultrasonik banyo temizleme işlemleri için kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. TPE hazırlanması

TPE literatürde belirtilen şekilde hazırlanmıştır (Berg, Leroux, Hapiot, & Henry, 2019; Klunder et al., 2017). Buna göre, grafit kütlece 1:3 oranında plastik (PCL/PMMA): karbon (kütlece %75 karbon) eklenerek 15 mL metilen klorit içerisinde çözümüştür. Kuruyan elektrot malzemesine şekil verilebilmekte veya toz, pellet, blok halinde saklanabilmektedir. Çözücü uzaklaştırıldıktan sonra geriye kalan karbon kompozit malzemesi 3 mm çapında geometriye sahip olan şablona ısı uygulanarak preslenmiştir. Kuruyan malzeme PMMA'in erime noktası olan 160°C'de yumuşatılarak istenilen şekil verilmiştir. Bu çalışmada, ısı işlem uygulanması sırasında geleneksel hidrolik ısı presi ile yüksek sıcaklıktaki levhalar kullanılmıştır. Elektrot yüzeyindeki karbon malzemesi soğuduktan sonra şablon yüzeyindeki karbon malzemenin fazlası zımparalanmıştır. Elektrokimyasal karakterizasyon testleri CHI-Instruments potansiyometre kullanılarak Ag/AgCl (3 M KCl ile doyurulmuş) referans elektrot, karbon karşı elektrot ve TPE çalışma elektrotundan oluşan 3'lü elektrot sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Diazonyum tuzu sentezi ve elektrot yüzeyine immobilize edilmesi

0,2 mmol 4-nitroanilin ve 0,6 mmol p-tolüensülfonik asit 75 µL saf suda çözülerek cam bir şişede karıştırılmıştır. Daha sonra 0,5 mmol NaNO₂ eklenerek 5 dk boyunca karıştırılmaya devam edilmiştir. Reaksiyon sonucunda elde edilen sarı renkli pasta elektrot yüzeyine spatula yardımıyla uygulanarak 5 dk bekletilmiştir. Elektrotlar saf su ve 0,1 M H₂SO₄ ile yıkandıktan sonra 2-propanol içerisinde 10 dk sonike edilmiştir.

2.2.3. Elektrokimyasal karakterizasyon

bekletilmiştir. Elektrotlar saf su ve 0,1 M H₂SO₄ ile yıkandıktan sonra 2-propanol içerisinde 10 dk sonike edilmiştir.

2.2.3. Elektrokimyasal karakterizasyon

Fluke 187 multimetrenin iki probu (0,01 Ω doğrulukta) kullanılarak elektrotların dirençleri ölçülmüştür. Karşı elektrot 1:3 PMMA: karbon TPE'den yapılmıştır. Karşı elektrotun yüzey alanı, çalışma elektrotun alanının 10 katına eşittir. Redoks probu olarak kullanılan 10 mM potasyum ferrisiyanür çözeltisi 0,1 M fosfat tampon çözeltisinde hazırlanmıştır ve pH'ı 7,4'e ayarlanmıştır.

Tüm voltametrik ölçümler 0,1 V s⁻¹ tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal çözeltilerden voltametrik ölçümler öncesinde 5 dakika boyunca azot gazı geçirilmiştir (Demir et al.). Elektrot yüzeylerinin kaplanma değerleri voltametrik pik alanları kullanılarak literatürde belirtilen eşitliğe göre hesaplanmıştır (Cline et al., 2009). P-nitrofenil gruplarıyla modifiye edilen elektrot yüzeyleri 0,1 M H₂SO₄ içerisinde voltametrik tarama ile test edilmiştir. Tarama hızı testi için 5 mV/s ile 100 mV/s aralığında 0,1 M fosfat tamponunda

Üretilen TPE'lerin kapasitans değeri verilen eşitliğe göre hesaplanarak 35 µF cm⁻² olarak bulunmuştur ve ticari şablon baskılı elektrotların kapasitansı ile benzerlik göstermiştir (McCreery, 2008). TPE yüzeyindeki reaksiyon sonunda elde edilen pasta saf su ve 0,1 M H₂SO₄ ile yıkandıktan sonra 2-propanol içerisinde sonike edilmiştir. Daha sonra, dönüşümlü

Fluke 187 multimetrenin iki probu (0,01 Ω doğrulukta) kullanılarak elektrotların dirençleri ölçülmüştür. Karşı elektrot 1:3 PMMA: karbon TPE'den yapılmıştır. Karşı elektrotun yüzey alanı, çalışma elektrotun alanının 10 katına eşittir. Redoks probu olarak kullanılan 10 mM potasyum ferrisiyanür çözeltisi 0,1 M fosfat tampon çözeltisinde hazırlanmıştır ve pH'ı 7,4'e ayarlanmıştır.

Tüm voltametrik ölçümler 0,1 V s⁻¹ tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal çözeltilerden voltametrik ölçümler öncesinde 5 dakika boyunca azot gazı geçirilmiştir (Demir, Küçükolbaşı, & Sayın). Elektrot yüzeylerinin kaplanma değerleri voltametrik pik alanları kullanılarak literatürde belirtilen eşitliğe göre hesaplanmıştır (Cline, Baxter, Lockwood, Saylor, & Stalzer, 2009). P-nitrofenil gruplarıyla modifiye edilen elektrot yüzeyleri 0,1 M H₂SO₄ içerisinde voltametrik tarama ile test edilmiştir. Tarama hızı testi için 5 mV/s ile 100 mV/s aralığında 0,1 M fosfat tamponunda hazırlanmış olan 5 mM FeCN₆^{-3/4} çözeltisinde dönüşümlü voltametri metodu kullanılmıştır. Elektrokimyasal empedans ölçümleri ferrisiyanür redoks çiftinde 10 mV genliğinde ve 100.000 ile 0,1 Hz frekans aralığında yapılmıştır.

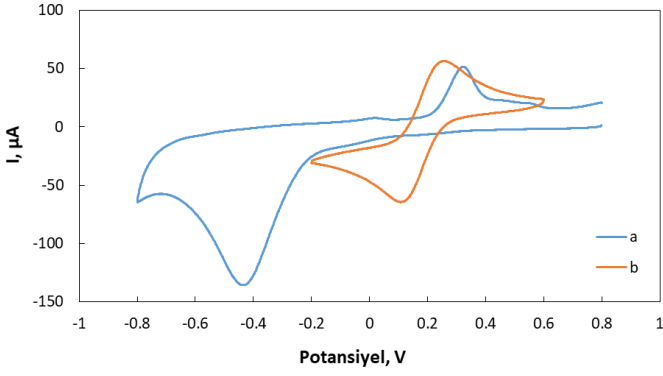
0,2 V'ta Ag/AgCl referans elektrota karşı dönüşümlü voltametri ile 100 mV/s tarama hızında akım cevabı -0,2 V ile 0,8 V arasında kaydedilmiştir. Ortalama kapasitans, dönüşümlü voltametri ile elde edilen akım değerleri kullanılarak aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (Yang, Yiacoymi, & Tsouris, 2003):

$$C_{alan} = \frac{|I_{anodik}| + |I_{katodik}|}{(2V) \times A} \quad (1)$$

C_{alan}, geometrik alan-standart kapasitans; V, tarama hızı (Vs⁻¹); I_{anodik}+I_{katodik}, 0,2 V'ta Ag/AgCl referans elektrota karşı dönüşümlü voltamogramın genişliği ve A, elektrot alanıdır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

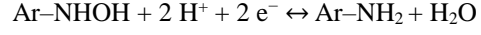
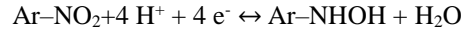
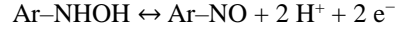
voltametri yöntemi ile elektrotların yüzeyine graf edilen grupların indirgenme ve yükseltgenme pikleri 0,1 M H₂SO₄ içerisinde test edilerek gözlemlenmiştir. Şekil 1'de Ag/AgCl referans elektrota karşı nitrofenil grupların 0,4 V'da indirgenme piki ve -0,4 V'da hidroksiaminofenil grupların oksidasyon piki elde edilmiştir (Cline et al., 2009; Ortiz, Saby, Champagne, & Bélanger, 1998). Her bir elektrot için farklı reaksiyon pastası kullanılmasına rağmen reaksiyon sonucunda sentezlenen aynı pasta ikinci bir elektrot yüzeyinin modifikasyonunda da kullanılabilir. Buna ek olarak, pastanın elektrot yüzeyinde 5 dakika bekletilmesi ile yüzey modifikasyonu gerçekleştirilmektedir (Via, Shugart, Melnyk, Hupman, & Cline, 2018).



Şekil 1. A. 4-nitrofenil, p-toluensülfonik asit, NaNO₂ ve ultra saf su karışımından elde edilen reaksiyon pastasının elektrot yüzeyinde 5 dakika inkübe edilmesinden sonra 0,1 M H₂SO₄'te Ag/AgCl referans elektrota karşı 100 mV/s tarama hızı ile voltametrik olarak taranması. **B.** Modifiye edilmiş termoplastik elektrotun dönüşümlü voltametri ile 5 mM Fe(CN)₆^{3-/4} çözeltisinde test edilmesiyle elde edilen voltamogram.

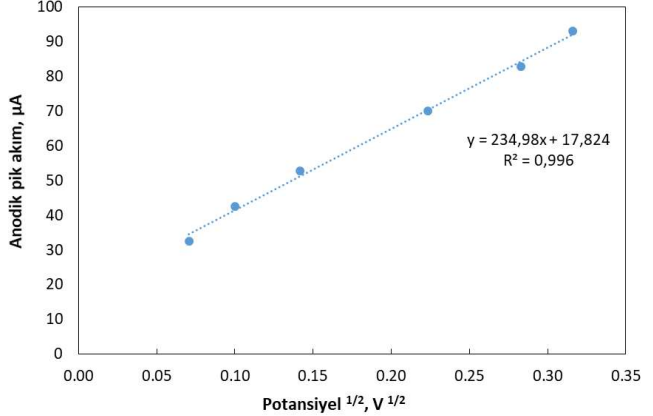
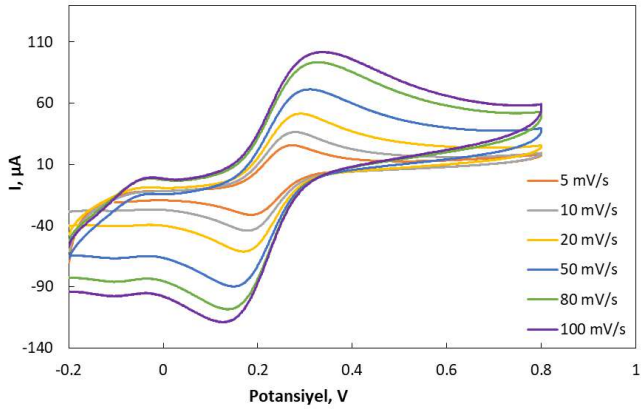
Bu voltamogram, literatürde belirtilen 4-nitrotiyofenol ile modifiye edilmiş elektrotun asidik çözeltideki davranışına benzemektedir (Tsutsumi, Furumoto, Morita, & Matsuda, 1995).

Nitro grupların (Ar-NO₂) asidik çözeltideki indirgenme/yükseltgenme reaksiyonları aşağıdaki mekanizmaya göre ilerlediği gösterilmiştir (Baizer & Lund, 1983; Rubinstein, 1985):

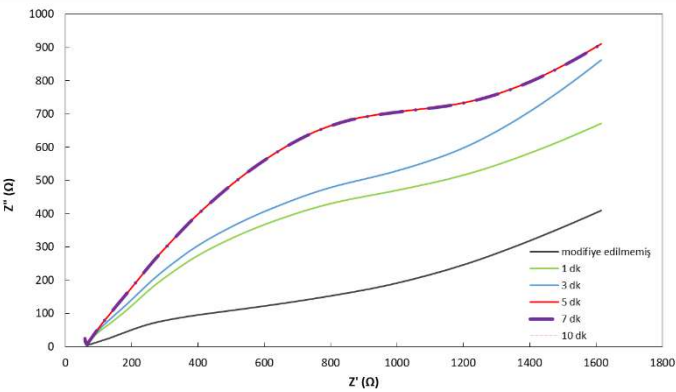


-0,4 V'da elde edilen katodik pik, 4-nitrosofenil (Ar-NO) ve 4-hidroksiaminofenil (Ar-NHOH) aracılığıyla 4-nitrofenil grubun 4-aminofenil (Ar-NH₂)'e indirgenildiğini göstermektedir.

Şekil 2.A'da 5 mM Fe(CN)₆^{3-/4} çözeltisinde 5 mV/s ile 100 mV/s tarama hızı aralığında voltamogramlar elde edilerek Şekil 2.B'de pik akım değerlerine karşı V^{1/2} değerleri grafiği çizilmiştir. 100 mV/s tarama hızına kadar pik akım değerleri ve tarama hızı arasında lineer bir davranış gözlemlenmiştir. Bu da elektroaktif türlerin elektrot yüzeyine difüzyon kontrollü reaksiyonla graf edildiğini göstermiştir (Gomez & Kaifer, 1992).



Şekil 2. A. Modifiye edilen elektrotun farklı tarama hızlarında dönüşümlü voltametri ile elde edilen voltamogramları. **B.** A'daki elektrotun anodik pik akımının tarama hızına bağlı değişimi.



Şekil 3. Modifiye edilmemiş ve p-nitroanilin ile modifiye edilmiş elektrotun 5mM Fe(CN)₆^{3-/4} içerisinde EIS yöntemiyle elde edilen Nyquist eğrileri. (Uygulanan potansiyel= 0,2 V, genlik=10 mV, frekans aralığı 100.000 ile 0,1 Hz).

Termoplastik elektrotun Nyquist eğrileri ferri/ferrosiyanyür redoks çifti varlığında modifiye edilmemiş elektrot ile karşılaştırıldığında farklılık göstermiştir (Şekil 3). Bu da elektrot yüzeyinin modifiye edildiğinin göstergesidir (Bagheryan, Raof, Golabi, Turner, & Beni, 2016; Hetemi, Noël, & Pinson, 2020). Sentezlenen diazonyum tuzu elektrot yüzeyinde 1dk, 3 dk, 5 dk, 7dk ve 10 dk süreyle inkübe edilmiş, 0,1 M H₂SO₄ ve saf su ile yıkama işlemi sonunda 5mM Fe(CN)₆^{3-/4} çözeltisinde EIS yöntemiyle Nyquist eğrileri elde edilmiştir. CHI 660b model potansiyostatın yazılımı ile elde edilen Nyquist eğrilerinin çaplarından yük transfer direnci hesaplanarak sırasıyla 1915 Ω (1 dk inkübasyon), 1012 Ω (3 dk inkübasyon), 2360 Ω (5,7 ve 10 dk inkübasyon) olarak bulunmuştur. Elde edilen Nyquist eğrilerine göre elektrot yüzeyinde 5-10 dk inkübe edilen diazonyum tuzunun elektrot yüzeyine amin fonksiyonel gruplarının daha fazla graf edildiğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple, elektrot yüzeyine uygulanan reaksiyon pastasının 5 dk boyunca inkübe edilmesi elektrot modifikasyonu için gereken optimum süre olarak kaydedilmiştir.

Böylece, yeni bir karbon kompozit elektrot olan TPE yüzeyine bu alternatif yöntemle fonksiyonel grupların graf edilebileceği gösterilmiştir. Bu türde bir amin kullanılarak TPE yüzeyi ilk kez modifiye edilmiştir. 0,1 M H₂SO₄ çözeltisinde 100 mV/s tarama hızında yapılan dönüşümlü voltametri testi ile karakteristik nitrofenil pikleri ve ortalama 1,76 nmol/cm²'lik yüzey modifikasyonu gözlemlenmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, termoplastik karbon elektrotların optimum koşullar altında 4-nitroanilin, sodyum nitrit ve p-tolüensülfonik asitten sentezlenen diazonyum iyonları ile modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Elektrot yüzeyine bağlanan fonksiyonel gruplar 2-propanolde ultrasonik muamele sonrasında zarar görmemektedir. Bu çalışmada, çözücü kullanılmadan TPE modifikasyonu için uygun bir graf yöntemi ortaya koyulmuştur. Elektrokimyasal ölçümler sonucunda 4-nitrofenil ile modifiye edilen TPE'nin asidik çözelti içerisindeki redoks cevabı nitro grupların amin fonksiyonel gruplarına dönüştüğünü göstermektedir. Modifiye edilen elektrot indirgenildiğinde elektrot yüzeyinde amin, hidroksilamin ve nitroso gruplar üretilmektedir. Sentezlenen diazonyum tuzunun elektrot yüzeyindeki optimum inkübasyon süresi 5 dk olarak bulunmuştur. Gerçekleştirilen modifikasyon ile reaktif fonksiyonel grup elde edilmiş ve daha ileriki graf modifikasyonları için uygun bulunmuştur.

5. Teşekkür

Bu çalışmaya yaptığı katkılardan dolayı Prof. Dr. Charles S. Henry'ye teşekkür ederim.

Kaynakça

- Agullo, J., Canesi, S., Schaper, F., Morin, M., & Bélanger, D. (2012). Formation and reactivity of 3-diazopyridinium cations and influence on their reductive electrografting on glassy carbon. *Langmuir*, 28(10), 4889-4895.
- Bagheryan, Z., Raof, J.-B., Golabi, M., Turner, A. P., & Beni, V. (2016). Diazonium-based impedimetric aptasensor for the rapid label-free detection of Salmonella typhimurium in food sample. *Biosensors and Bioelectronics*, 80, 566-573.
- Baizer, M., & Lund, H. (1983). Organic Electrochemistry' Marcel Dekker. New York.
- Barrière, F., & Downard, A. J. (2008). Covalent modification of graphitic carbon substrates by non-electrochemical methods. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 12(10), 1231-1244.
- Berg, K. E., Leroux, Y. R., Hapiot, P., & Henry, C. S. (2019). Increasing Applications of Graphite Thermoplastic Electrodes with Aryl Diazonium Grafting. *ChemElectroChem*, 6(18), 4811-4816.
- Cline, K. K., Baxter, L., Lockwood, D., Saylor, R., & Stalzer, A. (2009). Nonaqueous synthesis and reduction of diazonium ions (without isolation) to modify glassy carbon electrodes using mild electrografting conditions. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 633(2), 283-290.
- Delamar, M., Hitmi, R., Pinson, J., & Saveant, J. M. (1992). Covalent modification of carbon surfaces by grafting of functionalized aryl radicals produced from electrochemical reduction of diazonium salts. *Journal of the American Chemical Society*, 114(14), 5883-5884.
- Demir, A., Küçükolbaşı, S., & Sayın, S. Kaliks [4] aren Nanopartikül Bazlı Modifiye Katı Elektrot Yüzeyleri Kullanılarak Cd (II) nin Voltametrik Tayini. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 43(1), 15-25.
- Gomez, M. E., & Kaifer, A. E. (1992). Voltammetric behavior of a ferrocene derivative: A comparison using surface-confined and diffusion-controlled species. *Journal of Chemical Education*, 69(6), 502.
- Heard, D., & Lennox, A. (2020). Electrode Materials in Modern Organic Electrochemistry. *Angewandte Chemie International Edition*.
- Hetemi, D., Noël, V., & Pinson, J. (2020). Grafting of diazonium salts on surfaces: application to biosensors. *Biosensors*, 10(1), 4.
- Jasmin, J.-P., Ouhenia-Ouadahi, K., Miserque, F., Dumas, E., Cannizzo, C., & Chaussé, A. (2016). Straightforward grafting approach for cyclam-functionalized screen-printed electrodes for selective Cu (II) determination. *Electrochimica Acta*, 200, 115-122.
- Kauffmann, J., Laudet, A., & Patriarche, G. (1982). THE MODIFIED CARBON PASTE ELECTRODE-ITS USE IN DIFFERENTIAL PULSE ANODIC-STRIPPING VOLTAMMETRY IN THE PRESENCE OF A MERCURY FILM. *ANALYTICAL LETTERS PART A-CHEMICAL ANALYSIS*, 15(9), 763-774.
- Klunder, K. J., Nilsson, Z., Sambur, J. B., & Henry, C. S. (2017). Patternable solvent-processed thermoplastic graphite electrodes. *Journal of the American Chemical Society*, 139(36), 12623-12631.
- McCreery, R. L. (2008). Advanced carbon electrode materials for molecular electrochemistry. *Chemical reviews*, 108(7), 2646-2687.
- Mussa, Z. H., Othman, M. R., & Abdullah, M. P. (2015). Electrochemical oxidation of landfill leachate: investigation of operational parameters and kinetics using graphite-PVC composite electrode as anode. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26(5), 939-948.
- Ortiz, B., Saby, C., Champagne, G., & Bélanger, D. (1998). Electrochemical modification of a carbon electrode using aromatic diazonium salts. 2. Electrochemistry of 4-nitrophenyl modified glassy carbon electrodes in aqueous media. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 455(1-2), 75-81.
- Pandurangappa, M., Ramakrishnappa, T., & Compton, R. G. (2009). Functionalization of glassy carbon spheres by ball milling of aryl diazonium salts. *Carbon*, 47(9), 2186-2193.
- Rana, A., Baig, N., & Saleh, T. A. (2019). Electrochemically pretreated carbon electrodes and their electroanalytical applications—a review. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 833, 313-332.
- Randviir, E. P., Brownson, D. A., Metters, J. P., Kadara, R. O., & Banks, C. E. (2014). The fabrication, characterisation and electrochemical investigation of screen-printed graphene electrodes. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16(10), 4598-4611.
- Regel, A., & Lunte, S. (2013). Integration of a graphite/poly (methyl-methacrylate) composite electrode into a poly (methylmethacrylate) substrate for electrochemical

- detection in microchips. *Electrophoresis*, 34(14), 2101-2106.
- Rubinstein, I. (1985). Voltammetric study of nitrobenzene and related compounds on solid electrodes in aqueous solution. *Journal of electroanalytical chemistry and interfacial electrochemistry*, 183(1-2), 379-386.
- Shul, G., Parent, R., Mosqueda, H. A., & Bélanger, D. (2013). Localized in situ generation of diazonium cations by electrocatalytic formation of a diazotization reagent. *ACS applied materials & interfaces*, 5(4), 1468-1473.
- Tsutsumi, H., Furumoto, S., Morita, M., & Matsuda, Y. (1995). Electrochemical behavior of a 4-nitrothiophenol modified electrode prepared by the self-assembly method. *Journal of colloid and interface science*, 171(2), 505-511.
- Via, G. G., Shugart, C. L., Melnyk, S. L., Hupman, S. R., & Cline, K. K. (2018). One-step Solvent-free Synthesis and Grafting of Diazonium Ions at Glassy Carbon Electrodes. *Electroanalysis*, 30(10), 2421-2426.
- Yang, K.-L., Yiacoumi, S., & Tsouris, C. (2003). Electrosorption capacitance of nanostructured carbon aerogel obtained by cyclic voltammetry. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 540, 159-167.
- Zhao, W., Tong, B., Pan, Y., Shen, J., Zhi, J., Shi, J., & Dong, Y. (2009). Fabrication, electrochemical, and optoelectronic properties of layer-by-layer films based on (phthalocyaninato) ruthenium (II) and triruthenium dodecacarbonyl bridged by 4, 4'-bipyridine as ligand. *Langmuir*, 25(19), 11796-11801.



Tarımsal Üretim İçin Entegre Kaynak Verimliliği

Nusret Mutlu^{1*}

^{1*} GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Şanlıurfa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5780-4152), nmutlu@gap.gov.tr

(İlk Geliş Tarihi 20 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 13 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.782364)

ATIF/REFERENCE: Mutlu, N. (2020). Tarımsal Üretim İçin Entegre Kaynak Verimliliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 293-298.

Öz

Tarımsal üretimde, yakıt ve elektrik tüketilerek doğrudan ve tarım makineleri, gübreler ve tarım ilaçlarının üretimi süreçlerinde enerji tüketimi nedeniyle dolaylı olarak enerji kullanılır. Farklı ortamlardaki farklı üretim sistemleri, enerji kullanımı ve enerji tasarrufu potansiyellerine göre büyük ölçüde farklılık gösterir. Bu çalışmada, sürdürülebilir tarımsal üretim için entegre kaynak verimliliği değerlendirilmiştir. Tarımsal üretimde sürdürülebilirlik için, bazı teknik, ekonomik ve çevresel ölçütler tanımlanmıştır. Tarımsal üretimde enerji verimliliği sağlamak için gerekli olan enerji tasarrufu uygulamaları üretim sürecinde kullanılan sistemlere, işletimsel uygulamalara ve üretime giren sermaye malları / çiftlik altyapısına uygulandığı zaman önemli bir katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal üretim, Kaynak verimliliği, Sürdürülebilir tarım.

Integrated Resource Management for Sustainable Agricultural Production

Abstract

In agricultural production, energy is used directly by consuming fuel and electricity and indirectly due to energy consumption in the production of agricultural machinery, fertilizers and pesticides. Different production systems in different environments differ greatly in their energy use and energy saving potential. In this study, integrated resource efficiency for sustainable agricultural production is evaluated. Integrated resource efficiency for sustainable agricultural production has been evaluated. In agriculture, some technical, economic and environmental criteria are defined for sustainability in production. Energy saving measures will be particularly important for achieving energy efficiency in agriculture when applied to systems involved in the production process, operational practices and capital goods / farm infrastructure entering production.

Keywords: Agriculture, Resource efficiency, Resource management, Sustainability.

* Sorumlu Yazar: nmutlu@gap.gov.tr

1. Giriş

Enerji verimliliği, ürün ve hizmet sunmak için gereken enerji miktarını azaltma çabalarının hedefidir. Tarla bitkileri için ana enerji girdisi, gübre ve dizel yakıt kullanımı ile ilişkilidir. Genellikle sulama, kurutma ve/veya depolama uygulamalarında enerji tüketimi önemlidir.

Bu uygulamalar için tüketilen enerji miktarı; coğrafi konuma ve ilgili iklime ve üretim sistemlerinin özelliklerine bağlıdır. Orta ve Kuzey AB ülkelerinde, seralarda sebze üretimi için, fazla miktarda doğrudan enerji kullanımı gerçekleşmektedir. Bu durum, Güney AB ülkelerindeki örtü altı üretim sisteminden önemli ölçüde farklıdır. Güney ülkelerinde örtü altında yetiştirilen ürünler, doğrudan toprakta yetiştirildiklerinde, çok azdır.

Bununla birlikte, topraksız tarım sistemlerde daha yüksek enerji girdisi gereklidir. Zeytin üretimi için özgül enerji tüketimi, güneybatı Avrupa ülkelerinde, güneydoğu Avrupa ülkelerinden daha yüksektir. (agrEE (2012a). Bu ülkelerde, süt ineği yetiştiriciliği ve etlik piliç üretiminde, yem tüketimi nedeniyle çok fazla miktarda enerji tüketilmektedir.

Tarımsal üretimde, büyük ölçüde yakıt veya elektrik olarak doğrudan ve tarım makineleri, gübreler veya tarım ilaçlarının üretimi süreçlerinde enerji tüketimi nedeniyle dolaylı olarak enerji kullanılır. Tarımda enerji kullanımı konusundaki değerlendirmeler genellikle doğrudan enerji kullanımına odaklanırken, toplam enerji kullanımının % 50 ve daha fazlasının azotlu gübre üretimi enerjisi ve diğer dolaylı enerji kullanımları ile ilgili olduğu kabul edilmelidir (Woods ve Ark., 2010; Pelletier ve Ark., 2011).

Farklı ortamlardaki farklı üretim sistemleri, enerji kullanımı ve enerji tasarrufu potansiyellerine göre büyük ölçüde farklılık gösterir. Tarımsal üretimde enerji kullanımı konusunda kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır (Baran ve Ark., 2019a; 2019b; Baran ve Gökdoğan, 2020; Yıldızhan, 2019). Bu çalışmada, sürdürülebilir tarımsal üretim için entegre kaynak verimliliği değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Enerji Girdilerinin Belirlenmesi

Tarımda enerji kullanımı hem doğrudan enerji kullanımını hem de tarım ürünleri üretmek için kullanılan her türlü girdiyle ilişkili dolaylı enerji kullanımını kapsar. Enerji giderlerinin belirlenmesinde, yaşam döngüsü değerlendirmesine (LCA) benzer bir yaklaşım kabul edilir.

Enerji kullanımı ilişkin değerler, ortalama üretim rakamlarına veya en iyi tahminlere dayanarak oluşturulur. Her bir alt üretim grubu için, birincil enerji tüketimi (BET) ve fosil enerji tüketimi değerleri (FET) dikkate alınır.

Girdi olarak kullanılan fiziksel değerler, belirli katsayılar kullanılarak enerji değerlerine dönüştürülmüştür (Tablo 1. Bir tarımsal üretim sürecinde kullanılan girdiler ve uygulanan teknolojiler dikkate alınarak; düşük, orta ve yüksek girdi kullanılan sistemler olarak değerlendirilmektedir.

Tarımsal üretim süreçlerinde enerji kullanımının belirlenmesi için dikkate alınan başlıca girdiler Tablo 1’de verilmiştir.

2.1.1. Doğrudan Enerji Kullanımının Belirlenmesi

Doğrudan enerji girdileri; elektrik, rafine edilmiş petrol ürünleri (dizel, doğal gaz ve diğerleri), doğal gaz bazlı yakıtlar ve talaş dahil olmak üzere tarımsal üretim sürecinde doğrudan kullanılan tüm enerji kaynakları ve enerji taşıyıcıları kapsar.

- Elektrik: Tüketilen kWh elektrik miktarı MJ enerji birimine dönüştürülür. Aydınlatma, elektrikli ekipman, otomasyon süreçleri ve çiftlik yönetiminde tüketilen toplam elektrik miktarı.
- Rafine petrol yakıtları: Tüketilen litre (L) yakıt miktarı MJ enerji birimine dönüştürülür.
- Doğal gaz ve sıvı propan: Ürün kurutucularda ısı kaynağı, güç makinelerinde ve seralarda ısı ve güç ünitelerinde yakıt olarak kullanılır.
- Biyokütle ve katı yakıtlar: Sera ve hayvan barınakları gibi çiftlik ısı ihtiyacının karşılanması için kullanılır.

2.1.2. Dolaylı Enerji Kullanımının Belirlenmesi

Dolaylı enerji girdileri; kimyasal gübreler, tarım ilaçları, tarım alet ve makineleri, sera ve hayvan barınakları gibi tarımsal yapıların yanı sıra, tohum ve yem gibi tarımsal üretim girdilerinin üretiminde tüketilen enerjiyi içerir.

Besin ve temel gıda hammaddelerinin üretiminde enerji verimliliğinin belirlenmesinde, hayvansal üretim için; yem ve özel yem takviyelerinin, bitkisel üretim için; tohumlar, inorganik gübreler, tarım ilaçları ve tarımsal mekanizasyon araçlarının üretim süreçlerinde tüketilen dolaylı enerji girdileri dikkate alınır.

Bitkisel üretimde kullanılan kimyasal gübre ve tarım ilaçlarının üretiminde önemli miktarda enerji tüketilmektedir. Enerji verimliliği göstergesi olarak aşağıdaki iki temel ölçüt dikkate alınmaktadır:

- 1) Tarımsal üretimde kullanılan birim üretim alanı (ha) başına enerji (GJ) kullanım oranı (GJ/ha)
- 2) Tarımsal üretim sonucunda üretilen birim ürün (t) başına enerji (GJ) kullanım oranı (GJ/t)

Enerji verimliliği göstergeleri aşağıdaki girdi gruplarını kapsamaktadır:

- 1) *Doğrudan Enerji Girdileri*: Tarımsal üretim işlemleri süreçlerinde tüketilen elektrik ve katı, sıvı ve gaz yakıtların toplamı olarak dikkate alınır ve fosil enerji kullanımı olarak değerlendirilir (GJ/ha, GJ/L)
- 2) *Dolaylı Enerji Girdileri*: Tarımsal üretim süreçlerinde kullanılan kaynakların üretimi için fabrikalarda tüketilen enerjiler olarak dikkate alınır (GJ/ha, GJ/L)
- 3) *Toplam Enerji Girdileri*: Tarımsal üretimde birim üretim alanında kullanılan doğrudan ve dolaylı enerji girdilerinin toplamıdır (GJ/ha, GJ/L)
- 4) *Özgül Enerji Girdisi*: Tarımsal üretim yapılan birim tarım alanı için (GJ/ha) veya üretim sonucunda üretilen bir ton tarımsal ürün (GJ/t) için, tarımsal üretim süreçlerinde toplam birincil enerji kullanımınıdır.

Tablo 1. Tarımsal Üretimde Doğrudan ve Dolaylı Enerji Girdileri İçin Dönüşüm Katsayıları (agrEE, 2012a, 2012b)

Enerji Girdileri	Birimler	Enerji Değerleri	
		FET	BET
Doğrudan Enerji Girdileri			
Elektrik	MJ/kWh	3.60	9.70
Dizel	MJ/kg	43.10	50.00
Doğal gaz	MJ/m ³	31.60	35.70
Odun talaşı	MJ/kg (MC % 30)	12.40	12.40
Dolaylı Enerji Girdileri			
Tohum- Tahıl	MJ/kg	2.61	2.61
Tohum- Şekerpancarı	MJ/kg	36.29	36.29
Tohum-Yumrular	MJ/kg	1.05	1.05
Tohum- Pamuk	MJ/kg	52.60	52.60
Kimyasal Gübreler			
Azot (N)	MJ/kg	48.99	48.99
Fosfor (P ₂ O ₃)	MJ/kg	15.03	15.03
Potasyum (K ₂ O)	MJ/kg	9.68	9.68
Kalsiyum (CaO)	MJ/kg	1.97	1.97
Magnezyum (MgO)	MJ/kg	6.70	6.70
Kükürt (S)	MJ/kg	2.10	2.10
Tarım İlaçları (Pestisitler)			
Herbisitler	MJ/kg _{etkili madde}	268.4	268.4
Fungusitler	MJ/kg _{etkili madde}	268.4	268.4
İnsektisitler	MJ/kg _{etkili madde}	268.4	268.4
Nemotositler	MJ/kg _{etkili madde}	268.4	268.4
Diğer Üretim Girdileri			
Organik	MJ/kg	0.30	0.30
Su	MJ/m ³	0.63	0.63
Bez	MJ/m ²	81.00	81.00
Sera substratı	MJ/m ²	13.00	13.00
Serada el ile çalışma	MJ/h	40.00	40.00
Serada ısı perdeleri	MJ/m ²	41.00	41.00
Serada solarizasyon filmi	MJ/m ²	170.00	170.00
Sera plastik örtü malzemesi (LDPE)	MJ/m ²	69.50	69.50
Çiftlik Hayvanları¹			
Silaj, MC %70	MJ/kg _{DM}	0.90	0.90
Otlaktan yem, MC % 70	MJ/kg _{DM}	0.50	0.50
Kuru saman, MC % 15	MJ/kg _{DM}	1.90	1.90
Kesif yem (tahıl), MC % 40	MJ/kg _{DM}	3.60	3.60
Karma yem, MC % 12	MJ/kg _{DM}	3.80	3.80
Protein konsantresi, MC % 12	MJ/kg _{DM}	3.90	3.90
Yarım konsantre, MC % 12	MJ/kg _{DM}	3.90	3.90
Endüstriyel yem, MC % 12	MJ/kg _{DM}	4.20	4.20
Soya fasulyesi	MJ/kg _{DM}	4.25	4.25
Kolza tohumu	MJ/kg _{DM}	5.26	5.26
Tritikale	MJ/kg _{DM}	3.89	3.89
Saman, Talaş (yataklik)	MJ/kg _{DM}	1.80	1.80
Su	MJ/m ³	0.63	0.63
Binalar	MJ/m ²	153.00	153.00

¹ MC nem İçeriği; DM-Kuru madde

2.3. Tarımsal Üretimde Sürdürülebilirlik Göstergeleri

Bu çalışmada, tanımlanmış olan tarımsal üretimde ekonomik üretim, enerji tüketimi ve çevresel etkiler için sürdürülebilirlik göstergeleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Tarımsal Üretimde Sürdürülebilirlik Göstergeleri

Gösterge Adı	Tanımlama	Birim Analizi	Birim
<i>Maliyet göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemleri için kullanılan sabit ve değişken özellikteki bütün girdilerin toplam parasal değerinin, üretim yapılan tarım alanına oranıdır.	Maliyet/Alan	TL/ha
<i>Yakıt göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemlerinde kütle veya hacim olarak tüketilen yakıt miktarının, üretim yapılan tarım alanına oranıdır.	Kütle (Hacim)/Alan	kg(L)/ha
<i>Enerji göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemlerinde tüketilen toplam enerji miktarının, üretim yapılan tarım alanına oranıdır.	Enerji/Alan	MJ/ha
<i>Enerji verimi</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen ürünün toplam enerji içeriğinden, üretim için tüketilen toplam enerji miktarı çıkarılarak belirlenir.	(Enerji/Alan)/(Enerji/Alan)	MJ/ha
<i>Toplam sera gazı emisyonu göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemlerinde enerji tüketimi sonucunda gerçekleşen sera gazı emisyonlarının toplam miktarının, üretim yapılan tarım alanına oranıdır.	Kütle/Alan	kg _{CO2} /ha
<i>CO₂ göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemlerinde enerji tüketimi sonucunda gerçekleşen CO ₂ emisyonlarının toplam miktarının, üretim yapılan tarım alanına oranıdır.	Kütle/Alan	kg _{CO2} /ha
<i>NO₂ göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemlerinde enerji tüketimi sonucunda gerçekleşen NO ₂ emisyonlarının toplam miktarının, üretim yapılan tarım alanına oranıdır.	Kütle/Alan	kg _{NO2} /ha
<i>SO₂ göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemlerinde enerji tüketimi sonucunda gerçekleşen SO ₂ emisyonlarının toplam miktarının, üretim yapılan tarım alanına oranıdır.	Kütle/Alan	kg _{SO2} /ha
<i>Yakıt göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemlerinde kütle veya hacim olarak tüketilen yakıt miktarının, üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarına oranıdır.	Kütle (Hacim)/Kütle(Hacim)	kg(L)/ kg(L) _{ürün}
<i>Enerji göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemlerinde tüketilen enerji miktarının, üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarına oranıdır.	Enerji/Kütle (Hacim)	MJ/kg(L) _{ürün}
<i>Emisyon göstergesi</i>	Tarımsal üretim işlemlerinde enerji tüketimi sonucunda gerçekleşen sera gazı emisyonlarının toplam miktarının, üretim sonucunda elde edilen toplam ürün miktarına oranıdır.	Kütle/Kütle	kg _{CO2} /kg(L) _{ürün}
<i>Özgül maliyet</i>	Tarımsal üretim işlemleri için kullanılan sabit ve değişken özellikteki bütün girdilerin toplam parasal değerinin, üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarına oranıdır.	Maliyet/Kütle (Hacim)	TL/kg(L) _{ürün}
<i>Ekonomik üretkenlik</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarının, üretim işlemleri için kullanılan sabit ve değişken özellikteki bütün girdilerin toplam parasal değerine oranıdır.	Kütle (Hacim)/Maliyet	kg(L) _{ürün} /TL
<i>Ekonomik verimlilik oranı</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen toplam gelirin parasal değerinin, üretim işlemleri için kullanılan sabit ve değişken özellikteki bütün girdilerin toplam parasal değerine oranıdır.	Maliyet/Maliyet	TL/TL
<i>Net karlılık</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen toplam gelirin parasal değeri ile üretim işlemleri için kullanılan sabit ve değişken özellikteki bütün girdilerin parasal değeri arasındaki farktır.	Para-Para	TL
<i>Yakıt göstergesi</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarının, üretim işlemlerinde kütle veya hacim olarak tüketilen yakıt miktarına oranıdır.	Kütle (Hacim) / Kütle (Hacim)	g(L) _{ürün} /kg(L) _{yakıt}
<i>Enerji göstergesi</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarının, üretim işlemlerinde tüketilen enerji miktarına oranıdır.	Kütle (Hacim) /Enerji	kg(L) _{ürün} /MJ
<i>Enerji oranı</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen toplam ürün miktarının enerji eşdeğerinin, üretim işlemlerinde doğrudan ve dolaylı olarak tüketilen toplam enerji miktarına oranıdır.	Enerji/Enerji	MJ/MJ
<i>CO₂ göstergesi</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarının, üretim işlemlerinde enerji tüketimi sonucunda gerçekleşen CO ₂ emisyonlarının toplam miktarına oranıdır.	Kütle/Kütle	kg(L) _{ürün} /kg _{CO2}
<i>NO₂ göstergesi</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarının, üretim işlemlerinde enerji tüketimi sonucunda gerçekleşen NO ₂ emisyonlarının toplam miktarına oranıdır.	Kütle/Kütle	kg(L) _{ürün} /kg _{NO2}
<i>SO₂ göstergesi</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarının, üretim işlemlerinde enerji tüketimi sonucunda gerçekleşen SO ₂ emisyonlarının toplam miktarına oranıdır.	Kütle/Kütle	kg(L) _{ürün} /kg _{SO2}
<i>Toplam sera gazı emisyonu göstergesi</i>	Tarımsal üretim sonucunda elde edilen ürünün kütleli veya hacimsel miktarının, üretim işlemlerinde enerji tüketimi sonucunda gerçekleşen sera gazı emisyonlarının toplam miktarına oranıdır.	Kütle/Kütle	kg(L) _{ürün} /kg _{CO2}

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Tek Yıllık Bitkisel Üretimde Enerji Verimliliği Önlemleri

Tarla bitkileri üretiminde, çoğu enerji tasarrufu önlemi gübreleme ve tarla uygulamalarıyla ilişkilidir. Bununla birlikte, tarla bitkileri üretiminde aşağıdaki uygulamalar gerçekleştirilerek de önemli düzeyde enerji tasarrufu sağlanabilir:

- Kurutma ve depolama gibi hasat sonrası uygulamalar

- Biyoaktif organizmaların uygulanması

- Azaltılmış veya toprak işlenmesiz tarımsal uygulamalar
- Enerji tüketimine ilişkin; denetleme-kontrol-veri toplama gibi bir izleme sisteminin uygulanması

Bitkisel üretimde enerji tasarrufu potansiyeli olan önlemlerin listesi Tablo.3’de verilmektedir. Bitkisel üretimde enerji tasarrufu potansiyeli yüksek olan başlıca önlemler arasında aşağıdaki uygulamalar yer alır:

- Toprak işleme ve diğer saha uygulamalarında yakıt

- kullanımını azaltmak
 - Tarla uygulamalarında traktör ve alet/makina kullanımını optimize etmek
 - Kurutma işleminde enerji tasarruflu ürün depoları kullanmak
 - Gelişmiş üretim yönetimleri uygulamak
- Bitkisel üretimde dolaylı enerji tüketimini azaltarak enerji tasarrufu sağlayan başlıca önlemler şunlardır:
- Gelişmiş, yüksek verimli ve hastalığa dayanıklı çeşitler kullanmak
 - Organik/yeşil gübreler ve biyoaktif mikroorganizmalar gibi alternatif besin kaynakların ve bitki koruma yöntemleri uygulamak
 - Üretim süreçlerini gelişmiş yöntemlerle izlemek
 - Toprak verimliliğine ve bitki besin elementi alımına uygun girdi kullanmak

Tablo 3. Tek Yıllık Bitkisel Üretimde Doğrudan ve Dolaylı Enerji Tüketiminde Enerji Verimliliği Sağlayan Önlemler

Üretim Faktörü	Doğrudan Enerji Tüketiminin Azaltılması İçin Önlemler
Toprak işleme	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toprak işlemesiz/azaltılmış toprak işleme uygulamak ➤ Tarlada kontrollü trafik uygulamak ➤ Gerçek zamanlı kinematik uydu tabanlı konumlandırma sistemleri ile otomatik yönlendirme
Traktörler ve alet/makinalar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tarla uygulamaları ve taşıma için kullanılan traktör ve diğer alet/makinalar için güç optimizasyonu sağlamak ➤ Lastik boyutları/basınç ve ön aks ağırlığının uygunluğunu sağlamak ➤ Ortak makina kullanımı ➤ Üretimde kullanılan araçları birlikte kullanmak (alet/makina kombinasyonları)
Üretim sistemi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Organik veya entegre üretimde değişiklik yapmak ➤ Hassas tarım uygulamak ➤ Tarlada kontrollü uygulamak
Kurutma ve depolamada ısı kayıplarını önlemek	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Isı pompaları ile ısı geri kazanımı uygulamak ➤ Tarımsal atıklardan enerji üretmek
Diğerleri	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Enerji verimli işlem kontrolü ➤ Yenilikçi kurutma ve depolama sistemleri geliştirmek ➤ Kurutma ve ürün depolama tasarımlarının optimizasyonu üzerine araştırmalar
Üretim Faktörü	Dolaylı Enerji Tüketiminin Azaltılması İçin Önlemler
Tohumlar/Yumrular	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Üretim birimi başına verim potansiyeli yüksek ve daha düşük enerji girdisi olan yeni çeşitler kullanmak

Gübreler	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Topraktaki besin elementlerinin varlığına ve ürün isteklerine uygun olarak kimyasal gübre uygulamak ➤ Biyoaktif mikroorganizmalar, yeşil gübreleme ve çok bileşikli kompoze gübreler uygulamak ➤ Azotlu gübre temelinde organik gübreleme yapmak ➤ Sentetik azotlu gübreleme yerine toprağa biyolojik azot bağlayarak gübreleme yapmak ➤ Yeşil gübreleme için kullanılacak bitkiler yetiştirmek
Tarım ilaçları	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Biyoaktif mikroorganizmalardan yararlanmak ➤ Pestisitleri sahaya özel olarak uygulamak ➤ Hastalığa dayanıklı çeşitler kullanmak
Diğerleri	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gübre, tarım ilacı ve su kullanımını iyileştirilmek ➤ Üretimde enerji tasarrufu sağlayan yenilikçi çözümler için bilimsel araştırmalar ve pazar araştırması yapmak ➤ Ürün verim haritalaması yapmak ➤ Uygun bitki rotasyonu sağlamak ➤ Hasat işlemlerini ve hasat sonrası kayıpları azaltmak

Enerji girdilerinden bağımsız olarak, sistem yenilikleri ile ilgili araştırmalardan da yüksek enerji tasarrufu potansiyeli beklenmektedir. Bu tür önlemler, işletimsel seviyeden daha yüksek ölçek düzeyindeki önlemlerdir. Tablo 3’de verilen enerji tasarrufu önlemleri bütün ülkeler için geçerli uygulamalardır. Bununla birlikte, enerji tasarrufu önlemlerinin, ülkeler arasında belirli bir üretim türü için toplam enerji tüketimi gibi önemli etmenler konusunda, daha güçlü veya daha zayıf etkileri olabilir.

Güney AB ülkelerinde, tahıl kurutması için enerji tüketimini azaltmak daha az önem arzederken, sulama uygulamalarında enerji tasarrufu daha önemli olabilecektir. (agrEE (2012a). Ayrıca, Yunanistan’daki pamuk üretimi gibi, ülkeye özgü bir ürün, enerji verimli damla sulama sistemleri ile su yönetimini geliştirmek için özel önem gerektirebilir (agrEE (2012a).

3.2. Çok Yıllık Bitkisel Üretimde Enerji Verimliliği Önlemleri

Üzüm ve zeytin gibi çok yıllık bitkisel üretimde, üretim süreçlerine bağlı olarak enerji tasarrufu önlemleri Tablo 4’de verilmektedir. Çok yıllık bitkisel üretimde ET önlemleri genel olarak aşağıdaki uygulamalar ile ilgilidir:

- Gübreleme
- Bitki koruma
- Saha uygulamaları

Tablo4. Çok Yıllık Bitkisel Üretimde Doğrudan ve Dolaylı Enerji Tüketiminde Enerji Verimliliği Sağlayan Önlemler

Enerji Tüketimi	Enerji Tüketiminin Azaltılması İçin Önlemler
Doğrudan Enerji Tüketimi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toprak işlemez üretim yapmak veya azaltılmış toprak işleme uygulamak ➤ Zeytin ve üzüm hasat süreçlerinde taşıma/yükleme amacıyla kullanılan; yükleyiciler, kamyonlar ve diğer makineler için uygun güç optimizasyonu yapmak ➤ Su ve toprak yönetimini iyileştirmek ➤ Enerji verimli pompalar kullanmak
Dolaylı Enerji Tüketimi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yüksek verim ve kaliteli bitkiler üretmek ➤ Kontrollü girdi uygulamaları ile kimyasal gübre ve tarım ilacı kullanımını azaltmak ➤ Organik gübre kullanımını artırmak ➤ Biyoaktif mikroorganizmaları uygulamak ➤ Uygulanacak gübre dozunu bölerek ve etkin olarak kullanım gibi uygulamalar ile esas olarak azotlu gübreleme ile ilgili gelişmiş gübre yönetimi uygulamak

4. Sonuç

Bitkisel ve hayvansal üretimde başlıca enerji tasarrufu önlemleri şunlardır:

- Kimyasal gübre ve tarım ilaçları dahil olmak üzere, tarımsal üretimdeki en büyük enerji girdilerini azaltmak
- Traktörlere ve diğer makinelere güç sağlayan yakıtlar optimum düzeyde kullanmak
- Çiftlik binalarında ve tesislerinde ısıtma, soğutma ve havalandırma için optimum düzeyde yakıt kullanmak
- Binalarda, ekipmanlarda, pompalamada ve aydınlatmada elektrik tüketimini azaltmak

Ar-Ge çalışmaları, üretim sürecinde yer alan sistemlere, işletimsel uygulamalara ve üretime giren sermaye malları/çiftlik altyapısına uygulandığında, tarımda enerji verimliliği sağlamak açısından önemlidir. Bitkisel üretimde enerji tasarrufu başlıca aşağıdaki etmenlere bağlıdır:

- Saha uygulamalarında traktör ve makine kullanımı ile ilgili değişkenleri optimize etmek
- Kurutma ve ürün depolamada enerji kullanımını azaltmak
- Dizel yakıt kullanımını azaltmak

Diğer taraftan, bitkisel üretimde dolaylı enerji tüketimleri aşağıdaki önlemler ile azaltılabilir:

- Gelişmiş yüksek verimli ve hastalığa dirençli çeşitlerle ilgili enerji tasarrufu önlemlerini uygulamak
- Organik ve yeşil gübreler ve biyoaktif mikroorganizmalar gibi alternatif besin kaynakları ve bitki koruma yöntemlerinden yararlanmak
- Üretim süreçlerini gelişmiş teknolojik uygulamalar ile izlemek
- Değişken oranlı hassas tarım uygulamaları gibi, üretimde kullanılan girdileri toprak verimliliği ve bitki besin alımına göre kullanmak

Enerji tasarrufu önlemlerinin önemi ülkelere özgü olabilir. Örneğin, güney AB ülkelerinde, tarımsal ürünlerin sulanması ile ilgili enerji tasarrufu önlemlerine, orta ve kuzeydoğu ülkelerinde ise, hasat edilen ürün için enerji verimli kurutma teknikleriyle ilişkili enerji tasarrufu önlemlerine daha fazla önem verilmektedir. Çok yıllık bitkisel üretimde enerji tasarrufu önlemlerinin çoğu; gübreleme, bitki koruma ve tarla uygulamaları ile bağlantılıdır.

Kaynakça

- agrEE (2012a). State of the art on energy efficiency in agriculture. Country data on energy consumption in different agroproduction sectors in the European countries.
- agrEE (2012b). Agriculture and energy efficiency. Energy saving measures in agriculture-overview on the basis of national reports. Agreement Number 289139.
- Baran, M, Karaağaç, H, 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 . DOI: 10.31590/ejosat.523080
- Baran, M, Karaağaç, H, Bolat, A, Çil, A, Çil, A. (2019). Yerkıstığı Üretiminde Enerji Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi (Adana ili örneği) . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (15) , 103-111 . DOI: 10.31590/ejosat.501576.
- Baran, M, Gökdoğan, O. (2020). Determination of Energy Balance in Pumpkin Seed (Cucurbita pepo L.) Production. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (19), 43-47 . DOI: 10.31590/ejosat.715740
- Yıldızhan, H . (2019). Portakal Üretim Sürecinin Termodinamik Değerlendirilmesi; Yeni Bir Yaklaşım . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (15) , 96-102 . DOI: 10.31590/ejosat.521449
- Pelletier, N, Audsley, E, Brodt, S, Garnett, T, Henriksson, P, Kendall, A, Kramer, K, Murphy, D, Nemecek, T, Troell, M, (2011). Energy intensity of agriculture and food systems. Annual Review of Environment and Resources 36, 233-246.
- Woods, J, Williams, A, Hughes, JK, Black, M, Murphy, R. (2010). Energy and the food system. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 365 (1554), 2991-3006.



Düşük Maliyetli 6 Eksen Hareketli Uçuş Simülatorü Prototip Tasarımı

Burak Hamdi Tufan^{1*}, Satılmış Ürgün²

^{1*} Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4804-2010), burakhamditufan@gmail.com

² Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3889-6909), urgun@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 11 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.783420)

ATIF/REFERENCE: Tufan, B. H. & Ürgün, S. (2020) Düşük Maliyetli 6 Eksen Hareketli Uçuş Simülatorü Prototip Tasarımı (20), 299-310.

Özet

Yüksek doğrulukta işlemleri yapması beklenen uçuş simülatorleri için düşük maliyetli hareket sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler daha kısa manipülatör, küçük hareket kapasitesi ve yüksek çalışma gürültüsü barındırmaktadır. Bu tarz etkilerin uçuş eğitimi alan pilotun algıları üzerindeki etkileri bilinmemektedir ve araştırılmaları gerekmektedir. Yüksek kalitedeki bir hareket platformu yaklaşımı ile düşük kapasiteli hareketin limitleri kaldırılabilir ve kapasitesi artırılabilir.

Yüksek güvenli hava taşımacılığında bir pilotun, tehlikeli hava şartlarındaki davranışlarının güçlendirilmesi gereklidir. Pilotların eğitimlerinde kullanılan simülatorler, bu tarz durumlarda uçağın vereceği tepkileri oluşturabilmelidir. Bu sayede pilotlar bu tarz durumlara karşı hazırlıklı olabilmektedir. Örneğin rüzgar kesmesi veya türbülans gibi durumlara karşı pilotlar hazırlıklı olmalıdır. Uçağın hareketi oldukça kısa bir süre içerisinde dengesizleşecektir. Bütün bu hareketleri, tasarlanan simülatorün oluşturabilmesi için güçlü dinamik ve dayanıklı manipülatörlere ihtiyacı olmaktadır. Gelişmiş bir kontrol algoritması geliştirebilmek için fiziksel yapının da limitlerini göz önüne almak gerekmektedir. Kullanılacak sabit platformun dayanımı, motorların sayısı ve tipi önemlidir. Manipülatör olarak bir tarafı zemine sabitlenen diğer tarafı hareketli mekanizmaya sabitlenen motorların kullanımlarıyla beraber, bir tarafı hareketli platforma sabitlenerek diğer tarafı döner motorun hareketli kısmına sabitlenen tasarımlar da mevcuttur. Her iki sisteminde hareket algoritmaları ve hesaplamaları değişecektir. Bu tarz fiziksel özellikleri ve limitleri algoritmaya uyarlamak gerekmektedir. Dolayısıyla algoritmaya uygulamanın dinamik modelini doğru ve etkili bir şekilde yansıtmak gerekmektedir. Çalışmanın ileriki aşamalarında artırılan bu kapasitelerin pilot adaylarının duyu üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Bu çalışma Stewart platformu olarak bilinen bir 6DOF hareket platformu tasarım örneğidir ve her iki tarafı da hareketli bir noktaya sabitlenmiş manipülatörler ile daha etkili bir simülator hareket sistemi geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılacaktır. Amacı Stewart platform tasarımlarının temel prensiplerine kılavuz olmak ile birlikte bu tasarımların ucuz ve hızlı bir şekilde prototipini oluşturmaya yardımcı olmaktır. Kinematik analizler gerçekleştirilerek küçük bir prototip üretilmiştir. Üretilen bu prototip stewart platformunun ilk olarak matematiksel modellenmesi oluşturulmuştur. Daha sonra bu modele uygun malzemeler seçilmiştir ve model seçilen bu malzemelere uygun hale getirilmiştir. Bu çalışma tamamen düşük bütçeli bir çalışmaya bağlı kaldığı için piyasadaki en ucuz fiyat-performans malzemeleri seçilmiştir. Ayrıca üretilen bu prototip için bir ara yüz yazılımı geliştirilerek gerçek uçuş bilgileri sağlanarak hesaplamaların ve analizlerin doğruluğu kontrol edilmiştir.

Bu çalışma daha gelişmiş bir uçuş simülatorü üretebilmek için gerçekleştirilen bir ön çalışmadır ve Kocaeli Üniversitesi | BAP Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2020-2054 proje numarası ile desteklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Stewart platformu, uçuş simülatorü, 6DOF hareket, ters kinematik hesaplamaları, asenkron sistem ara yüzü

Low Cost 6 Axis Motion Flight Simulator Prototype Design

Abstract

Low cost motion systems are used for flight simulators that are expected to perform operations with high accuracy. These systems have shorter manipulators, small movement capacity and high operating noise. Such effects are unknown to the pilot's perceptions in

* Sorumlu Yazar: burakhamditufan@gmail.com

flight and need to be investigated. With a high quality motion platform approach, the limits of low capacity movement can be removed and its capacity can be increased.

In high security air transport, a pilot's behavior in hazardous weather conditions must be reinforced. The simulators used in the training of pilots should be able to create the reactions of the aircraft in such situations. In this way, pilots can be prepared for such situations. Pilots should be prepared for situations such as wind shear or turbulence, for example. The motion of the plane will become unstable in a very short time. In order to create all these movements, the designed simulator will need powerful dynamic and durable manipulators. In order to develop an advanced control algorithm, it is necessary to consider the limits of the physical structure. The strength of the fixed platform to be used, the number and type of motors to be used are important. Along with the use of motors as manipulator, one side fixed to the floor and the other fixed to the moving mechanism, there are designs with one side fixed to the moving platform and the other side fixed to the moving part of the rotary engine. Motion algorithms and calculations in both systems will change. It is necessary to adapt such physical properties and limits to the algorithm. Therefore, it is necessary to accurately and effectively reflect the dynamic model of the application to the algorithm. The effects of these increased capacities on the perceptions of pilot candidates can be investigated in the later stages of the study.

This study is an example of a 6DOF motion platform design known as the Stewart platform, and studies will be carried out to develop a more effective simulator motion system with manipulators fixed on both sides of a moving point. Its aim is to guide the basic principles of Stewart platform designs, as well as to help build prototypes of these designs cheaply and quickly. A small prototype was produced by performing kinematic analysis. The first mathematical modeling of this prototype Stewart platform was created. Later, suitable materials for this model were selected and the model was adapted to these selected materials. The cheapest price-performance materials in the market were chosen as this study was entirely dependent on a low-budget study. In addition, an interface software was developed for this prototype and the accuracy of the calculations and analysis was checked by providing real flight information.

This study is a preliminary study carried out to produce a more advanced flight simulator. It is supported by the Kocaeli Üniversitesi | BAP Coordination Unit with the project number FYL-2020-2054.

Keywords: Stewart platform, flight simulator, 6DOF motion, inverse kinematic calculations, asynchronous system interface

1. Giriş

Stewart platformu tasarımları Stewart'ın çalışmasından sonra hareketli tasarımlar için çok popüler bir konu haline gelmiştir[1]. Stewart platformlarının alt sistemleri ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bu alt sistemlerden bazıları hareket sistemi, konum algılama, kinematik, mekanik ve dinamik gibi pek çok analiz çalışmaları yapılmıştır. Stewart platformlarının uygulama alanları yüksek doğruluk ve seri manipülatörlerinden gelen yüksek kuvvetinden dolayı geniştir. Özellikle Havacılık-Uzay çalışmaları için gerekli pilotaj eğitimlerinde[2], engebeli araziler için tasarlanan askeri mobil gözetim robotlarında[3] sıkça karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca sağlık alanında da çalışmalar yapılmaya başlanmıştır[4].

Uçuş simülatörleri bütün dünyada pilot eğitimleri için kullanılan etkili ve güvenli eğitim araçlarıdır. Bu sayede pilot adayları uçuş esnasında meydana gelebilecek olan durumlara karşı manevra ve prosedür eğitimi almaktadır. Bununla beraber pilot eğitimleri için hareket simülatörleri kullanımının verimliliği hakkında bir çalışma mevcuttur [5]. Yakın zamanda yapılan bir analiz çalışmasında hareketli simülatörlerin manevra pratiği konusunda yeni başlayan pilotlar için önemli olduğunu fakat bu alanda deneyimli pilotlar için çok önemli olmadığını ortaya koymuştur [6]. Bu şekildeki karakteristikler üzerinde yapılan çalışmalardan dolayı hareketli simülatörlerde genel bir sonuca varmak pek mümkün değildir.

Herhangi bir simülatör sadece en yüksek doğrulukta bir eğitim aracı olarak kabul edilebilir. Bu durum simülatörün, simüle ettiği aracın gerçek dünyadaki davranışlarını yüksek doğrulukta gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu, beceriye dayalı davranışın tanımlanmasıyla [7] ve bir pilot modelin tanımlanmış parametrelerindeki değişikliklerin değerlendirilmesiyle [8] objektif olarak ölçülebilir. Simülatör hareketinin etkisi üzerine yapılan çalışmalar, gerçekleştirilen kapalı döngü kontrol görevlerinde pilot davranışında önemli değişiklikler olduğunu göstermiştir [9]. Benzer şekilde, simülatör hareketi

kullanıldığında, simülatör hareketinin kapatıldığı koşullara kıyasla pilot performansında bir artış bulunmuştur [10].

Birçok uçuş simülatörü çalışmasında hareket mekanizması olarak sabit bir zemine altı adet doğrusal olarak uzayabilir manipülatör ile bağlanan hareketli bir zeminden oluşan Stewart platformu kullanılmaktadır [11]. Bu çalışmalarda genellikle hareket platformlarının kinematik hesaplamalarına [12] ve bu hesaplamalardan çıkan sonuçların her bir manipülatöre nasıl uygulanacağı [13] konuları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu hareketler için gerekli olan ters kinematik hesaplamalar hareket parametreleri doğrusal olarak değişmeyen sistemlerin kapalı sistem kontrolü için gerekmektedir [14]. Bu tasarımda bir uçuş simülatörü prototipi olduğu için dışarıdan alınan anlık uçuş verilerine göre hareket parametreleri değişecektir. Dolayısıyla hareket değerleri doğrusal olmayacaktır. Bu yüzden ters kinematik hesaplamaları ile bir kapalı sistem kontrolüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Stewart platformunun hareketlerinin doğruluğu için gereken anlık hesaplama gücünün yüksek olmasından dolayı son 20 yılda işlemci teknolojisinin büyük yol almasına bağlı olarak gereken hesaplama gücü karşılanabilmiş ve Stewart platform çalışmaları hızlanmıştır. Hazırlanan Stewart platformlarının yüksek doğruluk ile hareket edebilmesi için hazırlanan matematiksel modele ve bu model için oluşturulan matematiksel hesaplamalara tam olarak uygun olması gerekmektedir. Aksi takdirde platforma bağlı olan manipülatörler, rotlar, hareketli platform sistemlerin biri veya birkaçı birden zarar görebilir. Ayrıca bu duruma bağlı olarak kullanıcıya da zarar verebilir. Ayrıca üretilen tasarımın, matematiksel modele daha uygun olabilmesi için CAD dizayn araçlarından yararlanılması doğruluğu ve güvenliği arttırmaktadır.

Bu çalışmada çok düşük bir maliyet ile üretilecek olan bir Stewart platformu tasarlanmıştır. Tasarlanan bu Stewart platformunda düşük maliyetli işlemci kullanılmıştır. Bu işlemci ARM Cortex M0 mimarisi üzerine kurulu STM32F051 olarak seçilmiştir. Sonraki bölümde temel olarak küçük boyutlu

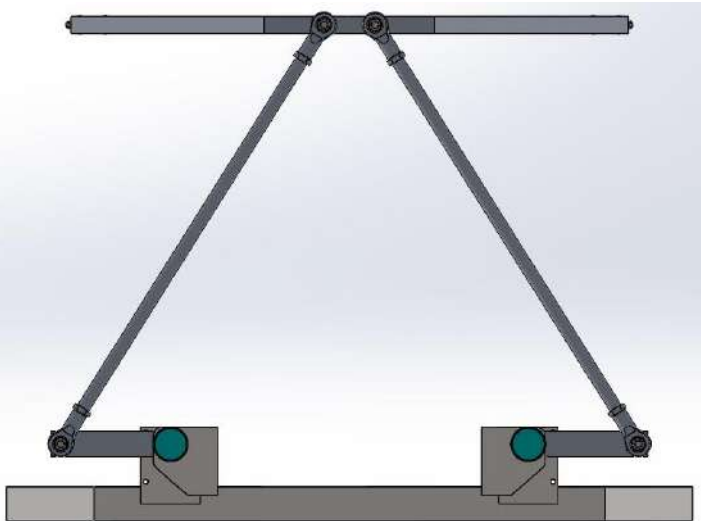
prototip bir uçuş simülâtörü ve bu çalışmanın gerekliliklerini hakkında bilgi verilecektir. 3. bölümde bu tasarımın matematiksel özellikleri ve modellemesi ile ilgili bilgiler verilecektir. 4. bölümde ise oluşturulan matematiksel modelin hesaplama yapabilmek için gereken kodlamalar yapılmıştır. 5. bölümde çalışmanın sonuçları hakkında bilgiler verilecek ve çalışma ile ilgili önerilerde bulunulacaktır.

2. Prototip 6 Eksenli Stewart Platformunun Tasarım Kriterleri

Bu bölümde üretilecek olan düşük maliyetli 6 eksen hareketli uçuş simülâtör analizi yapılacaktır. Bu prototipin üretimi, kullanılan malzemelerin matematiksel özellikleri ve bu malzemelerin CAD uygulamalarında kullanımları gösterilecektir. Aynı zamanda örnek uçuş verileri için Microsoft tarafından geliştirilen Flight Simülâtör uygulamasından faydalanılacak ve üretilecek olan simülâtöre çalışma kapsamında geliştirilen bir arayüz aracılığıyla seri port haberleşme protokolü kullanılarak örnek uçuş verisi göndererek hareket etmesi sağlanacaktır. Tasarım tamamen düşük maliyetli olduğu için piyasadaki en ucuz malzemeler kullanılacaktır. Toplam fiyatı 50 USD altında olan bu çalışmanın bazı parçaları CAD programında hazırlanan model ile boyut ve bağlantı noktaları aynı olacak şekilde üretilmiştir.

Tasarım 6 adet manipülâtörden oluştuğu için 6 tane mini servo motor kullanılmıştır. Servolar ile rotaları hareket ettirebilmek için tasarlanan ve 3 boyutlu yazıcı ile üretilen kollar kullanılmıştır ve rotaları kollara bağladıktan sonra kolların uygun yerlerini servoların hareketli uçları bağlanmıştır. Servolar platformun sabit kısmına; rotaların diğer uçlarını ise hareketli platform üzerinde belirlenen noktalara sabitlenmiştir.

Şekil-1'dek bir motor çiftinin iki boyutlu bağlantısı görülmektedir. Tasarımda bağlantısı yapılmış olan 3 adet motor çifti bulunmaktadır ve her biri aşağıdaki şekildeki gibi bağlanmıştır. Bağlantı şekillerinde konumların tam olarak belirlenmesi konum hesaplamaları için çok önemlidir. Bu yüzden eşit aralıklarla olmasına dikkat edilmiştir ve her biri merkeze göre 120° derecelik aralıklarla konumlandırılmıştır. Aynı şekilde hareketli platform bağlantı çiftleri de 120° derecelik aralıklarla konumlandırılmıştır. Platformun simetrik olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 1: Motor çifti bağlantısını gösteren teknik çizim

Tasarım özelliklerinin aktarılacağı işlemci seçilirken geliştirme ortamı ve programlama dili de seçilmelidir. Bu çalışmada gömülü sistem tarafında STM32F051 mikroişlemcisi için uVision Keil derleyicisinde C dili kullanılmıştır. Yine C++ dili ve QT Geliştirme ortamı kullanılarak geliştirilen arayüz uygulaması ile MS Flight Simülâtör programındaki anlık uçuş verilerini seri port üzerinden Stewart platform prototipine gönderen arayüz uygulaması geliştirilmiştir.

Bu çalışmada izlenebilecek iki yöntem bulunmaktadır. İlk yöntemde; hesaplamaları arayüz programında gerçekleştirerek gerekli motor açılarını gömülü sisteme göndermek ve gömülü sistemin sadece motor açılarından sorumlu olmasını sağlayabilmektir. Bu şekilde işlem hızı düşük olan işlemcilerdeki yükü daha yüksek işlem kapasiteli olan arayüz uygulamasına verebilmek mümkün olmaktadır. Diğer yöntemde ise uçuş programından alınan hedef roll, pitch ve yaw değerlerin gömülü sistem tarafına göndererek hesaplamaların gömülü tarafta gerçekleşip motorları sonuç açısına getirip o değerde tutmaktır. Bu yöntem düşük hızlı işlemcilerde tavsiye edilmemektedir. Çünkü kinematik hesaplamalar için hızları yetmeyecek ve harekette problemler ortaya çıkacaktır. Seçilen işlemcinin 48MHz frekansa sahip olması ile birlikte haberleşme ve PWM sinyalinin eş zamanlı olarak farklı donanımsal katmanlardan yapması tasarım için yeterli olmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada ikinci yöntem tercih edilecek ve gerekli işlemler gömülü tarafında yapılacak. Arayüz uygulaması sadece MS Flight Simulator 'den verileri okuyup seri port üzerinden gönderecektir. Bu sayede MS Flight simülâtör uygulamasındaki uçağın yatış değerleri anlık olarak değiştiğinde gömülü sistem çok hızlı bir şekilde haberleşip kinematik hesaplamaları yaptıktan sonra PWM sinyallerini motorlara çok hızlı bir şekilde aktaracaktır.

Bu bölümde matematiksel modellemenin bu çalışma ile ilgili öneminden bahsedilecek ve bu işlemlerin nasıl yapıldığı anlatılacak. Matematiksel modelleme bir çalışmanın temelidir[15]. İçerisinde çok fazla matematiksel hesaplama barındıran bir ürünün, doğru bir şekilde matematiksel modellemesi oluşturulmadan başlanırsa bir süre sonra tasarımsal olarak ciddi problemler meydana gelebilmektedir. Çünkü netlik gerektiren bir çalışma, belirsizlikler üzerinden devam ettirilmeye çalışılmış olacaktır.

Bu tasarımda da çok fazla matematiksel hesaplama bulunması nedeniyle ilk olarak tasarım kriterlerinin belirlenmesi gerekir. Sonrasında bu değerler bir CAD programı aracılığı ile üç boyutlu tasarıma aktarılmış ve sistemin üç boyutlu görüntüsü oluşturulmuştur. Oluşan bu üç boyutlu görüntü ile sistemde olağandışı ve olmaması gereken durumlar gözlemlenmiştir. Oluşmuş olan bu tarz durumları ortadan kaldırmak için yeniden gerekli değişiklikler yapılarak sistemin uygun duruma gelmesi sağlanmıştır. Bu tarz kontrollerin ardından sistemin hareketleri için gerekli matematiksel hesaplamalar oluşturulmuş ve bu hesaplamaları gerçekleştiren bilgisayar programı yazılmıştır. Son olarak bu hesaplama sonuçlarını işlemciye aktarma protokolü ve sistemi hazırlanmıştır.

3. Platformun Matematiksel Modellemesi

6DOF hareket sistemlerin tasarımında Tait-Bryan ve Euler matris dönüşüm teoremleri yardımcı olmaktadır[16]. Bu teoremler ile bir noktanın 3 boyutlu eksen üzerindeki hareketi hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamalar bütün platform

bağlantıları için yapıldığı zaman bir sistemin 6 eksen üzerindeki hareketi merkez noktaya göre hesaplanmış olmaktadır.

Üç boyutlu ekseninde bir nokta ele alınsın ve bu nokta hareket ettirilsin. Hareketin sonunda gelineyen yeni noktanın merkeze olan açıları X,Y ve Z eksenlerine göre sırasıyla α , β ve ϕ açıları kadar döndürülmüş olsun. Sonuç olarak yeni noktalar eski durum göz önünde bulundurularak merkeze göre $X+\alpha$, $Y+\beta$ ve $Z+\phi$ kadar hareket etmiş olacaktır. Trigonometrik fonksiyonlar ile yapılan hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

Eksenler etrafındaki dönüşleri hesaplayabilmek için ilk olarak aşağıdaki trigonometrik dönüşüm fonksiyonlarının uygulanması gerekmektedir.

$$\cos(a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b \quad (1)$$

$$\sin(a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b \quad (2)$$

Tait-Bryan teoremine göre dönüş hareketleri ilk olarak Z eksenini etrafında, daha sonra Y eksenini ve en son X eksenini etrafında yapılmaktadır. Her bir dönüş için eksenlerdeki açıya bağlı uzaklık değişimleri incelenecek ve ilgili eksenler üzerindeki hareket hesaplanacaktır.

Bir noktanın üç eksenindeki hareketi aşağıdaki hesaplamalarla yapılmaktadır.

$$R_z = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r * \cos(Z + \phi) \\ r * \sin(Z + \phi) \\ d_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{bmatrix} r * (\cos(Z) * \cos(\phi) - \sin(Z) * \sin(\phi)) \\ r * (\cos(Z) * \sin(\phi) + \sin(Z) * \cos(\phi)) \\ x * 0 + y * 0 + z * 1 \end{bmatrix}$$

Matris içerisindeki parantezler açıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

$$R_z = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r * \cos(Z + \phi) \\ r * \sin(Z + \phi) \\ d_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$= \begin{bmatrix} r * \cos(Z) * \cos(\phi) - r * \sin(Z) * \sin(\phi) \\ r * \cos(Z) * \sin(\phi) + r * \sin(Z) * \cos(\phi) \\ x * 0 + y * 0 + z * 1 \end{bmatrix}$$

Bu eşitliklerde Z açısı z eksenini etrafındaki dönüş hareketi olmadan önceki açı değeridir. Bu değerler ile başlangıç durumlarında eksenlere olan uzaklık hesaplanabilir. Dolayısıyla bu dönüş için $x = r * \cos(Z)$ ve $y = r * \sin(Z)$ olacaktır. Bu bilgilerle eşitlik yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki eşitlikler ile bu eksen etrafındaki dönüş sonrası konum elde edilecektir.

$$R_z = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r * \cos(Z + \phi) \\ r * \sin(Z + \phi) \\ d_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$= \begin{bmatrix} x * \cos(\phi) - y * \sin(\phi) + z * 0 \\ x * \sin(\phi) + y * \cos(\phi) - z * 0 \\ x * 0 + y * 0 + z * 1 \end{bmatrix}$$

$$R_z = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & -\sin(\phi) & 0 \\ \sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (6)$$

Yukarıdaki işlemlerin aynısını Y eksenini etrafındaki dönüş için yapıldığında bu kez Y eksenine olan uzaklık değişmeyecektir. Dolayısıyla değişimler X ve Z eksenlerinde olacaktır.

$$R_y = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r * \cos(Y + \gamma) \\ d_y \\ r * \sin(Y + \gamma) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$= \begin{bmatrix} r * (\cos(Y) * \cos(\gamma) - \sin(Y) * \sin(\gamma)) \\ x * 0 + y * 1 + z * 0 \\ r * (\cos(Y) * \sin(\gamma) + \sin(Y) * \cos(\gamma)) \end{bmatrix}$$

Matris içerisindeki parantezleri açıldığında aşağıdaki sonuç elde edilecektir.

$$R_y = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r * \cos(Y + \gamma) \\ d_y \\ r * \sin(Y + \gamma) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$= \begin{bmatrix} r * \cos(Y) * \cos(\gamma) - r * \sin(Y) * \sin(\gamma) \\ x * 0 + y * 1 + z * 0 \\ r * \cos(Y) * \sin(\gamma) + r * \sin(Y) * \cos(\gamma) \end{bmatrix}$$

Bu eşitliklerde Y açısı y eksenini etrafındaki dönüş hareketi olmadan önceki açı değeridir. Bu değerler ile başlangıç durumlarında eksenlere olan uzaklık hesaplanabilir. Dolayısıyla bu dönüş için $x = r * \cos(Y)$ ve $z = r * \sin(Y)$ olacaktır. Bu bilgilerle eşitlik yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki eşitlikler ile bu eksen etrafındaki dönüş sonrası konum elde edilecektir.

$$R_y = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r * \cos(Y + \gamma) \\ d_y \\ r * \sin(Y + \gamma) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$= \begin{bmatrix} x * \cos(\gamma) + y * 0 - z * \sin(\gamma) \\ x * 0 + y * 1 + z * 0 \\ x * \sin(\gamma) + y * 0 + z * \cos(\gamma) \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & 0 & -\sin(\gamma) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\gamma) & 0 & \cos(\gamma) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (10)$$

Son olarak x eksenini etrafındaki dönüş aşağıdaki gibi olacaktır.

$$R_x = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x \\ r * \cos(X + \omega) \\ r * \sin(X + \omega) \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$= \begin{bmatrix} x * 1 + y * 0 + z * 0 \\ r * (\cos(X) * \cos(\omega) - \sin(X) * \sin(\omega)) \\ r * (\cos(X) * \sin(\omega) + \sin(X) * \cos(\omega)) \end{bmatrix}$$

Matris içerisindeki parantezleri açıldığında aşağıdaki sonuç elde edilecektir.

$$R_x = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x \\ r * \cos(X + \omega) \\ r * \sin(X + \omega) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$= \begin{bmatrix} x * 1 + y * 0 + z * 0 \\ r * \cos(X) * \cos(\omega) - r * \sin(X) * \sin(\omega) \\ r * \cos(X) * \sin(\omega) + r * \sin(X) * \cos(\omega) \end{bmatrix}$$

Bu eşitliklerde X açısı x eksenine etrafındaki dönüş hareketi olmadan önceki açı değeridir. Bu değerler ile başlangıç durumlarında eksene olan uzaklık hesaplanabilir. Dolayısıyla bu dönüş için $y = r * \cos(X)$ ve $z = r * \sin(X)$ olacaktır. Bu bilgilerle eşitlik yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki eşitlikler ile bu eksen etrafındaki dönüş sonrası konum elde edilecektir.

$$R_x = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x \\ r * \cos(Y + \omega) \\ r * \sin(Z + \omega) \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$= \begin{bmatrix} x + y * 0 + z * 0 \\ x * 0 + y * \cos(\omega) - z * \sin(\omega) \\ x * 0 + y * \sin(\omega) + z * \cos(\omega) \end{bmatrix}$$

$$R_x = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & \sin(\omega) \\ 0 & \sin(\omega) & \cos(\omega) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (14)$$

Noktanın üç eksen etrafındaki hareketinin hesaplanabilmesi için yukarıdaki 3 tane dönüş matrisi sırasıyla çarpılacak. Çıkan matris ile cismin 3DOF hareketini verecektir.

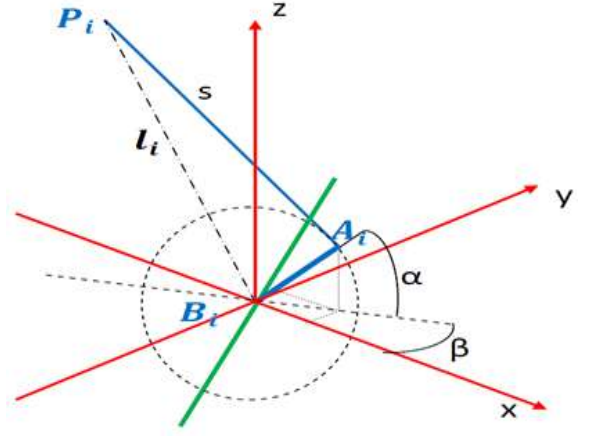
$$R = R_z(\phi) * R_y(\gamma) * R_x(\omega)$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) \cos(\phi) & \sin(\omega) \sin(\gamma) \cos(\phi) - \cos(\omega) \sin(\phi) & \cos(\omega) \cos(\phi) \\ \cos(\gamma) \sin(\phi) & \sin(\omega) \sin(\gamma) \sin(\phi) + \cos(\omega) \cos(\phi) & \sin(\omega) \cos(\gamma) \\ -\sin(\gamma) & \sin(\omega) \cos(\gamma) & \sin(\omega) \sin(\gamma) \end{bmatrix}$$

Şu ana kadarki hesaplamalarda platformun roll, pitch ve yaw tanımlanmıştır. Fakat bu tasarımdan beklenen hareket kabiliyeti 6DOF olarak belirlendiği için bu matrise eksenler üzerindeki kayma hareketleri eklenecektir. Bu sayede platform eksenler üzerinde kayma hareketlerini de gerçekleştirebilecektir. Bu hareketler sağ-sola, yukarı-aşağı ve ileri-geri hareketleridir. Bu

hareketler dönüş hareketinden bağımsız olduğu için yukarıdaki denkleme kayma değişkenleri ayrıca eklenmelidir.

Bu yüzden yukarıdaki matris yardımı ile her bir platform rot bağlantısının konumlarını hesaplanacaktır. Sonrasında kayma matrisini ekleyerek platformun yüksekliğini hesaplanacaktır. Dolayısıyla başlangıç durumdaki her bir manipulator için pozisyon bilgisi aşağıdaki gibi olacaktır[17].



Şekil 2: Servo motorun x-y eksenleri üzerindeki konumlandırılması

Şekil 2'ye göre:

P_i : Platformun Rod ile bağlandığı noktalar. Vektörü : p_i

B_i : Servoların Base bağlantı noktaları. Vektörü : b_i

A_i : Servo kolu ile rodun bağlantı noktaları. Vektörü : a_i

r : Rod uzunluğu

l_i : B_i ile P_i noktaları arasındaki vektör

Her bir manipülatör için yukarıda belirtilen konum vektörleri ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$p_i = [x_{pi} \ y_{pi} \ z_{pi}]^T \quad (17)$$

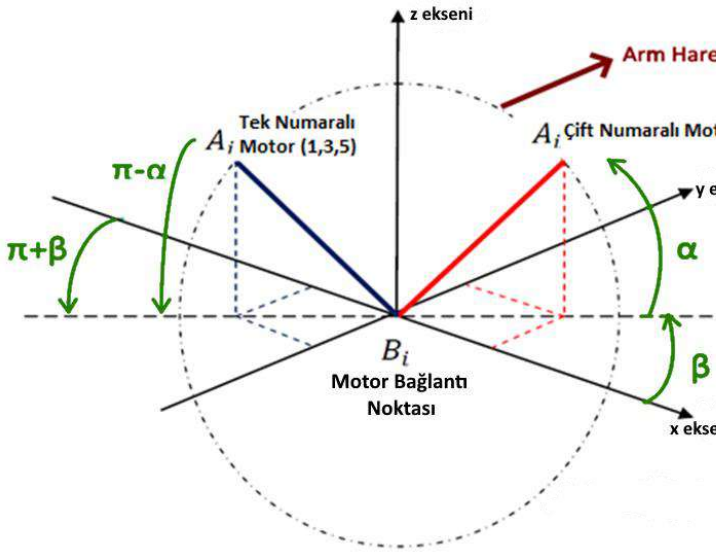
$$b_i = [x_{bi} \ y_{bi} \ z_{bi}]^T \quad (18)$$

$$a_i = [x_{ai} \ y_{ai} \ z_{ai}]^T \quad (15) \quad (19)$$

Bu tasarımda motorlar çift olarak ele alınmaktadır. Motor çiftlerinin dönüş yönleri birbirlerine ters olacak şekilde ayarlanmıştır. Dolayısıyla motorların dönüş yönlerini her iki yöne dönüşlerini belirtmek adına numaralandırırken tek ve çift numaralı motorlar olarak isimlendirilecektir. Ayrıca motorların dönüşleri kendi eksenlerine göre "y" eksenine etrafında ve "x" eksenine boyunca olmaktadır. Bu bilgilere göre:

α : Servoya bağlı kolun yatay eksene yaptığı açı

β : Servoya bağlı kolun X eksenine yaptığı açı



Şekil 3: Motor hareket eksenleri

Yukarıdaki bilgilere göre platforma bağlı olan kol ve rotların konum vektörleri aksenel olarak hesaplanacaktır. Motorların dönüş yönleri birbirlerine zıt olduğu için çift sayılı motorların dönüşlerini α açısı kadar hesaplariken ters yönde dönen tek sayılı motorlar için $\pi - \alpha$ kadar döndüğünü varsayılacaktır. Aynı zamanda sabit kısım ile bağlantı yapılan konum merkezden x_{bi} kadar ötelenmiş olması hesaba katılmalıdır.

Dolayısıyla Çift sayılı motorların kol ve rot birleşim noktaları:

$$a_{xi} = a * \cos\alpha * \cos\beta + b_{xi} \quad (20)$$

$$a_{yi} = a * \cos\alpha * \sin\beta + b_{yi} \quad (21)$$

$$a_{zi} = a * \sin\alpha + b_{zi} \quad (22)$$

Tek sayılı motorlar için birleşim noktaları ise aşağıdaki gibi olur:

$$x_{ai} = a * \cos(\pi - \alpha) * \cos(\pi + \beta) + x_{bi} \quad (23)$$

$$y_{ai} = a * \cos(\pi - \alpha) * \sin(\pi + \beta) + y_{bi} \quad (24)$$

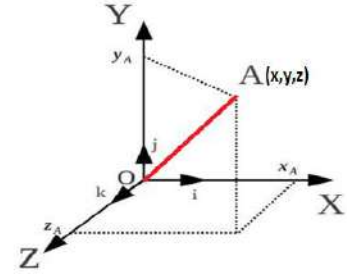
$$z_{ai} = a * \sin(\pi - \alpha) + z_{bi} \quad (25)$$

Ayrıca aşağıdaki trigonometrik dönüşüm eşitlikleri tek sayılı motorlar için yazılan eşitliklerde yerlerine yazıldığında çift sayılı motorların konum formülleri elde edilmiş olunacaktır.

$$\sin(\pi - \alpha) = \sin\alpha \text{ ve } \cos(\pi - \alpha) = -\cos\alpha \quad (26)$$

$$\sin(\pi + \beta) = -\sin\beta \text{ ve } \cos(\pi + \beta) = -\cos\beta \quad (27)$$

Pisagor teoremine göre üç boyutlu bir uzaydaki noktanın konumu aşağıdaki gibi ifade edilir [18].



Şekil 4: Pisagor teoremine göre 3 boyutlu hareket düzlemi

$$(A)^2 = (A_x - O_x)^2 + (A_y - O_y)^2 + (A_z - O_z)^2 \quad (28)$$

Dolayısıyla bu tasarımdaki hareketli platform konum hesaplamaları aşağıdaki gibi olacak.

$$(a_i)^2 = (a_{xi} - b_{xi})^2 + (a_{yi} - b_{yi})^2 + (a_{zi} - b_{zi})^2 \quad (29)$$

$$(l_i)^2 = (p_{xi} - b_{xi})^2 + (p_{yi} - b_{yi})^2 + (p_{zi} - b_{zi})^2 \quad (30)$$

$$(r_i)^2 = (p_{xi} - a_{xi})^2 + (p_{yi} - a_{yi})^2 + (p_{zi} - a_{zi})^2 \quad (31)$$

$(l_i)^2$ ve $(a_i)^2$ denklemlerini sadeleştirmek için $(r_i)^2$ denkleminde yerlerine yazıldığında aşağıdaki denklem elde edilir.

$$l_i^2 + a_i^2 - r_i^2 = 2 * (b_{xi}^2 + b_{yi}^2 + b_{zi}^2) + 2 * a_{xi} * (p_{xi} - b_{xi}) + 2 * a_{yi} * (p_{yi} - b_{yi}) + 2 * a_{zi} * (p_{zi} - b_{zi}) - 2 * (p_{xi} * b_{xi} + p_{yi} * b_{yi} + p_{zi} * b_{zi}) \quad (32)$$

Yukarıdaki denklemde a_{xi} , a_{yi} ve a_{zi} yerlerine yazıp parantezler dağıtılsa aşağıdaki denklem elde edilecektir.

$$l_i^2 + a_i^2 - r_i^2 = 2 * a * \sin\alpha * (p_{zi} - b_{zi}) + 2 * a * \cos\alpha * [\cos\beta * (p_{xi} - b_{xi}) + \sin\beta * (p_{yi} - b_{yi})] \quad (33)$$

Yukarıdaki denklem aşağıdaki denklem formatına gelmiş durumda [19]:

$$L = m * \sin\alpha + n * \cos\alpha = \sqrt{m^2 + n^2} * \sin(\alpha + p) \quad (34)$$

$$\tan p = \frac{n}{m} \text{ ve } p = -\text{Arctan}\left(-\frac{n}{m}\right) \quad (35)$$

$$L = \sqrt{m^2 + n^2} * \sin\left(\alpha + \text{Arctan}\left(\frac{n}{m}\right)\right) \quad (36)$$

$$\frac{L}{\sqrt{m^2 + n^2}} = \sin\left(\alpha + \text{Arctan}\left(\frac{n}{m}\right)\right) \quad (37)$$

$$\alpha = \text{Arcsin}\left(\frac{L}{\sqrt{m^2 + n^2}}\right) - \text{Arctan}\left(\frac{n}{m}\right) \quad (38)$$

Yukarıdaki denklemlere göre ilgili değerler aşağıdadır.

$$L = l_i^2 + a_i^2 - r_i^2 \quad (39)$$

$$m = 2 * a * (p_{zi} - b_{zi}) \quad (40)$$

$$n = 2 * a * [\cos\beta * (p_{xi} - b_{xi}) + \sin\beta * (p_{yi} - b_{yi})] \quad (41)$$

Yukarıdaki hesaplamalar ile belirli açılarla konumlandırılmış olan servoların ve bu servolara bağlanan kol ve rot uzunluklarını kullanarak servolardan hareketli platformun bağlantı noktalarına olan uzaklıkları hesaplanabilir. Fakat bu işlemden önce hareketli platformunun bazı değişmezlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu değişmez değerler, platformun başlangıç durumu olacak ve hesaplamalar bu değerler ile yapılacaktır.

Hareket platformunun başlangıç durumu sabit ve hareketli platform kısmı birbirlerine paralel durumda olacak ve motorların kol kısımları birbirlerine bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Bunun için motorların dönüş dereceleri 90 derece olarak belirlenecektir. Bu durumdayken platformda herhangi bir dönüş hareketi yapılmamış olacaktır. Bu durumda sabit ve platform kısımlarının merkezleri arasındaki değer başlangıç yükseklik değeri h_0 olarak adlandırılacaktır. Bu yükseklik değeri aynı zamanda T vektöründeki z eksenindeki konumunu belirtmiş olacaktır.

Dolayısıyla başlangıçta aşağıdaki durum elde edilir:

$$q_0 = T + R_{PB} * p_i \quad (42)$$

$$q_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad (43)$$

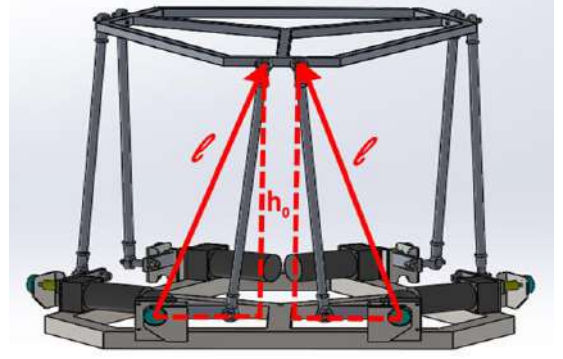
$$q_0 = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ h_0 + p_z \end{bmatrix} \quad (44)$$

$$(l_i)^2 = (p_{xi} - b_{xi})^2 + (p_{yi} - b_{yi})^2 + (h_0 + p_{zi} - b_{zi})^2 \quad (45)$$

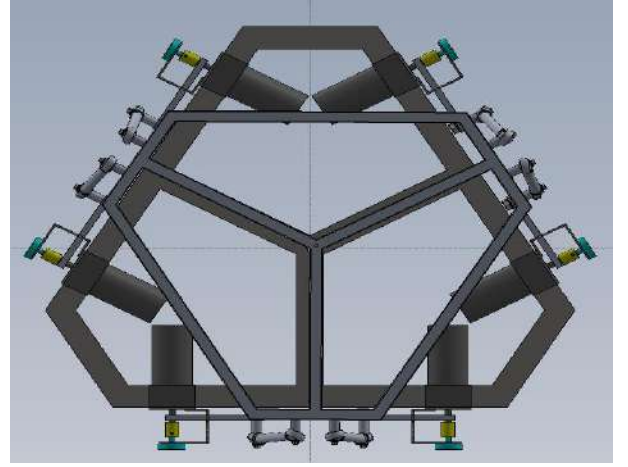
Eğer başlangıç pozisyonu olarak ilgili manipülatör 90 derece açıdayken, platforma bağlı olan rot tam olarak kol ile 90 dereceyken motor-platform vektör uzunluğu için aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$l_i^2 = r_i^2 + a_i^2 \quad (46)$$

Fakat bu tasarımda başlangıç durumu aşağıdaki görseldeki gibi olacaktır ve bu durumda yukarıdaki eşitlik olduğu gibi tasarım üzerinde uygulanamayacaktır. Platform hareketi ile kol ve rot arasındaki açı sürekli değişken olacaktır. Dolayısıyla diğer motorları da hesaba katarak yapılan bir hesaplama mikroişlemci üzerinde çok fazla işlem yüküne sebep olacaktır. İşlemin basitleştirilmesi adına bağlantı noktaları ve başlangıç nokta açıları ile aşağıdaki görselde kesik çizgiler ile gösterilen uzunluklar hesaplanacak.



Şekil 5: Başlangıç durumundaki hareketli platform yüksekliği



Şekil 6: Platformun üstten görünümü

Tasarımımıza tepeden bakıldığında rot ve kol parçalarının aynı hizada olduğu görülmektedir. Dolayısıyla başlangıçtaki yükseklik değeri hesaplanırken Y eksenini yok sayarak 2 boyutlu hesaplama yapılabilecektir. Aşağıdaki eşitlik herhangi bir motor üzerinden başlangıç yükseklik değerinin hesaplanmasını sağlayacaktır.

$$h_0 = \sqrt{(p_{xi} - b_{xi})^2 - l_0^2} \quad (47)$$

Ayrıca bu tasarımda kullanılan motorların istenilen dönüş ve kayma hareketleri için gelmesi gereken açının hesaplanması için yukarıdaki eşitlikler kullanılır. Bu hesaplama için ihtiyaç olan kinematik hesaplamalardan alınan her bir leg vektörü gerekmektedir. Ayrıca sabit kısmın yerde olduğu göz önünde bulundurulduğu için $b_z = 0$ olacaktır.

$$l_i = T + R_{PB} * p_i - b_i \quad (48)$$

$$l_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \quad (49)$$

$$l_0 = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ h_0 + p_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ 0 \end{bmatrix} \quad (50)$$

Yukarıdaki denklem sadeleştirildiğinde eşitlik 51 elde edilir. Yukarıdaki işlemler vektörel olarak yapıldığı için leg vektörünün uzunluğunu bulabilmek için Pisagor teoremi uygulandığında aşağıdaki sonuç elde edilecektir.

$$(l_i)^2 = (p_{xi} - b_{xi})^2 + (p_{yi} - b_{yi})^2 + (h_0 + p_{zi})^2 \quad (51)$$

Yukarıdaki eşitlikler aracılığıyla hareketli platformun hedef değerlerine ulaşabilmesi için gereken değerler hesaplanarak motorların bulunması gereken pozisyon açıları hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar sonraki bölümde sistem kontrolünü sağlayan programda kullanılacaktır.

4. Tasarlanan Modelin Prottip Devre ile Gerçeklenmesi

Bu kısım iki alt başlık halinde incelenecektir. İlk bölüm altında sistemin MS Flight Simulator uygulamasından anlık olarak uçuş simülasyon verilerinin alınıp elektronik sistem ile haberleştirilmesi gereken programlama işlemleri olacaktır. İkinci bölüm ise hareket platformunun kontrolünü sağlayan elektronik devrenin tasarımı üzerine olacaktır.

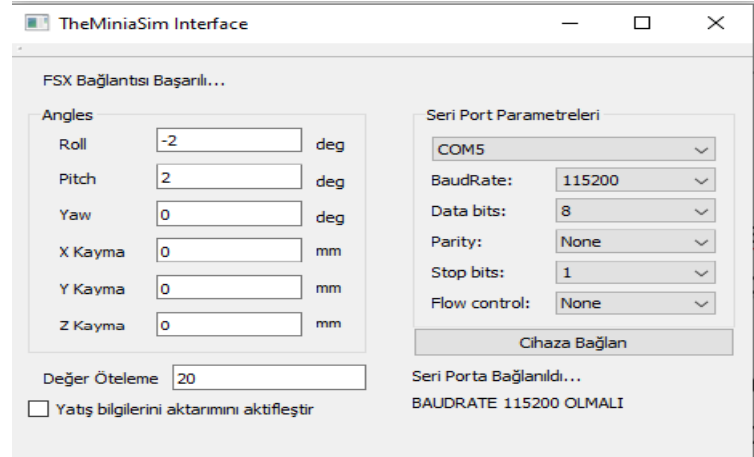
4.1 Programlama İşlemleri

Bu bölümde platformun hareketi için gerekli programlar yazılacaktır. Sistem yazılımları iki ana birimden oluşmaktadır. Bu birimlerden birisi MS Flight Simulator uygulamasından uçağın anlık verilerini okuyacak ve okunan bu değerleri seri port aracılığı ile motor hareketlerinden sorumlu birime gönderecektir. Bu ara yüz programı bilgisayar üzerinde çalışacaktır. Diğer birim ise seri porttan gelen uçuş bilgilerini işleyerek motor açılarını hesaplayacak ve motorları gerekli açılara getirip, bu açılarda tutmaktan sorumlu olacaktır.

Bilgisayar tarafında Qt Framework kullanılarak C++ dilinde geliştirilen bir ara yüz programı bulunmaktadır. Bu program ilk olarak Microsoft Flight Simulatör uygulamasına bağlanacaktır. Uygulamada simüle edilen uçuşun anlık olarak uçuş bilgileri alınacaktır. Alınan bu uçuş bilgileri seri port

üzerinden hareket sistemine gönderilecektir. Hareket sistemi 48 MHz hızında çalışan STM32F051 mikroişlemcisi ile yönetilmektedir. Bu işlemcinin hızı gerekli kinematik hesaplamalar için yeterli olduğu için hesaplamalar bu tarafta yapılacaktır. İşlemci tarafında ise seri port üzerinden UART DMA katmanı aracılığı ile veriler yatış ve dönüş verileri alınacaktır. Gelen veriler ile MicroVision Keil programı kullanılarak C dilinde yazılan program aracılığı ile 3. bölümde açıklanan kinematik hesaplamalar yapılacak. Hesaplamalar sonucunda motor dönüş açılarına göre PWM sinyali oluşturulup motorların ilgili açılara gelmesi ve bu açılar değişmedikçe motorların hesaplanan açılarda tutulması sağlanacaktır. Şekil 7'de tasarlanan ara yüz programından bir görsel bulunmaktadır

Şekil 7'den görüldüğü üzere ara yüz programı açıldığında Microsoft Flight Simulator X uygulamasına bağlanacak ve bu bilgiler kullanıcıya verilecektir. Bu işlemden sonra simüle edilen uçağın uçuş bilgileri anlık olarak alınmaktadır. Aynı zamanda Yatış bilgilerini aktarımı aktifleştiren kutusu işaretli olduğunda bu veriler seri port aracılığı ile bağlı olunan seri port üzerinden gönderilecektir.

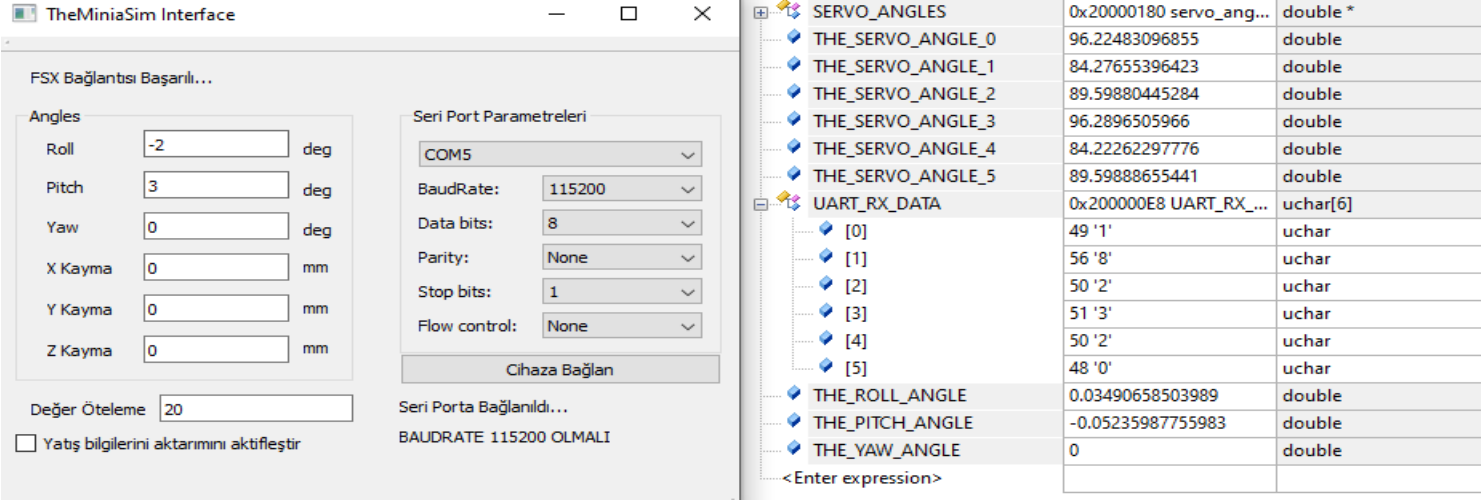


Şekil 7: TheMiniaSim Interface programı ekran görüntüsü

Burada dikkat edilmesi gereken durumlardan bir tanesi, gömülü sistem tarafında seri port haberleşme hızı 115200 Baud/s olarak ayarlanmış olmasıdır. Bu yüzden bizde programımızda seri port haberleşme yapılandırmasında BaudRate değerini aynı şekilde ayarlanması gerekmektedir. Aksi takdirde farklı değerler

gidecektir ve sistem hatalı çalışacaktır.

Şekil 8'de ara yüz programı ve mikroişlemcinin haberleşmesini ve mikroişlemcinin hata ayıklama ekranından alınan veriler görüntülenmektedir.



Şekil 8: TheMiniaSim Interface arayüz programı ve Mikroişlemci Debug ekranı

Şekil 8'de görüldüğü gibi değerler ötelenmiş olarak doğru bir şekilde gönderilmekte ve kinematik hesaplamalardan sonra servo motor açıları hesaplanmaktadır. ROLL ve PITCH değerlerinden görüldüğü üzere açılar radyan olarak hesaplanmaktadır. Programlama dillerinde açısal hesaplamalar radyan değerler üzerinden yapılmaktadır. Bu yüzden işleme başlamadan önce ilgili değerler radyana dönüştürüldü ve kinematik hesaplamaların yapılması sağlandı. Oluşturulan bir kütüphane ile ana fonksiyonundan sadece ilgili fonksiyonları çağrılarak gerekli hesaplama sonuçları bir dizi olarak döndürülmektedir. Dönen bu dizideki açısal değerler tek ve çift sırasına göre ilgili değişkenlerine atandıktan sonra PWM fonksiyonları çağrılmaktadır.

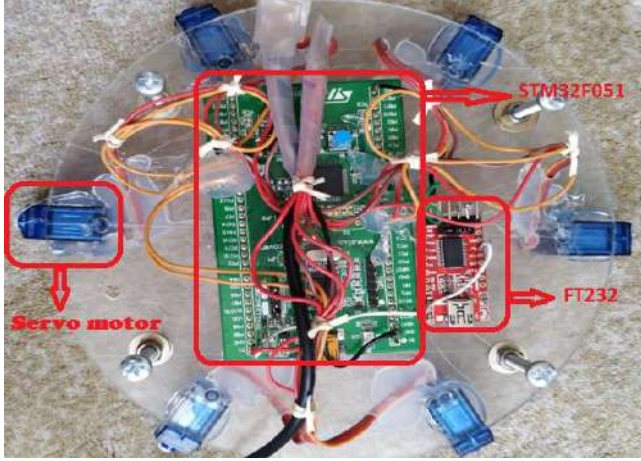
Seri port üzerinden mikroişlemciye gelen değerler karakter olarak alınıp işlendikten sonra arayüz tarafından yapılan öteleme geri alınıp ardından radyana dönüştürülmektedir. Bu işlemlerden sonra ilgili sırasına göre ilgili ROLL, PITCH ve YAW değişkenlerine atanmaktadır. Bu hesaplamaların sürekli yapılarak sistemin çok fazla enerji harcayarak mikroişlemcinin çok fazla ısınmasına yol açacaktır. Bu yüzden haberleşme katmanı fonksiyonu kesme olarak tanımlandığı için her seri port haberleşmesi her tamamlandığında çalışacaktır. Dolayısıyla çok fazla matematiksel işlem barındıran hesaplamaları burada yapmak iletişime zarar verecektir ve aksatacaktır. Dolayısıyla kinematik hesaplamalar ana fonksiyonun içinde gerçekleştirilmektedir.

Ana program döngüsü her hesaplamadan ardından 1milisaniye kadar bekleyecek ve UART DMA katmanını aktifleştirecek. Bu katman seri port haberleşmesinin asenkron bir şekilde yapılmasını ve ana program döngüsünde zaman kaybını engelleyecektir. Bu esnada seri port üzerinden veri gelme durumunu belirten değişkenin durumuna göre veri gelmemişse bir işlem yapılmayacaktır. Eğer veri gelmişse de hesaplamalar için gerekli fonksiyona bu verileri göndererek geriye açılardan olduğu bir dizi döndürülecektir. Gelen bu veriler PWM sinyali oluşturulmak üzere ilgili fonksiyona gönderilecektir.

PWM oluşturma için önceden hazırlanmış STM32 mimarisinde bulunan Timer donanımı kullanılmaktadır. Dahili Timer donanımı işlemcinin beslediği dahili 48MHz frekansta clock sinyali üreten osilatörden beslediği için burada oluşacak olan sinyalde aynı şekilde 48MHz olacaktır. Fakat bu tasarımda kullanılan servo motorlar, bu frekanstaki PWM sinyalini algılayamayacağı için bu sinyalin belirli değerlerdeki ön bölücüler ile belünmesi gerekmekte ve uygun değere ayarlanması gerekmektedir. Ardından bu değerler ile doğru bir şekilde PWM sinyali oluşturmak için yine STM32 standart kütüphanelerinde gelen PWM sinyali oluşturma yapısı ile sinyal oluşturulacak ve ayarlanan PWM sinyalinde tutulacaktır. STM32 standart kütüphanesi yardımıyla Timer donanım katmanı oluşturulan PWM sinyalini otomatik olarak tutmaktadır.

4.2 Elektronik Devre Tasarımı

Bu çalışma için geliştirilen TheMiniaSim uygulaması Qt Framework kullanılarak C++ dilinde geliştirilmiştir. Bu çalışma için kullanılan elektronik kartlar Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu program ile simüle edilen uçuşun verileri, gerekli kinematik hesaplamaların yapılarak servo motorlara aktarıldığı ARM Cortex M0 tabanlı işlemciye FT232 Seri port haberleşme çipi aracılığı ile gönderilmektedir. FT232 ve STM32F0 arasındaki haberleşme Universal Aseynchron Receive-Transmit(UART) protokolü kullanılmaktadır. Aynı zamanda UART protokolü ile birlikte ARM mimarisine sahip işlemcilerde bulunan DMA katmanı birlikte çalışmaktadır. DMA katmanı sayesinde UART protokolünden gelen veriler programın normal çalışmasını engellemeden eş zamanlı olarak alınabilmektedir.



Şekil 9: Prototip devre tasarımı ve konumlandırılması

Mikroişlemci düşük fiyat mantığında üretilen bir işlemci olmasına rağmen kendi içerisinde 48MHz frekansında clock sinyali üretebilmektedir. Bu frekans değeri sayesinde işlemcinin işlem hızını ciddi oranda yükseltmektedir ve kinematik hesaplamalar için yeterli bir konuma gelmektedir. Kinematik hesaplamalardan sonra oluşan açısal değerleri Timer donanım katmanı aracılığıyla PWM sinyali oluşturarak SG90 servo motorlara aktarır PWM sinyalini sürekli belirlenen değerde tutarak, motorların dışardan bir kuvvet gelse bile aynı açıda kalmalarını sağlamaktadır.

Bu prototip için seçilen servo motorun özelliği, gönderilen PWM değerlerine göre açısal değerlere gelir ve orada kalır [20]. Motorların konum bilgisini almak için ek olarak harici bir sensöre gerek yoktur. Aynı zamanda bütün sistem gibi 5V gerilimde çalışması ve bu gerilimde normal çalışma esnasında 800g-1000g gibi boyutuna göre yüksek ağırlık altındada çalışabilmesi bu motoru avantajlı kılmaktadır.

Platform tasarımı için en önemli konu ise kinematik hesaplamalar için gerekli olan bağlantıların konumlarıdır. Bu konular 3 boyutlu eksenel sistemde kesin olarak bilinmelidir. Bu sayede matematiksel hesaplamaları vektörel olarak doğru bir şekilde yapabilmektedir. Platformun sabit ve hareketli kısımları daire şeklinde kesilmiştir. Kinematik hesaplamalar için base-arm, arm-rot ve rot-platform bağlantı noktalarının bilinmesi gerekmektedir. Bu hesaplamalar program çalışmaya başlamadan önce yapılmalı ve sabit değerler olarak programın normal hesaplamalarında kullanılmalıdır. Tasarımda kullanılan arm yapılarının uzunluğu 15mm ve rotların uzunluğu 95 mm olarak ayarlanmıştır. Sabit kısımda monte edilen herbir motorun konumlarının hesaplanması için motorlar çiftler olarak alınmıştır ve motor çiftlerindeki açılar 60 derece olarak belirlenmiştir. Motorlar çiftleri de sabit platforma 120 derecelik açılar ile sabitlenmiştir. Sabit kısmın merkezinden motor hareketinin sağlandığı motor-arm noktası arası mesafe ise 102mm olarak belirlenmiştir. Açısal değerler hareketli platform içinde aynı şekilde tasarlanmış olur dairesel hareketli platformunda merkezinden rot ile olan bağlantı noktalarına 67mm olarak belirlenmiştir. Başlangıç durumdaki yükseklik 88mm olarak belirlenmiştir. Bütün bu değerler ile yapılan hesaplamalar, kinematik hesaplamalar yapılmaya başlanmadan önce yapıp bağlantı noktalarının konumlarını hesaplayarak programda kullanılmak üzere işlemci programındaki ilgili değişkenlere atanmalıdır.

4.3 Çalışmanın Maliyet Analizi

Bu çalışma düşük bütçeli bir tasarım olduğu için fiyat-performans açısından kullanılan işlemcinin tepki süresi önemli bir etkidir. Bu yüzden seçilen işlemcinin de piyasadaki en performanslı ve en ucuz işlemci olmasına dikkat edildi. Bu yüzden ARM Cortex M-0 mimarisi üzerine kurulu olan STM32F051 mikroişlemcisi seçilmiştir. Bununla birlikte hareketi esnasında konum bilgisini alabilmek için sensör gerektirmeyen motorlar seçilmiştir. Geri kalan parçalar modelde belirlendiği şekilde kolayca üretilmiş ve sadece malzeme maliyeti dikkate alınmıştır. Bütün bu malzemelerin maliyeti göz önüne alındığında toplam maliyet 25USD altında olmaktadır. Aşağıdaki tabloda ürünlerin maliyetleri verilmiştir.

Tablo 1: Parça Maliyet listesi

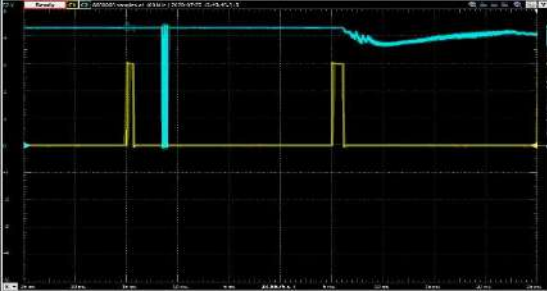
Parça Adı	Maliyeti
STM32F051 Development Board	9,90 USD
SG90 Servo Motor x6	6,90 USD
FT232 Serial Port Device	2.30 USD
Diğer malzemeler	6,00 USD

5. Çalışmanın Sonuçları ve Öneriler

Bütün motorların dönüş açılarının bulunabilmesi için yukarıdaki belirtilen hesaplamaların çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki osiloskop çıktısında eş zamanlı olarak alınan seri port sinyali ile PWM sinyali görülmektedir. Sarı renk ile gösterilen sinyal STM32F051 mikroişlemcimizin TIMER donanımından gelen PWM sinyalidir. Aynı zamanda mavi renk ile gösterilen sinyal ise seri port üzerinden gelen haberleşme sinyalidir.

Şekil 10'dan görüldüğü üzere haberleşme sinyalinden önceki PWM sinyali 700us olarak gelmektedir. Haberleşme sinyalinden sonraki PWM sinyali ise 1200us olarak devam etmektedir. Bu değer değişim grafiği sadece bir motor için gösterilmiştir. Mikro işlemci programı tasarımına göre çıktılar bütün hesaplamalardan sonra yapılmaktadır. Arka arkaya gelen iki PWM sinyalinin arasında 20ms süre bulunmaktadır. Görülmektedir ki 6 motor için hesaplamaların yapılması ve motorlara aktarılması 20ms'den daha kısa bir süre almaktadır. Bu grafikte hız konusunda seçilen işlemcinin yeterli olduğunu göstermektedir.

Seçilen işlemcimizin donanım katmanları ile gereken işlemleri yapması ayrıca tasarımın faydasına olmaktadır.

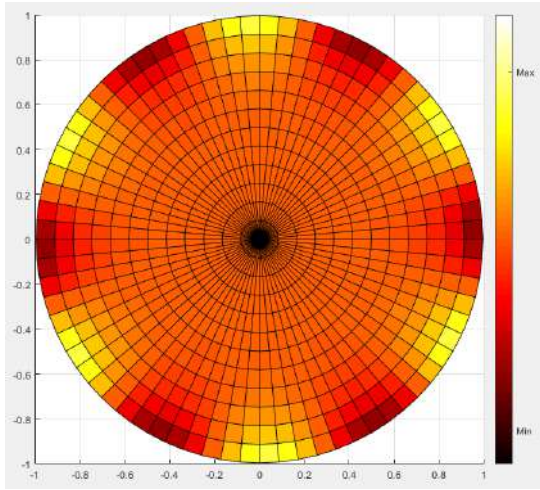


Şekil 10: PWM ve UART haberleşme sinyalleri Scope görüntüsü

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Bakteriler ve İnkübasyon Koşulları

Roll	Pitch	Yaw	Servo0	Servo1	Servo2	Servo3	Servo4	Servo5
0	0	0	90	90	90	90	90	90
10	0	0	72	90	106	106	90	72
20	0	0	53	90	125	125	90	53
10	10	0	82	109	115	97	70	63
0	20	10	104	138	103	77	44	81
-10	0	-10	113	85	82	68	98	101
0	-20	0	71	48	69	107	130	109
-20	0	-20	140	83	80	50	109	119
15	15	15	74	131	126	115	54	68
-15	-15	-15	109	54	59	74	131	126

Tablo 1’de bulunan açısal değerler ışığında prototip Stewart platformun hareket kabiliyeti ± 150 olduğu görülmektedir. Şekil-11 deki grafiğe göre bu hareket esnasında platform tasarımının hareketli kısmının incelendiğinde platformun bağlantı noktalarının merkeze göre daha fazla hareket ettiği görülmektedir. Bağlantı noktaları arasında kalan bölgelerin ise hareket miktarının daha az olduğunu görülecektir.



Şekil 11: Platform Hareket kabiliyetini gösteren MATLAB diyagramı

Şekil 11 Matlab programında hazırlanmıştır. Bu diyagrama göre Stewart platformun hareketli kısmın hareket edebilme kapasiteleri gösterilmiştir. Dönüş hareketleri merkezden yapıldığı için merkez noktası sabit olarak görülmektedir. Diyagramın bağlantı noktaları küçük hareketler ederken bağlantı noktaları arası daha fazla hareket etmektedir. Uç kısımlardaki küçük kırmızı bölgeler platform bağlantı

Kinematik hesaplamalar sonucunda her bir motor için oluşan açısal değerler tablosu aşağıdaki gibi olacaktır. Stewart platformu hesaplamalarını mikro işlemci önceki bölümlerde belirtilen matematiksel modele göre yapılacak ve PWM çıkışlarından ilgili açığa göre PWM çıktısı oluşturulacaktır.

bölgeleridir. Bu bölgeler etrafındaki dönüşler bağlantı noktaları etrafında olduğu için diğer bölgelere göre hareket kabiliyeti daha azdır fakat merkez noktalar gibi en az değildir.

Şekil-12’de ise prototip olarak tasarlanan uçuş simülasyonunun gerçek görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 12: Küçük Boyutlu 6DOF Prototip Uçuş Platformu Tasarımı Gerçek Görüntüsü

Stewart platformun hareketi esnasında motorlara dönüş açıları gönderildiğinde motorlar direk olarak o açılara gitmektedirler. Bu hareketlerini herhangi bir kontrol olmadan en hızlı şekilde yapmaktadırlar. Bu sebeple sistemin hareket platformunun tepkileri çok sert olmaktadır. Sistemin sert tepkileri ile sert dönüşler yapılmaktadır. Sert dönüşler tasarımın mekanikğine zarar verebilmektedir. Ayrıca daha büyük tasarımlarda ani yüklenmelere neden olabilmektedir. Bu yüzden sistem tepki süresinden taviz vermeden daha yumuşak bir şekilde hareket etmelidir. Bu özellik hareket sistemine PID kontrol mekanizması eklenmesiyle sağlanabilir. PID ile sistem hızlı bir şekilde yumuşak bir şekilde hareket edecektir ve sistemin ani yüklenmelerinin de önüne geçecektir.

Aynı zamanda bu tasarımda kullanılan servo motorlar direk olarak gönderilen PWM açılara gitmektedirler. Herhangi bir

kontrol mekanizmasına sahip değillerdir. Dolayısıyla işlemci sadece komutu gönderir ve hedef açıya gelmesiyle ilgilenmez. Sistemin doğru çalışması için motorlarında ilgili konumlara gelmesi gerekmektedir. Bu sebeple bu aıların bir sensör yardımıyla kontrol ediliyor olması gerekmektedir. Özellikle daha büyük tasarımlarda mekanik bağlantılara zarar verilmesini önlemek adına sistemin doğru çalıştığını kontrol etmek gerekmektedir. Bununla birlikte sisteme entegre edilmesi nerilen PID sistemi de motorların anlık açılarına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle ilgili sensörlerden geri besleme sinyali ile ilgili PID girişleri beslenmelidir.

5. Teşekkür

Proje desteklerinden dolayı Kocaeli Üniversitesi BAP koordinasyon birimine ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

Simgeler

X, Y ve Z : Bir noktanın döndürülmeden önce eksenlerinin

X : Bir noktanın merkez ile x eksenindeki aı

Y : Bir noktanın merkez ile y eksenindeki aı

Z : Bir noktanın merkez ile z eksenindeki aı

Kaynakça

- [1] D. Stewart, "A platform with six degrees of freedom," Proc. Inst. Mech. Engr., vol. 180(1), pp. 371–386, 1965.
- [2] Realization of a Desktop Flight Simulation System for Motion-cueing Studies, Berkay Volkaner, S. Numan Sozen1 and V. Emre Omurlu, DOI: 10.5772/63239
- [3] Development of a motion simulator for testing a mobile surveillance robot , Journal of Mechanical Science and Technology 23 (2009) 1065-1070
- [4] Filip Szufnarowski "Stewart platform with fixed rotary actuators: a low cost design study"
- [5] Transfer of Training from a Full-Flight Simulator Vs. a High-Level Flight-Training Device with a Dynamic Seat, August 2010, DOI: 10.2514/6.2010-8218
- [6] de Winter, J. C. F., Dodou, D., Mulder, M., 2012. Training effectiveness of whole body flight simulator motion: A comprehensive meta-analysis. The International Journal of Aviation Psychology 22(2), 164–183.
- [7] Rasmussen, J., 1983. Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC-13(3), 257–266.
- [8] Mulder, M., van Paassen, M. M., Boer, E. R., 2004. Exploring the Roles of Information in the Control of Vehicular Locomotion: From Kinematics and Dynamics to Cybernetics. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 13(5), 535–548.
- [9] Stapleford, R. L., Peters, R. A., Alex, F. R., 1969. Experiments and a Model for Pilot Dynamics with Visual and Motion Inputs. Tech. Rep. NASA CR-1325, NASA.
- [10]Zaal, P. M. T., Pool, D. M., Chu, Q. P., van Paassen, M. M., Mulder, M., Mulder, J. A., 2009a. Modeling Human Multimodal Perception and Control Using Genetic Maximum Likelihood Estimation. Journal of Guidance, Control, and Dynamics 32(4), 1089–1099.
- [11]Application of H1 Theory to a 6 DOF Flight Simulator Motion Base, Mauricio Becerra-Vargas and Eduardo

ω, γ ve φ açıları : Sırasıyla Roll Pitch ve Yaw açıları

Cos : Cosinus

Sin : Sinus

x' : x eksenindeki dönüşten sonra x eksenine olan uzaklık

y' : y eksenindeki dönüşten sonra y eksenine olan uzaklık

z' : z eksenindeki dönüşten sonra z eksenine olan uzaklık

d_x : Bir noktanın x eksenine olan uzaklığı

d_y : Bir noktanın y eksenine olan uzaklığı

d_z : Bir noktanın z eksenine olan uzaklığı

R: 3 eksen etrafında dönüş

R_x : x eksenindeki dönüş

R_y : y eksenindeki dönüş

R_z : z eksenindeki dönüş

P_i ve p_i

: Platformun Rod ile bağlandığı noktalar ve vektörleri

B_i ve b_i

: Servoların Base kısma bağlandığı noktalar ve vektörleri

A_i ve a_i : Servo kolu ile rodun birleştirildiği noktalar ve vektörleri

r : Rod uzunluğu

l_i : B_i ile P_i noktaları arasındaki vektör

h_0 : Başlangı durumunda hareketli platformun yksekligi

Morgado Belo, University of Sao Paulo – EESC, Department of Aeronautical Engineering

[12]Salcudean, S., P. Drexel, D. Ben-Dov, A. Taylor, and P. Lawrence (1994). A six degree-of-freedom, hydraulic, one person motion simulator. In Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego-CA, pp. 2437-2443. IEEE.

[13]Graf, R., R. Vierling, and R. Dillman (1998). A exible controller for a Stewart platform. In Proceedings of the 1998 Second International Conference on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems, Adelaide-SAAustralia, pp. 52-59. IEEE.

[14]Sciavicco, L. and B. Siciliano (2005). Modeling and Control of Robot Manipulators (2 ed.). Londres: Springer-Verlag.

[15]An Introduction to Mathematical Modelling, Glenn Marion, Bioinformatics and Statistics Scotland Given 2008 by Daniel Lawson and Glenn Marion

[16]Equations of Motion of a Spin-Stabilized Projectile for Flight Stability Testing; Journal of Theoretical and Applied Mechanics 51, 1, pp. 235-246, Warsaw 2013

[17]<https://mememememememe.me/post/stewart-platform-math/> [Erişim Tarihi: 11-Ağustos-2020]

[18]Geometry of the 3D Pythagoras' Theorem, Journal of Mathematics Research; Vol. 8, No. 6; December 2016 ISSN 1916-9795 E-ISSN 1916-9809

[19]<http://thetrig.blogspot.com/2011/11/m-sin-x-n-cos-x.html> [Erişim Tarihi: 11-Ağustos-2020]

[20]http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg_90_datasheet.pdf [Erişim Tarihi: 12-Ağustos-2020]



FastText ve Kelime Çantası Kelime Temsil Yöntemlerinin Turistik Mekanlar İçin Yapılan Türkçe İncelemeler Kullanılarak Karşılaştırılması

Muhammed Çağrı Aksu^{1*}, Ersin Karaman²

^{1*} Artvin Çoruh Üniversitesi, Rektörlük, Enformatik Bölümü, Artvin, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8577-4413), m.cagri.aksu@gmail.com

² Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6075-2779), karamanersin@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 3 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 14 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.776629)

ATIF/REFERENCE: Aksu, M. Ç. & Karaman, E. (2020). FastText ve kelime çantası kelime temsil yöntemlerinin turistik mekanlar için yapılan Türkçe incelemeler kullanılarak karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 311-320.

Öz

Günümüzde sosyal medya platformlarının sayısının ve kullanımının artmasıyla birlikte artık insanlar satın aldıkları bir ürünle veya gittikleri bir yer ile ilgili deneyimlerini sosyal medya platformlarında daha sıklıkla paylaşmaktadırlar. Sosyal medya platformlarındaki verilerin hacmi düşünüldüğünde, sosyal medya platformlarında paylaşılan incelemeler ve deneyimler içerisinde kurumlar veya şirketler için anlamlı birtakım bilgilerin olduğu düşünülmektedir. Hal böyle olunca sosyal medyada paylaşılan incelemeler ve deneyimler içerisinde anlamlı bilgi çıkarma yöntemlerini daha iyi hale getirmek ve hangi yöntemin daha iyi olduğunu bilmek önem arz etmektedir. Bu çalışmada turistik mekanlar için yapılan Türkçe incelemeler kullanılarak, yukarıda bahsedilen yöntemlerden biri olan duygu analizi yöntemindeki kelime temsil yöntemlerinden kelime çantası ve fastText kelime temsil yöntemlerinin sınıflandırma başarıları karşılaştırılmıştır. Ayrıca karşılaştırma işlemi gerçekleştirilirken duygu analizi işleminin ön hazırlık aşaması olan kelimeleri köklerine ayırma ve kelimeleri olumsuzlaştırma işlemlerinin sınıflandırma başarısına katkılarının olup olmadığı ölçülmüştür. Çalışmada hem iki sınıflı (pozitif, negatif) duygu analizi hem de üç sınıflı (pozitif, negatif, nötr) duygu analizi gerçekleştirilmiştir. Bahsedilen karşılaştırma işlemlerini gerçekleştirebilmek için altı adet veri seti oluşturulmuştur. Veri setleri önce metin madenciliğinde sıklıkla kullanılan Naive Bayes (NB), Multinom Naive Bayes (MNB), k-Nearest Neighbor (k-NN) ve Support Vector Machines (SVM) algoritmaları kullanılarak ve kelime çantası kelime temsil yöntemi esas alınarak WEKA programıyla sınıflandırılmıştır. Tüm veri setlerinin kelime çantası kelime temsil yöntemine göre test sonuçları elde edildikten sonra fastText kelime temsil yöntemine dair testler python programlama dilinin fastText kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemleri 10 tekrarlı çapraz doğrulama yöntemiyle yapılarak sınıflandırma işlemlerinin f-skor değerleri elde edilmiştir. Nihayetinde iki sınıflı duygu analizinde kelime çantası kelime temsil yönteminin fastText kelime temsil yönteminden daha başarılı sınıflandırma gerçekleştirdiği, üç sınıflı duygu analizinde ise tam tersi bir şekilde fastText kelime temsil yönteminin kelime çantası kelime temsil yönteminden daha başarılı sınıflandırma işlemi gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Duygu analizi ön hazırlık işlemlerinden kelimeleri köklerine ayırma ve olumsuzlaştırma işlemlerinin fastText kelime temsil yöntemiyle gerçekleştirilen sınıflandırma işlemlerinde olumlu ya da olumsuz bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Ancak kelime çantası kelime temsil yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen duygu analizi işlemlerinde az da olsa bir katkısının olduğu tespit edilmiştir. İki sınıflı duygu analizinde en başarılı sınıflandırma sonucuna kelime çantası kelime temsil yöntemi kullanılarak 0.91 f-skoru değerile SVM algoritmasıyla oluşturulan makine öğrenmesi modeliyle ulaşılmıştır. Üç sınıflı duygu analizinde ise en başarılı sınıflandırma sonucuna 0.78 f-skoru değerile fastText kelime temsil yöntemi kullanılarak oluşturulan makine öğrenmesi modeliyle ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metin madenciliği, Duygu analizi, Kelime temsil yöntemleri, Kelime çantası, FastText, Makine öğrenmesi.

Comparison of fastText and Bag of Words Word Representation Methods by Using Turkish Reviews Conducted for Touristic Places

Abstract

Nowadays, with the increasing number and use of social media platforms, people now share their experiences about a product they have bought or a place they have been to on social media platforms more frequently. Considering the volume of data on social media

* Sorumlu Yazar: m.cagri.aksu@gmail.com

platforms, it is considered that there is some meaningful information for institutions or companies in the reviews and experiences shared on social media platforms. As such, it is important to improve the methods of extracting meaningful information from the reviews and experiences shared on social media and to know which method is better. In this study, the classification successes of the bag of words and the fastText word representation methods, which are among the word representation methods in sentiment analysis methods mentioned above, were compared by using Turkish reviews performed for touristic places. Besides, while performing the comparison process, it was measured whether the process of separating the words into their roots and negation of the words, which is the preliminary stage of the sentiment analysis process, contributed to the classification success. In the study, both two-class (positive, negative) sentiment analysis and three-class (positive, negative, neutral) sentiment analysis were performed. Six data sets were created to carry out the mentioned comparison operations. The data sets were first classified using the Naive Bayes (NB), Multinomial Naive Bayes (MNB), k-Nearest Neighbor (k-NN) and Support Vector Machines (SVM) algorithms, which are frequently used in text mining, and based on bag of words word representation method, they were classified with WEKA program. After the test results of all data sets were obtained according to the bag of words word representation method, the tests of the fastText word representation method were carried out using the fastText library of the Python programming language. Classification procedures were carried out with 10-fold cross-validation methods, and f-score values of the classification processes were obtained. Finally, it was determined that bag of words word representation method performed a more successful classification than the fastText word representation method in two-class emotion analysis, while the fastText word representation method performed a more successful classification process than bag of words word representation method in three-class emotional analysis. It was observed that the process of separating the words into their roots and negating the words, which are the preliminary processes of sentiment analysis, did not contribute positively or negatively to the classification processes performed with the fastText word representation method. However, it was determined that it had a minor contribution to sentiment analysis processes performed by using bag of words word representation method. In the two-class sentiment analysis, the most successful classification result was achieved by using the machine learning model created with the SVM algorithm with the value of 0.91 f-score employing bag of words word representation method. In the three-class sentiment analysis, the most successful classification result was achieved with the machine learning model created using the fastText word representation method with the value of 0.78 f-score.

Keywords: Text mining, Sentiment analysis, Word representation methods, Bag of words, FastText, Machine learning.

1. Giriş

Günümüzde sosyal medyada oluşan veriler, değerli bilgiler elde etmek için önemli bir kaynak haline gelmiştir. Gelişen teknolojiyle birlikte bir metin madenciliği tekniği olan duygu analizi kullanılarak sosyal medya kaynaklarından birtakım anlamlı bilgiler çıkarmak mümkün hale gelmiştir. Duygu analizi vasıtasıyla insanların hizmetler, bireyler, konular, ürünler gibi varlıklara yönelik duyguları, tutumları ve değerlendirmeleri analiz edilebilmektedir (Liu, 2012). Özellikle incelemeler, yorumlar gibi kullanıcılar tarafından üretilen içerikler birçok şirket tarafından pazarlama faaliyetlerinde kullanılmaktadır (Ait Hammou vd., 2020). Bu içerikler sadece pazarlama faaliyetlerinde kullanılmamaktadır, aynı zamanda karar verme ve tahmin alanlarında da kullanılmaktadır (Kızılkaya, 2018; Yüksel & Gülşah, 2018). Duygu analizi çalışmaları birçok alanda yapıldığı gibi turizm alanında da yapılmakta ve genellikle müşteri ilişkileri yönetiminde kullanılmakta ve müşterilerin ürettikleri içeriklerle müşterilerin duyguları, tutumları ve değerlendirmeleri analiz edilmektedir (Neri vd., 2012). Turizm alanında yapılan duygu analizi çalışmalarının birçoğu oteller ve restoranlar için yapılan incelemeler kullanılarak yapılmakta ve bu çalışmalar genellikle bir şirketi muhatap almaktadır. Özellikle yerel yönetimleri muhatap alan ve bir bölgedeki doğal ve kültürel varlıklar için yapılmış duygu analizi çalışması yok denecek kadar azdır (Aydoğan & Akçayol, 2016; Can & Alataş, 2017; Karaoğlan vd., 2019; Özyurt & Akçayol, 2018). Ayrıca alan yazında İngilizce içerikler kullanılarak yapılan birçok duygu analizi çalışması olmasına rağmen Türkçe içerikler kullanılarak yapılmış duygu analizi çalışmalarının oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir (Aydoğan & Akçayol, 2016; Can & Alataş, 2017; Çoban vd., 2015; Özyurt & Akçayol, 2018). Türkçe içerikler kullanılarak gerçekleştirilen duygu analizi çalışmaları genellikle çeşitli makine öğrenmesi tekniklerinin karşılaştırılması üzerinedir (Kaya vd., 2012; Türkmenoglu & Tantug, 2014; Yüksel & Gülşah, 2018). Kaynar vd. (2016) film yorumlarını veri olarak kullanarak naive bayes, merkez tabanlı sınıflayıcı, çok katmanlı yapay sinir

ağları ve destek vektör makineleri gibi çeşitli makine öğrenmesi yöntemleriyle duygu analizi gerçekleştirerek yapay sinir ağlarının ve destek vektör makinalarının diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiğini saptamışlardır. Çoban vd. (2015) twitter verilerini kullanarak çeşitli makine öğrenmesi algoritmalarının sınıflandırma başarısını ölçtükleri duygu analizi çalışmasında, %66,06 doğru sınıflandırma yüzdesiyle multinominal naive bayes algoritmasıyla en başarılı sınıflandırma sonucuna ulaşmışlardır.

Duygu analizi çalışmalarında duygu sınıflandırması yapılabilmesi için metinlerin bir şekilde bilgisayarın anlayabileceği şekle yani sayısal hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Metinler vektör uzay modeli, kelime çantası yöntemi (BOW), Word2Vec gibi yöntemlerle sayısal hale dönüştürülmektedir (Albayrak, 2018). Duygu analiziyle ilgili alan yazındaki çalışmaların bir kısmı da bu yöntemlerin karşılaştırılması üzerinedir. Alessa vd. (2018) Word2Vec altyapısını kullanan fastText algoritmasıyla grip konusunu içeren tweetleri sınıflandırarak, fastText'in RandomForest tekniğinden hız ve doğruluk anlamında daha iyi sonuçlar verdiğini saptamışlardır. Velioglu vd. (2018) Türkçe twitter verilerini kelime çantası yöntemiyle sayısal hale getirdikten sonra lineer regresyon algoritmasıyla bir model oluşturmuşlardır. Daha sonra aynı veriler ile Word2Vec kelime temsil yöntemine dayalı fastText algoritmasıyla başka bir model oluşturmuşlardır. Son olarak bu iki modeli karşılaştırdıklarında iki model arasında anlamlı bir farkın olmadığını tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada da Bilgin ve Şentürk (2017) Doc2Vec metin temsil yöntemini kullanarak duygu analizi çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada DBOW (Disturbed bag of words) yönteminin DM'den (Disturbed Memory) daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

İlgili çalışmalardan anlaşılacağı üzere Türkçe duygu analizi çalışmaları genellikle belirli yöntemlerin birbirleriyle karşılaştırılması üzerinedir. Bu çalışmada turizm yöneticilerini muhatap alan ve bir bölgedeki doğal ve kültürel varlıklar için duygu analizi yapmaya imkân sağlayacak bir makine öğrenmesi modeli geliştirmek hedeflenmektedir. Bu hedefi gerçekleştirirken de duygu analizinde kullanılan kelime temsil yöntemlerinden olan

kelime çantası ve fastText kelime temsil yöntemlerinden hangisinin daha başarılı sınıflandırma yaptığını tespit etmek amaçlanmaktadır. Karşılaştırma işlemi gerçekleştirilirken duygu analizi işleminin ön hazırlık aşamalarından olan kelimeleri köklerine ayırma ve kelimeleri olumsuzlaştırma işlemlerinin sınıflandırma başarısına katkılarının olup olmadığı ölçülmeye çalışılmıştır. Çalışmamız bu yönüyle önem arz etmektedir. Ayrıca alan yazındaki Türkçe içeriklerle gerçekleştirilen duygu analizi çalışmalarının kısıtlı olması ve çalışmamızın Türkçe içeriklerle gerçekleştirilen bir duygu analizi çalışması olması münasebetiyle çalışmanın alan yazına katkı sağlayacağı beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmamız bir Türkçe duygu analizi çalışmasıdır. Duygu analizi, insanların ürünler, etkinlikler, konular, bireyler, organizasyonlar gibi varlıklara yönelik incelemelerini, tutumlarını ve duygularını analiz eden bir çalışma alanıdır (Liu, 2012). Duygu analizi işleminde genellikle bir duygu, pozitif ve negatif olarak ikili sınıflandırıldığı gibi pozitif, negatif ve nötr olarak üçlü sınıflandırma da yapılmaktadır (Şeker, 2016). Bu çalışmada hem ikili hem de üçlü sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

Duygu analizi, makine öğrenmesi yöntemi ve sözlük tabanlı yöntem olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir (Can & Alataş, 2017). Makine öğrenmesi yönteminde etiketlenmiş yani bir şekilde sınıfları tayin edilmiş verilerle bir model oluşturulmaktadır. Daha sonra sınıflı bilinmeyen verilerin sınıfları bu model kullanılarak tespit edilmektedir (Pang vd., 2002). Sözlük tabanlı sınıflandırmada ise görüş kutbu belli olan kelimelerden oluşan bir sözlük bulunmaktadır. Bu sözlükte her bir kelimenin görüş kutbu (pozitiflik, negatiflik, nötrlük) değerleri bulunmaktadır. Sınıflandırılacak metinlerdeki her bir kelime bu sözlükte aranarak metnin duygu polaritesi hesaplanmaktadır (Baccianella vd., 2010; Esuli & Sebastiani, 2006; Ku vd., 2006). Bu çalışmada, alan yazında daha üstün bir yöntem olduğu belirtildiği için makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır (Özyurt & Akçayol, 2018). Makine öğrenimi yöntemiyle gerçekleştirilen duygu analizi aslında bir sınıflandırma işlemidir ve metnin duygu sınıfını tahmin etmekten ibarettir. Makine öğrenimiyle yapılacak

Tablo 1. Turistik Mekanlar için Yapılan Türkçe İnceleme Örnekleri

İnceleme	Puan	Tarih
Muhteşem manzara. Gidip görülmesi gereken bir yer.	5	10.03.2020
Her geçen gün doğası biraz daha bozuluyor	1	10.05.2019
Tarihi konumu var. Hediyelik eşyaların satıldığı yerler var.	3	10.01.2020

2.1. Duygu Analizi

Duygu analizi, insanların ürünler, etkinlikler, konular, bireyler, organizasyonlar gibi varlıklara yönelik incelemelerini, tutumlarını ve duygularını analiz eden bir çalışma alanıdır (Liu, 2012). Duygu analizi işleminde genellikle bir duygu, pozitif ve negatif olarak ikili sınıflandırıldığı gibi pozitif, negatif ve nötr olarak üçlü sınıflandırma da yapılmaktadır (Şeker, 2016). Duygu analizi çalışmalarında sınıflandırma başarısını artırmak ve öznitelik sayısını düşürebilmek adına terimlerine ayırma, terim normalleştirme, kök bulma, durak kelimeleri çıkarma, terim ağırlıklandırma, olumsuzlaştırma gibi bir takım ön işlemler analiz

duygu analizi için duygu sınıflarının makineye yani bilgisayara tanıtılması gerekmektedir. Yani makineye hangi tür metinlerde hangi duygu polaritesi sonucunu üreteceğinin öğretilmesi gerekmektedir. Bunun için veri setlerine, veri setlerini oluşturmak içinse veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada veri setlerini oluşturabilmek için Türkiye'nin üç iline (Trabzon, Rize, Artvin) ait turistik mekanlar için yapılan incelemeler, çeşitli sosyal medya platformlarından veri kazıma yöntemiyle alınmıştır. Sosyal medya platformu olarak, alan yazındaki çalışmalarda sıklıkla kullanılan ve turistlerin gittikleri yerlerle ilgili incelemeler ya da yorumlar yapmasına imkân sağlayan siteler olan Google Haritalar, Foursquare ve Tripadvisor siteleri kullanılmıştır. Verilerin toplandığı tarih olan 10.03.2020 tarihinde 203 turistik mekân için toplamda 49031 adet inceleme belirtilen sitelerden veri kazıma yöntemiyle alınarak bu çalışmada gerçekleştirilen duygu analizinde kullanılacak veri setlerini oluşturmak için kullanılmıştır. Tablo 1'de görüldüğü gibi belirtilen sitelerden alınan veriler, turistik mekân için turistler tarafından yapılan inceleme, turistik mekân için turistlerin vermiş olduğu puan ve turistlerin yapmış olduğu incelemenin tarihi alanlarından oluşmaktadır.

Buraya kadarki kısımdan anlaşılacağı üzere bu çalışmada turistik mekanlar için yapılan Türkçe incelemeler kullanılarak makine öğrenmesi yöntemleriyle bir duygu analizi çalışması yapılmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemiyle yapılan duygu analizi çalışmalarında, duygu sınıfı tespit edilecek metinlerin, bir şekilde bilgisayarın anlayabileceği şekle yani sayısal hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Metinler, vektör uzay modeli, kelime çantası modeli (BOW), Word2Vec gibi yöntemlerle sayısal hale dönüştürülmektedir (Albayrak, 2018). Bu yöntemler, kelime temsil yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada belirtilen kelime temsil yöntemlerinden kelime çantası ve Word2Vec yönteminin bir uzantısı olan FastText yöntemi karşılaştırılmaktadır. Ayrıca duygu analizi işleminin ön hazırlık adımlarından olan kelimeleri olumsuzlaştırma ve kelimeleri köklerine ayırma işlemlerinin sınıflandırma başarısına olan etkisi ölçülmeye çalışılmıştır. Bu bölümün alt başlıklarında çalışmada ismi geçen terimler daha iyi anlaşılabilmesi için kısaca açıklanmıştır.

yapılacak verilere uygulanmaktadır (Aydoğan & Akçayol, 2016; Çoban, 2016; Çoban vd., 2015; Meral & Diri, 2014; Saad, 2010; Türkmenoğlu, 2015). Aşağıda bu işlemler kısaca açıklanmıştır.

2.1.1. Terimlerine Ayırma

Terimlerine ayırma işlemi kelimelere göre veya harflere göre yapılabilmektedir. N-gram olarak adlandırılan yöntem ile sınıflandırılacak metin, seçilen n değeri kadar terime ayrılmaktadır. Örneğin kelime tabanlı terimlerine ayırma işleminde n değeri 1 olarak alındığında, her bir kelime bir terim olarak değerlendirilmektedir. Harf tabanlı terimlerine ayırma işleminde ise n değeri 3 olarak ele alındığında, metin her terimde

üçer harf olacak şekilde terimlerine ayrılmakta ve her üç harflik grup bir terim olarak değerlendirilmektedir.

2.1.2. Terim Normalleştirme

Sınıflandırması yapılacak metinlerde bir takım yazım yanlışları bulunabilmektedir. Özellikle sosyal medyada yazılan Türkçe incelemelerde veya yorumlarda Türkçe karakterlerin yerine İngilizce karakterlerin kullanıldığı yaygın bir şekilde görülmektedir. Bu yazım hatalarının giderilmesi işlemine terim normalleştirme denilmektedir. Türkçe duygu analizi çalışmalarında bu işlem genellikle Zemberek-NLP² doğal dil işleme aracı kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

2.1.3. Kök Bulma

Duygu analizi çalışmalarında özellikle metin içerisindeki her bir kelime bir terim olarak ele alındığında öznitelik sayısı metin içerisinde geçen tekil kelime sayısına denk gelmektedir. Bu durum öznitelik miktarının fazla olmasına neden olmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için yani öznitelik sayısını düşürebilmek için terimlerin kökleri saptanmaktadır. Böylece aynı kökten türemiş kelimeler tek bir öznitelik olarak değerlendirilmekte ve neticesinde öznitelik sayısı azalmaktadır. Kök bulma işlemi bir doğal dil işleme çalışmasıdır ve Türkçe metinler için genellikle Zemberek-NLP kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Akın & Akın, 2007).

2.1.4. Durak Kelimeleri Çıkarma

Durak kelimeler bağlaçlar gibi cümlenin duygusuna herhangi bir etkisi olmayan kelimelerdir (Sevindi, 2013). Duygu analizi çalışmalarında durak kelimeler genellikle öznitelik sayısını düşürebilmek için duygu analizi yapılacak olan metinden çıkarılmaktadır (Çoban, 2016; Kaynar vd., 2016; Meral & Diri, 2014). Durak kelime çıkarma işlemi, duygu analizi çalışmasındaki metinlerde geçen her bir kelimenin önceden hazırlanmış durak kelime listesinde aranmasıyla ve daha sonra bulunan kelimelerin duygu analizi yapılacak metinlerden çıkartılmasıyla gerçekleştirilmektedir.

2.1.5. Olumsuzlaştırma

Türkçe'nin sondan eklemeli bir dil olması münasebetiyle kelimelerde olumsuzlaştırma genellikle sonradan eklenen eklerle yapılmaktadır. Örneğin Zemberek-NLP, "gelmiyor" sözcüğünün kökünü "gel" olarak tespit etmektedir. Böylece olumsuz olan bir kelime olumlu hale gelmiş olmaktadır. Bu durumunun üstesinden gelebilmek için duygu analizi çalışmalarında olumsuzlaştırma yapılmaktadır. Olumsuzlaştırma işlemi kelimenin köklerine

me/ma, sız/sız gibi eklerin eklenmesiyle gerçekleştirilmektedir (Gezici & Yanıkoğlu, 2018).

2.2. Kelime Çantası (Bag of Words - BOW)

Makine öğrenmesi yöntemiyle yapılan duygu analizi çalışmalarında, duygu sınıfı tespit edilecek metinlerin, bir şekilde bilgisayarın anlayabileceği şekle yani sayısal hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Kelime çantası yöntemi, metinlerin sayısal hale dönüştürülmesine olanak sağlayan yöntemlerden biridir (Bag-of-Words model, 2007; Harris, 1954). Kelime çantası yönteminde sınıflandırma çalışması yapılan metnin tamamı terimlerine ayrılmaktadır. Oluşturulan her bir terim bir öznitelik olarak ele alınmaktadır. Daha sonra her bir özniteliklerin yani terimin tüm metinde geçme sıklığı öznitelik değeri olarak atanmaktadır. Böylece kategorik bir veri sayısal hale dönüştürülmektedir.

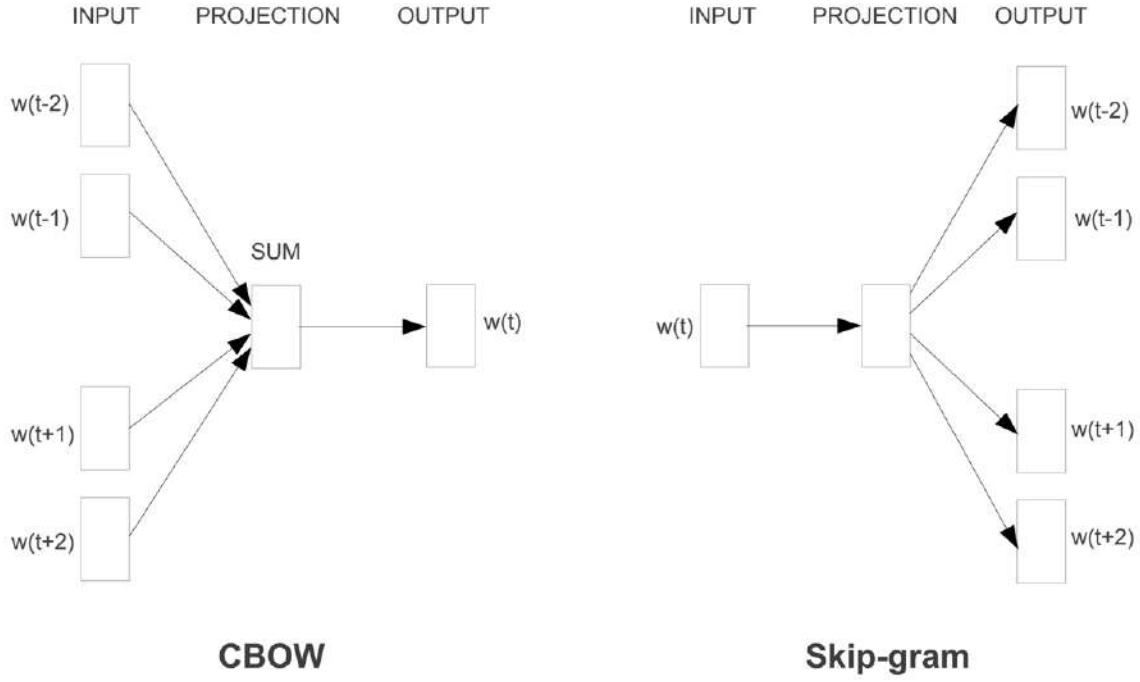
2.3. Word2Vec

Mikolov vd. (2013) tarafından alan yazına sunulmuş olan ve kelimeleri vektör olarak göstermeyi sağlayan yöntemlere Word2Vec denilmektedir. Word2Vec kelime temsil yönteminde yapay sinir ağları kullanılmaktadır ve denetimsiz öğrenme tekniğiyle kelimeler vektörlere dönüştürülmektedir. Word2Vec yönteminde CBOW ve Skip-Gram adında iki model bulunmaktadır. Her iki modelde de pencere boyutu (window size) adı verilen bir giriş parametresi bulunmaktadır. Şekil 1'de görüleceği üzere CBOW (Continuous Bag of Word) yani sürekli kelime torbası modelinde tahmin edilmek istenen kelimenin sağından ve solundan pencere boyutu parametresi kadar kelime yapay sinir ağına girdi olarak girmekte ve nihayetinde tahmin edilmek istenen kelimenin vektörü çıktı olarak elde edilmektedir. Skip-gram modelinde ise CBOW modelinin tam tersi bir işlem gerçekleştirilmektedir. Cümledeki bir kelime giriş olarak yapay sinir ağına girmekte, giriş yapılan kelimenin sağından ve solundan pencere boyutu parametresi kadarki kelimelerin vektörü çıktı olarak elde edilmektedir. Her iki modelde de işlemler tüm cümle tamamlanana kadar devam etmektedir (Aydoğan & Karıcı, 2019; Mikolov vd., 2013).

2.4. FastText

FastText, Facebook araştırma ekibi tarafından geliştirilmiş bir kelime temsil yöntemidir. Word2Vec yönteminin skip-gram alt yöntemine dayanmaktadır. Word2Vec yönteminde her bir kelime, en küçük birim olarak kullanılırken FastText yönteminde kelimeler n-gramlarına ayrılarak ele alınmaktadır. N-gramlarına ayrılan kelimeler, n-gramların toplamı olacak şekilde vektörel olarak temsil edilmektedir. N-gramları ele almayan diğer yöntemler, her bir kelimeyi bir vektöre dönüştürdükleri için

² Zemberek-NLP Türkçe için doğal dil işleme araçları sunan açık kaynak kodlu bir yazılımdır (Akın & Akın, 2007).



Şekil 1. CBOW ve Skip-gram arasındaki fark. "Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space" by Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G. S., & Dean, J., 2013, arXiv preprint arXiv:1301.3781. Copyright 2013 by arXiv.org.

kelimenin morfolojisini görmezden gelmektedirler. Bu durum özellikle büyük kelime dağarcığı olan ve çok nadir kelimelere sahip olan diller için bir sınırlandırma getirmektedir. FastText yöntemi n-gram yöntemi sayesinde bu sınırlamanın üstesinden gelmektedir (Bojanowski vd., 2017).

3. Deneysel Kurulum

Bu bölümde materyal ve metot kısmında bahsedilen karşılaştırmaları gerçekleştirebilmek için deneysel bir kurulum gerçekleştirilmiştir. Bu bölümün alt başlıklarında bu deneysel kurulumun gerçekleştirilme adımları sırasıyla verilmiştir.

3.1. Verilerin Hazırlanması

Materyal ve yöntem kısmında belirtildiği gibi çalışma için toplam 49031 adet inceleme çeşitli sosyal medya platformlarından toplanmıştır. Çalışma duygu analizi çalışması olduğu için verilerin analize hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Verileri hazır hale getirebilmek için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

1. Çalışmada sadece Türkçe dilinde yazılmış incelemeler kullanılacağı için, incelemelerin hangi dilde yazıldıklarının tespit edilmesi gerekmektedir. İncelemelerin dil değerleri Google tercüme servisindeki (Google Translation API³) dil algılama metodu kullanılarak tespit edilmiş ve Türkçe haricindeki incelemeler silinmiştir.
2. İncelemelerdeki harfler ve boşluk karakterleri haricindeki tüm diğer karakterler temizlenmiş ve tüm harfler küçük karaktere dönüştürülmüştür.
3. Kullanıcılar sosyal medyada inceleme ya da yorum yazarken genellikle yazım kurallarına riayet

etmemektedirler. Bu durum yazım hatalarına neden olmaktadır. Verilerdeki yazım hatalarını giderebilmek için veriler, Zemberek-NLP kullanılarak normalize edilmiştir.

4. Kelimeler öznitelik sayısını düşürmek amacıyla Zemberek-NLP kullanılarak köklerine ayrılmıştır.
5. Yöntem kısmında bahsedilen olumsuzlaştırma işlemi kelimelere uygulanmıştır.
6. Son olarak Sevindi (2013)'in çalışmasında kullandığı durak kelimeler veri setinden çıkarılmıştır.

Veriler üzerinde gerekli temizlik ve dönüştürme işlemleri yapıldıktan sonra geriye 527,232 kelimedenden oluşan 37,912 adet inceleme kaydı kalmıştı ve veri setleri bu verilerle oluşturulmuştur.

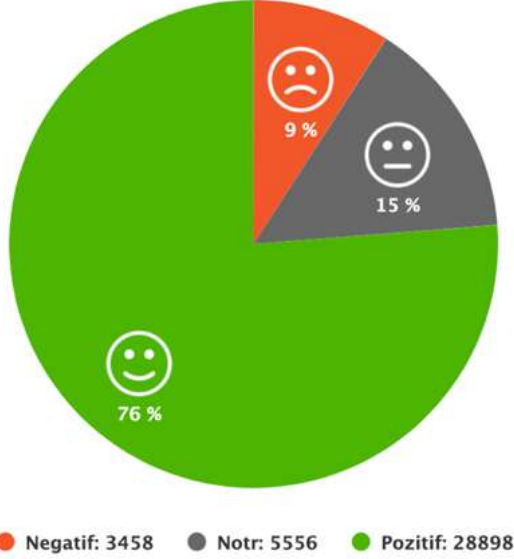
3.2. Karşılaştırma Esnasında Kullanılacak Veri Setlerinin Hazırlanması

Çalışmada hem iki sınıflı duygu analizi hem de üç sınıflı duygu analizi gerçekleştirilmiştir. Bir önceki adımda duygu analizi için hazır hale getirilen veriler, incelemelere verilen puanlara göre etiketlenmiştir. Üçlü sınıflandırmada inceleme puanı bir ve iki olan veriler negatif, üç olanlar nötr, dört ve beş olanlar ise pozitif duygu polaritesine sahip olarak etiketlenmiştir. İkili sınıflandırma işleminde ise inceleme puanı bir ve iki olan veriler negatif, dört ve beş olan veriler ise pozitif olarak etiketlenmiştir. Etiketleme işlemi neticesinde Şekil 2'de görüldüğü gibi 3.458 kayıt negatif, 5556 kayıt nötr, 28898 kayıt ise pozitif olarak etiketlenerek sınıfları tayin edilmiştir.

Sağlıklı bir sınıflandırma işlemi yapabilmek için veri setlerinde her sınıftan eşit sayıda örnek olması gerekmektedir. Veri setlerinde her bir sınıftan eşit sayıda veri olmasını sağlamak

³ Google Translation API, yüzü aşkın dili destekleyen bir tercüme ve dil algılama servsidir (Google, 2019).

için her bir sınıftan örnek sayısı en az olan sınıfın örnek sayısı kadar örnek alınması gerekmektedir. Bu nedenle her bir sınıftan 3458 kayıt alınarak veri setleri oluşturulmuştur. Tablo 2’de görüldüğü gibi veri setleri sınıf sayılarına, veri setlerindeki kelimelerin köklerine ayrılma durumlarına ve olumsuzlaştırma durumlarına göre ayrılmaktadır. Testler VS1, VS2, VS3, VS4, VS5, VS6 olarak adlandırılan altı veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Puana göre etiketleme neticesinde verilerin sınıflara dağılımı

3.3. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Bir önceki adımda açıklanan veri setleri kelime çantası kelime temsil yöntemiyle sayısal hale getirildikten sonra madencilikte sıklıkla kullanılan Naive Bayes (NB), Multinom Naive Bayes (MNB), k-Nearest Neighbor (k-NN) ve Support Vector Machines (SVM) algoritmaları WEKA programıyla sınıflandırılmıştır (Witten vd., 2016). WEKA programında yapılan tüm sınıflandırmalar FilteredClassifier sınıflandırıcısıyla gerçekleştirilmiştir. WEKA programında gerçekleştirilen tüm ayarlamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Metinleri kelime çantası kelime temsil yöntemine göre sayısal hale dönüştürebilmek için FilteredClassifierin filter özelliği StringToWordVector olarak seçilmiştir.
- Literatürde sınıflandırma başarısına katkı sağladığı belirtildiğinden dolayı StringToWordVectorun TF Transformation ve IDF Transformation özellikleri True

olarak işaretlenmiştir (Sevindi, 2013). Yani terimler TF-IDF yöntemine göre ağırlıklandırılmıştır.

- k-Nearest Neighbor algoritmasında literatürdeki kullanımlar dikkate alınarak k değeri üç olarak ele alınmıştır (Silahtaroglu, 2013). Diğer sınıflandırma algoritmalarında ise WEKA programının varsayılan parametreleri kullanılmıştır.
- Tüm veri setleri 10 tekrarlı çapraz doğrulama (10-fold cross-validation) yöntemiyle sınıflandırılarak kelime çantası yöntemine yönelik tüm test sonuçları elde edilmiştir.

Tüm veri setlerinin kelime çantası kelime temsil yöntemine göre test sonuçları elde edildikten sonra fastText kelime temsil yöntemine dair testler gerçekleştirilmiştir. FastText kelime temsil yöntemine yönelik testler python programlama dilinin fastText kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Joulin vd., 2017). FastText kelime temsil yöntemi için yapılan testler fastText kütüphanesinin otomatik parametre optimizasyonu kullanılarak yapılmıştır (*Automatic hyperparameter optimization*, n.d.). Böylece oluşturulan modeller için en uygun parametreler tespit edilebilmiştir. FastText kütüphanesinde tekrarlı çapraz doğrulama (cross-validation) özelliği olmadığı için bir python kodu ile tekrar sayısı 10 olacak şekilde çapraz doğrulama işlemi gerçekleştirilerek fastText kelime temsile yöntemine yönelik test sonuçları elde edilmiştir.

3.4. Sınıflandırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Makine öğrenimiyle gerçekleştirilen sınıflandırma işlemlerinde sınıflandırma başarılarının değerlendirilmesi için genellikle doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve f-ölçütü gibi metrikler kullanılmaktadır (Altunkaynak, 2017; Köse, 2018; Parlar & Özel, 2016). Aşağıda bu metrikler kısaca açıklanmıştır.

3.4.1. Doğruluk

Sınıflandırılan kayıtların yüzde kaçının doğru bir şekilde sınıflandırıldığını gösteren bir metriktir. Doğru sınıflandırılmış kayıt sayısının toplam kayıt sayısına bölünmesiyle elde edilen bir değerdir. Doğruluk, iki sınıflı (pozitif, negatif) bir sınıflandırma işleminde Eşitlik 1’deki gibi hesaplanmaktadır (Köse, 2018).

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

TP (True Pozitif) doğru bir şekilde pozitif olarak sınıflandırılmış kayıtların sayısını, TN (True Negatif) doğru bir şekilde negatif olarak sınıflandırılan kayıtların sayısını, FP (False Pozitif) negatif olması gerekirken pozitif olarak sınıflandırılmış

Tablo 2. Çalışmada kullanılan veri setleri

Sınıflandırma Şekli	Köklerine Ayırma ve Olumsuzlaştırma Durumu	Veri Seti
İkili	Köklerine Ayrılmamış	VS1
	Köklerine Ayrılmış ve Olumsuzlaştırma Yapılmamış	VS2
	Köklerine Ayrılmış ve Olumsuzlaştırma Yapılmış	VS3
Üçlü	Köklerine Ayrılmamış	VS4
	Köklerine Ayrılmış ve Olumsuzlaştırma Yapılmamış	VS5
	Köklerine Ayrılmış ve Olumsuzlaştırma Yapılmış	VS6

kayıtların sayısını, FN (False Negatif) pozitif olması gerekirken negatif olarak sınıflandırılmış kayıtların sayısı ifade etmektedir.

3.4.2. Kesinlik

Kesinlik, doğru sınıflandırılan kayıtların sayısının, toplam tahmin edilen pozitif sayısına bölünmesiyle Eşitlik 2'deki gibi hesaplanmaktadır. Kesinlik, sınıflandırma modelinin tahmin ettiği pozitiflerinin kaçının gerçek pozitif olduğunu belirten bir metriktir (Shung, 2020).

$$Kesinlik = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

3.4.3. Hassasiyet

Doğru pozitif oranı (True Positive Rate - TPR) olarak da adlandırılmaktadır. Gerçek pozitiflerin ne kadarının doğru bir şekilde sınıflandırıldığını gösteren bir metriktir. Hassasiyet Eşitlik 3'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Köse, 2018).

$$Hassasiyet = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

3.4.4. F Skoru

Hassasiyet ve kesinlik metriklerinin harmonik ortalamasından oluşan bir metriktir. Hem kesinliği hem hassasiyeti dikkate aldığı için birçok sınıflandırma işlemlerinde değerlendirme metriği olarak kullanılmaktadır (Altunkaynak, 2017; Chicco & Jurman, 2020; F1 score, 2006). F-skoru Eşitlik 4'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$F Skoru = \frac{2 * Kesinlik * Hassasiyet}{Kesinlik + Hassasiyet} \quad (4)$$

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Deneysel kurulum bölümünde bahsedilen testler gerçekleştirildikten sonra Tablo 3'deki sonuçlar elde edilmiştir. Tabloda kelime çantası ve fastText kelime temsil yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları gösterilmektedir. Hem iki sınıflı hem de üç sınıflı duygu analizi işleminin sonuçları tabloda bulunmaktadır. Literatürdeki benzer çalışmalarda sınıflandırma başarılarının karşılaştırılmasında genellikle f-skorunun kullanıldığı görülmektedir (Alessa vd., 2018; Velioğlu vd., 2018). Çalışma sonucunda elde edilen sınıflandırma sonuçlarını literatürdeki diğer çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırabilmek için çalışmamızda sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesinde f-skoru metriği kullanılmıştır ve Tablo 3'de çalışmada gerçekleştirilen sınıflandırma işlemlerinin f-skoru değerleri sunulmuştur.

Tablo 3 incelendiğinde iki sınıflı duygu analizi neticesinde kelime çantası kelime temsil yönteminin fastText kelime temsil yönteminden daha başarılı sınıflandırma işlemi gerçekleştirdiği görülmektedir. Üç sınıflı duygu analizi işlemindeyse tam tersi bir şekilde fastText kelime temsil yöntemi, kelime çantası kelime temsil yönteminden daha başarılı sınıflandırma işlemi gerçekleştirmiştir. İki sınıflı duygu analizi ve üç sınıflı duygu analizi sonuçlarına bakılınca iki kelime temsil yönteminin de sınıf sayısının artmasından olumsuz yönde etkilendiği görülmektedir.

Kelime çantası kelime temsil yöntemi kullanılarak yapılan sınıflandırma testleri neticesinde gerek iki sınıflı duygu analizi işleminde gerekse üç sınıflı duygu analizi işleminde en başarılı sınıflandırma işleminin SVM algoritması kullanılarak elde edildiği görülmektedir.

VS1 köklerine ayrılmamış iki sınıflı veri setini, VS2 köklerine ayrılmış ancak olumsuzlaştırma işlemi yapılmamış iki sınıflı veri setini, VS3 ise köklerine ayrılmış ve olumsuzlaştırma yapılmış iki sınıflı veri setini ifade etmektedir. Aynı şekilde VS4 köklerine ayrılmamış üç sınıflı veri setini, VS5 köklerine ayrılmış ancak olumsuzlaştırma işlemi yapılmamış üç sınıflı veri setini, VS6 ise köklerine ayrılmış ve olumsuzlaştırma yapılmış üç sınıflı veri setini ifade etmektedir. VS2 ve VS1 veri setlerinin sınıflandırma sonuçlarının farkı iki sınıflı duygu analizi işleminde köklerine ayırma işleminin sınıflandırma başarısına olan katkısını göstermektedir. Benzer şekilde VS3 ve VS2 veri setlerinin farkı da iki sınıflı duygu analizi işleminde olumsuzlaştırma işleminin sınıflandırma başarısına olan katkısını göstermektedir. Üç sınıflı duygu analizi işleminde iki sınıflı duygu analizine benzer şekilde VS5 ve VS4 veri setlerinin sınıflandırma sonuçlarının farkı üç sınıflı duygu analizi işleminde köklerine ayırma işleminin sınıflandırma başarısına olan katkısını göstermektedir. VS6 ve VS5 veri setlerinin farkı da üç sınıflı duygu analizi işleminde olumsuzlaştırma işleminin sınıflandırma başarısına olan katkısını göstermektedir. Bu bilgiler ışığında Tablo 4 incelendiğinde köklerine ayırma ve olumsuzlaştırma işlemlerinin fastText kelime temsil yöntemiyle gerçekleştirilen duygu analizlerinde sınıflandırma başarısına olumlu ya da olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Kelime çantası kelime temsil yöntemiyle yapılan iki sınıflı duygu analizinde köklerine ayırma işlemi NB algoritmasında 0.02'lik f-skoru katkısı getirirken MNB algoritmasında 0.01'lik bir düşüşe sebebiyet vermiştir. Kelime çantası kelime temsil yöntemiyle yapılan üç sınıflı duygu analizinde ise köklerine ayırma işleminin MNB algoritması haricinde sınıflandırma başarısına katkı sağladığı görülmektedir. Benzer şekilde olumsuzlaştırma işleminin de SVM algoritması hariç sınıflandırma başarısına katkı sağladığı görülmektedir.

Tablo 3. Sınıflandırma Sonuçları

Sınıflandırma Türü	Veri Setleri	Kelime Çantası (TF-IDF)				FastText
		NB	MNB	SVM	k-NN	FastText
İkili	VS1	0.84	0.87	0.91	0.36	0.84
	VS2	0.86	0.86	0.91	0.36	0.84
	VS3	0.86	0.86	0.91	0.36	0.84
Üçlü	VS4	0.59	0.63	0.70	0.20	0.78
	VS5	0.62	0.62	0.71	0.22	0.78
	VS6	0.63	0.63	0.71	0.23	0.78

Tablo 4. Olumsuzlaştırma ve Köklerine Ayırma İşlemlerinin Sınıflandırma Sonuçlarına Olan Katkıları

Sınıflandırma Türü	Veri Setleri	Kelime Çantası (TF-IDF)				FastText
		NB	MNB	SVM	k-NN	FastText
İkili	VS2-VS1	0.02	-0.01	0	0	0
	VS3-VS2	0	0	0	0	0
Üçlü	VS5-VS4	0.03	-0.01	0.01	0.02	0
	VS6-VS5	0.01	0,01	0	0.01	0

5. Sonuç

Sosyal medya platformlarındaki verilerin hacmi düşünüldüğünde, sosyal medya platformlarında paylaşılan incelemeler ve deneyimler içerisinde kurumlar veya şirketler için anlamlı birtakım bilgilerin olduğu düşünülmektedir. Hal böyle olunca sosyal medyada paylaşılan incelemeler ve deneyimler içerisinde anlamlı bilgi çıkarma yöntemlerini daha iyi hale getirmek hangi yöntemin daha iyi olduğunu bilmek önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada özellikle turizm yöneticilerini muhatap alan ve bir bölgedeki doğal ve kültürel varlıklar için duygu analizi yapmaya imkân sağlayan bir model geliştirmek hedeflenmiştir. Bu hedefi gerçekleştirirken de duygu analizinde kullanılan kelime temsil yöntemlerinden olan kelime çantası ve fastText kelime temsil yöntemi karşılaştırılarak, sınıflandırma başarısı yüksek olan yöntem tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca karşılaştırma işlemi gerçekleştirilirken kelimeleri köklerine ayırma ve kelimeleri olumsuzlaştırma işlemlerinin sınıflandırma başarısına katkılarının olup olmadığı ölçülmüştür. Yapılan karşılaştırma işlemleri neticesinde iki sınıflı duygu analizinde kelime çantası kelime temsil yönteminin fastText yönteminden daha başarılı sınıflandırma işlemi gerçekleştirdiği görülmüştür. Üç sınıflı duygu analizi işlemi ise tam tersi bir sonuç elde edilmiştir. Üç sınıflı duygu analizi işlemi fastText kelime temsil yöntemiyle gerçekleştirilen sınıflandırma işleminin daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Duygu analizi ön hazırlık işlemlerinden kelimeleri köklerine ayırma ve olumsuzlaştırma işlemlerinin fastText kelime temsil yöntemiyle gerçekleştirilen sınıflandırma işlemlerinde olumlu ya da olumsuz bir katkı sağlamadığı görülmüştür. FastText kelime temsil yöntemi kullanılarak elde edilen bu sonuç Kuyumcu v.d. (2019) çalışmasıyla paralellik göstermektedir. Bu durum fastText kelime temsil yöntemiyle gerçekleştirilen bir duygu analizi işlemi ön hazırlık işlemine gerek olmadığını göstermektedir. Kelime çantası kelime temsil yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen duygu analizi işlemlerinde ise kelimeleri köklerine ayırma ve kelimeleri olumsuzlaştırma ön işlemlerinin sınıflandırma başarısına az da olsa bir katkısının olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonucun da literatürdeki benzer çalışmalarla paralellik gösterdiği görülmektedir (Gezici & Yanıkoğlu, 2018; Kaya vd., 2012). Sonraki çalışmalarda kelimeleri köklerine ayırma ve kelimeleri olumsuzlaştırma ön işlemlerinin geliştirilerek sınıflandırma başarısına olan katkılarının artırılması hedeflenmektedir.

İki sınıflı duygu analizinde en başarılı sınıflandırma sonucuna kelime çantası kelime temsil yöntemi kullanılarak 0.91 f-skoru değeriyle SVM algoritmasıyla oluşturulan makine öğrenmesi modeliyle ulaşılmıştır. Üç sınıflı duygu analizinde ise en başarılı sınıflandırma sonucuna 0.78 f-skoru değeriyle fastText kelime temsil yöntemi kullanılarak oluşturulan makine öğrenmesi modeliyle ulaşılmıştır. Literatürdeki Türkçe duygu analizi

çalışmalarında klasik makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma sonucunda elde edilen f-skorlarının ikili sınıflandırmada 0.78 ile 0.921 arasında, üçlü sınıflandırmada ise 0.59 ile 0.78 arasında değiştiği görülmektedir (Çoban vd., 2015; Kaya vd., 2012; Kaynar vd., 2016; Velioglu vd., 2018; Yıldırım vd., 2015). Bu çalışmada gerçekleştirilen duygu analizi işlemi neticesinde elde edilen sonuçlar benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Bu durum bu çalışmada oluşturulan duygu analizi modelinin Türkçe turizm incelemeleri için kullanılabilir bir model olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada duygu analizindeki kelime temsil yöntemlerinden fastText ve kelime çantası kelime temsil yöntemleriyle oluşturulan sınıflandırma modellerinin sınıflandırma başarıları turistik mekanlar için yapılan Türkçe incelemeler kullanılarak karşılaştırılmış ve bir takım sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmanın farklı alanlardaki Türkçe yorumlar ya da incelemelerle tekrar edilmesi, elde edilen sonuçların genellenebilirliği açısından önem arz etmektedir.

Kaynakça

- Ait Hammou, B., Ait Lahcen, A., & Mouline, S. (2020). Towards a real-time processing framework based on improved distributed recurrent neural network variants with fastText for social big data analytics. *Information Processing & Management*, 57(1), 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ipm.2019.102122>
- Akın, A. A., & Akın, M. D. (2007). Zemberek, an open source NLP framework for Turkic Languages. *Structure*, 10, 1-5.
- Albayrak, A. (2018). *Duygu analizinde farklı vektör temsil yöntemleri ve sınıflayıcıların karşılaştırılması* [Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi]. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Akademik Arşiv Sistemi. <https://hdl.handle.net/20.500.12418/12071>
- Alessa, A., Faezipour, M., & Alhassan, Z. (2018, June 4-7). *Text classification of flu-related tweets using fasttext with sentiment and keyword features* [Paper presentation]. 2018 IEEE International Conference on Healthcare Informatics, NY, USA.
- Altunkaynak, B. (2017). *Veri madenciliği yöntemleri ve R uygulamaları*. Seçkin Yayıncılık.
- Automatic hyperparameter optimization*. (n.d.). fastText. <https://fasttext.cc/docs/en/autotune.html>
- Aydoğan, E., & Akcayol, M. A. (2016, August 2-5). *A comprehensive survey for sentiment analysis tasks using machine learning techniques* [Paper presentation]. 2016 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications, Sinaia, Romania.
- Aydoğan, M., & Karcı, A. (2019). Kelime temsil yöntemleri ile kelime benzerliklerinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 181-196.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.609119>
- Baccianella, S., Esuli, A., & Sebastiani, F. (2010, May 17-23). *Sentiwordnet 3.0: an enhanced lexical resource for sentiment analysis and opinion mining* [Paper presentation]. Proceedings of the Seventh International Conference on Language Resources and Evaluation, Valletta, Malta.
- Bag-of-Words model*. (2007, October 31). Retrieved July 20, 2020 from https://en.wikipedia.org/wiki/Bag-of-words_model
- Bilgin, M., & Şentürk, İ. F. (2017, October 5-8). *Sentiment analysis on Twitter data with semi-supervised Doc2Vec* [Paper presentation]. 2017 International Conference on Computer Science and Engineering, Antalya, Turkey.
- Bojanowski, P., Grave, E., Joulin, A., & Mikolov, T. (2017). Enriching word vectors with subword information. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 5, 135-146. https://doi.org/https://doi.org/10.1162/tacl_a_00051
- Can, Ü., & Alataş, B. (2017). Duygu analizi ve fikir madenciliği algoritmalarının incelenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(1), 75-111. <https://dergipark.org.tr/pub/ijpas/issue/29969/304149>
- 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), 6-6. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7>
- Çoban, Ö. (2016). *Metin sınıflandırma teknikleri ile türkçe twitter duygu analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi]. Atatürk Üniversitesi Dijital Arşiv Açık Erişim Sistemi. <http://hdl.handle.net/123456789/4640>
- Çoban, Ö., Özyer, B., & Özyer, G. T. (2015, May 16-19). *Sentiment analysis for Turkish Twitter feeds* [Paper presentation]. 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference, Malatya, Turkey.
- Esuli, A., & Sebastiani, F. (2006, May 22-28). *Sentiwordnet: A publicly available lexical resource for opinion mining* [Paper presentation]. Proceedings of the Fifth International Conference on Language Resources and Evaluation, Geona, Italy.
- F1 score*. (2006, February 9). Retrieved July 8, 2020 from https://en.wikipedia.org/wiki/F1_score
- Gezici, G., & Yanıkoglu, B. (2018). Sentiment analysis in Turkish. In K. Oflazer & M. Saraçlar (Eds.), *Turkish Natural Language Processing* (pp. 255-271). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90165-7_12
- Google. (2019). *Google Translation API*. In [Application Program Interface]. <https://cloud.google.com/translate/>
- Harris, Z. S. (1954). Distributional structure. *Word*, 10(2-3), 146-162. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00437956.1954.11659520>
- Joulin, A., Grave, E., Bojanowski, P., & Mikolov, T. (2017, April 3-7). *Bag of tricks for efficient text classification* [Conference presentation]. Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, Valencia, Spain.
- Karaoğlan, K. M., Temizkan, V., & Findik, O. (2019, April 26-28). *Sentiment analysis for hotel reviews with recurrent neural network architecture* [Conference presentation]. International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science, Alanya, Turkey.
- Kaya, M., Fidan, G., & Toroslu, I. H. (2012, December 4-7). *Sentiment analysis of turkish political news* [Paper presentation]. Proceedings of the The 2012 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, Macau, China.
- Kaynar, O., Görmez, Y., Yıldız, M., & Albayrak, A. (2016, September 17-18). *Makine öğrenmesi yöntemleri ile duygu analizi* [Paper presentation]. International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, Malatya, Turkey.
- Kızılkaya, Y. M. (2018). *Duygu analizi ve sosyal medya alanında uygulama* [Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi]. Bursa Uludağ Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://acikerisim.uludag.edu.tr/bitstream/11452/1058/1/516866.pdf>
- Köse, İ. (2018). *Veri madenciliği teori uygulama ve felsefesi*. Papatya Yayıncılık Eğitim.
- Ku, L.-W., Liang, Y.-T., & Chen, H.-H. (2006, March 27-29). *Opinion extraction, summarization and tracking in news and blog corpora* [Paper presentation]. AAAI Spring Symposium, Stanford, CA, USA.
- Kuyumcu, B., Aksakalli, C., & Delil, S. (2019, June 28-30). *An automated new approach in fast text classification (fastText): A case study for Turkish text classification without pre-processing* [Paper presentation]. 3rd International Conference on Natural Language Processing and Information Retrieval, Tokushima, Japan.
- Liu, B. (2012). *Sentiment Analysis and Opinion Mining*. Morgan & Claypool Publishers.
- Meral, M., & Diri, B. (2014, April 23-25). *Sentiment analysis on Twitter* [Paper presentation]. 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference, Trabzon, Turkey.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G. S., & Dean, J. (2013). Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
- Neri, F., Aliprandi, C., Capeci, F., Cuadros, M., & By, T. (2012, August 26-29). *Sentiment analysis on social media* [Paper presentation]. 2012 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, İstanbul, Turkey.
- Özyurt, B., & Akçayol, M. A. (2018). Fikir madenciliği ve duygu analizi, yaklaşımlar, yöntemler üzerine bir araştırma. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 668-693. <http://sujest.selcuk.edu.tr/sumbtd/article/download/584/628>
- Pang, B., Lee, L., & Vaithyanathan, S. (2002, July 6-7). *Thumbs up? Sentiment classification using machine learning techniques* [Paper presentation]. Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing Philadelphia, USA. <https://doi.org/10.3115/1118693.1118704>
- Parlar, T., & Özel, S. A. (2016, August 2-5). *A new feature selection method for sentiment analysis of Turkish reviews* [Paper presentation]. 2016 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications Sinaia, Romania.
- Saad, M. K. (2010). *The impact of text preprocessing and term weighting on arabic text classification* [Master Thesis, The Islamic University]. IUG Space. <http://hdl.handle.net/20.500.12358/18770>
- Şeker, S. E. (2016). Duygu Analizi. *Yönetim Bilişim Sistemleri Ansiklopedisi*, 3(3), 21-36. http://ybsansiklopedi.com/wp-content/uploads/2016/09/duygu_analizi.pdf
- Sevindi, B. İ. (2013). *Türkçe metinlerde denetimli ve sözlük tabanlı duygu analizi yaklaşımlarının karşılaştırılması*

- [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=-hunBqU7X8Xef7VsYSve5g&no=pshUKfJWw6uE0H0aViWTEg>
- Shung, K. P. (2020, April 10). *Accuracy, Precision, Recall or F1?* Retrieved July 20, 2020 from <https://towardsdatascience.com/accuracy-precision-recall-or-f1-331fb37c5cb9>
- Silahtaroglu, G. (2013). *Veri madenciliği: Kavram ve algoritmaları*. Papatya Yayıncılık Eğitim.
- Türkmenoğlu, C. (2015). *Türkçe metinlerde duygu analizi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İTÜ Dspace. <http://hdl.handle.net/11527/12950>
- Türkmenoglu, C., & Tantug, A. C. (2014, June 21-26). *Sentiment analysis in Turkish media* [Paper presentation]. Proceedings of the 31st International Conference on International Conference on Machine Learning, Beijing, China.
- Velioglu, R., Yıldız, T., & Yıldırım, S. (2018, September 20-23). *Sentiment analysis using learning approaches over emojis for Turkish tweets* [Paper presentation]. 3rd International Conference on Computer Science and Application Engineering, Sanya, China.
- Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., & Pal, C. J. (2016). *The WEKA Workbench. Online Appendix for "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques"* (Fourth Edition ed.). Morgan Kaufmann.
- Yıldırım, E., Çetin, F. S., Eryiğit, G., & Temel, T. (2015). The impact of NLP on Turkish sentiment analysis. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 7(1), 41-51. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbbmd/issue/22247/238817>
- Yüksel, A. S., & Gülşah, T. F. (2018). Metin madenciliği teknikleri ile sosyal ağlarda bilgi keşfi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 324-333. <https://doi.org/https://doi.org/10.21923/jesd.384791>



Çeşitli Yörelerimizde Üretilen Çiçek Ballarının Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi ve Türk Gıda Kodeksi'ne Uygunluğunun Değerlendirilmesi

Mine Gültekin-Özgülven^{1*}, Evren Demircan², Beraat Özçelik³

^{1*} İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2073-8075), gultekinmi@itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8533-6037), evrendemircan@itu.edu.tr

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1810-8154), ozcelik@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 26 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 13 Eylül 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.758399)

ATIF/REFERENCE: Gültekin-Özgülven, M., Demircan E. & Özçelik B. (2020). Çeşitli Yörelerimizde Üretilen Çiçek Ballarının Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi ve Türk Gıda Kodeksi'ne Uygunluğunun Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 321-326.

Öz

Bal, bal arıları (*Apis mellifera*) tarafından üretilen tatlı ve doğal bir gıdadır. Son derece besleyici, enerji verici ve terapötik özellikleri olan balın kalitesi ticari değerini de etkileyen botanik ve coğrafi kökenine bağlıdır. Diğer taraftan, bal taklit ve taşıyıcı yapılarak tüketicinin aldatılmasına uygun bir gıda maddesidir. Bu nedenlerle, ulusal ve uluslar arası gıda kodekslerinde balın kalitesini, botanik kaynağını ve saflığını belirlemek için çeşitli parametreler ve analiz yöntemleri tanımlanmıştır. Bu kapsamda tanımlanan parametrelerden olan balın fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada; çeşitli yörelerdeki bal üreticilerinden temin edilen bir tanesi kestane balı olmak üzere toplam on iki adet çiçek balı numunesinin kalitesinin değerlendirilmesi, botanik kökeninin belirlenmesi ve Türk Gıda Kodeksi (TGK)'ne uygunluğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bal numunelerinin nem, elektrik iletkenliği, indirgen ve indirgen olmayan şeker içeriği, ticari glikoz varlığı, hidroksi metil furfural (HMF) miktarı, diastaz aktivitesi, serbest asitlik, prolin miktarı ve suda çözünmeyen katı madde miktarı analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre, toplam on iki çiçek balı örneğinden yedi tanesinin TGK'ye uygun bulunduğu anlaşılmıştır. Bal numunelerinin hiç birinde ticari glikoz varlığı tespit edilmemiştir. Numunelerin düşük HMF içeriği ve en az 9 olarak tespit edilen diastaz aktivitesi balların uygun depolama koşullarında tutulduğunun göstergesidir. Beklendiği gibi unifloral bir çiçek balı olan kestane balının elektrik iletkenliği ve fruktoz/glikoz oranı diğer multifloral çiçek ballarından farklı bulunmuştur. Son olarak, söz konusu fizikokimyasal özelliklerin coğrafi köken tespitinde kullanıma potansiyelleri değerlendirilmiş ve özellikle nem içeriğinin coğrafi köken tespitinde kullanılabilirliği öngörülmüştür. Fizikokimyasal özelliklerin coğrafi köken tespitinde kullanılıp kullanılmayacağı değerlendirilmesi için çok sayıda numune ile çalışmak gerekliliği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bal, Fizikokimyasal Özellikler, Botanik Köken, Türk Gıda Kodeksi.

Determination of Physicochemical Properties of Flower honeys Produced in Various Locations and Their Compliance with the Turkish Food Codex

Abstract

Honey is a sweet and natural food produced by *Apis mellifera* bees. The quality of honey, which is highly nutritious, energizing and therapeutic, depends on its botanical and geographical origin, which also affects its commercial value. On the other hand, honey is a food suitable for deceiving the consumer by imitation and adulteration. For these reasons, various parameters and related methods of analysis have been defined to determine the quality, botanical source and purity of honey in national and international food codexes. It is aimed to determine the physicochemical properties of honey, which is one of the parameters defined in this context. In this study; it is aimed to evaluate the quality of twelve flower honey samples, one of which is chestnut honey, obtained from honey producers in various regions, to determine their botanical origin and to evaluate their compliance with the Turkish Food Codex (TGK). Analysis of

* Sorumlu Yazar: gultekinmi@itu.edu.tr

moisture, electrical conductivity, reducing and non-reducing sugar content, presence of commercial glucose, amount of hydroxy methyl furfural (HMF), diastase activity, free acidity, proline and water insoluble solids were carried out. According to the data obtained, it was understood that seven of the twelve flower honey samples were suitable for TGK. The presence of commercial glucose was not detected in any of the honey samples. The low HMF content of the samples and the diastase activity determined to be at least 9 were indications that the honey was kept under appropriate storage conditions. As expected, the electric conductivity and fructose / glucose ratio of chestnut honey, which is an unifloral flower honey was found different from other multifloral flower honeys. Finally, the potentials of using these physicochemical properties in geographical origin determination were evaluated and it was envisaged that moisture content could be used in geographical origin determination. It has been understood that it is necessary to work with a large number of samples to evaluate whether the physicochemical properties will be used for geographical origin determination.

Keywords: Honey, Physicochemical Properties, Botanical Origin, Turkish Food Legislation.

1. Giriş

Türkiye sahip olduğu bitki ve arı ırkı çeşitliliği sayesinde dünyada kovan sayısı ve bal üretimi itibarıyla ikinci sırada yer almaktadır. Nitekim bal Türk mutfağı'nda özellikle kahvaltı sofralarında sıklıkla yer almaktadır. Bilinen ilk doğal tatlandırıcıdır. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne (2020/7) göre bal, "bitki nektarlarının, bitkilerin canlı kısımlarının salgılarının veya bitkilerin canlı kısımları üzerinde yaşayan bitki emici böceklerin salgılarının, bal arısı tarafından toplandıktan sonra kendine özgü maddelerle birleştirilerek değişikliğe uğrattığı, su içeriğini düşürdüğü ve petekte depolayarak depolanmış, doğal gereği kristallenebilen doğal üründür" olarak tanımlanmıştır. Yine TGK'de botanik kaynağına göre ballar çiçek ve salı balı olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Çiçek balları ait olduğu botanik kaynağın duyuşsal, fiziksel, kimyasal ve palinolojik özelliklerini belirgin olarak taşıdığına söz konusu ballar monofloral veya unifloral olarak adlandırılırlar. Kestane, ıhlamur, kekik vb ballar monofloral ballardır. Kaynağı belirgin olmayan çiçek balları ise multifloral olarak değerlendirilmektedir.

Balın kompozisyonu bitki çeşidine, iklime, çevre koşullarına, coğrafyaya ve arı yetiştiricisinin uygulamalarına göre değişiklik göstermekle birlikte (Küçük ve diğ., 2007) %65'i glikoz ve fruktozdan oluşmakta olup, %18'i su, geri kalanı protein ve lipidleri (Aloglu ve diğ., 2017) içermektedir. Ayrıca, balda mineral ve ağır metaller de mevcuttur (Aloglu ve diğ., 2017). İçeriğinin büyük bir kısmı şeker olmasına rağmen bal sadece şekerden ibaret olmayıp sahip olduğu besleyici ve tıbbi özellikleri nedeniyle oldukça değerli bir üründür. İçerdiği fenolik asitler, flavonoidler, antosiyaninler, prosiyanidinler gibi polifenol yapısındaki biyoaktif bileşenler sayesinde antioksidan, antitümör, antibakteriyel ve anti-enflamatuar özellikler göstermektedir (Can ve diğ., 2015). Nitekim, eski Mısır ve Yunan kültürlerinden beri (Aloglu ve diğ., 2017) astım (Küçük ve diğ., 2007), gastrointestinal sistem hastalıkları, kardiyovasküler hastalıklar ile çeşitli oftalmolojik durumların tedavisinde ve yaraların iyileştirilmesinde (Kolaylı ve diğ., 2016) kullanıldığı bilinmektedir.

Balın kalitesi duyuşsal, kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik özelliklerine göre belirlenmektedir. Özellikle, balın fiziko-kimyasal özelliklerinin belirlenmesi balın kalitesi ve botanik kaynağını belirleyen sertifikasyon süreci için çok önemlidir. Bu özelliklerden bazıları; hidrosimetilfurfural içeriği, diastaz aktivitesi, nem içeriği, asitlik derecesi, indirgen ve indirgen olmayan şeker içeriği, elektrik iletkenliği (Kekeçoglu ve Rasgele, 2013) ve prolin miktarıdır. Balın coğrafi kaynağının belirlenmesi içinse gaz kromatografisi-kütle spektroskopisi

(aromatik bileşenler), elektronik burun teknolojisi (uçucu bileşenler) (Huang ve diğ., 2015; Solayman ve diğ., 2016), yüksek performanslı sıvı kromatografisi (flavonoidler, amino asitler, şekerler, fenolik asitler), yakın infrared (NIR) ve Raman spektroskopisi (kontaminasyon) gibi yöntemler kullanılmaktadır (Aloglu ve diğ., 2017). Ancak, bu yöntemler pahalı ve uzmanlık isteyen analizlerdir. Bu nedenle nisbeten daha ulaşılabilir ve ekonomik olan fizikokimyasal özelliklerin balın coğrafi olarak işaretlenmesinde bu yöntemlere ne kadar katkı sağlayabileceği üzerine araştırmalar devam etmektedir. Bu kapsamda, nem, asitlik ve pH, HMF, elektriksel iletkenlik özelliklerinin balın coğrafi kökenin tespit edilmesinde yardımcı parametreler olabileceği daha önce bazı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Fechne ve diğ., 2016; Karabagias ve diğ., 2014).

Tüm bu bilgilerden yola çıkılarak bu çalışmada, farklı yörelerimizdeki bal üreticilerden elde edilen birisi monofloral çiçek balı (kestane balı), on biri multifloral olmak üzere toplam on iki adet çiçek balının kalitesini belirleyebilmek ve TGK'ne uygunluğunun değerlendirilmesi için örneklerin şeker içeriği, ticari glikoz varlığı, nem içeriği, suda çözünmeyen katı madde miktarı, elektriksel iletkenliği, serbest asitlik derecesi, diastaz sayısı, prolin ve HMF miktarı gibi fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, bu fizikokimyasal özelliklerin balın coğrafi kökeninin belirlenmesinde kullanılıp kullanılmayacağını ön değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada çeşitli arı yetiştiricileriyle temasa geçilerek üreticilerden temin edilen farklı yörelere ait bir adedi kestane balı olmak üzere toplam on iki adet çiçek balı analizlenmiştir. Kullanılan tüm kimyasallar Sigma-Aldrich marka olup analitik saflıktadır.

2.2. Metot

2.2.1. Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Bal numunelerinin nem içeriği Abbe refraktometresinden yararlanılarak TS 13365'e göre ölçülmüştür. Ölçümler 25°C'de yapılmıştır. Sonuçlar balın su içeriği refraktif indeksle arasındaki ilişkiye göre hesaplanmış ve g/100g olarak ifade edilmiştir.

2.2.2. Elektrik İletkenliğin Ölçülmesi

Bal numunelerinin elektrik iletkenliği bir kondüktometre yardımıyla IHC (International Honey Commission-Uluslararası Bal Komisyonu)'nin önerdiği şekilde ölçülmüştür. Sonuçlar mS/cm olarak ifade edilmiştir.

2.2.3. Şeker Profilinin HPLC ile Belirlenmesi

Bal numunelerinin şeker içeriği refraktif indeks dedektörü (RID) ve Inertsil marka NH2 şeker kolonu (3 µm partikül boyutu, 25 cm x 4.6 mm) ekipmanına sahip ters faz HPLC ile AOAC 977.20'de tarif edildiği gibi belirlenmiştir. Kısaca 5 gr bal numunesi 25 ml suda çözündürüldükten sonra üzerine 25 ml asetonitril eklenerek iyice karıştırılır. Karışımlar 0.45 µm'lik filtrelerden geçirilerek viallere aktarılır. Mobil faz olarak %83 asetonitril ve %17 su karışımı kullanılarak, analiz 23 dakikalık izokratik akışla gerçekleştirilmiştir. İnjesiyon hacmi 10 µL ve toplam akış hızı 1 ml/dk'dır. Bal örneklerindeki şeker içeriğinin tanımlanması ve miktarının tayini için fruktoz (3.804 g), glikoz (3.010 g) ve sakkaroz (0.602 g) standartları ile hazırlanan şeker karışımı kullanılmıştır. Hazırlanan standart kalibrasyon grafiğine göre sonuçlar g/100 g cinsinden verilmiştir.

2.2.4. Ticari Glikoz Varlığının Tespit Edilmesi

Bal numunelerindeki ticari glikoz varlığının tespiti TS 3036'ya göre iyot metodu ile kalitatif olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.5. Hidroksimetilfurfural Miktarının HPLC ile Belirlenmesi

Bal numunelerinin HMF miktarının tayini PDA dedektörü ve Phenomenex marka C18 kolonu (5 µm partikül boyutu, 15 cm x 4.6 mm) ekipmanlı ters faz HPLC ile TS 13356'de tarif edildiği gibi belirlenmiştir. Mobil faz; % 85'lik (v/v) ve % 10'luk (v/v) ortofosforik asit çözeltileri kullanılarak pH değeri 3'e ayarlanmış disodyum hidrojenfosfat çözeltisi ve metanol (95:5, v/v) karışımını içermektedir. Akış hızı 1ml/dk, injesiyon hacmi 10 µl'dir. Çalışılan dalga boyu 284 nm'dir. İzokratik akışla 17 dakikada kromatografik ayırma sağlanmıştır. Sonuçlar HMF standardı kullanılarak hazırlanan standart kalibrasyon grafiğine göre mg/kg cinsinden hesaplanmıştır.

2.2.6. Diastaz Sayısının Belirlenmesi

Diastaz aktivitesi baldaki amilaz enzimlerinin 1 g balda 1 saat içinde parçaladığı %1'lik nişasta çözeltisinin mililitre cinsinden miktarını ifade etmektedir. Bal numunelerinin diastaz aktivitesi TS 13364'e göre 40 °C'de tayin edilmiştir. Absorpsiyon UV/VIS spektrofotometre ve bir kronometre ile takip edilmiştir.

2.2.7. Serbest Asitlik Tayini

Bal numunelerinin asitliği TS 13360'da tarif edildiği gibi titrimetrik yöntemle ve bir pH-metre yardımıyla yapılmıştır. Titrasyon 8.3 pH'de kesilmiştir. Sonuçlar meq/kg cinsinden ifade edilmiştir.

2.2.8. Prolin Tayini

Bal numunelerinin prolin miktarı AOAC 979.20'ye göre spektrofotometrik yöntemle gerçekleştirilmiş olup hesaplamalar prolin standardı kullanılarak oluşturulan kalibrasyon grafiğine göre mg/kg cinsinden hesaplanmıştır.

2.2.9. Suda Çözünmeyen Katı Madde Miktarının Belirlenmesi

Bal numunelerinin suda çözünmeyen katı madde miktarı TS 3036'ya göre gravimetrik yöntemle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar % cinsinden ifade edilmiştir.

2.2.10. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler IBM SPSS software (21.0, Chicago, IL, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler en az 3 kere tekrarlanmıştır. Sonuçlar ortalama değerler ve standart e-ISSN: 2148-2683

sapma değerleri ile birlikte verilmiştir. Farklılıklar Tukey testi ile P değeri <0.05'e göre değerlendirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Balın fizikokimyasal özellikleri için TGK Bal Tebliği'nde izin verilen referans değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre kestane balının elektrik iletkenliği ve fruktoz/glikoz oranı multifloral çiçek ballarından farklılık göstermektedir. Bu değerler eğişik gösterilmiştir.

Bal numunelerinin belirlenen fizikokimyasal özelliklerine ait sonuçlar ise Tablo 2'de gösterilmiştir. Referans değerlerinden yüksek veya düşük çıkan uygun olmayan analiz sonuçları koyu renkle gösterilmiştir.

Yüksek nem içeriği balın raf ömrünün kısılmasına, artan maya faaliyeti ile bunun sonucunda fermentasyonun başlamasına ve kristallenmenin başlamasına sebep olabilmektedir. Tablo 2'de görüldüğü gibi analiz edilen bal numunelerinin nem içerikleri % 16.4-19.9 arasında değişmekte olup TGK'de izin verilen azami değer olan %20 sınırını aşmamıştır. Nem içeriği karşılaştırıldığında tüm numuneler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu görülmektedir (p<0.05). Birbirine yakın yörelerden (Çankırı, Kastamonu ve Tokat) gönderilen örneklerin nem içeriklerinin birbirine daha yakın olduğu görülmüştür. Nitekim, Fechner ve diğ. (2016) ve Karabagias ve diğ. (2014) nem parametresinin balların coğrafi kökenlerinin belirlenmesinde kullanılabilir fizikokimyasal özelliklerden biri olduğunu bildirmiştir. Buradan yola çıkarak nem içeriğinin coğrafi kökenin belirlenmesinde kullanılabilir sonucuna varılabilmekle birlikte tek başına yeterli değildir.

Tablo 1. TGK'ye Göre Çiçek Balın Fizikokimyasal Özelliklerinin Referans Değerleri ve Atıfta Bulunulan Ulusal ve Uluslar Arası Gıda Kodeksleri

Analiz	Minimum değer	Maksimum değer	Gıda Kodeksi*
Çiçek Balı			
Rutubet (%)	-	20	TS 13365
**Elektrik İletkenliği (mS/cm)	0.8	0.8	IHC
Ticari Glikoz Varlığı	Bulunmamalı		TS3036
Sakkaroz (%)	-	5	AOAC 977.20
**Fruktoz / Glikoz	0.9 / 1	1.4 / 1.85	AOAC 977.20
Fruktoz+Glikoz (%)	60	-	AOAC 977.20
HMF (mg/kg)	-	40	TS 13356
Suda Çözünmeyen Katı Madde Miktarı (%)	-	0.1	TS 3036
Asitlik (meq/kg)	-	50	TS 13360
Diastaz Sayısı	8	-	TS 13364
Prolin (mg/kg)	300	-	AOAC 979.20

*IHC: International Honey Commission, AOAC: The Association of Official Analytical Chemists, TS: Türk Standardı

** : Üstte verilen değerler çiçek balları için, altta verilen ve eğik gösterilen değerler kestane balı içindir.

Elektriksel iletkenlik özelliğinden çiçek ve salgı ballarının birbirinden ayırt edilmesinde yararlanılmaktadır. Elektriksel iletkenlik kül, organik asitler, proteinler, iyonlar ve bazı kompleks şekerlere bağlıdır ve botanik kökene göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle unifloral balların karakterizasyonunda önemlidir. 0 ile 0.8 mS/cm arasında ölçülen elektriksel iletkenlik değeri balın çiçek nektarı ve salgı karışımı olmadığını göstermektedir (Belay ve diğ., 2013). Örneklerin elektriksel iletkenlikleri ölçüldüğünde 1 (0.91 mS/cm) ve 2 (1.05 mS/cm) numaralı bal numunelerinin en fazla izin verilen 0.8 mS/cm değerini aştıkları anlaşılmaktadır. Diğer çiçek ballarının elektriksel iletkenliklerinin ise 0.18-0.72 mS/cm aralığında değiştiği görülmektedir. Kestane ballarında bu değer en az 0.8 mS/cm olmalı iken 5 numaralı kestane balının bu değeri 1.97 mS/cm olup TGK'ye uygundur. Silici (2018) Zonguldak, Bursa ve Yalova'dan temin ettiği kestane ballarının elektriksel iletkenliğini ortalama 0.89 ± 0.36 mS/cm olarak rapor etmiştir. Örnekler kendi aralarında incelendiğinde beklendiği gibi 5 numaralı kestane balının diğer tüm ballardan istatistiksel olarak ($p < 0.05$) farklı olduğu görülmekle birlikte 10, 12 ve 8 numaralı örneklerin birbirlerine benzer oldukları söylenebilmektedir ($p > 0.05$). Ayrıca, 4 ve 11 numaralı örnekler de birbirine benzerdir ($p > 0.05$).

Örnekler ticari glikoz varlığı açısından incelendiğinde sevindirici olarak hiçbir bal numunesinde ticari glikoz tespit edilmemiştir. Bala ticari glikoz veya nişasta katılarak yapılan tağşiş balın besin değerini düşürdüğü gibi insan sağlığını da tehlikeye sokmaktadır (Karadal, 2012). Bu nedenle, balın şeker içeriğinin belirlenmesi uluslararası gıda kodekslerinde (TSE, IHC, CEU vs.) tanımlanan balın saflık kriterlerinden birisidir (Can ve diğ., 2015). Balın indirgen ve ingirgen olmayan şeker içeriği araştırıldığında, numunelerin sakkaroz miktarı %0-2.88 arasında değişmekte olup izin verilen üst sınır değeri olan %5 aşılmamıştır. Sakkaroz miktarının yüksek olması arıların arı yetiştiricileri tarafından fazlaca şekerle beslendiği veya balın erken hasat edildiği anlamına gelebilmektedir. Fruktozun glikoza oranı ise 1.20-1.49 arasında değişmiştir. Çiçek balları için bu oran en fazla 1.4 olabilirken kestane balı için en fazla 1.85 olabilmektedir. Yalnız 8 numaralı numunede bu değer 1.43 olarak tespit edilmiştir. Glikozun suda çözünürlüğü fruktozdan daha az olduğu için fruktoz/glikoz oranından balın kristalizasyonunu değerlendirmede yararlanılmaktadır ve bu oran daha çok nektarın kaynağına bağlıdır (Habib ve diğ., 2014). Nitekim, kestane balının kolay kristallenmediği bilinmektedir (Kolaylı ve diğ., 2016). Glikoz ve fruktoz toplamına oransal olarak bakıldığında ise en az %60 olması gerekli olan bu değer 2 ve 3 numaralı çiçek ballarında sırasıyla %56.31 ve %59.58'de kaldığı görülmektedir. İstatistiksel olarak 5 numaralı kestane balının fruktoz/glikoz oranlarının diğer tüm numunelerden farklı olduğu anlaşılmaktadır.

Balın fermente veya kristalize olmasını engellemek için bala ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Uygulanan bu işlemin çok yüksek sıcaklıklarda yapılması ve/veya balın uygun olmayan koşullarda uzun süre muhafaza edilmesi sonucu HMF oluşumu kaçınılmazdır. HMF, ısıtma işlemi sonucu indirgen şekerlerle aminoasitler arasında oluşan Maillard reaksiyonu sonucu oluşan bir ara üründür ve gıdalarda oluşumu istenmemektedir. Balda yüksek miktarda HMF oluşumu, renkte esmerleşme, tat ve koku değişimi ile besleyici özelliklerinde azalmayı göstermektedir. HMF değerinin çok yüksek çıkması ise bala invert şeker katılarak tağşiş yapıldığının göstergesidir. Normal koşullarda taze balda

HMF bulunmamaktadır. Tablo 2'ye göre bal numunelerinin HMF içeriği < 0.1 ile 1.22 mg/kg arasında değişmektedir ki bu değer TGK'de izin verilen 40 mg/kg değerinin çok altındadır. HMF oluşumunun tespit edilmesi, diastaz aktivitesi ile birlikte balın tazeliği hakkında bilgi vermektedir (Küçük ve diğ., 2007). Tüm örneklerin HMF içerikleri oldukça düşük çıkmıştır. Ayrıca, literatürde HMF içeriği genellikle spektrofotometrik yöntemlerle tespit edilmektedir. Bu çalışmada daha hassas sonuç elde edilmesi açısından kromatografik yöntem tercih edilmiştir.

Bal az miktarda enzimler içermektedir ve bu enzimler bala bal arılarının salgılarından geçmektedir. Bu enzimlerden birisi olan diastaz enzimi alfa ve beta amilaz enzimlerini kapsamaktadır (Küçük ve diğ., 2007). Diastaz aktivitesi balın yüksek ısıtma işlemi veya uygun olmayan muhafaza koşullarına maruz bırakılıp bırakılmadığının anlaşılmasında bir göstergedir (Silva, Videira, Monteiro, Valentão, & Andrade, 2009) çünkü bu enzim miktarı ısıtma işlemi uygulaması veya uygun olmayan muhafaza koşullarında azalmaktadır. Tablo 2'ye göre bal numunelerinin diastaz sayısı $9.0-25.4$ arasında değişmektedir ve TGK'de belirtilen en az 8 olmalı koşuluna uygundur. Turgay (2009) Kahramanmaraş yöresinden temin ettiği farklı bal numunelerinin diastaz aktivitesini $8.0-17.6$ arasında bulmuştur. Diastaz aktivitesi açısından numuneler istatistiksel olarak karşılaştırıldığında 7 numaralı ve 9 numaralı örnekler birbirlerinden farklıdır ($p < 0.05$). Diğer örnekler arasında benzerlikler bulunmaktadır.

Bal her ne kadar şekerce zengin tatlı bir gıda ürünü olsa da asidik (pH $3.5-5.5$) karakteri nedeniyle aşırı tatlı bir lezzet vermemektedir (Karadal, 2012). Balın asiditesi organik asitlerin özellikle glukonik asit, laktonları veya esterleri ile fosfat ve klorür gibi inorganik iyonların varlığından kaynaklanmaktadır. Ancak, asitliğin yükselmesi balda başlayan fermentasyonun göstergesi olabilmektedir. Ayrıca, unifloral balların otantifikasyonu ve nektar ballarının salgı ballarından ayırt edilmesine yardımcıdır (Belay ve diğ., 2013). TGK'ye göre balın asitliği en fazla 50 meq/kg olabilmektedir. Tablo 2'ye göre bal numunelerinin bu değeri aşmadığı ve $18.1-39.6$ meq/kg aralığında kaldığı anlaşılmaktadır. Bal örnekleri istatistiksel olarak kıyaslandığında 1 ve 3 numaralı Tekirdağ yöresinden elde edilen balların asitliğinin diğerlerinden farklı olduğu, diğer ballar arasında benzerlikler olduğu görülmüştür.

Balda 20 adet aminoasit bulunmaktadır. Bunların içinde prolin dominant olarak bulunan aminoasittir ve sahte balda hemen hemen hiç bulunmamaktadır. Bu nedenle balın prolin miktarının yüksek olması istenmektedir (Can ve diğ., 2015). Bal numunelerinin prolin miktarı $271.0-928.2$ mg/kg arasında değişmektedir. TGK'ye göre balda olması gereken minimum miktar 300 mg/kg iken 10 numaralı balın prolin miktarı 271.0 mg/kg'de kalmıştır ve oldukça düşüktür. Bunun dışındaki tüm bal numunelerinin sonucu uygun bulunmuştur. Erez ve diğ. (2015) Siirt-Pervari yöresinden elde ettikleri çiçek ballarının prolin miktarını $192-234$ mg/kg olarak rapor etmişlerdir. Bununla birlikte istatistiksel olarak 10 ve 11 numaralı örneklerin diğerlerinden ve birbirlerinden farklı olduğu ($p < 0.05$), diğerleri arasında benzerlikler olduğu söylenebilmektedir.

Balda bulunabilecek suda çözünmeyen katı madde ise mum, polen, bal peteği kalıntıları ve kirlilik göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Belay ve diğ., 2013). Bu nedenle suda çözünmeyen katı madde tayini baldaki safsızlıkları göstermektedir ve tüm bal numuneleri için < 0.1 'in altında kalmıştır, aynı zamanda TGK'ye uygundur. Ayrıca istatistiksel olarak örnekler arasında fark olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$).

Tablo 2. Balın Fizikokimyasal Özellikleri.

	Bal Tipi	Balın Orijini	Nem (%)	Elektrik İletkenliği mS/cm	Sakkaroz (%)	Fruktoz/ Glikoz	Fruktoz+ Glikoz (%)	HMF (mg/kg)	Suda Çözünmeyen Katı Madde (%)	Asitlik (meq/kg)	Diastaz Sayısı	Prolin (mg/kg)
1	Çiçek	Tekirdağ	18.2 ±0.1 ^C	0.91 ±0.00 _C	TE*	1.25 ±0.06 ^{BC}	71.33 ±2.98 _{ABCD}	< 0.1 ^{BC}	0.02 ±0.01 ^{AB}	39.6 ±2.9 ^A	13.9 ±1.1 ^{DEF}	774.0 ±50.4 ^B
2	Çiçek	Kocaeli	19.6 ±0.1 ^B	1.05 ±0.00 ^B	0.18 ±0.00	1.37 ±0.10 _{ABC}	56.31 ±2.59 ^E	1.22 ±0.00 ^{AB}	0.03 ±0.02 ^{AB}	30.8 ±0.3 ^{BC}	17.1 ±0.6 ^C	621.3 ±28.5 ^{CDE}
3	Çiçek	Tekirdağ	19.9 ±0.1 ^A	0.72 ±0.00 ^D	TE	1.37 ±0.13 _{ABC}	59.58 ±1.49 ^{DE}	< 0.1 ^C	0.03 ±0.01 ^{AB}	34.9 ±0.5 ^{AB}	16.1 ±0.3 ^{CD}	552 ±29.9 ^{DEF}
4	Çiçek	Çankırı	16.5 ±0.0 ^F	0.32 ±0.00 ^F	0.25 ±0.00	1.27 ±0.10 ^{BC}	65.32 ±1.23 ^{CDE}	0.59 ±0.01 _{ABC}	0.02 ±0.01 ^{AB}	23.3 ±0.3 _{DEF}	14.4 ±0.7 ^{DE}	629.7 ±15.6 ^{CD}
5	Kestane	Kocaeli	18.2 ±0.0 ^C	1.97 ±0.01 _A	0.44 ±0.00	1.49 ±0.05 ^A	78.58 ±3.23 ^{AB}	< 0.1 ^C	0.01 ±0.00 ^B	18.1 ±0.8 ^F	20.3 ±1.6 ^B	711 ±37.2 ^{BC}
6	Çiçek	Erzincan	15.3 ±0.2 ^G	0.22 ±0.00 _H	1.38 ±0.00	1.20 ±0.03 ^C	81.61 ±2.78 ^A	0.65 ±0.47 _{ABC}	0.03 ±0.00 ^{AB}	21.7 ±0.3 ^{EF}	14.9 ±1.0 _{CDE}	648.2 ±14.1 ^{BCD}
7	Çiçek	Tokat	16.3 ±0.1 ^F	0.39 ±0.00 ^E	TE	1.28 ±0.03 ^{BC}	72.42 ±1.22 ^{ABC}	< 0.1 ^C	0.02 ±0.00 ^B	28.3 ±1.7 ^{CD}	25.4 ±0.9 ^A	715 ±13.2 ^{BC}
8	Çiçek	Tunceli	13.9 ±0.0 ^H	0.18 ±0.00 ^I	3.43 ±1.07	1.43 ±0.11 ^{AB}	77.64 ±4.83 ^{AB}	0.19 ±0.01 _{ABC}	0.02 ±0.01 ^{AB}	18.0 ±2.6 ^F	13.1 ±0.7 ^{EF}	434.8 ±25.4 ^F
9	Çiçek	Gümüşhane-Kelkit	17.8 ±0.0 ^D	0.26 ±0.01 _G	1.36 ±0.00	1.19 ±0.05 ^C	72.51 ±1.93 ^{ABC}	0.95 ±0.00 ^A	0.01 ±0.01 ^B	27.7 ±2.4 ^{CD}	9.0 ±0.0 ^H	681.4 ±33.6 ^{BCD}
10	Çiçek	Tokat	19.3 ±0.3 ^B	0.18 ±0.00 ^I	2.52 ±0.30	1.26 ±0.02 ^{BC}	67.58 ±4.87 ^{BCDE}	0.52 ±0.01 _{ABC}	0.02 ±0.01 ^{AB}	21.2 ±1.6 ^{EF}	11.6 ±0.9 ^{FG}	271 ±12.8 ^G
11	Çiçek	Erzurum	17.3 ±0.1 ^E	0.31 ±0.00 ^F	0.46 ±0.00	1.33 ±0.00 _{ABC}	67.81 ±9.15 ^{BCDE}	< 0.1 ^C	0.03 ±0.01 ^{AB}	22.9 ±0.5 _{DEF}	21.6 ±0.2 ^B	928.2 ±35.1 ^A
12	Çiçek	Kastamonu	16.4 ±0.2 ^F	0.18 ±0.00 ^I	2.88 ±0.37	1.20 ±0.01 ^C	69.19 ±1.10 ^{BCD}	0.57 ±0.01 _{ABC}	0.06 ±0.05 ^A	25.9 ±4.1 _{CDE}	10.1 ±1.3 ^{GH}	485.1 ±45.4 ^{EF}

*TE: Tespit Edilmedi

4. Sonuç

Sonuç olarak balın fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi balın kalitesi ve botanik kökeninin belirlenmesinde gerekli bir araçtır. TKG Bal Tebliğinde izin verilen değerler dikkate alındığında 12 adet çiçek bal numunesinden ikisinin elektrik iletkenliğinin yüksek olduğu, ikisinin glikoz ve fruktoz toplamının düşük olduğu, birinin fruktoz/glikoz oranının yüksek olduğu, birinin ise prolin miktarının düşük olduğu görülmüştür. Sadece 2 numaralı bal numunesinin iki parametreye birden uygun olmadığı, elektriksel iletkenliğinin yüksek ve glikoz+fruktoz toplamının düşük olduğu belirlenmiştir. Geriye kalan yedi adet bal numunesinin fizikokimyasal özellikleri uygun bulunmuştur. Diğer taraftan, söz konusu fizikokimyasal özelliklerinden nem parametresinin balın coğrafi kökeninin belirlenmesinde kullanılabileceği öngörülmüş ancak bu çalışmada ispatlanamayan fakat literatüre göre mümkün olduğu görülen asitlik, HMF ve elektrik iletkenliği özellikleri için coğrafi bölgeler bazında çok sayıda numune ile çalışılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

AOAC (979.20). Official Methods of Analysis. Proline in honey.
AOAC (977.20). Official Methods of Analysis. Separation of sugars in honey.
Aoglu, A. K., Harrington, P. de B., Sahin, S., Demir, C., & Gunes, M. E. (2017). Chemical profiling of floral and chestnut honey using high-performance liquid chromatography-ultraviolet detection. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 205–210. Doi:10.1016/j.jfca.2017.06.002
Belay, A., Solomon, W. K., Bultossa, G., Adgaba, N., & Melaku, S. (2013). Physicochemical properties of the Harena forest honey, Bale, Ethiopia. *Food Chemistry*, 141(4), 3386–3392. Doi:10.1016/j.foodchem.2013.06.035
Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., Akyuz Turumtay, E., Silici, S., & Kolayli, S. (2015). An investigation of Turkish honeys: Their physico-chemical properties, antioxidant capacities and phenolic profiles. *Food Chemistry*, 180, 133–141. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.02.024
Erez, M., Karabacak, O., Kayci, L., Fidan, M., Kaya, Y. (2015). Characterization of Multifloral Honeys of Pervari Region with Different Properties. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2 (1), 40-46. DOI: 10.19159/tutad.20031
Fechner, D. C., Moresi, A. L., Díaz, J. D. R., Pellerano, R. G., & Vazquez, F. A. (2016). Multivariate classification of honeys from Corrientes (Argentina) according to geographical origin based on physicochemical properties. *Food Bioscience*, 15, 49-54. Doi: 10.1016/j.fbio.2016.05.002
Habib, H. M., Al Meqbali, F. T., Kamal, H., Souka, U. D., & Ibrahim, W. H. (2014). Physicochemical and biochemical properties of honeys from arid regions. *Food Chemistry*, 153, 35-43. Doi: 10.1016/j.foodchem.2013.12.048
Huang, L., Liu, H., Zhang, B., & Wu, D. (n.d.). Application of Electronic Nose with Multivariate Analysis and Sensor

Selection for Botanical Origin Identification and Quality Determination of Honey. Doi:10.1007/s11947-014-1407-6
Karabagias, I. K., Badeka, A., Kontakos, S., Karabournioti, S., & Kontominas, M. G. (2014). Characterisation and classification of Greek pine honeys according to their geographical origin based on volatiles, physicochemical parameters and chemometrics. *Food Chemistry*, 146, 548-557. Doi: 10.1016/j.foodchem.2013.09.105
Karadal, F. (2012). Balın Kalite Nitelikleri, Beslenme ve Sağlık Açısından Önemi. *Erciyes Univ J Vet Fac Derg*, 9(3), 197-209.
Kekecoglu, M., & Rasgele, P.G. (2013). Physico-chemical analyses of Turkish honey samples: The assessment of quality of branded honeys available in the supermarkets and unbranded honeys from beekeepers. *Agro FOOD Industry Hi Tech - January/February*, 24(1), 38-41.
Kolayli, S., Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., & Karaoglu, S. A. (2016). A comparative study of the antihyaluronidase, antiurease, antioxidant, antimicrobial and physicochemical properties of different unifloral degrees of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) honeys. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 31(sup3), 96–104. Doi:10.1080/14756366.2016.1209494
Küçük, M., Kolayli, S., Karaoglu, Ş., Ulusoy, E., Baltacı, C., & Candan, F. (2007). Biological activities and chemical composition of three honeys of different types from Anatolia. *Food Chemistry*, 100(2), 526–534. Doi:10.1016/j.foodchem.2005.10.010
Silici, S. (2018). Antioxidant And Physicochemical Properties of Chestnut Honeys From Turkey. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology*, 27(2), 104-114. Doi: 10.1501/commuc_0000000204
Silva, L. R., Videira, R., Monteiro, A. P., Valentão, P., & Andrade, P. B. (2009). Honey from Luso region (Portugal): Physicochemical characteristics and mineral contents. *Microchemical Journal*, 93(1), 73–77. Doi:10.1016/j.microc.2009.05.005
Solayman, M., Islam, M. A., Paul, S., Ali, Y., Khalil, M. I., Alam, N., & Gan, S. H. (2016). Physicochemical Properties, Minerals, Trace Elements, and Heavy Metals in Honey of Different Origins: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 219–233. Doi:10.1111/1541-4337.12182
Türk Gıda Kodeksi (2020). Bal Tebliği 2020/7.
TS 13365 (2008). Bal-Su muhtevası tayini - Refraktometrik metot.
TS 3036 (2010). Bal.
TS 13360 (2008). Bal-Serbest asit muhtevasının tayini.
TS 13364 (2008). Bal-Diastaz aktivitesi tayini.
Turgay, Ö. (2009). Characteristic Properties of Kahramanmaraş Honey Samples. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 12(2), 21-25. Alınmıştır:
<https://dergipark.org.tr/en/pub/ksudobil/issue/33395/371577>



Antalya Çukuryayla Merasının Vejetasyon Özellikleri ve Otlatma Kapasitesinin Belirlenmesi

Ahmet Alper Babalık^{1*}, Farhat Matrasulov²

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9365-1088)

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7762-4688)

(İlk Geliş Tarihi 16 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 13 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.781335)

ATIF/REFERENCE: Babalık, A.A. & Matrasulov, F. (2020). Antalya Çukuryayla Merasının Vejetasyon Özellikleri ve Otlatma Kapasitesinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 327-333.

Öz

Bu çalışma, Antalya ili Kemer ilçesi sınırları içerisinde bulunan Tahtalı Dağı'nın eteklerinde yer alan, ortalama 1630 metre yükseltiye sahip Çukuryayla merasında, 2019 yılı vejetasyon periyodunda yapılmıştır. Çalışmada doğal bir meranın vejetasyon özellikleri ve otlatma kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma alanında toğrağın bitki ile kaplanma durumu, topraküstü biyokütle, toprakaltı biyokütle, botanik kompozisyon, mera durumu, otlatma kapasitesi ve bazı toprak özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanında vejetasyon yapısı incelenmiş olup, 23 familyaya ait 82 adet bitki taksonu tespit edilmiştir. Çalışma sahasındaki bitkilerin toprağı kaplama oranı %50.4 olarak belirlenmiştir. Botanik kompozisyonun %54.92'si buğdaygillerden, %30.22'si diğer familyalardan ve %14.86'sı baklagillerden oluşmaktadır. Merada topraküstü biyokütle miktarı 309.0 kg/da, toprakaltı biyokütle miktarı ise 399.0 kg/da olarak saptanmıştır. Mera durumu orta olarak bulunmuştur. Otlatma kapasitesi 179 BBHB olarak hesaplanmıştır. Araştırma sahası topraklarının tekstür sınıfı killi toprak olarak bulunmuştur. Toprakların ortalama hacim ağırlığı 1.217 gr/cm³, tuzluluk miktarı 0.305 dS/m, pH miktarı 7.82, kireç miktarı %1.23, organik madde miktarı %2.56 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Ca, K, Mg ve P miktarları sırasıyla 10041.8 ppm, 281.6 ppm, 1211.2 ppm ve 6.3 ppm olarak bulunmuştur. Araştırma sonucunda, meranın yoğun otlatma baskısı altında olduğu ve sahadaki vejetasyonun da tahrip edildiğı belirlenmiştir. Bu durum mera alanının uygun ıslah yöntemleri ile ıslah edilerek iyileştirilmesi ve otlatma baskısının da azaltılarak kaliteli bitki örtüsünün artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çukuryayla merası, Biyokütle, Botanik kompozisyon, Otlatma kapasitesi, Antalya.

Determination of Vegetation Characteristics and Grazing Capacity of Çukuryayla Pasture in Antalya

Abstract

This research was carried out during the vegetation period of 2019 in the Çukuryayla Pasture, with an average elevation of 1630 meters, located in the Tahtalı Mountain, located within the borders of Kemer district of Antalya province. In this study, it was aimed to determine the vegetation characteristics and grazing capacity of a natural pasture. In the research area, plant-covered area, aboveground biomass, belowground biomass, botanical composition, pasture condition, grazing capacity and some soil properties were investigated. In the study area, the vegetation structure was examined and 82 taxa belonging to 23 families were determined. The plant-covered area of the study area was determined as 50.4%. The botanical composition of the pasture area consists of 54.92% Poaceae, 14.86% Fabaceae, and 30.22% other families. The amount of aboveground biomass in the pasture was determined as 309.0 kg/da and the amount of belowground biomass was 399.0 kg/da. Pasture condition was found to be moderate. Grazing capacity was calculated as 179 animal units. The texture class of the research area soils was determined as clay soil. The average bulk density of the soils was 1.217 g/cm³, salinity was 0.305 dS/m, pH was 7.82, lime was 1.23%, and organic matter was 2.56%. In addition, Ca, K, Mg and P amounts were found as 10041.8 ppm, 281.6 ppm, 1211.2 ppm and 6.3 ppm, respectively. As a result of the research, it was determined that the pasture was under intense grazing pressure and the vegetation on the field was also destroyed. This situation reveals that the pasture area should be improved by with appropriate rehabilitation methods and the quality of vegetation should be increased by reducing the grazing intensity.

Keywords: Çukuryayla pasture, Biomass, Botanical composition, Grazing capacity, Antalya.

* Sorumlu Yazar: Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9365-1088, alperbabalik@isparta.edu.tr

1. Giriş

Mera alanları, yeryüzünde hayvan olatmak suretiyle değerlendirilen ve genellikle otsu bitkilerin hakim olduğu doğal ya da yapay olatma alanlarıdır (Tiedeman ve Motsamail, 1981). Meralar, esas olarak hayvansal üretim sağlamakla birlikte; toprağı koruyarak, su ve rüzgar erozyonunu da önlemekte, böylece sürdürülebilir bir çevrenin korunmasında en önemli unsuru oluşturmaktadır. Ülkemizdeki mera alanları 1940'larda 44 milyon ha civarında iken, geçen süreç içerisinde, sürekli azalarak 1980'li yıllarda 21.7 milyon ha'a kadar düşmüştür (Altın vd., 2011). 2000'li yıllara gelindiğinde yaklaşık olarak 3/4 oranında azalmıştır. Günümüzde ise mera alanı 14.6 milyon ha'dır (TÜİK, 2018). Bu zaman aralığında, bir BBHB'ne düşen mera alanı 4.45 ha olup, günümüzde ise 0.85 ha'a gerilemiştir (Gökhan, 2003). Son yıllarda yapılan çalışmalara göre, ülkemizde üretilen toplam yem miktarı yıllık 53.7 milyon ton olup, bu üretimin 11.7 milyon tonu çayır ve meralardan, 42.0 milyon tonu yem bitkileri ekili alanlardan temin edilmektedir. Ülkemizde mevcut hayvan varlığını besleyecek kaliteli kaba yem ihtiyacımız ise yıllık 83.9 milyon tondur. Buna göre kaliteli kaba yem açığımız yaklaşık 30 milyon tondur (Özkan ve Demirbağ, 2016).

Mera alanları, sürdürülebilir hayvansal üretim sağlayan en önemli ekosistemlerden biri olup, aynı zamanda özellikle otsu bitkiler için biyolojik çeşitlilik ve gen kaynağı oluşturmaktadırlar (Dumlu, 2010). Türkiye bitki tür çeşitliliği açısından çoğu Avrupa ülkesinden daha zengin bir floraya sahiptir. Avrupa kıtasında yaklaşık 12.000 takson ve 2.750 endemik bitki taksonu bulunurken, çok daha küçük bir alana sahip olan Türkiye'de 11.000'in üzerinde bitki taksonu yer almakta olup, bu taksonlardan 3.649 tanesi de endemiktir (Aksakal ve Kaya, 2005). Antalya florası da oldukça zengin bir yapıya sahip olup endemizm bakımından dikkat çekici alanlar olduğu bilinmektedir (Fener, 2018). Antalya ilinde yayılış gösteren endemik bitki taksonlarının 250'ye yakını Antalya endemiği olarak bilinmektedir (Deniz ve Aykurt, 2014).

Ülkemiz meralarının kapasitelerinin üzerinde aşırı olatılması nedeniyle bitki örtülerinin büyük bir kısmı klimaks vejetasyondan uzaklaşmış durumdadır (Sönmeyen, 2019). Kontrolsüz, erken ve aşırı olatma mera alanlarının tahribine sebep olurken, meraların durumlarının belirlenmesi ve uygulanabilecek ıslah yöntemlerinin saptanması konusunda da yapılmış kapsamlı çalışmalar oldukça azdır (Gökkuş vd., 1995;

Tosun, 1996). Klimaks bitki örtülerini büyük ölçüde kaybeden meraların, verimli ve kaliteli yem üretim kapasitelerine yeniden gelebilmeleri için bu alanların acil olarak ıslah edilmeleri sağlanmalıdır (Uzun vd., 2009). Herhangi bir merada uygulanacak ıslah ve amenajman çalışmalarına başlamadan önce o yerin toprak ve vejetasyon yapısı ile vejetasyonun çeşitli kalitatif ve kantitatif özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi ise, ancak vejetasyon üzerinde uygulanan çeşitli etüt ve ölçme yöntemleri ile laboratuvar yöntemleri sonucunda ortaya konulur. Bu yöntemler sayesinde bir merada uygulanan ıslah ve amenajman yöntemlerinin bitki örtüsü üzerindeki etkileri de kolayca incelenmiş olur (Okatan, 1987).

Antalya yöresi meralarının kullanımında da ülkemizin birçok yöresindeki meralarda olduğu gibi, herhangi bir amenajman ilkesine uyulmamaktadır. Bu sebepten dolayı bozulan mera alanlarının tekrar verimli haline dönüştürülmesi, mevcut alanların ıslahında, bitki örtüsü ile onu etkileyen toprak, topografya ve diğer çevre koşullarının araştırılması ve bunlar arasındaki ilişkilerin de bilinmesi gerekmektedir. Araştırma alanı Antalya ili Kemer ilçesi Çukuryayla merası ile ilgili vejetasyon açısından daha önceden yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Yaklaşık 1500-1800 m rakıma sahip olan Toros Dağlarındaki Çukuryayla merasında yıllardır süre gelen yaylacılık sistemi uygulanmaktadır. Meranın vejetasyon durumunun, yem bitkileri potansiyelinin, bitki tür çeşitliliğinin ve olatma kapasitesinin ortaya konulması açısından, araştırma kapsamında bitkilerin yayılışını etkileyen ve flora özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayan topoğrafya, iklim, toprak ve vejetasyon özellikleri araştırılmıştır. Araştırmanın temeli floristik kompozisyonun, meranın topraküstü ve toprakaltı biyokütle miktarlarının, erozyon açısından son derece önem arz eden bitki ile kaplı alan durumunun ve olatma kapasitesinin belirlenmesine dayanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Antalya ili Kemer ilçesi Yayla Kuzdere sınırları içerisinde yer alan, 1630 metre ortalama rakıma ve batı genel bakışına sahip olan, 313 hektar büyüklüğündeki Tahtalı Dağı Çukuryayla Merası araştırma materyali olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Araştırma sahası il merkezine 47 km mesafede bulunmaktadır. Mera alanının koordinatları 36°32'54.2"N 30°24'36.9"E olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Çukuryayla merasının konumu

Çalışma, 2019 yılı vejetasyon dönemi içerisinde yürütülmüştür. Türlerin ülkemizde yayılışlarının daha kolay izlenebilmesi için Davis (1964-1985)'in önerdiği Grid sistemine göre, araştırma alanı C3 karesi içerisinde yer almaktadır. Antalya havzası oldukça farklı iklim, toprak ve topoğrafya şartlarına sahip olduğundan bitki örtüsünde de çeşitlilik görülmektedir.

Araştırma sahasının iklim durumunu belirlemek amacıyla bölgeye en yakın konuma sahip olan, Kemer ilçesi Ovacık köyü

meteoroloji istasyonu verilerinden yararlanılmıştır. Veriler Antalya Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (DMİ, 2020). Araştırmanın yürütüldüğü 2019 yılı ve uzun yıllar ortalamasına (UYO) ait bitki gelişimine en çok etki yapan iklim faktörlerinden aylık yağış toplamı, ortalama sıcaklık ve ortalama nispi nem değerleri Tablo 1'de verilmiştir (DMİ, 2020).

Tablo 1. Çalışma alanının 2019 yılı ve uzun yıllar ortalamasına ait bazı iklim verileri

Yıl/ Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam/ Ortalama
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)													
2019	2.8	4.8	7.3	9.8	16.9	20.8	23.3	24.5	20.5	17.0	11.8	6.4	13.8
UYO	4.1	5.65	8.1	12.4	17.15	19.95	23.45	23.2	20.8	15.6	10.5	6.1	13.9
Aylık Toplam Yağış (mm)													
2019	529.2	230.9	70.3	61.7	10.8	59.8	2.8	4.6	6.9	32.2	308.3	232.0	1546.7
UYO	311.6	185.5	65.7	32.2	19.5	65.6	39.8	7.8	6.9	30.9	136.6	414.1	1316.5
Aylık Ortalama Nispi Nem (%)													
2019	84.5	77.2	71.6	69.7	57.4	60.0	49.6	46.8	56.6	61.6	71.0	75.5	65.4
UYO	77.9	79.4	73.5	58.6	58.6	64.8	52.4	54.6	53.0	55.5	68.9	78.2	64.6

Araştırma alanının UYO toplam yağış miktarı 1316.5 mm iken, çalışmanın yürütüldüğü yıldaki toplam yağış miktarı 1546.7 mm ile UYO toplamından daha fazla bulunmuştur. 2019 yılında en az yağış 2.8 mm ile Temmuz ayında belirlenirken, en fazla yağış 529.2 mm ile Ocak ayında tespit edilmiştir. Araştırma alanı uzun yıllar ortalaması sıcaklık değeri 13.9 °C olup, 2019 yılında ortalama sıcaklık 13.8 °C olarak bulunmuştur. En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos ayları olup, Ocak ve Şubat ayları ise en soğuk aylar olarak belirlenmiştir. Araştırma alanı UYO nispi nem miktarı %64.6 olup, 2019 yılında toplam nispi nem miktarı %65.4 olarak daha yüksek bulunmuştur (Tablo 1).

2.2. Metot

Çalışmada mera vejetasyonunun kantitatif özelliklerini belirlemek amacıyla transekt ve kuadrat yöntemlerinden (Genç Lermi vd., 2016; Gökbülak, 2013) faydalanılmıştır. Mera alanının bitki ile kaplı alan ve botanik kompozisyon oranını belirlemek için, ülkemizde vejetasyon ölçüm çalışmaları yürüten Altın ve Tuna (1991), Gökkuş ve Koç (1996), Bakoğlu ve Koç (2002), Altın vd., (2007), Gür (2008), Babalık (2008) gibi araştırmacılar tarafından da tercih edilen transekt yönteminden yararlanılmıştır. Mera vejetasyonunun özelliklerini saptamak amacıyla mera alanında 5 adet ana transekt hattı belirlenmiş, her hatta 10 transekt ünitesi olacak şekilde vejetasyon ölçümleri yapılmıştır. Topraküstü biyokütle ve toprakaltı biyokütle miktarlarının tespitine ise Babalık (2008) ve Gökbülak (2013) gibi araştırmacılar tarafından da tercih edilen kuadrat yöntemi kullanılmıştır. Bunun için 1x1 m²'lik kuadrlardan yararlanılmıştır. Her transekt hattında rastgele 5'er adet, toplamda 25 adet 1 m²'lik alanlarda biyokütle ölçümleri yürütülmüştür. Ayrıca araştırmada meranın otlatma kapasitesi ve mera durumu da belirlenmiştir. Vejetasyon ölçümleri, 2019 yılı vejetasyon periyodu içerisinde Haziran ve Ekim aylarında yaz ve güz dönemi ölçümleri olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanının genel toprak yapısını incelemek amacıyla, meranın değişik kesimlerinden rastgele örnekleme ile araziye kapsayacak şekilde 0-20 cm derinlik kademesinden 25 adet toprak örneği alınmış ve laboratuvar ortamında bu örneklerin; tekstür sınıfı, organik madde miktarı, pH değerleri, tuzluluk oranları, hacim ağırlıkları, kireç miktarı, dispersiyon oranı ve bitkilerin bazı besin elementleri tayin edilmiştir.

Mera alanındaki ölçümler ve laboratuvarında yapılan analizlerle ortaya çıkan verilerin değerlendirilmesinde istatistik yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu analizler yapılırken, verilerin normal dağılımlı olup olmadığı "Kolmogorov-Smirnov testi" ile belirlenmiştir. Varyansların homojenliğinin belirlenmesinde ise "Levene testi" nden yararlanılmıştır. Vejetasyon özelliklerinin Haziran ve Ekim aylarındaki ölçümlerde gösterdikleri farklılıkların istatistiksel anlamda önemli olup olmadığı ise "Bağımsız örnekleme t-testi" ile değerlendirilmiştir. Verileri değerlendirmede SPSS 20.0 paket programı kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Mera alanının genel toprak yapısını ortaya koymak için Çukuryayla merasından alınan toprak örneklerinin analizleri sonucu, meradaki toprağın killi toprak tekstür sınıfına girdiği belirlenmiştir. Topraktaki kireç miktarının %1.23 ile kireçsiz, organik madde miktarının ise %2.56 ile orta olduğu analizler sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışılan meradaki toprağın pH'sı 7.82 ile hafif alkalın, elektriksel iletkenliği 0.305 dS/m ile tuzsuz toprak olarak bulunmuştur. Mera toprağının ortalama hacim ağırlığı değeri 1.217 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Mera toprağının makro besin elementlerinden magnezyum değerlerinin çok yüksek, potasyum ve kalsiyum değerinin yüksek, fosfor değerinin ise düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte dispersiyon oranı %62.14 olarak bulunmuş ve mera

toprağının erozyona duyarlı olduğu ortaya konulmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Çukuryayla merasının toprak analiz sonuçları

Analiz Adı	Sonuçlar	Değerlendirme
Tekstür (%)	27-23-50	Killi
EC (dS/m)	0.305	Tuzsuz
pH	7.82	Hafif Alkalin
Kireç (%)	1.23	Kireçsiz
Organik Madde (%)	2.56	Orta
Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	1.217	Normal
P (ppm)	6.33	Düşük
Ca (ppm)	10041.82	Yüksek
K (ppm)	281.60	Yüksek
Mg (ppm)	1211.23	Çok Yüksek
Dispersiyon Oranı (%)	62.14	Erozyona Duyarlı

Bitkiyle kaplı alan (BKA) değerleri Haziran ayında %54.44, Ekim ayında ise %46.40 olarak tespit edilmiştir. Ortalama bitki ile kaplı alan değeri ise %50.42 olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda mera alanında BKA değeri %30'un üzerinde olduğu için (%50.42) bitki örtüsünün toprağı yeterince örttüğünü ve erozyona karşı direncinin yüksek seviyede olduğunu söylemek mümkündür. BKA bakımından mera alanında yapılan yaz ve güz dönemi ölçümleri arasında ($t=7.032$) %99.9 güven düzeyinde önemli fark tespit edilmiştir. Ülkemizin farklı yörelerinde bitki ile kaplı alan üzerine yapılmış olan çalışmalara göre bitki ile kaplı alan yüzdeleri; Ankara ili Ayaş ilçesinde %14.5 (Kendir, 1999), Bayburt ili Çiğdemlik köyünde %31.5 (Erkovan, 2000), Mersin ili Tarsus ilçesi Oluk Koyak köyünde %47.7 (Türker, 2006), Isparta ili Davraz dağı Kozagaç yaylasında %23.1 (Babalık, 2007) ve Bingöl ili Yedisu ilçesinde %85.8 (Ağın ve Kökten, 2013) olarak bulunmuştur. Araştırma bulguları ile yapılan çalışmalar kıyaslandığında BKA değerleri bazı çalışmalardan daha yüksek çıkarken, bazılarında ise düşük bulunmuştur. Bitki ile kaplı alan değerleri arasında farklılıklar çıkmasında, merada yapılan otlatmanın yoğunluğu ile birlikte, topoğrafik faktörler ve iklim faktörlerinin de etkili olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanındaki bitkiler üç grup halinde (buğdaygiller familyası, baklagiller familyası ve diğer familyalar) incelenerek BKA'ya göre botanik kompozisyondaki oranları belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Mera alanının bitki ile kaplı alana göre botanik kompozisyon değerleri

Familyalar	Botanik Kompozisyon (%)		
	Yaz	Güz	Ortalama
Buğdaygiller	57.68	52.16	54.92
Baklagiller	15.06	14.65	14.86
Diğer Familyalar	27.26	33.19	30.22
Toplam	100.00	100.00	100.00

Botanik kompozisyon familyalara göre incelediğinde; kompozisyonun %54.92'sini buğdaygiller familyası oluşturmaktadır. Buğdaygiller familyasını %30.22 ile diğer familyalar takip etmektedir. Araştırma alanında en az orana sahip familya %14.86 ile baklagiller familyasıdır. Bu sonuçlar buğdaygillerin alanda baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca yaz ve güz ölçümleri incelendiğinde; buğdaygillerin %52.16 ve baklagillerin %14.65 ile yaz ölçümüne göre güz ölçümü sonucunda bir miktar azaldığı, diğer familyaların ise %33.19 ile

güz ölçümlerinde arttığı görülmektedir. Bu sonuçlar iklimsel değişikliklerin ve mevsimlere göre otlatma zamanı gibi farklılıkların familyalar düzeyinde etkili olduğunu göstermektedir. Çeşitli yörelerde farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda botanik kompozisyon değerleri (buğdaygiller, baklagiller, diğer familyalar sırasıyla) aşağıda verilmiştir. Edirne'de Keşan ilçesi Kalatepe mevkiinde %59.6-%16.4-%24.0 (Tekeli ve Mengül, 1991), Burdur ili Ağlasun ilçesi orman içi merasında %53.9-%21.5-%24.6 (Özen ve Türk, 2014), Ankara ilinde bir merada %47.0-%4.6-%48.6 (Çelik, 2015), Eskişehir ili Seyitgazi ilçesinde %44.3-%22.5-%33.2 (Ercan, 2018), Antalya ili Kaş ilçesinde %47.4-%21.0-%31.6 (Sönmeyen, 2019) olarak botanik kompozisyon değerleri belirlenmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan botanik kompozisyon çalışmalarıyla bulgularımız arasındaki farklılıkların, farklı iklim özellikleri ve topoğrafik unsurlar başta olmak üzere otlatma yoğunluğundaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Mera alanındaki ölçümler sonucunda topraküstü biyokütle (TÜB) miktarı ortalama 309.0 kg/da olarak tespit edilmiştir. Haziran ayında yapılan ölçümlerde topraküstü biyokütle 336.8 kg/da iken, Ekim ayında azalarak 281.2 kg/da'ya düşmüştür. TÜB bakımından merada yapılan yaz ve güz dönemi ölçümleri arasında ($t=11.293$) %99.9 güven düzeyinde önemli fark tespit edilmiştir. Ülkemizin değişik bölgelerinde çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda topraküstü biyokütle değerleri; Osmaniye ilinde 283.9 kg/da (Özer, 1988), Tokat ilinde 359.0 kg/da (Yılmaz ve Büyükburç, 1996), Giresun ilinde 241.0 kg/da (Akdeniz vd., 2003), Kars ilinde 337.5 kg/da (Demirkıran, 2014) ve Edirne ilinde 391.0 kg/da (Kurt, 2016) olarak belirlenmiştir. Elde ettiğimiz bulgular, Özer (1988) ile Akdeniz vd. (2003) tarafından elde edilen bulgulardan daha yüksek çıkarken, Yılmaz ve Büyükburç (1996), Demirkıran (2014) ile Kurt (2016)'un tespit etmiş olduğu TÜB değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Bu farklılıkların oluşmasında, iklim özellikleri ve farklı topoğrafik unsurlar başta olmak üzere değişik otlatma yoğunluklarının da etkili olduğu söylenebilir.

Çukuryayla merasında yapılan ölçümler sonucunda ortalama toprakaltı biyokütle (TAB) miktarı 399.0 kg/da olarak tespit edilmiştir. Haziran ayında yapılan ölçümlere göre 410.6 kg/da olan toprakaltı biyokütle miktarı, Ekim ayı ölçümlerinde biraz azalarak 387.4 kg/da olarak belirlenmiştir. TAB bakımından merada yapılan yaz ve güz dönemi ölçümleri arasında da ($t=5.481$) %99.9 güven düzeyinde önemli fark tespit edilmiştir. Değişik bölgelerde çeşitli araştırmacıların yapmış

oldukları çalışmalarda TAB değerleri; Isparta ili Aksu ilçesinde 398.0 kg/da (Dursun, 2017), Eskişehir ili Seyitgazi ilçesinde 560.7 kg/da (Ercan, 2018) ve Antalya ili Kaş ilçesinde 307.2 kg/da (Sönmeyen, 2019) olarak bulunmuştur. TAB değerlerinin, Dursun (2017)'un çalışma sonuçlarına yakın olduğu, Ercan (2018)'in çalışma sonuçlarından daha düşük bulunduğu, Sönmeyen (2019)'in yaptığı çalışma sonuçlarından ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılıkların oluşmasında, iklim özellikleri ve topoğrafik faktörler başta olmak üzere merada neredeyse yıl boyunca devam eden otlatmanın da etkili olduğu düşünülmektedir.

Yaz ve güz dönemlerinde merada yapılan vejetasyon ölçümlerinden elde edilen bitki ile kaplı alan değerlerinin mera durumu skalası ile karşılaştırılması sonucu elde edilen mera durumu değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

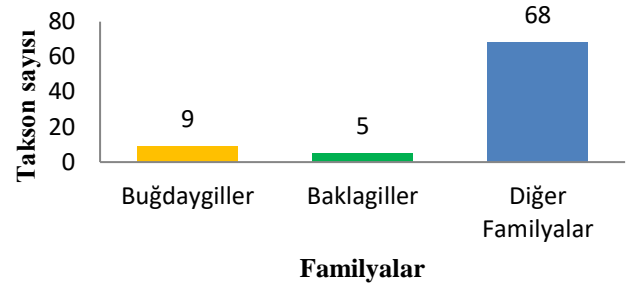
Tablo 4. Mera durumu değerleri

Mevsimler	BKA (%)	Mera Durumu
Yaz Ölçümü	%54.44	İyi
Güz Ölçümü	%46.40	Orta
Ortalama	%50.42	Orta

Çalışma alanının bitki ile kaplı alan değerlerine göre belirlenen mera durumu yaz dönemi ölçümlerinde “iyi” olarak belirlenirken, güz dönemi ölçümlerinde “orta” olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Dolayısıyla mera alanının ortalama mera durumu da “orta” olarak bulunmuştur. Ülkemizin değişik bölgelerinde yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde; Uluocak (1978)'in Kırklareli ilinde, Öner (2006)'in Erzurum ilinde, Dursun (2017)'un Isparta ilinde ve Sönmeyen (2019)'in Antalya ilinde yapmış oldukları çalışmalarda mera durumunu orta olarak belirledikleri görülmektedir.

Meranın otlatma kapasitesi 180 günlük otlatma periyodu için 179 BBHB olarak hesaplanmıştır. Bir BBHB için gerekli mera alanı ise 1.75 ha olarak bulunmuştur. Farklı yörelerde yapılan çalışmalarda; Adana ili Tufanbeyli ilçesi Hanyeri köyünde otlatma kapasitesi 268 BBHB ve hayvan başına düşen mera alanı 2.21 ha (Çınar, 2001), Kahramanmaraş ili Ahır dağında otlatma kapasitesi 882 BBHB ve hayvan başına düşen mera alanı 4.72 ha (Şen, 2012) ve Elazığ ili Karakoçan ilçesi Bahçecik köyünde otlatma kapasitesi 327 BBHB ve hayvan başına düşen mera alanı 1.87 ha (Taşdemir, 2015) olarak belirlenmiştir. Bulgular arasındaki farklılıkların yörelerin kendine özgü ekolojik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Araştırma sahasında 23 familyaya ait 71 cins olmak üzere toplam 82 bitki taksonu tespit edilmiştir. Bu 82 taksonun 9'unu buğdaygiller, 5'ini baklagiller, 68'ini ise diğer familyalara ait bitkiler oluşturmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Bitki taksonlarının familyalara dağılımı

4. Sonuç

Araştırma alanının topoğrafik özellikleri nedeniyle yöre halkı keçi beslemektedir ve hayvancılık, yöre halkının en önemli geçim kaynaklarından biri olup bu hayvanlar kışın makilik alanlarda ve orman içinde, yazın ise yaylalarda otlamaktadır. Bu hayvanlar gelişmekte olan vejetasyon üzerinde yoğun baskı kurmakta ve bitkilerin gelişimini engellemektedir. Böylelikle araştırma alanında hayvanların yemediği kamefit bitkiler giderek dominant duruma gelmektedir. Araştırma alanının uluslararası bir üne sahip olan Antalya ilinde yer alması ve yapılaşmanın çok yoğun olduğu bir kesimde bulunması nedeniyle son yıllarda yüksek dağlık kesimlerde, yaylalarda gerek turizm gerekse tatil amaçlı yapılaşmalar başlamıştır. Yöre halkı doğal bitkilerden ekonomik amaçlı olarak sağlık vb. gibi farklı amaçlarla faydalanmaktadır ve doğal bitkileri bilinçsizce tüketmektedir. Yapılan çalışma sonucunda alandaki mevcut tahribatın nadir ve endemik bitkiler üzerinde baskı oluşturduğu ortaya çıkmaktadır. Araştırma alanının floristik yapısını olumsuz yönde etkileyen otlatma, tarla açma, doğal bitkilerden faydalanma, yapılaşma, yaylacılık faaliyetleri gibi sorunlar belirlenmiştir. Bu bağlamda, yapılaşmanın uygun alanlarda ve çevreye zarar vermeden bir gelişme göstermesi son derece büyük önem arz etmektedir. Bitki kalitesi sorununun çözümü için ise bu alanların acilen ıslah edilmesi gerekmektedir.

Antalya yaylaları aynı zamanda doğal güzellikleri ve çekicilik oluşturan özellikleri nedeniyle eko-turizme yönelik kullanım konusunda hedef haline gelmişlerdir. Ancak, meralarda kontrolsüz bir şekilde yapılan “Çukuryayla Yörük Şenlikleri, Motosiklet Yarışları, Jeep Safari Gezileri, Kamp Alanları” gibi etkinlikler sonucunda toprağın sıkışarak su geçirme özelliğinin azalması ve erozyonun başlaması gibi olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Bunun bir sonucu olarak bitki örtüsü her geçen gün biraz daha fazla tahrip edilmektedir.

Sonuç olarak; mera alanının erken ve aşırı otlatılması başta olmak üzere diğer faktörlerinde etkisiyle meradaki bitki örtüsü büyük oranda tahrip edilmiş durumdadır. Meranın sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesi için; otlatma kapasitesine uyulmalı, çobanlara konu ile ilgili eğitim verilmeli, aynı zamanda tohumlama ve gübreleme gibi bazı ıslah yöntemleri kullanılarak orta olan mera durumu iyi seviyeye getirilmelidir. Araştırma neticesinde; araştırma alanının biyokütke miktarı, mera durumu, otlatma kapasitesi belirlenmiş olup, konuyla ilgilenen, konuya ilgi duyan kişilere ve ilgili kuruluşlara önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca Antalya yöresinde, bu çalışma ve benzeri çalışmaların ileriki yıllarda yapılacak olan flora ve mera çalışmalarına belli bir oranda katkıda bulunması ümit edilmektedir.

Açıklama

Bu çalışma, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamlanan yüksek lisans tez çalışmasının bir bölümünden hazırlanmıştır.

Kaynakça

- Ağın, Ö. & Kökten, K. (2013). Bingöl İli Yedisu İlçesi Karapolat Köyü Merasının Botanik Kompozisyonunun Belirlenmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*. 2(1), 41-45.
- Akdeniz, H., Kahraman, A. & Terzioğlu, Ö. (2003). Giresun ili Kümbet (Uzundere) Yaylası kapalı çayır-mera alanlarının yem potansiyeli ve botanik kompozisyonları. *Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi*, (s. 632-636). 13-17 Ekim 2003. Diyarbakır.
- Aksakal, Ö. & Kaya, Y. (2005). Endemik Bitkilerin Dünya ve Türkiye'deki Dağılımı. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*. 7 (1), 85-99.
- Altın, M. & Tuna, M. (1991). Değişik Islah Yöntemlerinin Banarlı Koyu Doğal Merasının Verim ve Vejetasyonu Üzerindeki Etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Türkiye 2. Çayır Mera ve Yem Bitkileri Kongresi*, (s. 95-105). 28-31 Mayıs, İzmir.
- Altın, M., Tuna, C. & Gür, M. (2007). Bir Islah Çalışmasının Doğal Mera Ekosisteminin Vejetasyonu Üzerindeki Bazı Etkileri. *Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi*, (s. 42-45). 25 -27 Haziran 2007, Erzurum.
- Altın, M., Gökkuş, A. & Koç, A. (2011). Çayır ve Mera Yönetimi: 1. (Genel İlkeler). Ankara. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü Yayınları. s. 376. Ankara.
- Babalık, A.A. (2007). Davraz Dağı Kozacı Yaylası Merasında Bitki ile Kaplı Alan ve Otlama Kapasitesinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. 1, 12-19.
- Babalık, A. A. (2008). Isparta Yöresi Meralarının Vejetasyon Yapısı ile Toprak Özellikleri ve Topoğrafik Faktörler Arasındaki İlişkiler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi*, s. 164. Isparta.
- Bakoğlu, A. & Koç, A. (2002). Otlatılan ve Korunan İki Farklı Mera Kesiminin Bazı Toprak ve Bitki Örtüsü Özelliklerinin Karşılaştırılması: I. Bitki Örtüsü Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 14(1), 37-47.
- Çelik, A. (2015). Ankara'da otlanan ve otlanmayan iki meranın botanik kompozisyonu ile ot veriminin karşılaştırılması. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 135. İzmir.
- Çınar, S. (2001). Adana ili Tufanbeyli İlçesi Hanyeri Köyü Merasında Verim ve Botanik Kompozisyonunun Saptanması Üzerine Bir Araştırma. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 78. Adana.
- Davis, P.H. (1964-1985). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. 1-9, Edinburgh University Press.
- Demirkıran, S. (2014). Kars ilinde farklı rakıma sahip Meralarda verim ve Botanik Kompozisyonunun değişimi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 62. Iğdır.
- Deniz, İ.G. & Aykurt, C. (2014). Critically Endangered (CR) plant taxa in Antalya province, *Herb Journal of Systematic Botany*. 21(2), 59-70.

- DMİ, (2020). Kemer İlçesi İklim Verileri. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Antalya Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü, Antalya.
- Dumlu, S.E. (2010). Ardahan İli Meralarında Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi Teknikleri ile Sınıflandırılması. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 75. Erzurum.
- Dursun, İ. (2017). Isparta İli Çatoluk Ormanı Merasının Vejetasyon Yapısının Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 62. Isparta.
- Ercan, A. (2018). Eskişehir İli Seyitgazi İlçesi Karaören Köyü Merasının Bitki Örtüsü Özellikleri ve Mera Durumunun Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 73. Isparta.
- Erkovan, H.İ. (2000). Çiğdemlik Köyü (Bayburt) mera vejetasyonları mevcut durumu. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 50. Erzurum.
- Fener, D. (2018). Kıbrıs Çayı Yaban Hayatı Geliştirme Sahası (Kaş/Antalya) Florası. *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 202. Antalya.
- Genç Lermi, A., Palta, Ş. & Öztürk, H. (2016). Bartın ilinde bir mera ıslah çalışmasının değerlendirilmesi: Serdar Köyü örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*. 18(2), 65-70.
- Gökbulak, F. (2013). Meralarda Vejetasyon Analizi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No: 5151, Orman Fakültesi Yayın No: 503*, s. 157.
- Gökhan, E.E. (2003). Elâzığ İli Çayır Mera Kaynakları. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*. 1(3), 42-45.
- Gökkuş, A., Koç, A. & Çomaklı, B. (1995). Çayır-Mera Uygulama Kılavuzu. *Erzurum Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 142*, s. 139.
- Gökkuş, A. & Koç, A. (1996). Sürülen Meralarda Bitki Örtüsü-Toprak İlişkileri. *Tarım Çevre İlişkileri Sempozyumu*. (s. 336-344). 13-15 Mayıs 1996. Mersin.
- Gür, M. (2008). Yörükler Köyü Doğal Mera Vejetasyonunun Botanik Kompozisyonu ve Verim Potansiyeli Üzerinde Bir Araştırma. *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 57. Tekirdağ.
- Kendir, H. (1999). Ayaş Ankara'da Doğal Bir Meranın Bitki Örtüsü, Yem Verimi ve Mera Durumu. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(1), 104-110.
- Kurt, G. (2016). Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesi Doğal Mera Vejetasyonunun Botanik Kompozisyonu ve Verim Potansiyelleri. *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, s. 89. Tekirdağ.
- Okatan, A. (1987). Trabzon-Meryemana Deresi Yağış Havzası Alpin Meralarının Bazı Fiziksel ve Hidrolojik Toprak Özellikleri ile Vejetasyon Yapısı Üzerine Bir Araştırma. *T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Yayınları. No: 664, Seri No: 62*, s. 290.
- Öner, T. (2006). Korunan Otlatılan ve Sürülüp Terk Edilen Mera Alanlarının Bitki Örtülerinin Karşılaştırılması. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 41. Erzurum.
- Özen, F. & Türk, M. (2014). Orman içi merada ağaç sıklığının bitki örtüsü üzerine etkileri. *Turkish Journal of Forestry*, 15(1), 9-14.
- Özer, A. (1988). Osmaniye ilçesi, Kesmeburun Köyünde korunan bir mera ile otlatılan meraların bitki örtüsü ve verim güçlerinin saptanması üzerinde bir araştırma.

- Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, s. 41. Erzurum.
- Özkan, U. & Demirbağ, Ş.N. (2016). Türkiye’de kaliteli kaba yem kaynaklarının mevcut durumu. Türkiye Bilimsel Derlemeler Dergisi, 9(1), 23-27.
- Sönmeven, B.G. (2019). Kuruca Yaylası Merasının (Antalya-Kaş) Vejetasyon Yapısı Üzerine Bir Araştırma. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, s. 57. Isparta.
- Şen, N. (2012). Kahramanmaraş İli Ahır Dağı Meralarının Bazı Hidrofiziksel ve Kimyasal Toprak Özellikleri ile Vejetasyon Yapısı Üzerine Araştırmalar. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, s. 80. Kahramanmaraş.
- Taşdemir, V. (2015). Elâzığ ili Karakoçan ilçesi Bahçecik köyü merasında verim ve botanik kompozisyonunun saptanması üzerine bir araştırma. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek lisans Tezi, s. 121. Bingöl.
- Tekeli, S. & Mengül, Z. (1991). Orman içi Merada Topografyanın Botanik Kompozisyona ve Verim Üzerine Etkisi. Türkiye II. Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Kongresi. (s. 139-149). 28-31 Mayıs, İzmir.
- Tiedeman, J. & Motsamai, B. (1981). What is range management ? Circular RM-1. Maseru, Lesothos, Research Division, Ministry of Agriculture.
- Tosun, F. (1996). Türkiye’de kaba yem üretiminde çayır-mera ve yem bitkileri yetiştiriciliğinin dünü, bugünü ve yarını. Türkiye III. Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Kongresi. (s. 1-4). 17-19 Haziran, Erzurum.
- TÜİK, (2018). Türkiye İstatistik Kurumu. www.tuik.gov.tr. Son erişim tarihi: 03.12.2019
- Türker, A.H. (2006). Mersin Tarsus Oluk Koyak Köyü Topak Ardıç mevkiinde 1997 yılından beri korunmuş ağaçlandırma sahasındaki otsu vejetasyonun özellikleri üzerine bir araştırma. Doğu Akdeniz Orman Araştırma Müdürlüğü Doğa Dergisi, 12, 1-39.
- Uluocak, N. (1978). Kırklareli Yöresi Orman İçi Mera Vejetasyonunun Nitelikleri ve Bazı Kantitatif Analizleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No: 2407, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No: 253, s. 116.
- Uzun, F., Garipoğlu, A.V. & Algan, D. (2009). Meralarımızda görülen sarı peygamber çiçeği (*Centaurea solstitialis* L.)’nin bitkisel özellikleri ve kontrolü. Samsun Anadolu Tarım Bilim Dergisi, 25(3), 213-222.
- Yılmaz, M. & Büyükburç, U. (1996). Tokat ili askeri gazinosunda korunan doğal bir mera vejetasyonunun ekolojik ve fitososyolojik yönden incelenmesi üzerine bir araştırma. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Türkiye 3. Çayır Mera ve Yem Bitkileri Kongresi. (s. 146-152). 17-19 Haziran, Erzurum.



II. Ürün Ayçiçeği Üretiminde Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Teknik Olarak Değerlendirilmesi

Murat Akdağoğlu¹, Yılmaz Bayhan^{2*}, Mehmet Fırat Baran³

¹ Tekirdağ Büyükşehir Belediye Başkanlığı Tarımsal Hizmetler Daire Başkanlığı, Tekirdağ (ORCID : 0000-0001-6437-5029), muratakdag@hotmail.com

² Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biosistem Mühendisliği, Tekirdağ (ORCID: 0000-0003-1099-3571), ybayhan@nku.edu.tr

³ Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biosistem Mühendisliği, Siirt (ORCID: 0000-0002-7657-1227), mfb197272@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 25 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 14 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.785550)

ATIF/REFERENCE: Akdağoğlu, M, Bayhan, Y. & Baran, M. F. (2020). II. Ürün Ayçiçeği Üretiminde Uygulanabilecek Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Teknik Olarak Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 334-342.

Öz

Bu araştırmanın amacı, Tekirdağ İli'nde fiğ+buğday hasadından sonra ikinci ürün ayçiçeği tarımında uygulanabilecek alternatif toprak işleme yöntemlerinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada, toprak işleme sistemleri olarak, ağır diskli tırmık (DT), rotatiller (ROT), ağır diskli tırmık+rotatiller (DT+ROT), kulaklı pulluk+ağır diskli tırmık (PUL+DT), kulaklı pulluk+ağır diskli tırmık+kombikürüm (PUL+DT+KOM) ve pulluk+rotatiller (PUL+ROT) olmak üzere 6 farklı sistem kullanılmıştır. Uygulanan toprak işleme yöntemleriyle bitkilerin vejetatif-generatif özellikleri olan ortalama çimlenme günü, bitkilerin çimlenme yüzdesi, bitki boyu, sap çapı, tabla çapı ve verim değerleri tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ortalama çimlenme günü ve ayçiçeği tabla çapı istatistiki olarak önemsiz bulunurken, tarla filiz çıkış derecesi, bitki boyu, sap çapı ve verim istatistiki olarak önemli bulunmuştur. En yüksek bitki boyu rotatiller (ROT) ile yapılan toprak işleme yönteminde (rakamsal değer verilmesi yararlı olacaktır) iken en düşük pulluk+ağır diskli tırmık (PUL+DT) yönteminde olmuştur. En yüksek verim ise pulluk+rotatiller (PUL+ROT) ve rotatiller (ROT) ile yapılan toprak işleme yöntemlerinde iken en düşük verim ise ağır diskli tırmık (DT) yönteminde olmuştur.

Keywords: Ayçiçeği, Fiğ, Toprak işleme, İkinci ürün, Verim

Evaluation of Different Tillage Methods in Terms of Technically in Second Crop Sunflower

Abstract

The aim of this study is to determine tillage techniques in sunflower farming as the second crop after harvesting vetch+wheat mixture. In the research, the methods of heavy-duty disc harrow (DT), rotary tiller (ROT), heavy-duty disc harrow+rotary tiller (DT+KOM), plow (PUL), plow+heavy-duty disc harrow (PUL+DT), plow+heavy-duty disc harrow+ combination of spring tine and roller tine harrowing (PUL+DT+KOM) and plow+rotary tiller (PUL+ROT) were used. Applied tillage methods, vegetative and generative properties of the plants were investigated. These properties were mean emergence dates, percentage of emerged seedlings, plant height, stem diameter, head diameter and yield. According to the results, mean emergence dates and head diameter were not found to be statistically significant while percentage of emerged seedlings, plant height, stem diameter and yield were found to be statistically significant. The highest plant height was found at the rotary tiller (ROT) while the lowest plant height was found at the plow+ heavy-duty disc harrow (PUL+DT) method. The highest yields were found at the plow+rotary tiller (PUL+ROT) and rotary tiller (ROT) methods while the lowest average yield was found at the heavy-duty disc harrow (DT) method.

Anahtar Kelimeler: Sunflower, Vetch, Tillage, Second crop, Yield

* Sorumlu Yazar: ybayhan@nku.edu.tr

1. Giriş

Nüfusumuzun hızla artması, yemek alışkanlıklarımız ve yaşam biçimimizin değişimine bağlı olarak yağ tüketimimiz de artmaktadır. Son yıllarda hayvansal yağ üretimimiz azalmakta olup ve yağ tüketimizi karşılayamamaktadır. Ayrıca, hayvansal yağların pahalı olmasından dolayı insanlar bitkisel yağları tercih etmektedir. Türkiye’de en önemli yağ bitkilerinden birisi ayçiçeği yağı olup, üretimi en fazla Trakya bölgesinde yapılmaktadır. Trakya bölgesinde genellikle buğday-ayçiçeği ekim nöbeti uygulanmaktadır.

Alternatif tarım, doğal kaynakları ve çevreyi koruyarak geleneksel tarımdan daha sağlıklı ve daha güvenli üretim yaratmayı amaçlamaktadır. Bu hedefe ulaşmak için etkili ve karlı üretim üretebilecek alternatif yöntemlerin benimsenmesi kaçınılmazdır. Çevreyi korumaya ve tarımsal üretim maliyetlerini azaltmaya yönelik alternatifler daha çok yetiştirme aşamasında kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan en önemlisi, daha az toprak işleme ve toprak işlemez tarım teknikleridir (Sessiz ve ark., 2008; Bayhan, 2016).

Tarımsal üretimde planlamanın yetersiz olmasından dolayı, toprağın sürekli işlenmesi sonucunda bu bölgelerde toprağın hazırlanması sırasında toprağın yapısının bozulduğu dünyanın her yerinde görülmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki aşırı toprak işleme, bilinçsiz arazi kullanımı sonucunda toprağın verimliliği hızla kaybolmakta ve dünya ölçeğindeki fakirliğin hem sebebi hem de sonucudur. Toprak bozulmasına neden olan yoğun toprak işleme dayanan tarımsal üretimlerin yerine malç ve bitki kalıntılarının sürekli toprak örtüsü olarak kaldığı veya örtü bitkilerinin kullanıldığı sürdürülebilir üretim sistemleri ile değiştirilmesi gerekmektedir (Derpsch ve Moriya 2007; Sessiz ve ark., 2008)).

Sürdürülebilir tarımın amacı, gelecek nesillere kaliteli üretim sağlayacak toprağın verimliliğinin korunmasıdır. Toprak bitkisel ve hayvansal üretimle insanoğlunun gıda ihtiyacını karşılamak için yapılan tarımın temelini oluşturmaktadır (Ergül 2011). Tarımsal üretim zinciri içerisinde en fazla enerji kullanımı toprak işlemede harcanmaktadır. Bütün işletmelerde olduğu gibi en az girdi ile en fazla geliri elde etmek tarımsal işletmelerde öncelikli amaçtır (Karaağaç ve Barut 2009). Toprak işlemede karşılaşılan yüksek enerji maliyetini, en aza indirmek için farklı toprak işleme ve ekim yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir. Geleneksel toprak işlemede enerji maliyetlerinin yüksek olması, araştırmacıları yeni toprak işleme sistemlerinin araştırılmasına yöneltmektedir (Sessiz ve Söğüt., 2008; Karaağaç ve ark 2012).

Geleneksel ve korumalı toprak işleme sistemleri ile ürün verimi ve toprak kalitesi açısından birçok araştırma çalışması

yapılmıştır. Toprak işleme, bitkisel üretimin önemli bileşenlerinden biridir. Arazi üzerinde ekim öncesinde başlayarak bitki gelişme sürecinde devam eden toprağa ilişkin mekanik işlemlerin tümünü kapsar. Keza, bitkiler için ekimden hasada kadar geçen devrede gereksinme duyulan optimum su hava ilişkisinin sağlanması önemlidir. Gevşetme ve havalandırma, suyun korunması, tohum yatağı hazırlanması, yabancı ot kontrolü, bitkisel artıkların parçalanarak toprağa karıştırılması gibi, yapıldığı dönemlere özgü belli amaçlara yönelik bu işlemlerde uygulama farklılıkları söz konusudur. Bu uygulamaların; iklim, toprak ve yetiştirilecek bitki türüne bağlı olarak farklılaştığı ve bu bağlamda geleneksel toprak işleme yöntemleri dışında azaltılmış ve toprak işlemez uygulamalarına ilişkin korumalı toprak işleme yöntemlerinin de kullanıldığı görülmektedir (Sessiz ve ark., 2010; Baran ve ark. 2013).

Trakya Bölgesinde, yoğun ayçiçeği ve buğday tarımı yapılmaktadır. Yapılan uygulamalarda alınan verimin sürekli olabilmesi ve topraktan alınan besin elementlerinin, toprağa geri kazandırılmak için ekim nöbeti uygulamasının mutlak suretle yapılması gerekmektedir. Ekim nöbetinin faydaları ile birlikte, yem bitkilerinin toprağa kazandırdığı azot ve diğer besin elementlerini göz önüne aldığımızda Trakya Bölgesinde süreklilik kazanan tarım yöntemlerinde değişikliğe gitmemiz gerektiğini söyleyebiliriz. Ekim nöbeti ile yem bitkisini yaygınlaştırdığımızda daha verimli ürünler alıp tarımda sürekliliği sağlamış oluruz.

Bu araştırmanın amacı, Tekirdağ İli’nde fiğ+buğday hasadından sonra ikinci ürün ayçiçeği üretiminde uygulanabilecek farklı toprak işleme sistemlerinin incelenmesidir. Bu çalışmada, toprak işleme sistemleri olarak ağır diskli tırmık, rotatiller, ağır diskli tırmık+rotatiller, pulluk+ağır diskli tırmık, pulluk+ağır diskli tırmık+kombikürüm ve pulluk+rotatiller toprak işleme yöntemleri kullanılmış ve elde edilen veriler birbiriyle karşılaştırılmıştır

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

2.1.1. Deneme Alanının Genel Durumu

Bu araştırma Tekirdağ İli, Süleymanpaşa İlçesinde bulunan Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi uygulama alanlarında yürütülmüştür (Şekil 1). Tekirdağ İli, 48°36'41.31" kuzey enlemleri ile 26°43'28.08" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Tekirdağ ilinin merkezi deniz seviyesinden 10 metre yükseklikte ve ilin geneli deniz seviyesinden 200 metreye kadar yüksekliğe sahiptir. Tekirdağ’ın en önemli dağı Tekir dağları Kumbağ’dan başlayarak Gelibolu yarım adasına kadar (yaklaşık 60 km) bir sıra halinde uzanmaktadır.



Şekil 1. Deneme alanının genel görünümü

2.1.2 Araştırmada kullanılan ayçiçeği çeşidinin özellikleri

Araştırmada kullanılan sanay ayçiçeği çeşidi (*Helianthus annuus L.*); kurak şartlara yüksek toleranslı, toprak seçiciliği olmayan ve uyum kabiliyeti yüksek özelliğe sahiptir.

2.1.3 Araştırmada Kullanılan Alet ve Makineler

2.1.3.1 Traktör: Toprak işleme aletlerinin uygulanmasında kullanılan traktör 100 BG gücüne sahip, ön tekerleri 13.6 R 24, arka tekerlekleri 16.9 R 34 boyutlarındaki lastiklere sahip ve çift çekerdir. Traktör ön tarafına tutunmayı arttırmak ve şahlanmayı engellemek için 40 kg ağırlık yerleştirilmiştir. Traktörün boyutları ise uzunluğu 4500 mm, genişliği 2100 mm ve yüksekliği ise 2700 mm olup, traktör iz genişliği 800 mm'dir.



Şekil 2. Ekim makinası

2.1.3.2 Ekim Makinası: Araştırmada dört sıralı pnömatik bir ekim makinası kullanılmıştır. Ekim makinesi üç nokta askı sistemiyle traktöre bağlanmaktadır (Şekil 2). Dört sıralı pnömatik ekim makinasını araştırmada kullanırken, üniteler arası 700 mm ve sıra üzeri 280 mm olarak ayarlanmıştır.

2.1.3.3 Pulluk: Birinci sınıf toprak işleme uygulamalarında kullanılan pulluk; yarı bükük tip ve dört gövdelidir. Bu pullukta, gövdeler pabuç tipi payandalar ile deveboynuna tutturulmuştur ve uç demirleri burunlu tipdedir (Şekil 3). Pulluk üç nokta askı sistemine bağlantılı olup, toplam iş genişliği 1400 mm olup her bir gövdenin iş genişliği 350 mm'dir (Tablo 1).



Şekil 3. Pulluk

2.1.3.4. Yaylı tırmık + döner tırmık kombinasyonu (Kombikürüm): Denemede tohum yatağı hazırlama aleti, iki parçadan oluşmaktadır. Öndeki parça yaylı tırmık, arkadaki parça ise döner tırmıktır. Öndeki yaylı tırmıkta 21 adet yaylı ayak, ayaklar arası mesafe 120 mm olacak şekilde dizilmiştir ve toplam iş genişliği 2520 mm'dir. Kombinasyon aleti toprağı devirmeden işleyip havalandırmak ve kabartmak amacıyla kullanılır. Aletin yaylı ayaklar S şeklinde bükülmüş ve çelik malzemeden üretilmiştir.

2.1.3.5 Ağır Diskli Tırmık (Goble Diskaro): Ağır diskli tırmık (hidrolik tertibatlı), bitki saplarının kesilmesi sağlayarak, bitkilerin toprağı karışmasını sağlamaktadır. Ağır diskli tırmığın toprağı olan etkileri ayar durumuna göre ya kesme ya da parçalama ve karıştırma işlemleri yapar. Alet yirmi dört adet

diskten (Ø550) oluşur, toplam genişliği 2850 mm ve iş genişliği 2700 mm'dir.

2.1.3.6 Rototiller: Rotatiller aleti azaltılmış toprak işleme uygulamalarında kullanılmakta; traktöre asılır tip ve hareketini kuyruk milinden almaktadır. Rotatiller üzerinde otuz adet parmaklı tip rotor bulunmakta ve aletin iş genişliği 1900 mm'dir. Aletin arka kısmında ise keseklerin bastırılması için merdane bulunmaktadır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Toprak İşleme ve Ekim Sistemleri

Deneme; Tekirdağ Merkez Süleymanpaşa İlçesinde bulunan Namık Kemal Üniversitesine ait olan, 40°59'30.86" kuzey enlemleri ile 27°35'4.13" doğu boylamlarında bulunan tarlada yapılmıştır. Deneme sıra arası 70 cm ve sıra üzeri 30 cm olacak şekilde dört sıralı havalı (pnomatik) ekim makinesi ile yaklaşık olarak 5 cm derinliğinde, 2 Haziran 2014 tarihinde ekim yapılmıştır. Araştırma toprak yapısı killi-tınlı yapıya sahip tarlada

kurulmuştur. Yabancı ot ilaçlaması tüm parsellerde zamanda yapılmış ve deneme parsellerinin tamamı aynı günde hasat edilmiştir. Deneme alanlarının sulaması yapılmamış, kuruya ekim yapılmış ve ekim sırasında dekara 20 kg taban gübresi (üre) kullanılmıştır. Denemelerde aşağıdaki altı farklı toprak işleme yöntemi kullanılmış ve Tablo 1'de her bir toprak işleme yöntemi kodlanmıştır.

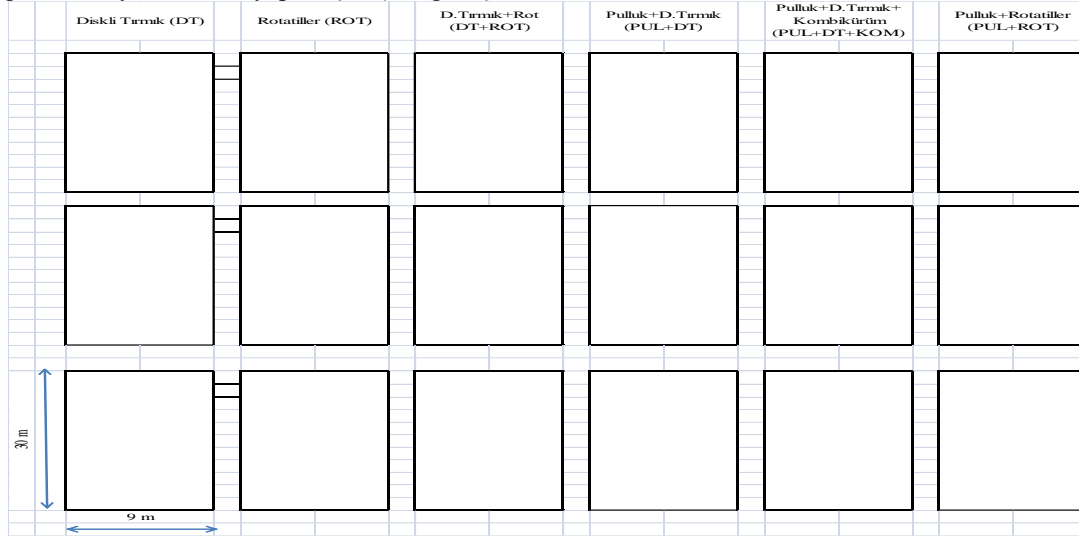
Tablo 1. Toprak işleme yöntemleri ve kodları

Toprak İşleme Yöntemler	KODLAR
1. Diskli Tırmık	(DT)
2. Rototiller	(ROT)
3. Diskli Tırmık + Rototiller	(DT+ROT)
4. Pulluk + Diskli Tırmık	(PUL+DT)
5. Pulluk + Diskli Tırmık + Kombikürüm	(PUL+DT+KOM)
6. Pulluk + Rototiller	(PUL+ROT)

2.2.2 Denemelerin Düzenlenmesi ve Değerlendirilmesi

İkinci ürün ayçiçeği tarımında uygulanabilecek alternatif toprak işleme ve ekim yöntemleri saptamak için tarla denemeleri tesadüf parsellerine (şerit parseller) göre 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Her bir tekerrür parselin boyu 30 metre ve genişliği 9 metre olarak alınmıştır (Şekil 4). Bu çalışmada saptanan tüm değerlere varyans analizi yapılmıştır (Düzgüneş ve

ark, 1983; Berk ve Efe 1988). Sonuçların değerlendirilmesinde MSTAT paket programı kullanılmıştır (Akdemir ve ark, 1994; Bayhan ve Ark, 2006). Belirlenen tüm değerler arasında doğrudan ekim ve toprak işleme yöntemlerinden kaynaklanan önemli farklılıklar olup olmadığı Duncan testi yapılarak incelenmiştir (Düzgüneş ve Ark. 1983).



Şekil 4. Toprak işleme ve ekim yöntemlerinin bloklara göre tesadüfi dağılımı

2.2.3 Bitki Özellikleri ile İlgili Ölçümler

2.2.3.1 Ortalama çimlenme günü: Ekim işlemi tamamlandıktan sonra araştırma parsellerinden ortadaki altı sıradan 10 metre uzunluğunda şeritler tespit edilmiştir. Bitki çıkışlarının ilk görüldüğü günden, çıkışlarının tamamlanmasına kadarki zaman dilimi içerisinde her gün çıkan bitkiler sayılmıştır. Sayılan bitkiler aşağıdaki eşitlik yardımıyla ortalama çimlenme günü belirlenmiştir (Bilbro ve Wanjura, 1982; Fielke and Bayhan 2011).

$$OÇG = \frac{D_1 * N_1 + D_2 * N_2 + \dots + D_n * N_n}{D_1 + D_2 + \dots + D_n} \quad (1)$$

Burada;

- OÇG : Ortalama Çimlenme Günü
D : Ekimden Sonraki Gün Sayısı
N : Önceki Sayımdan Beri Çimlenen Tohum Sayısı

2.2.3.2. Tarla filiz çıkış derecesi: Deneme parsellerinde belirlenen sıralardaki çıkan bitki sayısının olması gereken bitki sayısına bölünerek % olarak tarla filiz çıkış derecesi saptanmıştır (Bilbro ve Wanjura, 1982; Fielke and Bayhan 2011).

$$TFÇD = \frac{ÇBS}{EBS} * 100 \quad (2)$$

Burada;

- TFÇD : Tarla Filiz Çıkış Derecesi (%),
ÇBS : Çıkan Bitki Sayısı (10m'de),
EBS : Ekilen Bitki Sayısı (10 m'de).

2.2.3.3.Bitki boyu, sap çapı, tabla çapı: Hasat olgunluğu gelmiş araştırma parsellerin orta bölümündeki atmış adet bitki kesilerek, ayçiçeği tablasının altına kadar olan kısım ölçülmüş ve bitki boyu olarak saptanmıştır. Hasat edilen bu bitkilerin yerden 1/3'lük kısımdan çapı kumpas ile ölçülmüş ve tablanın iki eksen çapları ölçülerek ortalaması alınarak tabla çapı belirlenmiştir (Önemli ve Gucer, 2010).

2.2.3.4.Verim: Araştırma parsellerinin iki sırası ve parsel başlıkları (20 metre uzunlukları) bitkiler hasat edilmiş, parsellerin kenar etkisi elimine edilmiştir (Peterson, 1992). Her bir paselin orta kısmındaki 28 m²'dek bitkiler elle hasat ve harmanlama edilerek verimleri bulunmuştur (Varsa ve Ark. 1997).

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

3.1 Bitkinin Vejetatif ve Generatif Özellikleri

3.1.1 Ortalama çimlenme günü

Tabloda 2'te verilen varyans analiz sonuçlarına göre, toprak işleme sistemlerinin ortalama çimlenme günü üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Diğer bir deyişle toprak işleme sistemleri, ortalama çimlenme gününü önemli seviyede etkilememiştir (F=0,73).

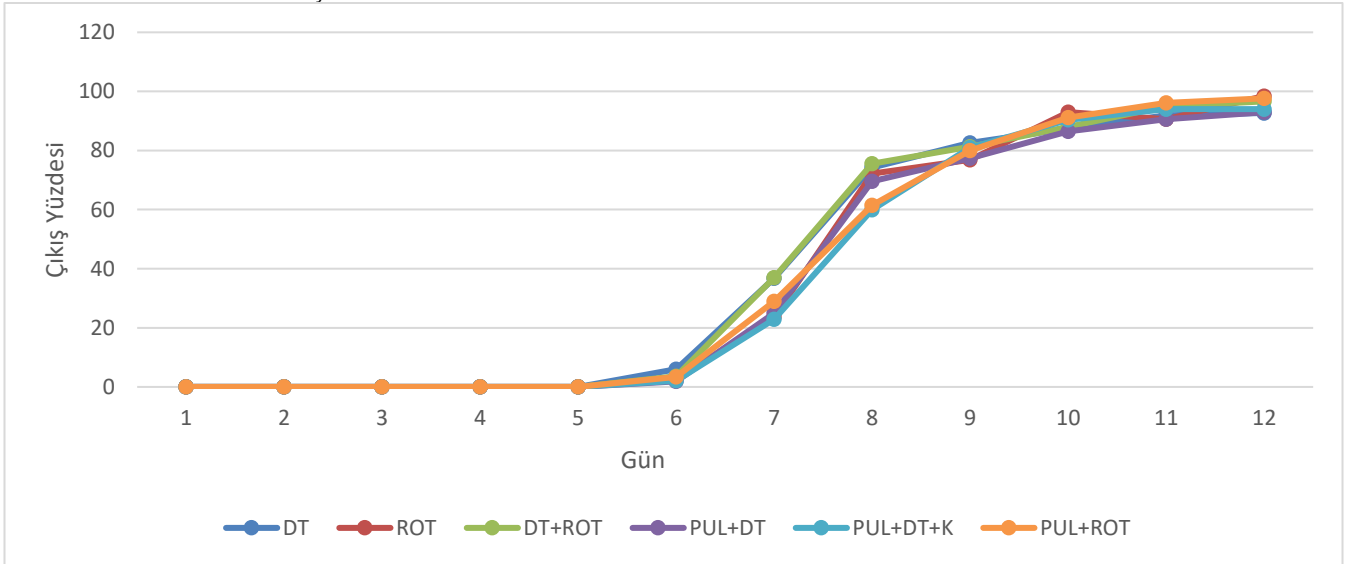
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Der.	Kareler Top.	Kareler Ort.	F
Tekerrür	2	0,21	0,104	0,92
Top.İşleme Yöntemleri	5	0,41	0,082	0,73
Hata	10	1,12	0,112	

Ortalama çimlenme günü en erken 7,92 gün ile diskli tırmık yönteminde, en geç ise 8,30 ile pulluk+rotatiller yönteminde elde edilmiştir. Toprak işleme sistemlerinin ortalama çimlenme günü üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Tohum yatağı iyi işlenmiş yöntemlerde çimlenme günü daha az olmuş ve derin işleme yapan pulluklu toprak işleme yöntemlerinde çimlenme günü uzamıştır. Benzer sonuçlar Bilbro ve Wanjura (1982), Yalçın (1998), Gemtos ve ark. (2002) tarafından da bulunmuştur.

3.1.2.Tarla Filiz Çıkış Derecesi

Araştırmada elde edilen tarla filiz çıkış sonuçları değerlendirildiğinde istatistiksel olarak (F=9,66*) toprak işleme sistemlerinin etkili olduğu saptanmıştır (Tablo 3). En yüksek bitki çıkış derecesi % 95,90'lık çıkış ile ROT yönteminde bulunurken, Bunu %93.43'lük oranla PUL+ROT ile toprak işleme yöntemi izlemiştir. (Şekil 5). Uygulanan Duncan testinde ROT (A grubu), PUL+ROT yöntemi de A grubunda yer almış ve DT yöntemi ise en düşük T.F.Ç.D olan %89.90 ile C grubunda yer almıştır (Tablo 4).

Tablo 2. Ortalama çimlenme günü için varyans analizi sonuçları



Şekil 5. Çıkış günleri ile çimlenme yüzdesi arasındaki ilişki

Tablo 3. Tarla filiz çıkış derecesi için varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Olasılık
Tekerrür	2	20,83	10,415	5,29	0,027
Top. İşleme Sistemleri	5	95,17	19,033	9,66	0,001
Hata	10	19,69	1,969		

Yapılan Duncan testinde rotatiller A grubunda, pulluk+rotatiller yöntemi de A grubunda yer almış, diskli tırmık yöntemi ise C grubunda yer bulunmuş ve en düşük tarla filiz çıkış derecesine sahip olmuştur (Tablo 4). Rotatiller toprak işleme aletinin tohum yatağını daha ince bir yapıda hazırlamasından

dolayı en yüksek tarla filiz çıkış derecesi rotatillerin olduğu toprak işleme sistemlerinde görülmüştür. Benzer sonuçlar Yalçın, (1998), Yalçın ve Çakır (2005), Siemens ve Wilkins (2006), Çanakçı ve ark. (2009) tarafından da bulunmuştur.

Tablo 4. Yöntemlerin tarla filiz çıkış derecesi değerleri (gün)

Top. İşleme Sistemleri	Ortalama Çimlenme Yüzdeleri (%)
DT	89,90 ^C
ROT	95,90 ^A
DT+ROT	93,43 ^{AB}
PUL+DT	90,15 ^C
PUL+DT+KOM	91,16 ^{BC}
PUL+ROT	94,70 ^A

Sx₂: 0,810144 *: % 5 seviyesinde önemli

3.2. Bitkinin Generatif Özellikleri

3.2.1 Bitki Boyu

İkinci ürün ayçiçeği tarımında farklı toprak işleme sistemlerinin bitki boyu üzerinde %5 önem düzeyinde etkili olduğunu saptanmıştır (Tablo 5 ve 6). Bitki boyu için elde edilen veriler incelendiğinde, en yüksek bitki boyu 129,40 cm ile ROT yönteminde, bu yöntemi ise 125,87 cm değeri DT+ROT toprak işleme yöntemi izlemiştir ve en düşük bitki boyu ise 112,70 cm ile PUL+DT yönteminde saptanmıştır (Tablo 6). Duncan testinde yapılan analiz sonucunda ROT toprak işleme A grubunda, DT+ROT yöntemi hem A hem de B grubunda yer almıştır (Tablo 6).

Tablo 5. Bitki boyu için varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Olasılık
Tekerrür	2	27,28	13,641	1,12	0,63
Top. İşleme Sistemleri	5	537,06	107,413	8,83	0,001
Hata	10	121,64	12,164		

Tablo 6. Bitki boyu derecesi değerleri (cm)

Toprak İşleme Sistemleri	Bitki Boyu Ortalama Değerler (cm)
DT	119,867 ^{BC}
ROT	129,400 ^A
DT+ROT	125,867 ^{AB}
PUL+DT	112,700 ^D
PUL+DT+KOM	117,633 ^{CD}
PUL+ROT	119,100 ^{CD}

Sx₂: 2,01362 *: % 5 seviyesinde önemli

3.2.2 Sap Çapı

İkinci ürün ayçiçeği tarımında farklı toprak işleme yöntemlerinin sap çapı üzerindeki etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Tablo.7 ve 8.). Maksimum sap çapı 20,40 mm ile DT+ROT yönteminde ve bu yöntemi takiben 19,03 mm ile ikinci ise DT ile toprak işleme 19,033 sap çapı ile izlemiştir (Tablo 9). Duncan sonucuna göre DT+ROT A grubunda ve DT yöntemi hem A hem de B grubunda bulunmuştur (Tablo.8). Sap çapı en düşük olan yöntem ise 16,133 ile PUL+ROT olmuştur (Tablo 8).

Tablo 7. Sap çapı için varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Olasılık
Tekerrür	2	0,64	0,322	0,52	0.000
Top. İşleme Sistemleri	5	41,67	8,335	13,39	
Hata	10	6,22	0,622		

Tablo 8. Sap çapı derecesi değerleri (cm).

Toprak İşleme Sistemleri	Sap Çapı Ortalama Değerler (mm)
DT	19,033 ^{AB}
ROT	18,767 ^B
DT+ROT	20,400 ^A
PUL+DT	17,200 ^C
PUL+DT+KOM	16,467 ^C
PUL+ROT	16,133 ^C

Sx₁: 0,4553387 *: % 5 seviyesinde önemli

3.2.3 Tabla Çapı

Tabloda 9'da verilen varyans analiz sonuçlarına göre, toprak işleme sistemlerinin tabla çapı üzerine etkisi istatistiksel olarak

önemsiz bulunmuştur. Diğer bir deyişle toprak işleme sistemlerinin tabla çapını üzerine etkisi olmamıştır (F=2,61).

Tablo 9. Tabla çapı için varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Olasılık
Tekerrür	2	1,55	0,777	1,84	0,208
Toprak İşleme Sistemleri	5	5,51	1,102	2,61	0,092
Hata	10	4,22	0,422		

3.3 Verim

Araştırmada elde edilen veriler istatistiksel analize tabi tutulduğunda, farklı toprak işleme sistemlerinin verim üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 10). En yüksek verim 276,79 kg/da ile PUL+ROT yönteminde, en düşük verim ise 242,81 Kg/da ile DT yönteminde saptanmıştır (Şekil 6). Duncan testi sonucunda PUL+ROT yöntemi A grubunda, ROT yöntemi ise hem A hem de B grubunda yer bulmuştur (Tablo 11).

En yüksek verimin pulluk+rotatiller toprak işleme yönteminden elde edilmesinin sebebi diğer yöntemlere göre toprağın derin işlenmesi ve parçalanmasından kaynaklanmaktadır. Borin ve Sartori (1995) yaptıkları bir çalışmada derin toprak işlemenin yüzeysel toprak işlemeye göre daha fazla verim verdiğini saptamışlardır. Benzer sonuçlar Gemtos ve ark. (2002), Yalçın (1998), Bayhan ve ark. (2001) tarafından da bulunmuştur.

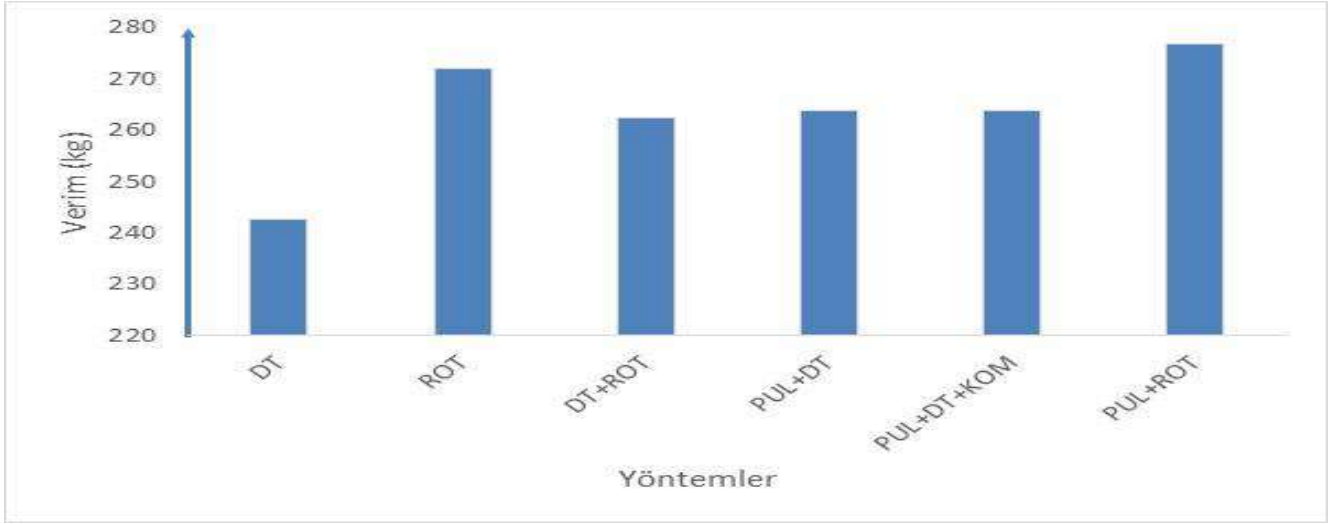
Tablo 10. Verim için varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Olasılık
Tekerrür	2	14,16	7,082	0,35	0,000
Top. İşleme Sistemleri	5	2120,37	424,074	21,07**	
Hata	10	201,27	20,127		

Tablo 11. Verim derecesi değerleri (kg)

Toprak İşleme Sistemleri	Ortalama Verim Değerler (Kg/da)
DT	242,81 ^D
ROT	271,98 ^{AB}
DT+ROT	262,45 ^C
PUL+DT	263,79 ^{BC}
PUL+DT+KOM	263,78 ^{ABC}
PUL+ROT	276,79 ^A

Sx₁: 2,590174 *: % 5 seviyesinde önemli.



Şekil 6. Verim ve yöntemler arasındaki ilişki.

4. Sonuç ve Öneriler

Araştırma sonucunda, toprak işleme yöntemleri arasında ortalama çimlenme günü ve tabla çapı açısından istatistiksel büyük fark olmadığı görülürken, tarla filiz çıkış derecesi, bitki boyu, sap çapı ve verim açısından fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Yüzeysel toprak işleme yapan diskli toprak işleme yönteminde ortalama çimlenme günü daha az olmuştur ancak derin toprak işleme yapan pulluk kullanılan toprak işleme yöntemlerinde ise ortalama çimlenme günü uzamıştır. Tohum yatağını iyi işlenmiş olan rotatiller ile yapılan toprak işleme yönteminde en yüksek %95,90 tarla filiz çıkış derecesi en az ise %90,15 ile pulluk+diskaro yönteminde çimlenme yüzdeleri saptanmıştır. En yüksek bitki boyu rotatiller ile yapılan toprak işleme yönteminde iken en düşük pulluk+ağır diskli tırmık yönteminde olmuştur. En yüksek verim (276,79 kg/da) ise pulluk+rotatiller toprak işleme yönteminde, en düşük verim (242,81 kg/da) ise ağır diskli tırmık yönteminde olmuştur. Verimsel açıdan değerlendirildiğinde pulluk+rotatiller yönteminde, rotatiller yöntemine göre % 1,7 daha fazla ürün elde edilirken, toprak işleme yöntemlerin yakıt tüketimi, çeki gücü ihtiyacı ve iş başarısı dikkate alındığında rotatiller ile yapılan toprak işleme yönteminin daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Araştırma sonucunda elde edilen verilere dayanarak aşağıdaki önerilerde bulunmak mümkündür;

- ▶ Ekim nöbetinde fiğ+buğday hasadından sonra ikinci ürün ayçiçeği tarımında uygulanacak toprak işleme yöntemlerinin verim üzerindeki etkisinde en yüksek verim PUL+ROT yönteminde saptanmıştır. Bu yöntem en yakın verim değeri rotatiller toprak işleme yönteminde elde edilmiştir. Pulluk kullanılan yöntemin enerji maliyeti ile iş başarısı dikkate alındığında rotatiller yöntemi önerilebilir.
- ▶ Rotatillere sahip olmayan çiftçiler ise diskli tırmık yöntemini kullanabilirler çünkü bu yöntemin verimi az olmasına rağmen enerji tüketimi az, iş başarısı yüksek olduğundan rahatlıkla tavsiye edilebilir.
- ▶ İkinci ürün ayçiçeği tarımı yaza denk geldiğinden, son yıllarda yaşanan yağışların düzensizliği ve kuraklık göz önüne alındığında sulabilir alanların seçilmesine dikkate edilmesi gerekir.

5. Ek Bilgi: Bu çalışmada kullanılan bazı veriler Murat AKDAĞOĞLU ‘nun “Tekirdağ İli’nde Fiğ+Buğday Hasadından Sonra İkinci Ürün Ayçiçeği Tarımında, Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Araştırılması” isimli yüksek lisans tezinden faydalanılmıştır.

Kaynakça

- Akdemir, B, Kayışoğlu B., ve Kavdır İ., (1994). Mstat İstatistik Paket. Programı Kullanım Kitabı. Yayın No: 203, Yardımcı Ders Kitabı No: 7, T.Ü. Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Tekirdağ.
- Aykas E., (1988). Yerli Yapım Mekanik Tahıl Ekim Makinalarının Serpme Ekime Uyarlanması İçin Uygun Gömücü Ayak Tipinin Geliştirilmesi Üzerinde Bir Araştırma. E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Mekanizasyon Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Bornova, İzmir.
- Baran M.F, Durgut M, Kayhan E, Aydın B., Kurşun İ, ve Bayhan, Y., (2013). 2.Ürün Ayçiçeği Üretiminde Uygulanabilecek Farklı Toprak İşleme ve Ekim Yöntemlerinin Teknik ve Ekonomik Olarak Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2013,9(1), 35-42
- Bayhan Y, Gönülol E, Kayışoğlu B. ve Yalçın H., (2001). Trakya Bölgesinde 2. Ürün Silajlık Mısır Tarımında Farklı Toprak İşleme Yöntemleri, 20. *Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi*, Bildiri Kitabı, 96-101, Şanlıurfa.
- Bayhan, Y, Kayışoğlu B., Yalçın H., Gönülol E. ve Sungur, N., (2006). Possibility of direct drilling and reduced tillage in second crop silage corn. *Soil and Tillage Research*, 88: 1-7.
- Bayhan, Y., (2016). Comparison of Energy Use Efficiency of Different Tillage Methods and No-Tillage on The Secondary Crop Sunflower Production. *Namık Kemal University, Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 13 (2), 102-109.
- Berk, Y. ve Efe E., (1988). Araştırma ve Deneme Metodları-1. Ders Kitabı No:1, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Adana.
- Bilbro J.D. ve Wanjura, D.F (1982). Soil Crusts and Cotton Emergence Relationships. *ASAE*, Vol:25 (6) Page: 1484-1489.
- Borin, M. ve Sartori, L., (1995). Barley, soybean and maize production using ridge tillage, no-tillage and conventional tillage in NorthEast Italy. *J. Agric. Eng. Res.* 62, 229-236.

- Çanakçı, M., Karayel D., Topakcı M. ve Koç A., (2009). Performans of a no-till seeder under dry and soil conditions. *Appl. Eng. Agric.* 25 (4): 459-465.
- Derpsch, R. and Moriya K., (2007). Tillage and no-tillage effects on soils, crops, and ecosystem. Conference on conservation agriculture Russian field day, Rostov, Russia. July 3, 2007.
- Düzgüneş, O, Kesici T. ve Gürbüz F., (1983). İstatistik Metodları-1. Yayın No:861, Ders Kitabı:229, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ankara.
- Ergül F., (2011). Farklı Toprak İşleme ve Ekim Nöbeti Sistemleri Altında Su Bütçesi, *Bazı Toprak Fiziksel Özellikleri ve Buğday Verimindeki Değişimlerin Saptanması. Doktora Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Erkmen Y., (1983). *Patates Tarımında Toprak İşlemenin Mekanizasyon Olanakları Üzerinde Bir Araştırma. A.Ü Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü, Doktora Tezi*, Erzurum.
- Fielke J. ve Bayhan Y., (2011). Effect of set up parameters for a dual tine and presswheel seeding module on seed placement and germination. *Tarım Makinaları Dergisi*, 7(2): 191-197.
- Gemtos, T.A., Cavalaris, C., Demis, V.I., Pateras, D. ve Tsidari Chr., (2002). Effect of changing tillage practices after four years of continuous reduced tillage. In: ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress. Chicago, Illinois, USA, Paper number: 021135, pp. 1-11.
- Karaağaç H, Aykanat S, Bolat A. ve Sağlam C., (2012). Çukurova'da Buğday ve İkinci ürün Silajlık Mısır Ekim Nöbetinde Farklı Toprak İşleme ve Ekim Yöntemlerinin Verim ve Ekonomiklik Açısından Karşılaştırılması. *27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*, 174-179, Samsun.
- Karaağaç H. ve Barut Z., (2009). Farklı Toprak İşleme ve Ekim Sistemlerinin Silajlık Mısır Gelişimi ve İşletme Ekonomisine Etkisi. *25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*, 367-374, Isparta.
- Kayıoğlu B., (1990). Trakya Bölgesinde Ayçiçeğinin Mekanizasyonu İle Bitkinin Mekanizasyona Yönelik Özelliklerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi. T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne
- Önemli, F. ve Gucer T., (2010). The Characterization of some Wild Species of *Helianthus* for some Morphological Traits. *HELIA*, 33 (Nr.53);:17-24.
- Peterson, R., 1992. Statistics and experimental design working manual. Technical Manual No:11, International center For Agricultural research in the Dry Areas, 16-17, Icarda, Aleppo, Syria.
- Sessiz, A., Sogut T., Alp A. ve Esgici R., (2008). Tillage effects on sunflower (*helianthus annuus*, l.) emergence, yield, quality, and fuel consumption in double cropping system. *Journal of Central European Agriculture* Vol 9(4), 697-710.
- Sessiz, A. ve Söğüt T., (2008). The Effect of Different Tillage Methods on Corn, Soybean, Sunflower and Sesame Protein, Oil and ash Content. **10th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture**. 238-243, 14-17 October 2008, Antalya-Turkey.
- Sessiz, A., Alp A. ve Gursoy S., (2010). Conservation and conventional tillage methods on selected soil physical properties and corn (*Zea Mays* L.) yield and quality under cropping system in Turkey. *Bulg. J. Agric. Sci.*, Volume: 16 Issue: 5 Pages: 597-608
- Siemens M. C. ve Wilkins D.E., (2006). Effect of residue management methods on no-till drill performance. *Applied Engineering in Agriculture* 22 (1): 51-60.
- Varsa E.C., Chong S.K., Abolaji J.O., Farquhar D.A. ve Olsen F.J., (1997). Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. *Soil and Tillage Research*, 43: 219-228.
- Yalçın H., (1998). *Silajlık İkinci Ürün Mısır Uygun Toprak İşleme Yöntemlerinin Belirlenmesi Üzerinde Bir Araştırma. Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yalçın H. ve Çakır E., (2005). Tillage Effects And Energy Efficiencies of Subsoiling and Direct Seeding in Light Soil on Yield On Second Crop Corn for Silage in Western Turkey



Localization and Initialization Algorithms based on UWB, LiDAR and Odometry for Robotic Applications with ROS Ecosystem

Pınar Oğuz Ekim*

Izmir University of Economics, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1860-4526),
pinar.ekim@ieu.edu.tr

(First received 1 Haziran 2020 and in final form 15 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.746214)

ATIF/REFERENCE: Oğuz Ekim, P. (2020). Localization and Initialization Algorithms based on UWB, LiDAR and Odometry for Robotic Applications with ROS Ecosystem. *European Journal of Science and Technology*, (20), 343-350.

Abstract

This paper describes the initialization problem along with the localization problem over the Turtlebot3 and many more mobile robots. The least squares techniques and the squared range measurements obtained from ultra-wide band (UWB) sensors are used for calculating the initial robot position. Then by exploiting the initial position, Light Detection and Ranging (LiDAR) scans and scan matching technique have been proposed to find the initial heading. Thus, the autonomous pose initialization, which is an important problem in robotic applications, is solved. The Extended Kalman Filter, which fuses UWB range measurements, odometry and Adaptive Monte Carlo Localization (AMCL) pose information, is adopted to localize the robot during its trajectory. New modules have been implemented for Robot Operating Systems (ROS) for real and simulation environments and they are made to be open source to enable wide-spread adoption. The simulation results have shown that the proposed method's Root Mean Square Error (RMSE) is 3 cm and it's almost twice better in accuracy than the benchmarked method.

Keywords: Extended kalman filter, Autonomous mobile robots, Robot navigation, Robot localization, Ultra-wide band, Lidar.

ROS Ekosistemi ile Robotik Uygulamalar için UWB, LiDAR ve Odometriye Dayalı Konumlandırma ve İklendirme Algoritmaları

Öz

Bu çalışmada, Turtlebot3 ve daha birçok mobil robot üzerindeki konum bulma sorunu ile birlikte iklendirme sorunu açıklanmaktadır. Ultra geniş bant (UWB) sensörlerinden elde edilen uzaklıkların kareleri ölçümleri ve en küçük kareler tekniği ilk robot konumunu hesaplamak için kullanılır. Daha sonra bu başlangıç pozisyonundan yararlanarak, ilk yönelim açısını bulmak için Işık Algılama ve Uzaklık (LiDAR) sensörünün taramaları ve tarama eşleştirme tekniği önerilmiştir. Böylece, robotik uygulamalarda önemli bir sorun olan başlangıçtaki otonom konumlandırma ve yönelim açısını bulma çözüldü. UWB uzaklık ölçümleri, kilometre odometre ve Uyarlanabilir Monte Carlo Lokalizasyon (AMCL) poz bilgisini birleştiren Genişletilmiş Kalman Filtresi, robotun yörüngesi sırasında konumu bulmak için benimsenmiştir. Gerçek ve simülasyon ortamları için Robot İşletim Sistemleri (ROS) için yeni modüller uygulanmıştır ve geniş çapta benimsenmesini sağlamak için açık kaynak olarak yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen yöntemin Kök Ortalama Kare Hatasının (RMSE) 3 cm olduğunu ve kıyaslama yöntemden neredeyse iki kat daha iyi olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Genişletilmiş kalman filtresi, Otonom mobil robotlar, Robot navigasyonu, Robot konumlandırması, Ultra geniş bant, Lidar.

* Corresponding Author: pinar.ekim@ieu.edu.tr

1. Introduction

Autonomous vehicles and robots are trending topics. Main reason for that might be some advantages that these systems introduce to the world. Some of the advantages are decreasing human influence in the industry while keeping people away from dangerous jobs such as industrial welding or disaster response and increasing production rates. However, in order to expand the work fields of robots, well designed autonomous robotic systems are required. There is one important question that needs to be answered to be able to achieve this, "Where am I?". Given a map of the environment and sensors data the problem of determining the pose of a robot is localization (Zhang et al., 2009 and Fox et al., 1999). For example, a recent work for an optimal robot path planning in the field of robotics and automation proposes Particle Swarm Optimization (PSO) which needs the current location of the robot to plan the optimal path (Beşkirli and Tefek, 2019).

Over the years different techniques and algorithms are developed to solve the localization problem accurately like Kalman filter (Jetto et al., 1999), particle filter (Vlassis et al., 2002), Monte Carlo Localization (Dellaert et. al, 1999). Each method has pros and cons. The Kalman Filter tends to be less accurate compared to the particle filter whereas the particle filter may require more computation power depending on implementation since it uses multiple particles to represent robot's possible location and move them in time according to the information coming from sensors.

A robust solution is required to increase the autonomy and adaptability of mobile robots in different circumstances and expand the range of applications (Payá et al., 2017). To address the mentioned problems, some relevant information about the environment that the robot moves is necessary. This information is a priori unknown. Therefore, to extract the necessary information from the environment autonomous mobile robots can be equipped with different sensorial systems (Paya et al., 2017). On A camera, GPS and odometry are utilized in the Kalman and particle filters to localise an outdoor robot (Lee et. al, 2009). A recent work which uses LiDAR sensor for point cloud-based 3D mapping uses GPS to localize the robot (Açikel and Gökçen, 2019). Inertial Navigation System and a laser range sensor can be also exploited for localization (Luo et. al, 2014). Recently, Ultra-Wide-Band (UWB) has been mainly used for communication is considered as a promising solution for vehicle positioning (González et.al, 2009). Capability of data transmission range accurate estimation and material penetration make it suitable for indoor robotic applications.

Robot Operating System (ROS) is an open source meta-operating system that provides a message passing structure between different processes across a network (Robot Operating System, 2019). ROS is an ecosystem that allows to introduce a new sensor (or a node) easily and to have simultaneous data from different sensors. Therefore, it leads to easy implementation of different sensor fusion techniques and combining various hardware components. Furthermore, ROS has a simulator like Gazebo which is a powerful tool in the robotics field (Yılmaz and Bayındır, 2019). During the simulations and real tests, TurtleBot3 which is a ROS standard platform robot is exploited. Turtlebot3 uses odometry and Light Detection and Ranging (LiDAR) data to localize itself, map the environment and navigate.

Fusing the information, which come from different sensors, in a reliable and an efficient way is the solution of localization problem or many more robotic problems. Because when a sensor can not have measurements under specific environmental conditions, the other one can be used to decrease the error propagation. In addition of this, the error characteristics of a sensor can be fixed by exploiting another sensor with different characteristics. Although, the importance of the sensor fusion is widely known, the newly developed sensor technologies and the compatible algorithms have not been studied extensively yet.

In order to achieve fully autonomous navigation, the initialization problem needs to be solved. The standard solution for this problem is to give the initial pose (position and orientation) of the robot manually. Instead, in this study, UWB sensors are proposed to be used to determine the initial position for navigation algorithms and also for indoor localization applications. UWB range measurements are obtained before robot moves and the algorithm estimates the location of the robot. Then this information is combined with LiDAR scans to calculate the angle of the robot facing relative to the map. With this accurate initial pose information, a better navigation can be possible.

In this paper, the Extended Kalman Filter (EKF) has been implemented and it fuses odometry, the pose output of the adaptive Monte Carlo localization (AMCL) algorithm of Turtlebot3 and UWB range measurements to localize the robot during its trajectory. The proposed algorithm has been tested in different trajectories where the UWB tag on the robot is within the line of sight and the non-line of sight of the UWB anchors which are distributed in an indoor environment in the simulation environment and the real environment. The tests have already brought several promising results which can be found in the next sections. Once more the importance of sensor fusion is proved. Because

The contributions are the integration of UWB nodes to the Turtlebot3 in the ROS ecosystem, to make use of these sensor measurements along with the wheel odometry and *amcl* algorithm's output in the EKF for localization, and the initialization of the LiDAR based navigation stack using UWB ranging and LiDAR scan matching. Moreover, a simulation environment is implemented with the help of the Turtlebot3 library in ROS. Appropriate GUIs are developed for creating synthetic data and testing any algorithm and visualizing the performances. They are open to public access in our GitHub websites (Bostanci et al., 2019).

2. Material and Method

2.1. Problem Formulation of the Localization Algorithm

2.1.1 The Extended Kalman Filter

The probabilistic theory has many applications in different scientific fields. However, it has a special case in robotics for interpreting and modelling the uncertainties about locating the robots, mapping and information from sensors (Dudek et. al, 2010). Within this theory, Bayesian Filters aim to estimate the states or the beliefs about the states of an environment iteratively.

A special type of Bayesian Filter, EKF, is proposed to solve the localization for robotic applications. Let x_t be the state to be estimated with time index t . The state is tried to be estimated by using the control inputs $u_{1:t} = \{u_t, u_{t-1}, \dots, u_1\}$ and the information or measurements, $z_{1:t} = \{z_t, z_{t-1}, \dots, z_1\}$, that come from sensors. The measurements have a partial knowledge about the state, or they might contain error. Additionally, there might be errors due to the state modelling and control inputs. The evolution of the states and the error characteristics of the measurements obey the probabilistic laws.

In robotic applications the motion model and the observation model are defined as follow:

$$\begin{aligned} x_t &= g(x_{t-1}, u_t, v_{t-1}) \\ z_t &= h(x_t, w_t). \end{aligned} \quad (1)$$

The motion noise and the observation noise are expressed with v_{t-1} and w_t , respectively. If the motion and the observation models are linear and the noises are additive, independent and identically distributed (i.i.d.) Gaussian distributions then the Kalman Filter (KF) is the optimum filter (Bar-Shalom et. al, 2004). In other words,

If the initial belief $bel(x_0)$ has a Gaussian distribution:

$$x_0 \sim \mathcal{N}(\mu_0, \Sigma_0)$$

$$bel(x_0) = p(x_0) = \det(2\pi\Sigma_0)^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x_0 - \mu_0)^T \Sigma_0^{-1} (x_0 - \mu_0)\right\}$$

If the motion probability model is linear and the motion noise is additive i.i.d. Gaussian distribution:

$$\begin{aligned} x_t &= A_t x_{t-1} + B_t u_t + v_{t-1}, v_{t-1} \sim \mathcal{N}(0, R_t) \\ p(x_t | x_{t-1}, u_t) &= \det(2\pi R_t)^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x_t - A_t x_{t-1} - B_t u_t)^T R_t^{-1} (x_t - A_t x_{t-1} - B_t u_t)\right\} \end{aligned} \quad (2)$$

If the observation probability model is linear and the observation noise is additive i.i.d. Gaussian distribution:

$$\begin{aligned} z_t &= C_t x_t + w_t, w_t \sim \mathcal{N}(0, Q_t) \\ p(z_t | x_t) &= \det(2\pi Q_t)^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(z_t - C_t x_t)^T Q_t^{-1} (z_t - C_t x_t)\right\} \end{aligned} \quad (3)$$

then the posterior distribution, $bel(x_t)$, is always Gaussian and the KF expresses it with the mean μ_t and the covariance Σ_t parameters at time t .

The estimated mean and covariance are updated using the motion model and this step is called the prediction step:

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_t &= A_t \mu_{t-1} + B_t u_t \\ \bar{\Sigma}_t &= A_t \Sigma_{t-1} A_t^T + R_t. \end{aligned} \quad (4)$$

The predicted mean and covariance are updated using the observation model and this step is called the update step:

$$\begin{aligned} K_t &= \bar{\Sigma}_t C_t (C_t \bar{\Sigma}_t C_t^T + Q_t)^{-1} \\ \mu_t &= \bar{\mu}_t + K_t (z_t - C_t \bar{\mu}_t) \\ \Sigma_t &= (I - K_t C_t) \bar{\Sigma}_t. \end{aligned} \quad (5)$$

The Kalman gain K_t in Eq. (5) shows at what proportion the measurement is used at the state update.

When the motion and the observation model are not linear, the approximate form of KF, the EKF, is used. The EKF exploits the first-degree Taylor approximations of the model functions as the local linear forms at the prediction and the update steps.

2.1.2. The Motion Model: Odometry Information

Technically, the odometry is a sensor, but it provides control inputs for the robotic applications (Dobrev et. al, 2018). The odometry motion model comprises the probability of transition between the states in the prediction step. Let the robot move δ_{trans} and rotate δ_{rot} in $(t-1, t]$ so that $u_t = (\delta_{trans}, \delta_{rot})$. Let $x_{t-1} = (x, y, \theta)$ and $x_t = (x', y', \theta')$ be the previous and the current robot poses which have the following relationship:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \delta_{trans} \cos \theta \\ \delta_{trans} \sin \theta \\ \delta_{rot} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

To be employed in Eq. (4), the first derivatives of the motion model function g in Eq. (1) with respect to u and x are obtained as follows:

$$A_t = \frac{\partial g(\cdot)}{\partial x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\delta_{trans} \sin \theta \\ 0 & 1 & \delta_{trans} \cos \theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B_t = \frac{\partial g(\cdot)}{\partial u} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

2.1.3 The Observation Model: UWB Sensors

UWB sensors can measure the distance between the transmitter and the receiver from two-way time of arrival of radio signals. The indoor localization problem is very hard due to the multipath and the non-line of sight conditions. However, UWB technology provides more accurate range measurements as the direct path of the signal is easily differentiated from the multipath thanks to the ultra-wideband (Bregar et. al, 2018).

Let p_t^i and l^j be the locations of the receiver on the robot and the j^{th} transmitter in a 2D indoor environment (the extension to 3D is straightforward) respectively, then the true range between them is

$$r_t^{UWB} = \|p_t^i - l^j\| = \sqrt{(x_t^i - l_x^j)^2 + (y_t^i - l_y^j)^2}. \quad (8)$$

The environmental factors can be modelled as an independent Gaussian noise $w_t \sim N(0, \sigma_w^2)$ and added to the measurements which have the following expression:

$$z_t = r_t^{UWB} + w_t. \quad (9)$$

The first derivative of the observation model function h in Eq. (1) with respect to x is obtained for each range measurements as follows:

$$C_{j,t} = \frac{\partial h(\cdot)}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{x_t^i - l_x^j}{\sqrt{(x_t^i - l_x^j)^2 + (y_t^i - l_y^j)^2}} & \frac{y_t^i - l_y^j}{\sqrt{(x_t^i - l_x^j)^2 + (y_t^i - l_y^j)^2}} & 0 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

2.1.4 The Observation Model: AMCL pose information

Turtlebot3 employs the standard algorithms *amcl*, *gmapping* and *move base* for the solution of localization, mapping and navigation problems respectively. The *amcl* algorithm is a special form of particle filter which uses the odometry and LiDAR information to calculate the pose of the robot (Dellaert et. al, 1999). The proposed localization method in this paper exploits the pose of *amcl* algorithm at the update step of the EKF. The employed *amcl* output has the following form

$$p_t^{i,amcl} = p_t^i + \eta_t \quad (11)$$

where η_t is the noise of the *amcl* estimate.

2.2. Problem Formulation of the Initialization Algorithm

2.2.1 The Source Localization

Let $x \in R^n$ be the unknown robot position, $a_i \in R^n, i = 1, \dots, m$ be known sensor positions (anchors), and $r_i = \|x - a_i\| + w_i$ be the measured distance between the source and the i -th anchor, where w_i denotes a noise term. Under i.i.d. noise maximizing the likelihood of observations for the source localization problem is equivalent to

$$\text{minimize} \sum_{i=1}^m \left| \|x - a_i\|^p - r_i^p \right|^q \quad (12)$$

The case ($p = 2, q = 2$) is the main interest of this paper and corresponds to the cost function used in the SR-LS algorithm of (Beck et. al, 2008). The cost function for SR-LS is not a likelihood function. It is chosen because it is easy to implement, and its computational time is very suitable for practical robotic applications. Specifically, the problem solved in (Beck et. al, 2008) is

$$\text{minimize} \sum_{i=1}^m \left\| \|x - a_i\|^2 - r_i^2 \right\|^2 \quad (13)$$

The exact solution of Eq. (7) can be derived by writing the equivalent form as follows

$$\begin{aligned} &\text{minimize} \quad \|Ay - b\|^2 \\ &\text{subject to} \quad y^T Hy + 2c^T y = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

where $A = \begin{bmatrix} -2a_1^T & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -2a_m^T & 1 \end{bmatrix}$, $b = \begin{bmatrix} r_1^2 - \|a_1\|^2 \\ \vdots \\ r_m^2 - \|a_m\|^2 \end{bmatrix}$, $H = \begin{bmatrix} I_n & 0_n \\ 0_n & 0 \end{bmatrix}$, and $c = \begin{bmatrix} 0_n \\ -0.5 \end{bmatrix}$.

Next, compute α^* as the root of

$$\hat{y}(\alpha)^T H \hat{y}(\alpha) + 2c^T \hat{y}(\alpha) = 0, \quad \text{with } \alpha \in \left(-\frac{1}{\alpha_1}, \infty\right),$$

where α_1 is the maximum of the generalized eigenvalues (Golub et. al, 1996) of $(H, A^T A)$ and $\hat{y}(\alpha) = (\alpha H + A^T A)^{-1} (A^T b - c)$. Finally, the minimizer of the objective in (7) is given by the n first component of $\hat{y}(\alpha^*) \in R^{n+1}$.

2.2.2 The LiDAR based heading

The navigation stack of ROS is exploited to navigate a robot in a predefined map. The navigation stack resorts to *amcl* algorithm to estimate the current pose of the robot and optimize the path to the goal pose. However, *amcl* algorithm needs a good initialization and the common way is to define an initial starting pose and to determine the goal point *manually* on a ROS graphical interface, Rviz. If the initialization is not good enough then the robot might not reach to the goal location.

The proposed initialization method uses the UWB and LiDAR data. To automate the initialization, the UWB sensors are exploited to estimate the current position of the robot via the source localization algorithm which is explained in Section 2.2.1. UWB data can be only used to find the location information not the heading. However, the location information obtained from them is used as a reference point to match the map data around it and the current LiDAR scans so that the orientation of the robot can be calculated. To achieve this, the LiDAR scan data is rotated ten degrees incrementally and all the points are compared with the map data as shown in Fig. 1 at each iteration. Over the 360 degrees, the distance of each LiDAR end point to the nearest point on the map is calculated repeatedly. The angle value at which the sum of the distances of the points is the lowest gives the orientation of the robot. The pseudo code of the initialization algorithm is given in Table 1.

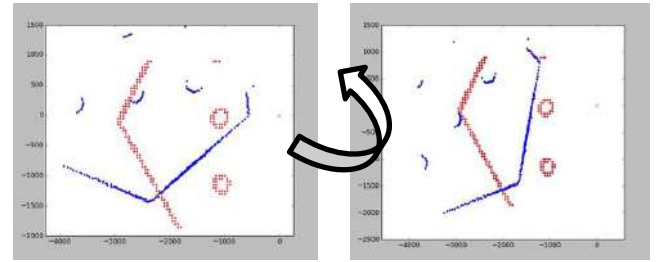


Fig. 1. Ten degrees rotation of LiDAR scan data at each iteration. The blue and red dots correspond to scan and map data respectively.

Table 1. The Pseudo code of the initialization algorithm

Input : M = Map Array , L = Lidar Array	
Output : A = angle of robot	
1.	A = 0
2.	min_error = infinity
3.	for i:=1 to 360
4.	if i % 10 = 0
5.	L[] rotate i degree
6.	total_distance = 0
7.	for j = L[] every element
8.	min_distance = infinity
9.	for k = M[] every element
10.	if min_distance > distance of k to j
11.	min_distance = distance of k to j
12.	total_distance += min_distance
13.	if min_error > total_distance
14.	A = i
15.	min_error = total_distance

2.3. ROS Ecosystem and System Flow

The location information is the most important information for the navigation systems. The UWB sensors are very good choice for robotic localization applications as they provide range information with low noise components and they are resilient to multipath. Furthermore, the fusion of their information with odometry information leads to have a more robust solution for hard environmental conditions. However, UWB sensors and their fusion with other sensor types and for different indoor applications are not examined well enough in ROS ecosystem. Therefore, in this section the steps of the implementation of ROS modules will be described.

Pozyx UWB sensors (pozyx et. al, 2009) are used through the simulations and the real tests. Therefore, the range information obtained from each UWB anchor in ROS has to be published. However, to determine the robot location, the range information from at least 3 or 4 different sensors for 2D and 3D are needed. Furthermore, sensors may fail randomly, and the erroneous sensor information has to be detected. Thus, a new message type, which contains destination_id array, distance array and stamp array, is created. For each sensor, the message comprises sensor id, range and measurement time and is published as "uwb_data_topic". The codes can be found at the GitHub website (Bostanci et. al, 2009). Additionally, for the simulation purposes, a new UWB simulation node is created and it subscribes to "gazebo/model_states" and gets the real position of the robot on the simulation. After this step, the range information, which is related with the real location, from each sensor is calculated and Gaussian noise is added on it. Then it is shared with "uwb_data_topic" using the same message type. The information from UWB and odometry sensors and *amcl* pose are obtained via "uwb_data_topic" topic, "odom" topic and "amcl_pose topic", respectively. "Odom" topic works with 30 Hz. However, "uwb_data_topic" and "amcl_pose topic" work with 5 Hz and 2 Hz respectively so that every 0.033 s odom information is used to predict the pose and this is verified with UWB data every 0.2 s and *amcl* data every 0.5 s. After these, the pose of the robot is obtained and published with a publisher whose name is "localization_data_topic". The codes can be found in the GitHub website (Bostanci et. al, 2019). Fig. 2 shows the simulation results. The added Gaussian noise is arranged so that the standard deviation is the 1.5% of the true distances (pozyx et. al, 2019). For several trajectory, the Root Mean Square Error (RMSE) of the proposed method is 3cm whereas the RMSE of *amcl* is 6 cm.

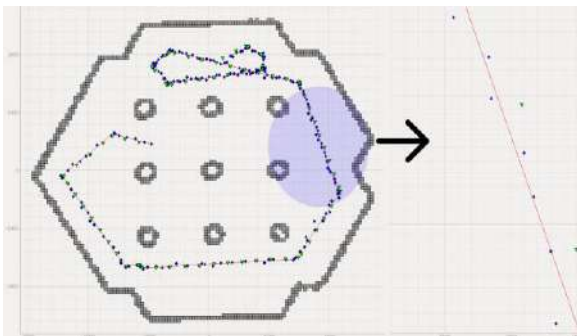


Fig. 2. The blue diamonds, the green triangles and the red line are the estimated trajectory by our method, the estimated trajectory by *amcl* and the true trajectory, respectively.

The source localization algorithm with UWB node provides the location. However, the initial pose also needs an orientation with respect to the map and the system cannot estimate the orientation with only one location. Thus, the map and LiDAR scan matching is applied. After the initial heading estimation, the pose can be published on "initialpose" topic. Fig. 3 shows the pose of the robot before and after the initialization in Rviz. Before the autonomous initialization, the robot position, which is shown with grey rectangle, is wrong and the scan data, which is shown with green dots and lines, is not matched with the real map, which is shown with black dots and lines as demonstrated in Fig. 3a. After the initialization, the scan data and the map are properly matched as shown in Fig. 3b.

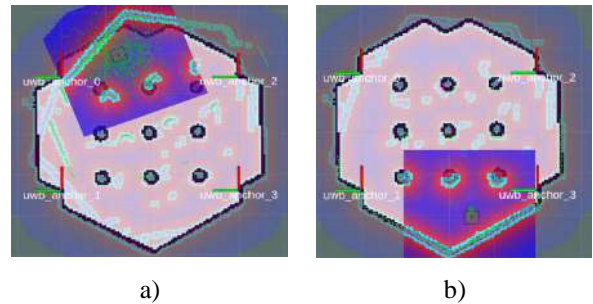


Fig. 3. a) The robot pose and scans from LiDAR before the automatic initialization. b) The robot pose and LiDAR scans after the automatic initialization.

Lastly, the flow chart of the complete system is shown in Fig. 4. A complete simulation and real test environments are created so that it can be used for different tasks. Robot starts and then the simulation or real-world application is chosen. If the application runs in simulation, the Gazebo simulation and Pozyx simulation are initiated and those two simulators provide the synthetic sensor data and the map data. If the application runs in real world, the real sensor data are obtained. After obtaining either the synthetic data or real data initialization package uses UWB range data and the LiDAR scan data to fulfill the autonomous initialization. Afterwards, *amcl* algorithm takes this information, odometry and scan data to calculate the robot position during the robot trajectory. The Kalman Filter localization node exploits the odometry data to set its motion model and it updates the pose information by using the UWB range measurements and *amcl* pose information. Lastly, the GUI shows the map and the current robot position. If it is needed, the navigation stack can be fed with either with *amcl* pose information or the pose information obtained from the Kalman Filter which is proven to provide better pose information.

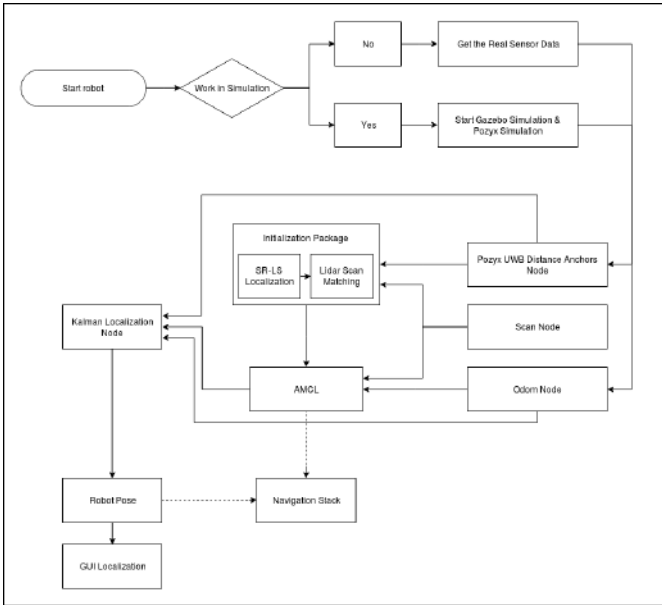


Fig. 4. The flow chart of the complete system

3. Results and Discussion

3.1. Initialization Tests

The initialization is essential to have a proper navigation with the navigation stack of ROS. If the robot doesn't know where it is and which direction it is facing properly, the goal it reached might be quite erroneous. The robot is placed on the point A and sent it to the goal point A' for comparison (Fig. 5a). Fig. 5b indicates the map previously obtained from LiDAR data with Gmapping algorithm (Grisetti et. al, 2005).

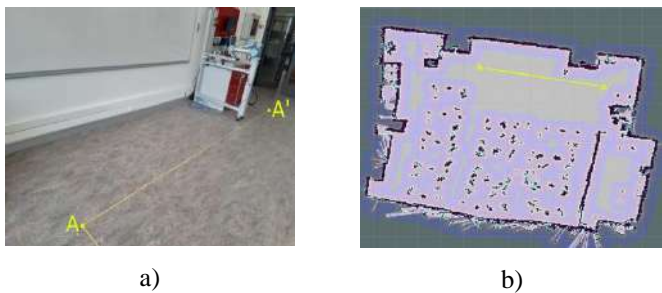


Fig. 5. a) The real test environment. b) The map of the environment obtained with LiDAR.

The proposed algorithm uses UWB range measurements to estimate the robot location and LiDAR and map data to detect the direction it's facing. Fig. 6a and 6b show the decently initialized location and the badly initialized location, respectively. The green dotted lines here represent LiDAR scan data on top of the previously obtained map. As can be seen, the Fig. 6a has almost a perfect initializing which means that the position of the robot and its alignment with respect to the real-world match with the map information. On the contrary, the results in Fig. 6b demonstrate the bad matching of the laser data with the map data due to bad location and direction estimation of the robot.

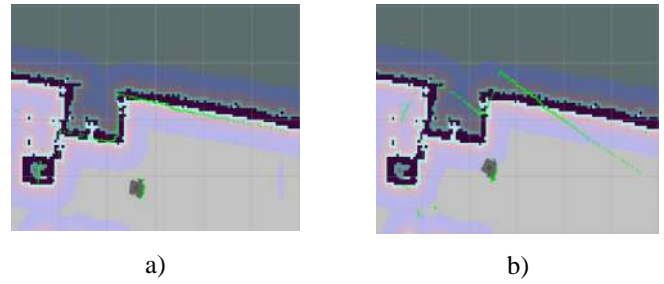


Fig. 6. a) The good initialization. b) The bad initialization.

Once the initial pose of the robot is obtained, the robot autonomously goes to A' by exploiting the *move base* algorithm in the navigation stack of ROS. The Figure 7a and 7b shows the final pose of the robot which has started with a good initialization on the map and in the real environment respectively. The robot has perfectly reached the goal as can be validated from the LiDAR scans on the map. The results of bad initialization can be observed in Fig 7c and 7d and the advantageous of having a good estimate on the initial pose is obvious. In other words, the robot is quite far away from the goal and the LiDAR data is not matched with the map at all. Thorough the tests, it is observed that the error above 10 degrees on the initial direction estimate of the robot causes the robot locates in a totally wrong final pose. Therefore, this emphasizes the necessity of the sensitive estimate on the initial pose.

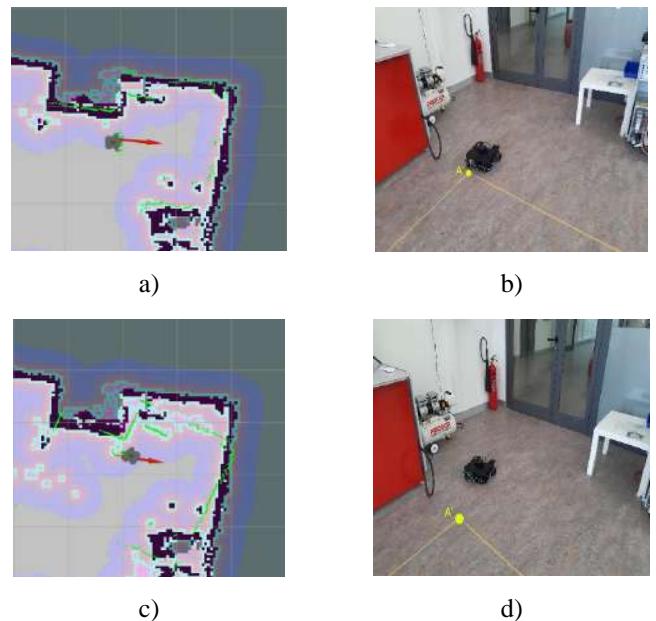


Fig. 7. The final pose of the robot with a good initialization in a) and b), whereas with a bad initialization in c) and d).

3.2. Localization Tests

For both initialization and localization tests, five UWB anchors are installed in the testing environment which is full of chairs and tables in a 10 m by 10 m area (Fig. 8). The UWB tag on the robot communicates with these anchors to get the range information. Simultaneously, it gets the odometry and *amcl* pose information. Thus, the EKF algorithm fuses these data to get a better pose estimation.



Fig. 8. UWB anchors and the real test environments.

The results are shown in Fig. 9 in which the dimensions are given in mm. The yellow dots represent the UWB anchors while the blue dots and green triangles represent the robot trajectory estimated by the EKF and *amcl*, respectively. The EKF keeps providing the location information even if *amcl* cannot due to the computational complexity. Additionally, the accuracy of the EKF with multiple sensors is better than the *amcl* most of the time. This motivates the usage of sensor fusion that even if one type of sensor measurement is blocked or erroneous, the other type keeps supporting the system.

4. Conclusions and Recommendations

The EKF based localization algorithm, which fuses UWB, *amcl* output and odometry information is proposed for the solution of the localization problem of the robotic applications. The least squares and scan matching based initialization algorithms, which combine the squared range information and scan data, are exploited. The new modules for using UWB sensors for ROS ecosystem have been developed. A complete system flow is created for autonomous robotic applications. The simulation results and the tests in the real environment demonstrate the benefits of UWB sensors both for localization and the initialization of navigation systems in terms of accuracy, the robustness and practicality.

5. Acknowledge

This research is supported by Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), project number 119E376. I thank Bekir Bostancı, Sercan Tekkök and Emre Söyünmez for their helping me about the real test setup.

References

- Açikel S. and Gökçen A. (2019). Localization and point cloud based 3d mapping with autonomous robots. *European journal of science and technology special issue*, pp. 82-92, October 2019.
- Bar-Shalom, Y., Li, X. R., and Kirubarajan, T. (2004). *Estimation with applications to tracking and navigation: theory algorithms and software*. John Wiley & Sons.
- Beck, A., Stoica, P., and Li, J. (2008). Exact and approximate solutions of source localization problems. *IEEE Transactions on signal processing*, 56(5), 1770-1778.
- Beşkiri, M. and Tefek M. F. (2019). Parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanılarak optimum robot yolu planlama. *European journal of science and technology special issue*, pp. 201-213, October 2019.
- Bostancı, B., Tekkök, S., Soyunmez, E., and Oguz-Ekim, P. (2019), viewed 17 October 2019, <<https://github.com/ieuagv>>

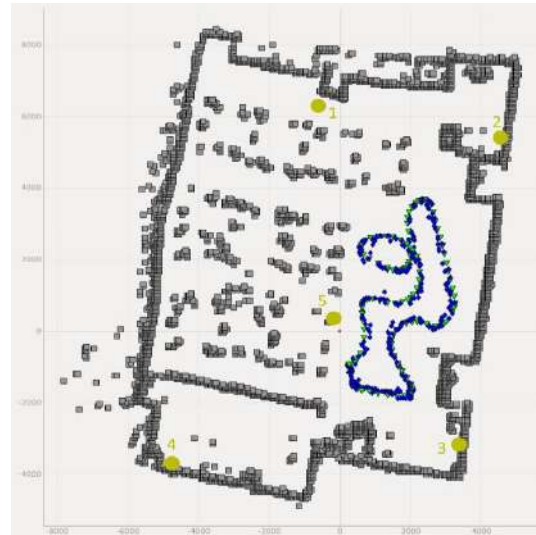


Fig. 9. The estimated trajectory of the robot is shown in blue and green by EKF and *amcl* in real tests respectively.

- Bregar, K., and Mohorčič, M. (2018). Improving indoor localization using convolutional neural networks on computationally restricted devices. *IEEE Access*, 6, 17429-17441.
- Dellaert, F., Fox, D., Burgard, W., and Thrun, S. (1999, May). Monte carlo localization for mobile robots. *In Proceedings of the 1999 IEEE International conference on robotics and automation (ICRA)*, 2, 1322-1328.
- Dobrev, Y., Gulden, P., and Vossiek, M. (2018). An indoor positioning system based on wireless range and angle measurements assisted by multi-modal sensor fusion for service robot applications. *IEEE Access*, 6, 69036-69052.
- Dudek, G., and Jenkin, M. (2010). *Computational principles of mobile robotics*. Cambridge University Press.
- Fox, D., Burgard, W., and Thrun, S. (1998). Active markov localization for mobile robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 25(3-4), 195-207.
- Golub, G. and Van Loan, C. (1996). *Matrix Computations*. Johns Hopkins University Press.
- González, J., Blanco, J. L., Galindo, C., Ortiz-de-Galisteo, A., Fernández-Madrigal, J. A., Moreno, F. A., and Martínez, J. L. (2009). Mobile robot localization based on ultra-wide-band ranging: A particle filter approach. *Robotics and autonomous systems*, 57(5), 496-507.
- Grisetti, G., Stachniss, C., and Burgard, W. (2005, April). Improving grid-based slam with rao-blackwellized particle filters by adaptive proposals and selective resampling. *In Proceedings of the 2005 IEEE International conference on robotics and automation (ICRA)*, 2432-2437.
- Jetto, L., Longhi, S., and Venturini, G. (1999). Development and experimental validation of an adaptive extended Kalman filter for the localization of mobile robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 15(2), 219-229.
- Lee, D., Son, S., Yang, K., Park, J., and Lee, H. (2009, August). Sensor fusion localization system for outdoor mobile robot. *In 2009 ICCAS-SICE*, 1384-1387.
- Luo F., and Fan Z. (2014). Mobile robot localization based on particle filter. *In Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 2014.
- Payá, L., Gil, A., and Reinoso, O. (2017). A state-of-the-art review on mapping and localization of mobile robots using omnidirectional vision sensors. *Journal of Sensors*, 2017.

- Pozyx creator kit Lite 2015, viewed 14 October 2019, <<https://www.pozyx.io/shop/product/creator-kit-lite-67>>.
- Robot Operating System (2009), viewed 14 October 2019, <<http://www.ros.org>>.
- Vlassis, N., Terwijn, B., and Krose, B. (2002). Auxiliary particle filter robot localization from high-dimensional sensor observations. In *Proceedings of the 2002 IEEE International conference on robotics and automation (ICRA)*.
- Yılmaz Z. and Bayındır L.(2019). Simulation of lidar-based robot detection task using ros and gazebo. *European journal of science and technology special issue*, pp. 513-529, October 2019.
- Zhang, L., Zapata, R., and Lépinay, P. (2009, October). Self-adaptive Monte Carlo localization for mobile robots using range sensors. In *2009 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1541-1546.



Solvent Effects on the Contrast Agent Iomeprol with Density Functional Theory

Sedat Giray Kandemirli¹, Fatma Genç², Fatma Kandemirli³ and Meryem Evecen^{4*}

¹University of Iowa, Roy Carver College of Medicine, Department of Radiology, United States, (ORCID: 0000-0002-3976-4062), gskandemirli@yahoo.com;

²Istanbul Yeni Yuzyil University, Department of General Chemistry, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5304-5347), fatma.genç@yeniuyuzvil.edu.tr

³Kastamonu University, Department of Biomedical Engineering, Kastamonu, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6097-2184), fkandemirli@yahoo.com

^{4*}Amsya University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Amsya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7926-1323), meryem.evecen@amasya.edu.tr

(First received 5 May 2020 and in final form 13 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.732239)

ATIF/REFERENCE: Kandemirli, S. G., Genç, F., Kandemirli, F. & Evecen, M. (2020). Solvent Effects on the Contrast Agent Iomeprol with Density Functional Theory. *European Journal of Science and Technology*, (20), 351-359.

Abstract

Contrast compounds, also called contrast agents or contrast media are substances that temporarily change the way X-rays or other imaging tools interact with the body. Iomeprol is a nonionic monomeric iodinated contrast medium. Optimized geometries of Iomeprol, HOMO-LUMO energy, energy gap, global chemical indices, total energy, nonlinear optical and Natural Bond Orbital (NBO) analysis in the gas phase and in solvents (chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water) were obtained based on Density Functional Theory with B3LYP/lanl2dz basis set. The results revealed that the solvents have an effect on the optimized and some chemical parameters (hardness, electronegativity, electrophilicity index, nucleofugality,..). It was observed E_{HOMO} values become more negative and E_{LUMO} values become more positive due to the increase dielectrical constant of the solvent. It was observed that Iomeprol had a highest stability, harder and less reactive in the water phase. In the NBO analysis, interaction between donor and acceptor electrons was effected with the dielectric constant of the solvent.

Keywords: Density Functional Theory, Gaussian 09, HOMO-LUMO, Stabilisation Energy, Iomeprol.

Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi ile Kontrast Madde Iomeprol Üzerinde Çözücü Etkileri

Öz

Kontrast maddeleri veya kontrast madde olarak da adlandırılan kontrast bileşikleri, X-ışınlarının veya diğer görüntüleme araçlarının vücutla etkileşimini geçici olarak değiştiren maddelerdir. Iomeprol, noniyonik bir monomerik iyotlu kontrast ortamdır. Iomeprol'ün gaz fazında ve farklı çözümlerde (kloroform, asetik asit, etanol, DMF, DMSO ve su) optimize olmuş geometrileri, HOMO-LUMO enerjisi, enerji aralığı, global kimyasal indeksler, toplam enerji, doğrusal olmayan optik ve Doğal Bağ Orbital (NBO) analizi Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi kullanılarak B3LYP/lanl2dz temel seti ile elde edildi. Optimize edilmiş ve bazı kimyasal parametreler (sertlik, elektronegatiflik, elektrofilitiklik indeksi, nükleojenite,..) üzerinde çözücülerin bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çözücü dielektrik sabitinin artmasıyla E_{HOMO} değerlerinin daha negatif ve E_{LUMO} değerlerinin daha pozitif olduğu gözlenmiştir. Iomeprol'ün su fazında en yüksek stabiliteye sahip, daha sert ve daha az reaktif olduğu bulunmuştur. Ayrıca NBO analizinde, alıcı ve verici elektronları arasındaki etkileşim, çözücünün dielektrik sabitinden etkilenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi, Gaussian 09, HOMO-LUMO, Stabilizasyon Enerjisi, Iomeprol.

* Corresponding Author: meryem.evecen@amasya.edu.tr

1. Introduction

Contrast agents are iodine-containing solutions and the most commonly used in radiology today. Iodinated contrast agents can be used pretty much anywhere in the body and administered as intravenously, intraarterially, intrathecally and intraabdominally [1].

A structure in the human body can be made visible by radiation only if its attenuation of radiation differs from that of its surroundings. The attenuation difference between the different structures is an important effect of the contrast agent, which enhances the attenuation difference between different body structures with different concentrations in the diverse body parts in question. Since the contrast agent is distributed to both the extracellular area and to a lesser extent the intracellular area, it touches all plasma proteins and all cells of the body. Therefore, undesirable adverse reactions may occur [2]. Although serious or life-threatening reactions can occur, they are usually safe and side effects are usually mild and self-limiting [1].

Contrast agents are classified as ionic monomers, ionic dimers, nonionic monomers, nonionic dimers and are different in terms of carboxyl and hydroxyl groups and osmolality. In imaging studies, iodinated contrast media are used commonly [3].

Iomeprol is a new nonionic, hydrosoluble, monomeric iodinated, injectable contrast agent with very low molecular toxicity for diagnostic radiologic examinations and Bracco synthesized and developed it. Chemically, Iomeprol is characterized as N1,N1-bis-(2,3-dihydroxypropyl)-5-[(hydroxyacetyl)methylamino]-2,4,6-triiodo-1,3-benzenedicarboxamide [4]. Formulations of iodine do not contain chelants and are characterised by the lowest osmolality, chemotoxicity and viscosity of all the available nonionic, monomeric contrast agent at alike iodine concentrations [5]. Since Iomeprol does not have chelating agent, it causes undesirable hemodynamic and electrophysiological effects less with its lowered ionized calcium in myocardial capillary and interstitial fluid with chelating elements. However, this did not provide advantage over Iomeprol when compared with other nonionic agents in clinical trials [6]. The contrast enhancing potency of Iomeprol is caused by the iodine-trisubstituted benzene ring. When compared to nonionic contrast agents, it is reported that water solubility is higher with Iomeprol [3]. The 3 high-hydrophilic side-chain groups in structure cause water solubility [4]. Iomeprol is highly soluble in water and forms stable formulation. For this reason, Iomeprol is used for diagnostic procedures because of its many concentrations [7].

Iomeprol has equal diagnostic efficacy and tolerability profile, which is similar to other nonionic contrast agents. Iomeprol is suitable for use in diagnostic imaging like others of its class [3].

2. Material and Method

Gaussian 09 package was used for all calculations [8]. The molecular structure geometries and electronic structure were visualized by GaussView 5.0 program [9]. Optimization for geometry was made by using hybrid 3-parameter exchange function of Becke and nonlocal correlation functional of Lee, Yang, and Parr (B3LYP) [10]. The population analysis has also

been performed by the natural bond orbital method at B3LYP/lanl2dz level of theory using natural bond orbital (NBO) program with Gaussian 09.

3. Results and Discussion

The ionization potentials (IP) and electron affinities (EA) of the molecule in the gas phase and in solvents are calculated with the use of Koopman's Hypothesis, including the HOMO and LUMO energy orbitals respectively using the following expressions;

$$IP = -E_{HOMO} \quad (1)$$

$$EA = -E_{LUMO} \quad (2)$$

Figure 1, presents optimised structure, the highest occupied molecular orbital (HOMO), the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) and electron density of Iomeprol in the gas phase computed at the DFT/B3LYP level with the lanl2dz basis set. It can be observed from Figure 1, HOMO are formed from benzene ring and group attached to N atom, benzene ring. LUMO are composed of benzene and iodine groups attached to benzene ring.

HOMO that is an electron donor shows the ability to give electron, the higher the E_{HOMO} , the easier it is for HOMO to give electrons; and LUMO that is an electron acceptor shows the ability to receive electron. If E_{LUMO} is lower, it is the easier to accept electrons for the LUMO [11].

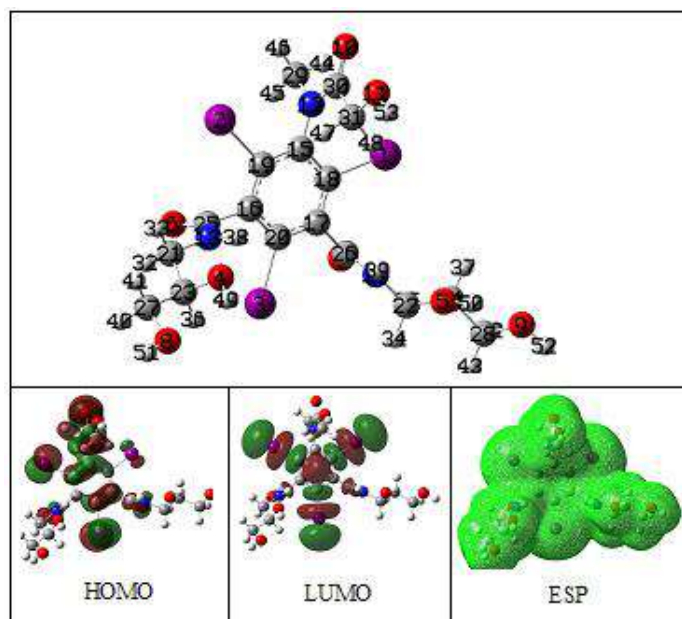


Figure 1. Optimized structure, HOMO, LUMO and total electron density map of Iomeprol

In Koopman's hypothesis, ionization potentials (IP) and electron affinities (EA) of the molecule are related with E_{HOMO} and E_{LUMO} . The electron affinity (EA) and ionization potential (IP) measure the tendency of compounds to gain or lose an electron [12]. The energy of frontier orbitals are presented in Figure 2. The higher the E_{HOMO} , the easier it is to remove an electron to form an ion.

In the Figure 2, the solvents are arranged in ascending order of dielectric constant with their respective values for E_{HOMO} and E_{LUMO} and near five molecular orbital energies close to frontier orbitals in eV unit.

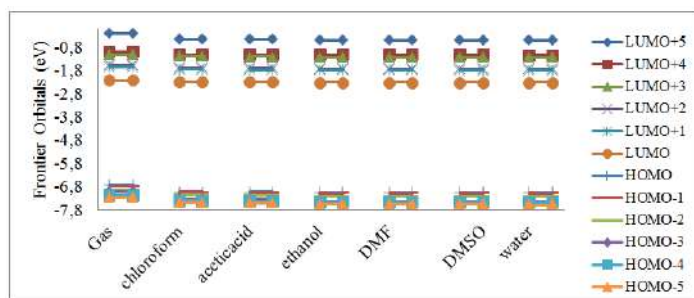


Figure 2. Frontier orbital energies for Iomeprol

We find that the inclusion of solvents causes the HOMO values become more negative and LUMO values become more positive due to the increase dielectric constant.

In Figure 2, it can be observed that it is more difficult to remove an electron from water > DMSO > DMF > ethanol > acetic acid > chloroform > gas phase to form an ion. Similarly, it is more difficult to add an electron in terms of their EAs to the molecule in gas phase > chloroform > acetic acid > ethanol > DMF > DMSO > water.

Compounds with large $E_{HOMO}-E_{LUMO}$ gap value given with equation 3 tend to have higher stability [13].

$$E_{gap} = E_{LUMO} - E_{HOMO} \approx IP - EA \quad (3)$$

Table 1. Chemical Parameters for Iomeprol

Solvent (ϵ)	E_{HOMO}	E_{LUMO}	ΔE	η	S	χ	μ	ω	ΔN_{max}	ΔE_n	ΔE_e
Gas	-6.746	-2.199	4.548	2.274	0.220	4.472	-4.472	4.399	1.967	1.063	10.008
Chloroform (4.81)	-7.018	-2.287	4.731	2.366	0.211	4.652	-4.652	4.574	1.967	1.105	10.409
Acetic acid (6.15)	-7.034	-2.294	4.740	2.370	0.211	4.664	-4.664	4.589	1.968	1.110	10.437
Ethanol (24.55)	-7.069	-2.310	4.759	2.379	0.210	4.689	-4.689	4.621	1.971	1.121	10.500
DMF (36.71)	-7.073	-2.312	4.761	2.380	0.210	4.692	-4.692	4.625	1.971	1.123	10.507
DMSO (46.68)	-7.074	-2.313	4.761	2.381	0.210	4.693	-4.693	4.626	1.971	1.123	10.510
Water (80.1)	-7.077	-2.314	4.763	2.381	0.210	4.695	-4.695	4.629	1.972	1.124	10.515

ϵ : Dielectric constant, ΔE : Energy gap, η : Hardness, S: Softness, χ : Electronegativity, μ : Chemical potential, ω : Electrophilicity index, ΔN_{max} : The maximum number of electrons transferred in a chemical reaction, ΔE_n : Nucleofugality, ΔE_e :Electrofugality

As seen in Table 1, Iomeprol molecule in the water phase has slightly the highest value of chemical hardness (2.381) is considered to be harder and more stable than in the rest of the solvents, followed by DMSO, DMF, ethanol, acetic acid and chloroform with chemical hardness. This indicates that Iomeprol in chloroform is less stable than in the rest of the solvents.

Electron polarizability (i.e. chemical softness (S) refers to the capacity of an atom or an atom group to have electrons can be formulated with the equation 5.

$$S = \frac{1}{2\eta} = \left(\frac{\partial^2 N}{\partial E^2} \right)_{V(r)} = \left(\frac{\partial N}{\partial \mu} \right)_{V(r)} \quad (5)$$

The kinetic stability, chemical reactivity, optical polarizability and chemical hardness-softness of a molecule are determined with the use of energy gap between E_{HOMO} and E_{LUMO} [14]. According to energy gap value, the order of stability of the molecule is more in the water > DMSO > DMF > ethanol > acetic acid > chloroform > gas phase. Interestingly, the order of stability for Iomeprol molecule increases with an increase in polarity of the solvents.

E_{HOMO} , E_{LUMO} , hardness, softness, electronegativity, chemical potential, electrophilicity index, nucleofugality, electrofugality, maximum electrons transferred in a chemical reaction in Iomeprol are shown in Table 1.

Chemical hardness is given by half of the energy band gap as shown in the equation 4 [15].

$$\eta = \frac{IP - EA}{2} \quad (4)$$

As seen in Table 1, Iomeprol molecule in the water phase has slightly the highest value of chemical hardness (2.381) is considered to be harder and more stable than in the rest of the solvents, followed by DMSO, DMF, ethanol, acetic acid and chloroform. This indicates that Iomeprol in chloroform is less stable than in the rest of the solvents.

Electrophilicity index (ω) refers to the measurement of energy decrease because of maximal electron flow between donor and acceptor. Global electrophilicity index (ω) is predicted by employing electronegativity and chemical hardness parameters in the equation [16, 13].

$$\omega = \frac{\mu^2}{2\eta} \quad (6)$$

High electrophilicity shows a good electrophile, and small electrophilicity shows a good nucleophile. As seen in Table 1, electrophilicity index increases with an increase in the dielectric constant of the solvents.

Electric dipole polarizability (measurement of linear response of an infinitesimal electric field (F) representing second-order variation energy is an important property used in determining the polarizability of a molecule or compound [17].

Mean polarizability ($\langle\alpha\rangle$), anisotropic polarizability ($\Delta\alpha$) and κ anisotropy, which are large experimental interest quantities in the theory of optoelectronic and intermolecular forces, of the molecule in gas and in various solvents were computed and reported in Table 2.

Table 2. Polarizability ($\langle\alpha\rangle$), Anisotropic Polarizability ($\Delta\alpha$), κ Anisotropy of the Optimized Iomeprol Molecule in the Gas Phase and Different Solvents

Solvent (ϵ)	$\langle\alpha\rangle$	$\langle\Delta\alpha\rangle$ Esu 10^{-24}	$\langle\Delta\alpha\rangle$ (Ure times)	κ
Gas	300	18.619	8.718	0.018
Chloroform (4.81)	368	22.495	10.533	0.017
Acetic acid (6.15)	374	22.858	10.703	0.017
Ethanol (24.55)	388	23.765	11.127	0.016
DMF (36.71)	390	23.873	11.178	0.016
DMSO (46.68)	390	23.918	11.199	0.016
Water (80.1)	391	23.989	11.232	0.016

It can also be observed that ongoing from non-polar to polar solvent the polarizability of Iomeprol increases as the polarity of the solvents decreases whereas the anisotropic polarizability increases with an increase in the polarity of the solvents. Consequently, the polarity of the solvents plays an important role in determining the values of the non-linear optical properties

of Iomeprol. Urea is commonly used as a reference material in NLO studies. The calculated $\Delta\alpha$, value for urea with the B3LYP/6-311++G(d,p) level is $2.13568262 \cdot 10^{-24}$ esu [18]. As seen Table 2, the anisotropy of polarizability values for the title compound are approximately ten times greater than those of urea for gas and all solvents.

Hyperpolarizability is of boundary molecular orbital energies that aid in the use of intramolecular charge transfer to account for hyperpolarizability. In this study, the values of the first hyperpolarizability were obtained using the following equations:

The first order hyperpolarizability (β) such as β_{vec} (β vector), $\beta_{||}$ (β parallel) and β_{tot} (β total) is the nonlinear optical activity measurement. It is a 3rd rank tensor and may be described with $3 \times 3 \times 3$ matrix and using Kleinman's symmetry, the 3D matrix is reduced to 27 components and 10 components. 10 components of this matrix that is called as β_{xxx} , β_{xxy} , β_{xyy} , β_{yyy} , β_{xxz} , β_{xyz} , β_{yyz} , β_{xzz} , β_{yzz} , β_{zzz} are provided output of GAUSSIAN calculations [19-21].

As the experimental first hyperpolarizability of Iomeprol values in the literature are not reported, it is hard to determine which basis set computes reliable β values. As the polarizability values α and the 1st hyperpolarizability β of Gaussian 09 are reported as atomic units (a.u.), the computed values were converted into electrostatic units (esu) (α : 1 a.u. = 0.1482×10^{-24} esu; β : 1 a.u. = 8.6393×10^{-33} esu). β_{xxx} , β_{xxy} , β_{xyy} , β_{yyy} , β_{xxz} , β_{xyz} , β_{yyz} , β_{xzz} , β_{yzz} , β_{zzz} matrix element are given in Table 3 and the total including the hyperpolarizability (β_{tot}) which may be computed with the equation given below:

Here,

$$\beta_x = \beta_{xxx} + \beta_{xyy} + \beta_{xzz}$$

$$\beta_y = \beta_{yyy} + \beta_{xxy} + \beta_{yzz} \quad \beta_{tot} = (\beta_x^2 + \beta_y^2 + \beta_z^2)^{1/2} \quad (7)$$

$$\beta_z = \beta_{zzz} + \beta_{xxz} + \beta_{yyz}$$

Table 3: $\beta \times 10^{-30}$ (esu), β (a.u.) Components and Values Calculated Using DFT Levels of Theory for Iomeprol

	Gas	Chlorof orm	Acetic Acid	Ethanol	DMF	DMSO	Water
β_{xxx}	-53.80	-89.30	-92.67	-101.90	-103.07	-103.57	-104.33
β_{xxy}	-96.50	-128.77	-134.12	-149.15	-151.11	-151.94	-153.26
β_{xyy}	6.54	48.58	53.67	67.03	68.71	69.42	70.55
β_{yyy}	-95.94	-2.83	9.86	44.13	48.48	50.30	53.19
β_{xxz}	6.27	-65.98	-73.66	-93.24	-95.73	-96.78	-98.47
β_{xyz}	-16.07	-8.45	-7.37	-4.49	-4.14	-3.99	-3.73
β_{yyz}	-79.96	-121.50	-125.53	-135.42	-136.61	-137.11	-137.94
β_{xzz}	12.97	32.52	34.42	38.69	39.26	39.51	39.93
β_{yzz}	2.60	63.84	70.78	88.64	90.83	91.76	93.24
β_{zzz}	25.30	55.53	58.98	68.02	69.13	69.56	70.14
β_{total}	1.72	1.28	1.30	1.40	1.41	1.42	1.44
β_{total} (ure times)	2.38	1.77	1.80	1.94	1.95	1.97	1.97

In Table 3, it is seen that the calculated β values of Iomeprol using B3lyp/lanl2dz level (the β of Iomeprol for gas, chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO, water) are 1.72×10^{-30} esu., 1.28×10^{-30} esu., 1.30×10^{-30} esu., 1.40×10^{-30} esu., 1.41×10^{-30} esu., 1.42×10^{-30} esu., 1.44×10^{-30} esu. respectively. The first polarizability values obtained using B3lyp/lanl2dz level for Iomeprol are the largest value in gas phase and the lowest value in chloroform. Similarly β_{total} -first hyperpolarizability value is very important key factors to identify NLO properties of molecular systems. In all phase, the first hyperpolarizability values for the title compound are approximately two times greater than those of urea (β_{total} , value for urea with the B3LYP/6-311++G(d,p) level is $7.2228469891.10^{-31}$ esu [18]). Due to the obtained results, the Iomeprol molecule has bigger first hyperpolarizability than urea. So, it may be an attractive matter for the nonlinear optical applicants.

NBO analysis emphasizing the intermolecular orbital interaction's role in charge transfer is done by considering all probable interactions among the donor and receiver NBOs and by predicting energetic significance with second-order perturbation theory. For donor NBO (i) and acceptor NBO (j), the stabilization energy $E^{(2)}$ attributed to electron delocalization between the donor and the receiver is predicted below:

$$E^{(2)} = q_i \frac{(F_{i,j})^2}{\epsilon_j - \epsilon_i} \quad (8)$$

where $F_{i,j}$ is the o-diagonal NBO Fock matrix element, q_i is the orbital occupancy, and ϵ_i , ϵ_j are diagonal elements conjugative interactions in molecular system [22].

Delocalization of electron density between occupied Lewis type (bond or lone pair) NBO orbitals and formally unoccupied (antibonding or Rydberg) non Lewis NBO orbital's correspond to a stabilizing donor-acceptor inter-action. The molecular interaction is formed by the orbital overlap between.

When $E^{(2)}$ value becomes large, it shows that the interaction between electron donors and acceptors is intensive, and when the donation tendency from electron donors to electron acceptors is more, the extent of conjugation of the whole system is larger [23].

Table 4: Second-order perturbation theory analysis of Fock matrix in NBO basis for Iomeprol are listed in Table 4 and 5, and 6 which includes only energy for the other studied solvent.

The energies for the interaction $n3(I_1) \rightarrow \pi^*(C_{15}-C_{18})$, $n3(I_2) \rightarrow \pi^*(C_{16}-C_{19})$ and $n3(I_3) \rightarrow (C_{17}-C_{20})$ 7.72, 7.83 and 7.49 kcalmol⁻¹, respectively demonstrate the intramolecular hyperconjugative interaction between the iodine atoms and benzene ring is strong in the ground state for Iomeprol in gas phase. The energies for the interaction $n3(I_1) \rightarrow \pi^*(C_{15}-C_{18})$, $n3(I_2) \rightarrow \pi^*(C_{16}-C_{19})$ and $n3(I_3) \rightarrow (C_{17}-C_{20})$ becomes 7.81, 7.59 and kcalmol⁻¹, respectively in water phase (Table 5). The energies for the interaction are 20.81 and 19.22 kcalmol⁻¹ for $n2(O_6) \rightarrow \sigma^*(N_{13}-C_{25})$, and $\sigma^*(C_{16}-C_{25})$; 20.87 and 19.18 kcalmol⁻¹ for $n2(O_7) \rightarrow \sigma^*(N_{14}-C_{26})$ and $(C_{17}-C_{26})$; 24.14 kcalmol⁻¹ for $n2(O_7) \rightarrow \sigma^*(N_{12}-C_{30})$. The highest energies for the interaction are seen as 57.29 kcalmol⁻¹ for $n1(N_{12}) \rightarrow \sigma^*(O_{10}-C_{30})$ in gas phase.

Table 4. Second-order Perturbation Theory Analysis of Fock Matrix in NBO Basis for Iomeprol for Gas Phase

Donor(i)	Type	Occupancy	ED(j)	Acceptor	Type	Occupancy	ED(j)	E(2) kcal/mol	E(j)- E(i) a.u	F(i,j) a.u
I ₁ -C ₁₈	σ	1.965	-0.515	C ₁₅ -C ₁₉	σ^*	0.049	0.481	7.45	1	0.077
I ₁ -C ₁₈	σ	1.965	-0.515	C ₁₇ -C ₂₀	σ^*	0.039	0.489	7.16	1	0.076
I ₂ -C ₁₉	σ	1.965	-0.514	C ₁₅ -C ₁₈	σ^*	0.049	0.482	7.5	1	0.077
I ₂ -C ₁₉	σ	1.965	-0.514	C ₁₆ -C ₂₀	σ^*	0.039	0.490	7.19	1	0.076
I ₃ -C ₂₀	σ	1.967	-0.518	C ₁₆ -C ₁₉	σ^*	0.039	0.495	7.12	1.01	0.076
I ₃ -C ₂₀	σ	1.967	-0.518	C ₁₇ -C ₁₈	σ^*	0.039	0.495	7.15	1.01	0.076
C ₁₅ -C ₁₈	π	1.668	-0.301	C ₁₆ -C ₁₉	π^*	0.388	-0.009	18.87	0.29	0.067
C ₁₅ -C ₁₈	π	1.668	-0.301	C ₁₇ -C ₂₀	π^*	0.393	-0.010	23	0.29	0.074
C ₁₆ -C ₁₉	π	1.665	-0.298	C ₁₅ -C ₁₈	π^*	0.402	-0.017	22.73	0.28	0.073
C ₁₆ -C ₁₉	π	1.665	-0.298	C ₁₇ -C ₂₀	π^*	0.393	-0.010	19.03	0.29	0.067
C ₁₆ -C ₂₅	σ	1.959	-0.662	N ₁₃ -C ₂₁	σ^*	0.022	0.307	5.85	0.97	0.068
C ₁₇ -C ₁₈	σ	1.962	-0.747	N ₁₂ -C ₁₅	σ^*	0.043	0.356	4.92	1.1	0.066
C ₁₇ -C ₂₀	π	1.669	-0.298	C ₁₅ -C ₁₈	π^*	0.402	-0.017	19.64	0.28	0.068
C ₁₇ -C ₂₀	π	1.669	-0.298	C ₁₆ -C ₁₉	π^*	0.388	-0.009	23.5	0.29	0.075
C ₁₇ -C ₂₆	σ	1.959	-0.663	N ₁₄ -C ₂₂	σ^*	0.023	0.304	5.87	0.97	0.068
C ₃₀ -C ₃₁	σ	1.977	-0.632	N ₁₂ -C ₂₉	σ^*	0.025	0.286	5.49	0.92	0.063
C ₃₁ -H ₄₈	σ	1.974	-0.524	O ₁₀ -C ₃₀	π^*	0.260	0.003	4.98	0.53	0.049
I ₁	n3	1.933	-0.273	C ₁₅ -C ₁₈	π^*	0.402	-0.017	7.72	0.26	0.044
I ₂	n3	1.931	-0.273	C ₁₆ -C ₁₉	π^*	0.388	-0.009	7.83	0.26	0.044
I ₃	n3	1.940	-0.277	C ₁₇ -C ₂₀	π^*	0.393	-0.010	7.49	0.27	0.044
O ₄	n2	1.965	-0.336	C ₂₃ -C ₂₇	σ^*	0.031	0.332	5.69	0.67	0.055
O ₅	n2	1.966	-0.337	C ₂₄ -C ₂₈	σ^*	0.031	0.331	5.67	0.67	0.055

O ₆	n2	1.866	-0.257	N ₁₃ -C ₂₅	σ*	0.072	0.426	20.81	0.68	0.108
O ₆	n2	1.866	-0.257	C ₁₆ -C ₂₅	σ*	0.074	0.359	19.22	0.62	0.099
O ₇	n2	1.867	-0.259	N ₁₄ -C ₂₆	σ*	0.072	0.424	20.87	0.68	0.108
O ₇	n2	1.867	-0.259	C ₁₇ -C ₂₆	σ*	0.074	0.358	19.18	0.62	0.099
O ₈	n2	1.972	-0.348	C ₂₇ -H ₄₀	σ*	0.021	0.429	5.71	0.78	0.06
O ₉	n2	1.972	-0.347	C ₂₈ -H ₄₂	σ*	0.021	0.429	5.66	0.78	0.059
O ₁₀	n2	1.863	-0.233	N ₁₂ -C ₃₀	σ*	0.088	0.401	24.14	0.63	0.112
O ₁₀	n2	1.863	-0.233	C ₃₀ -C ₃₁	σ*	0.074	0.344	20.3	0.58	0.098
O ₁₁	n2	1.967	-0.283	C ₃₁ -H ₄₇	σ*	0.025	0.440	5.84	0.72	0.058
O ₁₁	n2	1.967	-0.283	C ₃₁ -H ₄₈	σ*	0.025	0.439	5.64	0.72	0.057
N ₁₂	n1	1.721	-0.260	O ₁₀ -C ₃₀	π*	0.260	0.003	57.29	0.26	0.11
N ₁₂	n1	1.721	-0.260	C ₁₅ -C ₁₈	σ*	0.049	0.482	7.51	0.74	0.071
N ₁₂	n1	1.721	-0.260	C ₁₅ -C ₁₉	σ*	0.049	0.481	7.31	0.74	0.07
N ₁₃	n1	1.668	-0.267	O ₆ -C ₂₅	σ*	0.265	0.083	40.51	0.35	0.108
N ₁₃	n1	1.668	-0.267	O ₆ -C ₂₅	π*	0.085	0.373	5.31	0.64	0.056
N ₁₃	n1	1.668	-0.267	C ₂₁ -H ₃₃	σ*	0.024	0.448	6.24	0.72	0.065
N ₁₄	n1	1.669	-0.269	O ₇ -C ₂₆	σ*	0.244	0.113	33.44	0.38	0.103
N ₁₄	n1	1.669	-0.269	O ₇ -C ₂₆	π*	0.105	0.340	7.42	0.61	0.064
N ₁₄	n1	1.669	-0.269	C ₂₂ -H ₃₄	σ*	0.024	0.442	6.31	0.71	0.065

Table 5. Second-order Perturbation Theory Analysis of Fock Matrix in NBO Basis for Iomeprol for Water Phase

Ite m NO	Iomeprol-water										
	Donor (i)	Type	Occup.	ED(j)	Accepto r	Typ e	Occup.	ED(j)	E(2) kcal/mol	E(j)- E(i) a.u	F(i,j) a.u
1	I ₁ -C ₁₈	σ	1.965	-0.519	C ₁₅ -C ₁₉	σ*	0.048	0.478	7.49	1	0.077
1	I ₁ -C ₁₈	σ	1.965	-0.519	C ₁₇ -C ₂₀	σ*	0.039	0.483	7.24	1	0.076
2	I ₂ -C ₁₉	σ	1.964	-0.518	C ₁₅ -C ₁₈	σ*	0.048	0.478	7.54	1	0.078
2	I ₂ -C ₁₉	σ	1.964	-0.518	C ₁₆ -C ₂₀	σ*	0.039	0.484	7.26	1	0.076
3	I ₃ -C ₂₀	σ	1.967	-0.524	C ₁₆ -C ₁₉	σ*	0.039	0.490	7.14	1.01	0.076
3	I ₃ -C ₂₀	σ	1.967	-0.524	C ₁₇ -C ₁₈	σ*	0.039	0.490	7.17	1.01	0.076
28	N ₁₄ -H ₃₉	σ	1.983	-0.672	O ₇ -C ₂₆	π*	0.030	0.436	5.1	1.11	0.067
30	C ₁₅ -C ₁₈	π	1.668	-0.306	C ₁₆ -C ₁₉	π*	0.387	-0.014	19.27	0.29	0.068
30	C ₁₅ -C ₁₈	π	1.668	-0.306	C ₁₇ -C ₂₀	π*	0.393	-0.016	22.87	0.29	0.074
33	C ₁₆ -C ₁₉	π	1.662	-0.302	C ₁₅ -C ₁₈	π*	0.400	-0.022	22.61	0.28	0.072
33	C ₁₆ -C ₁₉	π	1.662	-0.302	C ₁₇ -C ₂₀	π*	0.393	-0.016	19.51	0.29	0.068
38	C ₁₇ -C ₂₀	π	1.670	-0.304	C ₁₅ -C ₁₈	π*	0.400	-0.022	19.83	0.28	0.068
38	C ₁₇ -C ₂₀	π	1.670	-0.304	C ₁₆ -C ₁₉	π*	0.387	-0.014	23.19	0.29	0.074
39	C ₁₇ -C ₂₆	σ	1.959	-0.672	N ₁₄ -C ₂₂	σ*	0.023	0.297	6.04	0.97	0.069
50	C ₂₇ -H ₄₀	σ	1.983	-0.526	O ₄ -C ₂₃	σ*	0.032	0.211	5.01	0.74	0.054
52	C ₂₈ -H ₄₂	σ	1.983	-0.528	O ₅ -C ₂₄	σ*	0.032	0.210	4.99	0.74	0.054
57	C ₃₀ -C ₃₁	σ	1.977	-0.646	N ₁₂ -C ₂₉	σ*	0.025	0.274	5.76	0.92	0.065
59	C ₃₁ -H ₄₈	σ	1.972	-0.526	O ₁₀ -C ₃₀	π*	0.294	-0.022	5.15	0.5	0.049
90	I ₁	3	1.933	-0.279	C ₁₅ -C ₁₈	π*	0.400	-0.022	7.81	0.26	0.044
93	I ₂	3	1.931	-0.277	C ₁₆ -C ₁₉	π*	0.387	-0.014	7.89	0.26	0.044
96	I ₃	3	1.942	-0.287	C ₁₇ -C ₂₀	π*	0.393	-0.016	7.39	0.27	0.044
98	O ₄	2	1.967	-0.337	C ₂₃ -C ₂₇	σ*	0.029	0.346	5.36	0.68	0.054
100	O ₅	2	1.968	-0.342	C ₂₄ -C ₂₈	σ*	0.029	0.344	5.37	0.69	0.054

102	O ₆	2	1.880	-0.275	N ₁₃ -C ₂₅	σ*	0.066	0.433	19.32	0.71	0.106
102	O ₆	2	1.880	-0.275	C ₁₆ -C ₂₅	σ*	0.071	0.351	17.91	0.63	0.096
104	O ₇	2	1.881	-0.277	N ₁₄ -C ₂₆	σ*	0.066	0.431	19.42	0.71	0.106
104	O ₇	2	1.881	-0.277	C ₁₇ -C ₂₆	σ*	0.071	0.350	17.94	0.63	0.096
106	O ₈	2	1.971	-0.342	C ₂₇ -H ₄₀	σ*	0.020	0.455	5.81	0.8	0.061
108	O ₉	2	1.971	-0.342	C ₂₈ -H ₄₂	σ*	0.020	0.455	5.81	0.8	0.061
110	O ₁₀	2	1.880	-0.258	N ₁₂ -C ₃₀	σ*	0.080	0.404	21.92	0.66	0.109
110	O ₁₀	2	1.880	-0.258	C ₃₀ -C ₃₁	σ*	0.067	0.337	18.44	0.6	0.095
112	O ₁₁	2	1.970	-0.296	C ₃₁ -H ₄₇	σ*	0.023	0.448	5.41	0.74	0.057
112	O ₁₁	2	1.970	-0.296	C ₃₁ -H ₄₈	σ*	0.023	0.446	5.33	0.74	0.056
113	N ₁₂	1	1.699	-0.273	O ₁₀ -C ₃₀	σ*	0.294	-0.022	65.95	0.25	0.115
113	N ₁₂	1	1.699	-0.273	C ₁₅ -C ₁₈	σ*	0.048	0.478	7.06	0.75	0.07
113	N ₁₂	1	1.699	-0.273	C ₁₅ -C ₁₉	σ*	0.048	0.478	6.9	0.75	0.069
114	N ₁₃	1	1.635	-0.272	O ₆ -C ₂₅	σ*	0.369	-0.041	86.43	0.23	0.126
114	N ₁₃	1	1.635	-0.272	C ₂₁ -H ₃₃	σ*	0.022	0.457	6.05	0.73	0.065
115	N ₁₄	1	1.637	-0.274	O ₇ -C ₂₆	σ*	0.358	-0.030	78.91	0.24	0.124
115	N ₁₄	1	1.637	-0.274	C ₂₂ -H ₃₄	σ*	0.023	0.450	6.22	0.72	0.066

Table 6. Interaction Energies of Iomeprol for Different Solvent

Donor (i)	Type	Acceptor	Type	E(2) kcal/mol						
				Gas	Chloroform	Acetic Acid	Ethanol	DMF	DMSO	Water
I ₁ -C ₁₈	σ	C ₁₅ -C ₁₉	σ*	7.45	7.48	7.48	7.49	7.49	7.49	7.49
I ₁ -C ₁₈	σ	C ₁₇ -C ₂₀	σ*	7.16	7.22	7.22	7.23	7.23	7.23	7.24
I ₂ -C ₁₉	σ	C ₁₅ -C ₁₈	σ*	7.5	7.53	7.53	7.54	7.54	7.54	7.54
I ₂ -C ₁₉	σ	C ₁₆ -C ₂₀	σ*	7.19	7.24	7.25	7.26	7.26	7.26	7.26
I ₃ -C ₂₀	σ	C ₁₆ -C ₁₉	σ*	7.12	7.13	7.13	7.14	7.14	7.14	7.14
I ₃ -C ₂₀	σ	C ₁₇ -C ₁₈	σ*	7.15	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17
N ₁₃ -H ₃	σ	O ₆ -C ₂₅	π*		5.12	5.16	5.24	5.25	5.25	
N ₁₄ -H ₃₉	σ	O ₇ -C ₂₆	π*					5.08	5.09	5.1
C ₁₅ -C ₁₈	π	C ₁₆ -C ₁₉	π*	18.87	19.18	19.20	19.26	19.27	19.27	19.27
C ₁₅ -C ₁₈	π	C ₁₇ -C ₂₀	π*	23	22.90	22.90	22.87	22.87	22.87	22.87
C ₁₆ -C ₁₉	π	C ₁₅ -C ₁₈	π*	22.73	22.64	22.63	22.61	22.61	22.61	22.61
C ₁₆ -C ₁₉	π	C ₁₇ -C ₂₀	π*	19.03	19.40	19.42	19.49	19.50	19.50	19.51
C ₁₆ -C ₂₅	σ	N ₁₃ -C ₂₁	σ*	5.85	5.96	5.97		5.99	5.99	
C ₁₇ -C ₁₈	σ	N ₁₂ -C ₁₅	σ*	4.92	5.00	5.00		19.83	5.02	
C ₁₇ -C ₂₀	π	C ₁₅ -C ₁₈	π*	19.64	19.79	19.80	19.83	23.19	19.83	19.83
C ₁₇ -C ₂₀	π	C ₁₆ -C ₁₉	π*	23.5	23.26	23.24	23.20	6.03	23.19	23.19
C ₁₇ -C ₂₆	σ	N ₁₄ -C ₂₂	σ*	5.87	6.00	6.01	6.03	5.01		6.04
C ₂₇ -H ₄₀	σ	O ₄ -C ₂₃	σ*				5.00		5.01	5.01
C ₃₀ -C ₃₁	σ	N ₁₂ -C ₂₉	σ*	5.49	5.69			5.75		5.76
C ₃₁ -H ₄₈	σ	O ₁₀ -C ₃₀	π*	4.98		5.09	5.14			5.15
I ₁	3	C ₁₅ -C ₁₈	π*	7.72	7.79	7.80	7.81	7.81	7.81	7.81
I ₂	3	C ₁₆ -C ₁₉	π*	7.83	7.87	7.87	7.88	7.88	7.88	7.89
I ₃	3	C ₁₇ -C ₂₀	π*	7.49	7.41	7.41	7.39	7.39	7.39	7.39
O ₄	2	C ₂₃ -C ₂₇	σ*	5.69		5.43	5.37	5.37	5.38	5.36
O ₅	2	C ₂₄ -C ₂₈	σ*	5.67	5.46		5.39	5.38		5.37
O ₆	2	N ₁₃ -C ₂₅	σ*	20.81	19.68	19.59	19.37	19.35	19.34	19.32
O ₆	2	C ₁₆ -C ₂₅	σ*	19.22	18.24	18.16	17.96	17.93	17.93	17.91
O ₇	2	N ₁₄ -C ₂₆	σ*	20.87	19.77	19.68	19.47	19.44	19.43	19.42
O ₇	2	C ₁₇ -C ₂₆	σ*	19.18	18.26	18.18	17.99	17.97	17.96	17.94
O ₈	2	C ₂₇ -H ₄₀	σ*	5.71	5.80	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81
O ₉	2	C ₂₈ -H ₄₂	σ*	5.66	5.79	5.80		5.81	5.81	5.81
O ₁₀	2	N ₁₂ -C ₃₀	σ*	24.14	22.43	22.30	21.99	21.96		21.92

O ₁₀	2	C ₃₀ -C ₃₁	σ*	20.3	18.89	18.78	18.50	18.47		18.44
O ₁₁	2	C ₃₁ -H ₄₇	σ*	5.84	5.51	5.48		5.42	5.42	5.41
O ₁₁	2	C ₃₁ -H ₄₈	σ*	5.64	5.42	5.40		5.34	5.34	5.33
N ₁₂	1	O ₁₀ -C ₃₀	π*	57.29	63.81	64.36	65.65	65.79	65.86	65.95
N ₁₂	1	C ₁₅ -C ₁₈	σ*	7.51	7.16	7.13	7.07	7.06	7.06	7.06
N ₁₂	1	C ₁₅ -C ₁₉	σ*	7.31	7.01	6.98	6.92	6.91	6.91	6.9
N ₁₃	1	O ₆ -C ₂₅	σ*	40.51	82.56	83.67	85.92	86.17	86.27	86.43
N ₁₃	1	O ₆ -C ₂₅	π*	5.31						
N ₁₃	1	C ₂₁ -H ₃₃	σ*	6.24	6.12	6.10	6.06	6.06	6.05	6.05
N ₁₄	1	O ₇ -C ₂₆	σ*	33.44	70.19	72.49	77.75	78.33	78.56	78.91
N ₁₄	1	O ₇ -C ₂₆	π*	7.42						
N ₁₄	1	C ₂₂ -H ₃₄	σ*	6.31	6.27	6.26	6.23	6.22	6.22	6.22

Table 6 shows that the variation of the first hyperpolarizability of Iomeprol for different solvents. Seen as for n1(N₁₂) → σ*(O₁₀-C₃₀) interaction in gas phase being 57.29 kcalmol⁻¹ increases with the polarity of the solvents increases. The order of this interaction is more in chloroform > acetic acid > ethanol > DMF > DMSO > water (Table 6). The same order are observed for n1(N₁₃) → σ*(O₆-C₂₅) interaction. These interaction are 40.51, 82.56, 83.67, 85.92, 86.17 and 86.27 kcalmol⁻¹ in gas, chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water. n1(N₁₄) → σ*(O₇-C₂₆) interaction energies are 33.44, 70.19, 72.49, 77.75, 78.33, 78.56 kcalmol⁻¹.

4. Conclusions and Recommendations

The molecular structures and quantum chemical parameters of the Iomeprol in different solvents were studied by employing the B3LYP with the lan12dz basis set. To understand the effects of solvents on structural, electronic and non-linear optical properties of Iomeprol molecule, extensive computational study of the HOMO, LUMO, HOMO-LUMO energy gap, ionization potential, electron affinity, chemical hardness, chemical softness, chemical potential, electronegativity, electrophilicity index polarizability, anisotropic polarizability, hyperpolarizability were calculated. Quantum chemical parameters for Iomeprol in different solvents were investigated by determining the polarizability α and the hyperpolarizability β by employing the same methods.

It was determined in the study that the energy gap hardness increases with the increase of dielectric constant of the solvent interaction energy. The polarizability and the anisotropic polarizability increases with the increase in the dielectric constant of the solvents while κ anisotropy decreases as the polarity of the solvents increases. The title molecule may be an attractive in the future nonlinear optical materials studies according to anisotropic polarizability and hyperpolarizability values. In the NBO analysis, it was observed interaction between donor and acceptor electrons change with the change of dielectric constant of the solvent.

References

- [1] Singh, J., & Daftary, A. (2008). Iodinated contrast media and their adverse reactions. *Journal of nuclear medicine technology*, 36(2), 69-74.
- [2] Almen, T. (1994). The etiology of contrast medium reactions. *Investigative radiology*, 29, S37-S45.
- [3] Dooley, M., & Jarvis, B. (2000). Iomeprol. *Drugs*, 59(5), 1169-1186.
- [4] Lorusso V, Taroni P, Alvino S, Sipinazzi A. (2001). Pharmacokinetics and safety of iomeprol in healthy volunteers and in patients with renal impairment or end-stage renal disease requiring hemodialysis. *Investigative radiology*, 36(6), 309-316.
- [5] Rosati, G. (1994). Clinical pharmacology of iomeprol. *European journal of radiology*, 18, S51-S60.
- [6] Fattori, R., Piva, R., Schicchi, F., Pancrazi, A., Gabrielli, G., Marzocchi, A., ... & Magnani, B. (1994). Iomeprol and iopamidol in cardiac angiography: a randomised, double-blind, parallel-group comparison. *European journal of radiology*, 18, S61-S66.
- [7] Rosati, G. (1994). Clinical utility and safety profile of iomeprol. *European journal of radiology*, 18, S120-S124.
- [8] Frisch, M.J., Trucks, G.W., Schlegel, H.B., Scuseria, G.E., Robb, M.A., Cheeseman, J.R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G.A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X., Hratchian, H.P., Izmaylov, A.F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J.L., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda, Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Montgomery, J.A. Jr., Peralta, J.E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd, J.J., Brothers, E., Kudin, K.N., Staroverov, V.N., Keith, T., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J.C., Iyengar, S.S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, J.M., Klene, M., Knox, J.E., Cross, J.B., Bakken, V., Adamo, C., Jaramillo, J., Gomperts, R., Stratmann, R.E., Yazyev, O., Austin, A.J., Cammi, R., Pomelli, C., Ochterski, J.W., Martin, R.L., Morokuma, K., Zakrzewski, V.G., Voth, G.A., Salvador, P., Dannenberg, J.J., Dapprich, S., Daniels, A.D., Farkas, O., Foresman, J.B., Ortiz, J.V., Cioslowski, J., Fox, D.J.: *Gaussian09 Revision D. 01*, Gaussian Inc. Wallingford CT (2009)
- [9] Dennington, R., Keith, T., Millam, J.: *GaussView*, version 5 (2009).
- [10] Becke, A. D. (1992). Density-functional thermochemistry. I. The effect of the exchange-only gradient correction. *The Journal of chemical physics*, 96(3), 2155-2160.
- [11] Mekky, A. H., Elhaes, H. G., El-Okr M. M., Al-Aboodi, A. S., Ibrahim, M.A. (2015). Effect of Solvents on the Electronic Properties of Fullerene Based Systems: Molecular Modelling. *Journal of Applied Computational Mathematics* 4(1),1-4.
- [12] Kumer, A., Ahmed, B., Sharif, M. A., & Al-Mamun, A. (2017). A theoretical study of aniline and nitrobenzene by computational overview. *Asian Journal of Physical and Chemical Sciences*, 1-12.

- [13] Srivastava, K. K., Srivastava, S., & Alam, M. T. (2014). Theoretical study of the effects of solvents on the ground state of TCNQ. *Pelagia Res. Libr*, 5(1), 288-295.
- [14] Pegu, D. (2014). Solvent effects on nonlinear optical properties of novel para-nitroaniline derivatives: A density functional approach. *Int. J. Sci. Res*, 3(7), 469-474.
- [15] Oyenevin, O. E. (2017). Structural and Solvent Dependence of the Electronic Properties and Corrosion Inhibitive Potentials of 1,3,4-thiadiazole and Its Substituted Derivatives-A Theoretical Investigation. *Phys. Sci. Int. J.* 16(2),1-8.
- [16] Khan, M. F., Rashid, R. B., Hossain, M. A., & Rashid, M. A. (2017). Computational study of solvation free energy, dipole moment, polarizability, hyperpolarizability and molecular properties of Betulin, a constituent of *Corypha taliera* (Roxb.). *Dhaka University Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16(1), 1-9.
- [17] Abdulaziz, H., Gidado, A. S., Musa, A., & Lawal, A. (2019). Electronic Structure and Non-Linear Optical Properties of Neutral and Ionic Pyrene and Its Derivatives Based on Density Functional Theory. *Journal of Materials Science Research and Reviews*, 1-13.
- [18] Sert, Y., Gümüş, M., Gökce, H., Kani, İ., Koca, İ. (2018). Molecular docking, Hirshfeld surface, structural, spectroscopic, electronic, NLO and thermodynamic analyses on novel hybrid compounds containing pyrazole and coumarin cores. *Journal of Molecular Structure*, 1171, 850-866.
- [19] Prasad, P. N. (1991). Williams; DJ Introduction to Nonlinear Optical Effects in Organic Materials and Polymers.
- [20] Machado, A. E., Neto, N. M., Ueno, L. T., de Paula, L. F., Araújo, D. M., Oliveira, G. S., ... & Oliveira-Campos, A. M. (2008). Study of the spectroscopic properties and first hyperpolarizabilities of disperse azo dyes derived from 2-amino-5-nitrothiazole. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 199(1), 23-33.
- [21] Kanis, D. R., Ratner, M. A., & Marks, T. J. (1994). Design and construction of molecular assemblies with large second-order optical nonlinearities. Quantum chemical aspects. *Chemical Reviews*, 94(1), 195-242.
- [22] Snehalatha, M., Ravikumar, C., Joe, I. H., Sekar, N., & Jayakumar, V. S. (2009). Spectroscopic analysis and DFT calculations of a food additive Carmoisine. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 72(3), 654-662.
- [23] Rui-Zhou, Z., Xiao-Hong, L., Xian-Zhou, Z. (2011). Molecular Structure, Vibrational Spectra and NBO Analysis on 1N-acetyl-3-(2, 4dichloro-5-fluoro-phenyl)-5-(p-methyl-phenyl)-2-pyrazoline Using DFT Method. *Indian Journal of Pure&Applied Physics*. 49(11),731-9.



Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Park Sistemleri İncelemesi

Erdem Uysal^{1*}, Abdullah Elewi², Erdinç Avaroğlu³

¹ Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1782-5159), erdemuysal@mersin.edu.tr

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9774-5292), elewi@mersin.edu.tr

³ Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1976-2526), eavaroglu@mersin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 9 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 16 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.792594)

ATIF/REFERENCE: Uysal E., Elewi A. & Avaroğlu E. (2020). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Park Sistemleri İncelemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 360-366.

Öz

Artan motorlu araç sayıları, şehir içi trafik ve park sorunlarına neden olmaktadır. Bu yüzden sürücülere, park yeri konusunda yardımcı olacak otomatik park sistemlerine gereksinim duyulmaktadır. Böylece sürücüler zamandan ve yakıttan tasarruf ederler ve ayrıca trafik sıkışıklığı engellenir. Ayrıca, otoparkların dinamik şekilde ücretlendirilmesi ile park alanlarının verimli kullanılması sağlanır. Bu da yoğunluk yaşanan alanların trafiğini azaltır. Nesnelerin interneti kullanılarak geliştirilen yeni uygulamalar, hayatımızın birçok alanında önemli rol oynamaktadır. Örneğin basit akıllı aletlerden akıllı şehirlere, tarıma, endüstriden sağlığa kadar birçok alanda nesnelerin interneti kavramı uygulanabilmektedir. Akıllı şehircilik kapsamında trafik ve park durumu, sensörler tarafından alınıp, trafik yoğunluk haritası çıkarılarak araç sürücüleri bilgilendirilebilmektedir. Bu makalede, akıllı park sistemleri incelenmiş, farklı modeller ve teknolojiler araştırılmış ve ilgili örnekler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: IoT, Park sistemleri, Gömülü sistemler, Akıllı şehirler.

IoT-Based Smart Parking Systems Review

Abstract

The increase of the number of vehicles result insufficient parking spaces and traffic congestions in the daily life. For this reason, we need asisstive smart parking systems. So drivers can save time and fuel and avoid traffic congestions. Also, with dynamic pricing of parking, parking areas will be used efficiently. Thus, it reduces the traffic in densely populated areas. With the help of the internet of things (IoT), achieveing intelligent parking systems becomes easier. Internet of Things is a promising emerging technology that can play a crucial role in most aspects of our lives. Thus, many applications of IoT, which range from simple smart gadgets to smart cities, agriculture, industry, health or even smart government systems can be implemented using IoT concepts. Within the smart cities, the status of traffic and parking lots are measured using sensors and trafic intensity maps are created to inform drivers. In this paper smart parking systems are surveyed exploring the different models, paradigms and technologies and showing related examples.

Keywords: IoT, Parking systems, Embedded systems, Smart cities.

* Sorumlu Yazar: Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1782-5159, erdemuysal@mersin.edu.tr

1. Giriş

Nüfusun artması ve artan motorlu kara taşıt sayıları, şehir içi araç trafiğinin yoğunlaşmasına, yolların ve park alanlarının yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde örneğin Türkiye’de 2020 Temmuz ayında 138 bin 883 adet taşıtın trafige kaydı yapılmış, 28 bin 373 adet taşıtın ise trafikten kaydı silinmiştir. Böylece Temmuz 2020 sonu itibariyle trafikteki toplam taşıt sayısının 110 bin 510 arttığı görülmüştür[1]. Artan taşıt sayısına bağlı olarak park alanlarının yetersiz kalması ile trafik sıkışıklığı ve park arama maliyetlerinin arttığı görülmüştür. Araç sahiplerinin yükünü azaltmak, trafik kapasitesini geliştirmek, güvenilir ve güvenli araç fonksiyonları sağlamak için yardımcı sistemlere ihtiyaç vardır. Şehirlerdeki akıllı trafik lambaları ve park yeri yönlendirmeleri trafik yoğunluğunu ve yakıt masrafını önlemek açısından faydalıdır. Ayrıca araçlar için çok katlı otoparklar, hem trafik yoğunluğunu azaltmakta hem de yerden kazanç sağlamaktadır. Diğer bir yöntemde ise sürücünün yükünü azaltmak için mekanik bir araç asansörü kullanılarak otomatik olarak araç yerleştirilir. Örnek olarak Fransa’ daki 1905 yılında kurulan Garage Rue de Ponthie verilebilir[2].

IoT (internet of things) kavramı, nesnelere (sensörler), nesnelere haberleşmelerini sağlayan iletişim ağları ve nesnelere arasındaki iletilen verileri kullanan bilgisayar sistemleridir[3]. IoT, dinamik ve küresel ağ altyapısında akıllı ve kendini yönetebilme yeteneğine sahip nesnelere üzerine kurulmuştur[4]. IoT’ nin anahtar fikri bulunan çevreyi anlamak, veri elde etmek ve kontrol etmek amacıyla gerekli tepkileri üretmektir. IoT nesnelere kendi aralarında, nesnelere toplanan verilerin sunucuya ve sunucudan diğer sunuculara olmak üzere üç şekilde haberleşme yapılabilmektedir[3]. IoT kavramının yaygınlaşması ile birlikte artan cihaz sayısına bağlı olarak cihazların birbiri ile en kayıpsız şekilde haberleşmelerini sağlayacak protokollere gereksinim duyulmaktadır.

IoT, akıllı şehirlerin ve daha birçok uygulama alanlarının oluşmasını mümkün kılmıştır. Akıllı şehirciliğin alt dalları trafik ve ulaşım sistemleri, elektrik santrali, park tesisleri, trafik yönetim sistemleri ve benzerleridir[5]. “International Parking Institute” tarafından yapılan araştırmada, park sistemleri ile alakalı yeni fikirlerin her geçen gün artış gösterdiği gözlemlenmiştir [6]. Çünkü gelişen ve büyüyen şehirlerde trafik ve park alanları konusunda sorunlarla karşılaşmaktadır. Günümüz gelişen teknolojilerinin kullanılması bu sorunların azaltılmasına yardımcı olabilmektedir. Bu amaçla son zamanlarda akıllı park sistemlerinde IoT teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır. Artan trafik yoğunluğu, ağ sensör cihazlarının kullanım gereksinimini arttırmakla birlikte araştırmacıların bu teknolojiye yoğunlaşarak gelişmesinin yolunu açmaktadır.

Bu çalışmada akıllı park sistemleri incelenerek yapılan çalışmalar ve uygulamalar anlatılmıştır. İkinci bölümde park sistemleri ve türleri hakkında bilgi verilmiş, üçüncü bölümde internet tabanlı teknolojiler anlatılmış, dördüncü bölümde örnekler incelenmiş ve beşinci bölümde ise sonuçlar belirtilmiştir.

2. Park Sistemleri

Park sistemlerinin amacı sürücünün yükünü azaltmaktır. Sürücünün boş park alanı bulana kadar geçirdiği zaman, harcadığı yakıt gibi maliyetleri en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle park sistemleri, birçok teknoloji ve sensörler kullanılarak oluşturulmuş ve genel olarak akıllı park sistemini oluşturan teknikler, cihazlar (sensörler) ve bu bilgileri kullanıcılara ulaştırana kadar geçen işlemlerden bahsedilmiştir.

Bu bölümde park alanlarında kullanılacak olan önemli sensör tiplerinden bahsedilmiştir. Daha sonra park bilgi yönetimi başlığı altında, elde edilen sensör verilerinin kullanıcılara sunulması için gereken altyapılardan, teknolojilerden bahsedilmiş ve kullanım senaryolarına bağlı olarak istenen işlemler hayata geçirilmiştir

2.1. Park Sistemindeki Sensör Türleri

Araç tespiti için kullanılan birçok algılayıcı vardır. Bazıları prototip amaçlı, bazıları ise endüstriyel amaçlı kullanılabilmektedir. Bu kadar çok sensörü sınıflandırmak için kullanılacak bir ölçek ise besleme gerilimidir. Buna göre sensörler gerilim gerektiren veya gerekmeyen olmak üzere 2 sınıfa ayrılabilir. Gerilim gerektiren sensörler aktif, gerektirmeyenler ise pasif sensör olarak adlandırılırlar [7]. Pasif sensörler, dış ortamdan ölçüm alırken herhangi bir güç kaynağına gereksinim duymazlar. Fiziksel ya da kimyasal değerleri istenilen çıkış değişkenine dönüştürebilmektedirler. Gereken enerjiyi, sahnedan yansıyan enerjiden veya sahnedeki nesnelere yayılan enerjiden karşılarlar. En temel örnek ise buton ve anahtardır. Ayrıca, ısı sensörleri, basınç sensörleri, fototransistörler, fotodiyotlar ve mikrofonlar örnek olarak verilebilir [7]. Ayrıca fotosensörlerde yansıma ve yayılma yaklaşımlarından hangisinin kullanılacağı ise dalga boyuna (ve görüntüleme teknolojisine) bağlıdır [8]. Aktif sensörler ise sinyal üretebilmesi için dışarıdan bir güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır [7]. Aktif sensörler kendi içlerinde bir enerji kaynağına sahiptirler veya vericileri vardır. Bu sensörler kendi enerji kaynaklarını kullanarak, sahnede bir işareten faydalanmak için belirli bir dalga boyunda ışımaya yapar veya elektron gönderirler. Gönderilen bu ışımının hedeften yansımaya göre bir veri oluştururlar. [9]. Aşağıdaki tablo 1’ de farklı sensör türlerinin güçlü / zayıf yönleri ve uygulama alanları listelenmiştir.

Tablo 1. Sensörlerin Uygunluğu[10]

<i>Akıllı Park Teknolojisi</i>	<i>Gerçek Park Yerine Uygunluk</i>	<i>Güçlü Yönü</i>	<i>Sorunları</i>
<i>Aktif/pasif infrared sensör</i>	×	Park doluluk bilgisi sağlar	Değişken çevresel şartlar nedeniyle gerçek uygulama için uygun değil
<i>Ultrasonik Sensör</i>	×	Park doluluk bilgisi sağlar	Değişken çevresel şartlar nedeniyle gerçek uygulama için uygun değil
<i>Endükleyici döngü algılayıcı</i>	√	Otoparktaki araç sayısını elde etmeye olanak tanır	Bireysel çalışmaya uygun değil
<i>Park Destek Sistemleri</i>	√	Sürücüleri, boş park sayısına göre yönlendirir	Park yeri ararken çakışmalara engel olamaz
<i>Radyo Frekans Etiketleri (RFID)</i>	×	Park yerindeki araçların yetkilendirmesini kolaylaştırır	Gerçek park yeri için uygun değildir ve park doluluk bilgisini sağlayamamaktadır
<i>Manyetometre</i>	√	Park doluluk bilgisi sağlar	Kurulumu ve büyük ölçekte sürdürülebilirliği pahalıdır
<i>Yapay Görü</i>	√	Park doluluk bilgisi sağlar veya araçların yetkilendirilmesini kolaylaştırır	Düşük aydınlanma durumlarında zorlanmaktadır

IoT sistemlerinde sıkça kullanılan farklı çeşitlerde sensörler bulunmaktadır. Bu sensörlerden biri olan aktif kızılötesi sensör, kızılötesi ışın yayar ve yansıyan ışın miktarını algılayarak bir nesnenin mesafesini tespit edebilmektedir. Bu sensör çevre şartlarına karşı hassastır. Ultrasonik park sensörü genellikle araçların arka ve ön tamponlarına yerleştirilmektedir. İhtiyaca göre farklı sayıda ultrasonik sensör bağlanarak farklı açılardan ölçüm yapılabilir. Yanısıra kamera sistemleri ile alınan görüntüler farklı görüntü işleme teknikleri ile değerlendirilerek IoT cihazlarında çeşitli amaçlar için sensör olarak kullanılabilir. Bir ya da daha fazla kameradan alınan görüntüler yapayzeka, makine öğrenmesi gibi farklı tekniklerle incelenebilir. Lidar (Laser Imaging Detection and Ranging) adı verilen bir diğer sensör ise lazer dalgalarını kullanarak, nesnelere ve sensör arasındaki mesafeyi üç boyutlu olarak ölçmektedir. Lidar tekniği, lazerli radar olarak adlandırılmaktadır[11]. Pasif kızılötesi sensörler, ışık gerektirmeyen kızılötesi dalgaları kullanarak genellikle otomatik ışık kontrolü, güvenlik, insanların yürüyüş alanları, koridorlar, patikalar, garaj yolları, bahçe alanları ve otoparklar gibi sürekli ışık gerektirmeyen ortamlarda maliyet tasarrufu için kullanılmaktadır [8]. Ancak bu sensörlerin hassasiyeti sağanak yağmur, kar ve yoğun sis gibi çevre koşullarından etkilenebilir. İndükleyici Döngü Detektörü, farklı boyutlardaki kabloların sarmal şekilde bağlanarak manyetik alandaki değişiklikleri ölçmektedir. 10 ile 50 kHz arasında sürekli sinyal gönderilerek üzerinden herhangi bir metal ya da aracın geçmesi halinde değişen indüktans değeri ile çalışmaktadır. Bu sensörün yanısıra manyetometre adı verilen diğer bir sensör de metal ve araçların geçişinde tespit amaçlı kullanılabilir [4].

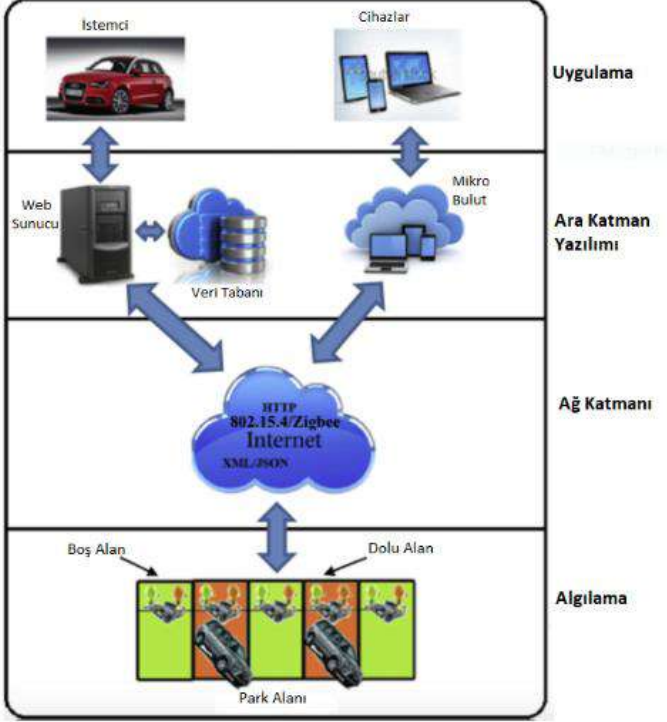
2.2. Park Bilgi Yönetimi

Park yeri arayan sürücülerin, uygun ve yoğun olmayan park yeri bilgilerine ulaşabilmesi için çeşitli teknolojiler kullanılarak oluşturulan yazılımlar hizmet verebilmektedir. Bu yazılımlar internet üzerinden kullanıcıların park bilgisini gerçek zamanlı sorgulayabileceği web tabanlı bir sayfa, ya da akıllı cep telefon için bir uygulama olabilmektedir. Alt yapısında istemci-sunucu mimarisi olabileceği gibi bulut sistemleri de kullanılabilir. Her park alanındaki sensörler yerel veritabanına anlık olarak durum bilgisi gönderip park alanı ile ilgili verileri sunucu sistemlerine göndermektedir. Gerçek zamanlı olarak kullanıcının konumuna göre o civardaki park alanı bilgisi kullanıcılara sunulabilir. Ek olarak park yerine varan sürücüler bu alanda bulunan terminallerden kendilerine ayrılmış olan park alanlarını tespit edebilirler [12]. Bu yazılımlar sayesinde sürücülerin daha az yoğun olan ya da uygun park alanı bulunan konumlara yönlendirilmesi ve çeşitli veri analizi ile trafik yoğunluğunun tespit edilmesi de sağlanabilecektir. Ayrıca bu yazılımlar park alanlarında bulunan sensörlerin takibi, bakımı ve onarımı ile ilgili de kolaylıklar sağlayabilecektir.

3. Park Sistemlerinin Sınıflandırılması

Akıllı park sistemleri, her amaç için veya kullanılan teknolojilere göre farklı kategorilere ayrılabilir. Örneğin sensör çeşitlerine, park yönetim sistemine veya uygulama mimarisine göre farklı kategorilerde incelenebilir. Akıllı park sistemi uygulamaları mimarisine göre birkaç katmandan oluşur. Şekil 1’de örnek bir katmanlı mimari verilmiştir. İlk olarak algılama katmanı, akıllı park sisteminin temelini oluşturur. İkincisi ağ katmanıdır, bu katman sensörlerin kendi aralarındaki veri alışverişinden sorumludur. Üçüncü katman ise ara katman

yazılımdır (middleware). Akıllı park sisteminin hesaplama katmanıdır. Akıllı ve gelişmiş algoritmalar, gerçek zamanlı veri işleme için kullanılır. Son kullanıcıların, alt katmanlardaki veriye ulaşması için bağlantı kurmayı sağlar, ayrıca veri depolama amacı için de kullanılabilir. Son katman olan uygulama katmanı ise, akıllı park sisteminin istemcileri ile sistem arasında arayüz oluşturur.



Şekil 1. Yardımlı Park Sistemi Mimarisi [13]

Çok katmanlı park sistemi üç kategoriye ayrılır [13]. Bunlar; merkezi veya dağıtık yardımcı akıllı park sistemleri ve yardımcı park sistemleridir.

- **Merkezi Yardımlı Akıllı Park Sistemleri:** Merkezi akıllı park sistemlerinde, tek bir merkezi sunucu gerekli park bilgilerini toplar ve park yeri rezervasyonu, tahsisi ve/veya sürücü rehberliği gibi hizmetleri sağlamak için işleme koyar. Örnek olarak First Come First Serve (FCFS) mantığına göre park işlemleri yapılabilmektedir. Bu yöntem ile ilk gelen sürücünün en yakın park alanına park etme garantisi vardır. Ancak diğer araçlar, sistem cevap verene kadar kuyrukta beklerler ve trafik sıkışıklığına neden olur. Benzer bir araştırmada ise, elektrikli araçlar için parking lot recharge scheduling (PLRS) önerilmiştir. Yazarlar kendi yaklaşımlarını basit scheduling mekanizmaları olan FCFS ve earliest deadline first(EDF) ile karşılaştırmışlardır. FCFS ve EDF' nin optimize edilmiş hali daha başarılı olmuştur. Hem gelir arttırılmış hem de park alanlarındaki araç sayıları artmıştır [13].
- **Dağıtık Yardımlı Akıllı Park Sistemleri:** Dağıtık yardımcı akıllı park sistemlerinde, birçok servis birbirleri arasında bağlıdır ve tek bir sunucu tarafından kontrol edilmektedir. Araçlar arası ağlarda, bir araç diğer bir araçla veya birden fazla araç ile veri transferi yapabilmektedir. Böylece dağıtık araç ağları oluşmaktadır. Bir diğer örnek ise,

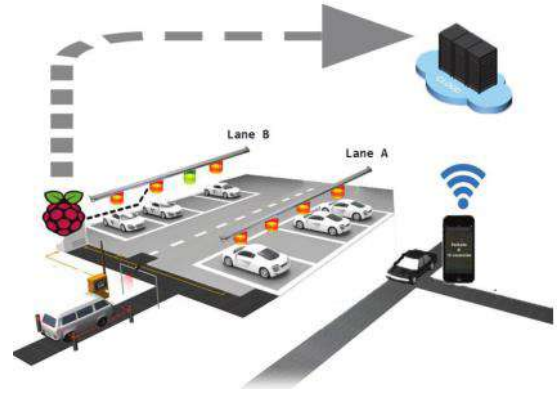
genellikle bilgi paylaşmanın ve bilgi işlemenin yol kenarı altyapılarında kullanılan sistemlerdir. GIS (Geographic Information System), trafik bilgisini kullanıcılara sunan bir diğer yöntemdir [13].

- **Yardımsız Park Sistemleri:** Herhangi bir yazılım yardımıyla sürücülerin yönlendirilmediği kullanıcıların kendi bilgileri ışığında günümüzde hali hazırda kullanımda olan park sistemleridir [13].

4. İnternet Tabanlı Akıllı Park Teknolojileri

İnternet tabanlı akıllı park teknolojilerinde kullanılan nesnelerin interneti; fiziksel, sanal özellikleri ve önceden tanımlı işlemlere sahip olan nesnelerin aralarında kurdukları ortak bir ağ sistemidir. Bu ağ, diğer ağlar ve kullanıcılar ile bilgi alışverişi yapmaktadır[3]. Nesnelerin interneti uygulamalarında, sensörlerin erişilebilir olması ve çok sayıda sensör verisinin birleştirilerek veri üretilmesi ve bir karar alınması amacıyla kullanılır [4]. Fiziksel ortamlardan gelen yüksek miktarlardaki sensör verilerinin ilgili kişilere veya verinin sistemler yardımıyla işlenerek bir faaliyet icra edilmesi (sağlık, çevre, güvenlik, şebeke, perakendecilik, lojistik, giyilebilir teknoloji uygulamaları vb.) sağlanmaktadır [16].

Park uygulamaları park yeri rezervasyonu ve park için otomatik ödeme, araç tanıma ve kamera ile plaka tanıma gibi kapsamlara sahiptir[14]. Asıl önemli olan işlem ise uzaktan park yeri kontrolünün yapılabilmesi önemlidir. Bu sayede park alanı durumu ve yer rezervasyonu yapılabilmesi için IoT teknolojisi kullanılmıştır. Bu sistemde kullanılacak bulut veya kenar bilişim sistemleri incelenmiştir.



Şekil 2. Akıllı Park Sistemi [5]

Yukarıdaki şekil 2'de park sisteminin bir görüntüsü verilmiştir. Park sistemini oluşturan birincil faktörler şunlardır:

- **Park Sensörleri:** Akıllı park teknolojilerinde araçların tespiti amacıyla infrared, pasif infrared ve ultrasonik sensörler yaygın kullanıma sahip sensörlerdir. Bu sensörden alınan veriler farklı teknolojik altyapılar kullanılarak, kablolu ya da kablosuz şekilde veri aktarımına sunulmaktadır.
- **Hesaplama Ünitesi:** hesaplama üniteleri sensörlerden alınan verileri bir üst katman olan ara katman yazılımına iletmekle görevlidir. Sensörler park alanına konumlandırılmış olan hesaplama ünitesine anlık olarak veri göndermektedir. Kendilerine gelen sensör

verilerinin internet aracılığıyla merkezi ya da bulut üzerinde yer alabilecek bir veritabanı sistemine ya da bir yazılıma iletmektedir. Ayrıca IoT altyapısı sayesinde hesaplama üniteleri sürekli kendi aralarında da iletişim kurarak sensör verilerini paylaşmaktadır. Verilerin iletiminde, farklı protokollerin kullanıldığı görülmektedir.

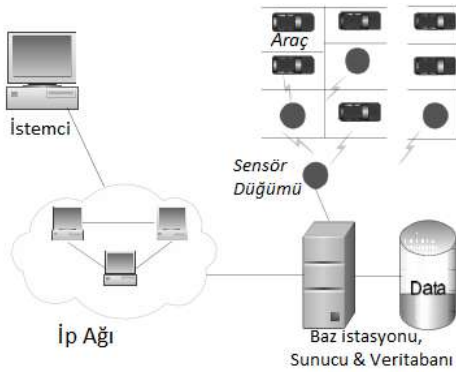
- **Uygulama:** uygulama, son kullanıcının sistemle etkileşimini sağlamak için bir arayüz sağlar. Web tabanlı dinamik bir sayfa veya cep telefonlarına uygun şekilde tasarlanan bu yazılımlar, merkezi ya da bulut üzerinde bulunan veri tabanı sunucusundan verileri sürekli kullanıcılara ileterek sürücülerin yönlendirilmesini ve rezervasyon gibi görevlerin yönetilmesini sağlar. Uygulama ayrıca sisteme bağlanan her kullanıcının kayıt bilgisini ve ne kadar süre park halinde kaldığı, park edene kadar geçen süresi, kullanıcının ne kadar ödediğinin kayıtlarını günceller [5].

Örnek vermek gerekirse şekil 2'ye yakından baktığımızda Lane A' da boş yer olmasına rağmen kırmızı olarak gösterilmektedir. Çünkü park alanı rezerve edilmiştir. Ama LANE B ne rezerve edilmiş ne de park edilmiştir [5]. Şekil 3' de ise park bilgisi ve işlemlerinin telefon uygulaması üzerinde işlemi gösterilmiştir [5].



Şekil 3. Örnek Park Yönetimi [5]

Örnek bir çalışmada ise, akıllı park sistemi için üç katmanlı mimari önerilmiştir. En tabanda park yeri ölçümü alan sensörler, orta katmanda ise veri iletimi ve daha üstündeki katman veri depolama, işleme ve istemci arayüzlerinden sorumludur. Sistem mimarisi Şekil 4' de gösterilmiştir. En optimum park yerini bulabilmek için genetik algoritması kullanılmıştır [14].

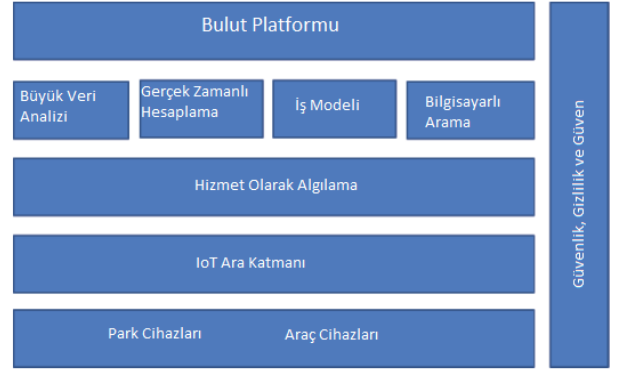


Şekil 4. Park Sistem Mimarisi [15]

4.1 Bulut Bilişim

Bulut bilişim, bilgisayar kaynaklarını talep üzerine kullanılabilir hale getirmektedir. Kullanıcı, sunucu yönetiminden sorumlu değildir. Veri depolama ve hesaplama gücünden yararlanılmaktadır. Bu terim genellikle veri merkezlerinin kullanıcılara internet üzerinden sağlandığı bir ortam olarak kullanılmaktadır. Büyük bulut sistemleri, merkezi sunucularını farklı konumlara dağıtabilmektedir. Eğer kullanıcı sunucuya yakınsa kenar sunucu olarak adlandırılır.

Bulut bilişimin sahip olduğu sınırsız kaynaklar, her yerde bulunabilen IoT cihazlarının sahip olduğu hesaplama ve depolama yeteneğini arttırmaktadır. IoT cihazları için veri analizi, depolama ve kontrol etme gibi işlemlere sahiptir [17]. Bulut, park hizmetlerini karşılama sürecinde yönetim katmanı sağlayarak park etmeye yönelik hizmet odaklıdır. Şekil 5' deki mimari çok sayıda park alanındaki algılama teknolojilerinin bağlanabilmesini sağlamak için ara katman desteği vardır. Beklenen ara katman fonksiyonelliği bulut altyapısını destekler. Park yerlerinin bir görüntüsü periyodik olarak bulut bilişim ortamına gönderilerek kullanıcıların park yeri bilgisi alması sağlanmaktadır.



Şekil 5. Park Yeri Sağlayıcı Mimari [18]

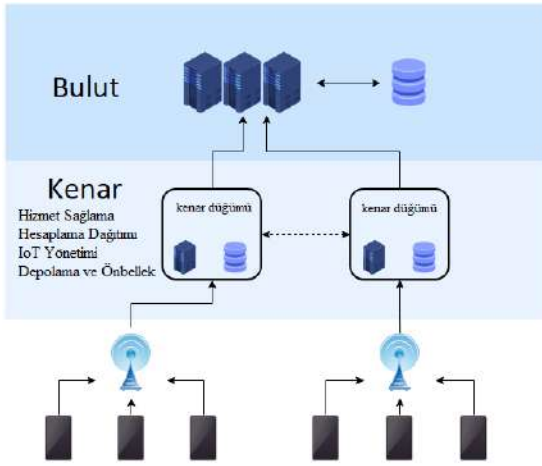
4.2 Sis (Fog/Edge) Bilişim

Sis bilişim, bulut bilişimin sahip olduğu hesaplama ve depolama yeteneğini daha uç noktalara ulaştırarak, cevap sürelerini ve bant genişliğini azaltır. Sis bilişimin ortaya çıkması geç 1990' larda olmuştur. Kullanıcılara daha yakın kenar sunuculardan web ve medya içerikleri sunmak için özünde içerik dağıtım ağları (content delivery networks) olan ağlar kullanılmıştır. 2000' lerin başında ise bu ağlar bir uygulama sunan ve uygulama bileşenleri barındıran ağlar haline gelmiştir. Günümüzdeki sis sunucuları ise bu yaklaşımı sanallaştırma teknolojileri ile geliştirerek daha çeşitli uygulama barındırabilir hale gelmiştir.

Bulut bilişim büyük veri üretirken sis bilişim gerçek zamanlı hesaplama gereken amaçlarda kullanılmaktadır.

Sis bilişim, bulut veri merkezlerini ve IoT cihazları/sensörleri arasında köprü ve ara katman gibi davranan dağıtılmış bir bilgi işlem örneğidir. Son kullanıcı ile geleneksel bulut bilişimin Data Center' lar (veri merkezi) ile arasındaki hesaplama, depolama ve ağ servislerini sağlayan son derece sanallaştırılmış bir platformdur. Bulut bilişim, sis bilişime göre büyük hesaplama, depolama ve iletişim kapasitesine sahiptir [19]. Sis bilişimin elinde var olan kaynakları, bulut sistemi ile birlikte işleyebilmektedir [19]. Bu sayede sis bilişim elindeki yerel kaynakları kullanarak, bulut bilişim tarafından sunulan üst düzey hizmetlerin bir bölümünü gerçekleştirerek IoT uygulamalarının

genel performansını artırma potansiyeline sahiptir [19]. Gecikme ve ağ kullanımı sis bilişimde daha düşüktür [20]. Şekil 6' de sis bilişim sistemi görülmektedir. Kamera ve diğer sensörler ile oluşturulmuş akıllı park sistemi sis bilişim üzerinde gerçek zamanlı incelenebilmektedir.



Şekil 6. Sis Bilişim [20]

5. Akıllı Park Sistemi Örnekleri

Akıllı park sistemleri büyük şehirlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Harita üzerinde işaretleme ve kullanılan ağ mimarisine göre farklı şekillerde olabilmektedir. Aşağıda bazı uygulamalardan bahsedilmiştir.

Boston Üniversitesi tarafından geliştirilen ve park yeri bulan uygulamaları "ParkSens" dir. Manyetik sensör kullanarak manyetik alanın dalgalanmasına göre araç doluluğunu incelemektedir. İletişim altyapısında VANET (Vehicular ad hoc network) kullanılmaktadır [21]. Siemens parking management "SIPARK" ise bir diğer iç mekanlarda kullanılan otomatik park yönetim sistemidir. Ultrasonik led sensörler park alanında aracın olup olmadığını anlamak için kullanılan en yaygın yöntem olarak görülmektedir [21]. Dış mekanlar için kullanılan yöntem kablosuz manyetometredir. San Francisco' da kullanılan uygulama ise "SFpark pilot" dur. Amerika' da kullanılan sistem ise Parker 4.0 adında bir mobil uygulamadır [21].

IoT bağlantısı ile birlikte yenilikçi akıllı park teknolojisi trafik sıklığına ve park yeri arama maliyetinin çözülmesine yardımcı olur. Kurulu IoT sensörleri boş park yerlerinin nerede olduğunu belirler. Bu veriler kablosuz bağlantı üzerinden bir bulut sunucusuna iletilir. Park alanından alınan tüm veriler gerçek zamanlı olarak toplanır ve boş park yeri arayanlara harita üzerinden sunulur. Bir park yeri arayan sürücüler, gerçek zamanlı akıllı park haritasına başvurabilir ve en yakın boş alana yönlendirilebilir. Gelişmiş sistemler bu alanları ayırabilir ve sürücülerden elektronik ödeme alabilir.

Hali hazırda piyasada da kullanılan birçok proje ve uygulama olsa da, bu uygulamalardan çok az sürücü yararlanmaktadır. Örneğin, Nice 2012 akıllı park sistemlerinin hayata geçirildiği ilk Fransız şehri olmuştur ve adıda "NICE PARK" tır. 10.000 sensörün 13 farklı park alanına yerleştirilmesi planlanmıştır. Sürücülerin boş park yerlerini kontrol etmesini sağlayacak bir uygulama geliştirilmiştir. Park sensörleri yakınlarındaki çok işlevli park ödeme panolarına bağlanmıştır. Bu çok işlevli panolardan, akıllı telefonu olmayan sürücüler de park ücretlerini ödeyebilir, şehirdeki park durumuna bakabilir ve şehirdeki toplu

taşıma sistemleri hakkında bilgi alabilmektedirler. Sistemin hayata geçirilme maliyeti 13 ila 15 milyon Euro arasında olduğu hesaplanmış. Ancak kullanıcıların sistemden memnun olmadığı AppStore ve Google Play Store üzerindeki yorumlardan anlaşılmıştır [21].

Akıllı park sistemlerinin ana görevi gerçek zamanlı park yerlerinin uygunluk bilgisini toplayıp bu bilgileri akıllı telefon uygulamaları üzerinden kullanıcılara ulaştırmaktır. Mobil ve sabit olmak üzere iki farklı veri toplama metodu bulunmaktadır. İlki veri toplamak için güzergâh boyunca hareket eden aracın hareketinden faydalanır. İkinci olarak, sensörlerin park yerlerine sabit olarak yerleştirildiği mesafe algılayan sensörlerdir.

Örneğin, San Francisco' da kullanılan "ParkNet" sistemi park verisini GPS alıcılar üzerinden alıp hücresel ağ kanalları üzerinden merkez sunuculara göndermektedir. Büyük çaplı yol kenarı park sensör ağları birçok büyük şehirde kullanılmaktadır. Örnek olarak; San Francisco' da SFpark Projesi, Los Angeles' ta LA Express Park projesi, Barcelona'da "FASTPRK" ve Nice' teki "CONNECTED BOULEVARD" verilebilir. Bunların hepsinde park sensör ağlarının verimlilikleri en çok önem verilen konu olmuştur [16]. Tablo 2' de, anlatılan park uygulamalarının detaylı tablosu verilmiştir.

Tablo 2 Akıllı park uygulamaları, kullanılan teknolojiler ve sensörler[10]

Akıllı Park Uygulaması	Ülke	Sensörler/Teknolojiler
Park.ME	Avusturya, Almanya	Yer altı sensörleri
SmartParking	Yeni Zelanda	Yer altı sensörleri, RFID
ParkMe	Japonya, İngiltere, Amerika, Brezilya, Almanya	Yer altı sensörleri
ParkAssist	Amerika	M4 akıllı sensörler, LPR
SpotHero	Amerika	Yer altı Sensörleri
EasyPark	Kanada	Yer altı sensörleri
PaybyPhone	Fransa	Yer altı sensörleri
ParkMobile	Amerika	Yer altı sensörleri
AppyParking	İngiltere	Manyetometre
EasyPark Group	İsveç, Danimarka gibi..	Hareket verisi ve crowdsourcing
Parker	Amerika	Yer altı sensörleri, Makine ve bilgisayarlı görme
ParkiFi	Amerika	Manyetometre
Best Parking	Amerika	Yer altı sensörleri
Parkopedia	Amerika, Almanya, İsveç gibi...	Kestirimsel analiz, Yer altı sensörleri
SFPark	Amerika	Yer altı sensörleri
Open Spot	Amerika	Crowdsourcing

6. Sonuç

İnsanların hayat kalitesini arttırmak için akıllı şehir bağlamında önemli yere sahip olan trafik yönetimi ve park yönetimi önem arz etmektedir. Park sorunu yaşanan büyük şehirlerde, akıllı şehirciliğin bir kolu olan akıllı park sistemlerinin önemli olduğu gözlemlenmiştir. Bu makalede park sistemini oluşturan katmanlı mimari açıklanmıştır ve IoT fikri tanıtılmış ve

gelişmekte olan bulut ve kenar bilişim teknolojilerinin park sistemlerine uyarlanması anlatılmıştır. Park sistemlerinin önemi ve literatürdeki çalışmalar özetler halinde yazılmış ve bu alanla ilgilenen araştırmacılara ışık tutması amaçlanmıştır. Akıllı cihazların ucuz ve her yerde bulunabilmesi ile park yerlerinin daha verimli yönetimi sağlanabilmektedir. Ayrıca gerçek zamanlı bilgisayarlı görü ile park alanındaki yerler sistem tarafından sayılıp, herhangi bir olay olması (sürtme, vurma vb.) durumunda sistem uyarı verebilmektedir. Park arama maliyeti ve bu yüzden harcanan yakıt miktarı da böylece azaltılmaktadır. Gelecekte IoT sayesinde nesnelerin uzaktan yönetimi için geliştirilen teknolojileri kullanılarak faydaları, eksikleri vb. anlatılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje: 2020-1-TP2-4013.

Kaynakça

- [1] Erşen E. (2020). Motorlu Kara Taşıtları, <http://www.tuik.gov.tr/ZipGetir.do?id=33655&class=onceki>. [Erişim Tarihi: 15.08.2020]
- [2] Ślezok, M., & Łuczak, K. (2015). Intelligent building, automated car parking system. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Ślaska*.
- [3] Oral, O., & Çakır, M. (2017). Nesnelerin interneti kavramı ve örnek bir prototipin oluşturulması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.
- [4] Botta A., Donato W. D., Persico V. and Pescapè A., (2014). On the Integration of Cloud Computing and Internet of Things: A Survey. In *2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud*.
- [5] Khanna, A., & Anand, R. (2016). IoT based smart parking system. In *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*.
- [6] International Parking Institute (2018). "2018 Emerging Trends in Parking". Report on a survey conducted by the International Parking Institute. www.parking.org [Erişim Tarihi: 15.08.2020]
- [7] Kanat V. (2015), Sensörler ve Arduino. Dikeyksen Yayınevi, 2015.
- [8] Song, B., Choi, H., & Lee, H. S. (2008). Surveillance tracking system using passive infrared motion sensors in wireless sensor network. In *2008 International Conference on Information Networking*.
- [9] Pereira, F., Correia, R., & Carvalho, N. B. (2018). Comparison of active and passive sensors for IoT applications. In *2018 Wireless Power Transfer Conference (WPTC)*.
- [10] Paidi, V., Fleyeh, H., Håkansson, J., & Nyberg, R. G. (2018). Smart parking sensors, technologies and applications for open parking lots: a review. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(8).
- [11] Barriga, J. J., Sulca, J., León, J. L., Ulloa, A., Portero, D., Andrade, R., & Yoo, S. G. (2019). Smart Parking: A Literature Review from the Technological Perspective. *Applied Sciences*, 9(21), 4569.
- [12] Wei, L., Wu, Q., Yang, M., Ding, W., Li, B., & Gao, R. (2012). Design and implementation of smart parking management system based on rfid and internet. In *2012 International Conference on Control Engineering and Communication Technology*.
- [13] Al-Turjman, F., & Malekloo, A. (2019). Smart parking in IoT-enabled cities: A survey. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101608.
- [14] Mosques, K. C., Boil, M., & Parker, N. (2007). Technical solutions to overcrowd park and ride facilities. University Transportation Research Center-Region 2.
- [15] Revathi, G., & Dhulipala, V. S. (2012). Smart parking systems and sensors: A survey. In *2012 International Conference on Computing, Communication and Applications*.
- [16] Çetin E. (2019). Akıllı Park Destek Sistemi ve Çözümleri. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçeşehir Üniversitesi.
- [17] Rafaels, R. J. (2015). Cloud Computing: From Beginning to End. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- [18] Atif, Y., Ding, J., & Jeusfeld, M. A. (2016). Internet of Things Approach to Cloud-based Smart Car Parking. In *Procedia Computer Science Vol. 58*.
- [19] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(4).
- [20] Awaisi, K. S., Abbas, A., Zareei, M., Khattak, H. A., Khan, M. U. S., Ali, M., & Shah, S. (2019). Towards a Fog Enabled Efficient Car Parking Architecture. *IEEE Access*, 7.
- [21] Lin, T., Rivano, H., & Le Mouél, F. (2017). A survey of smart parking solutions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(12).



Yaşlılarda Düşme Riskinin Belirlenmesi İçin Yürüyüş Esnasında Kayıt Edilen İvmelenme Sinyallerinin Zaman Domeni Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Sabri Altunkaya^{1*}

^{1*} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0853-0095), saltunkaya@konya.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 16 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.748156)

ATIF/REFERENCE: Altunkaya, S., (2020). Yaşlılarda Düşme Riskinin Belirlenmesi İçin Yürüyüş Esnasında Kayıt Edilen İvmelenme Sinyallerinin Zaman Domeni Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 367-373.

Öz

Yaşlanmayla birlikte vücutta meydana gelen anatomik ve fizyolojik değişimlerin bir sonucu olarak yaşlı bireylerde düşme bir sağlık problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya sağlık örgütüne göre düşme yaşlılarda görülen en önemli sağlık problemidir. Düşmenin yaşlının fiziksel olarak yaralanması ve düşme korkusunun getirdiği psikolojik etkinin yanında hastaya, aileye ve topluma ekonomik olarak etkileri vardır. Dünyada ve ülkemizde sağlık alanında meydana gelen gelişmelerle beraber bireylerin yaşam süresinin hızla artmasıyla bu etki daha da belirgin hale gelecektir. Ancak yaşlılarda düşmenin önlenmesi ile bu olumsuz etkiler azaltılabilir. Yaşlılarda düşmenin etkilerini azaltmak için etkili yöntem düşmenin önceden tahmin edilmesi ve gerekli önlemlerin alınmasıdır. Düşmenin önceden tahmin edilebilmesi için yaşlılarda rutin kontrollerinde dengenin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için birinci basamak sağlık kuruluşlarında kullanılacak basit, ucuz ve güvenilir bir denge değerlendirme metodunun geliştirilmesi önemlidir. Duruş ve hareket sınıflandırması, enerji harcama tahmini, anlık düşme tespiti ve denge kontrolü gibi fiziksel aktivite izleme ve değerlendirme araştırmalarında sıklıkla kullanılan ivmeölçerler yaşlılarda düşme riskinin değerlendirilmesi için rahatlıkla kullanılabilir. Bu çalışmada yaşları 65 ile 87 arasında değişen 71 yaşlıdan (38 kontrol 35 düşme riski olan) düz zeminde yürüme esnasında kayıt edilen bir dakikalık üç eksen ivmelenme sinyalleri kullanılarak yaşlılarda düşme riskini tanımlayıcı parametreler bulunmaya çalışılmıştır. Önce kayıt edilen ivmelenme sinyalinden yer çekiminden kaynaklanan bileşen çıkarılmış, daha sonra 0.5Hz-5Hz bant geçiren filtreyle yüksek frekanslı gürültüler temizlenmiştir. Gürültü temizleme işleminden sonra bir dakikalık kayıtlar adımlara bölünmüş ve normalize edilerek özellik çıkarma işlemine geçilmiştir. Özellik çıkarma aşamasında literatürden farklı olarak daha önce yaşlılarda düşme riski için kullanılmayan zaman-domeni özellikleri de değerlendirilmeye alınmıştır. Elde edilen özellikler bağımsız-örneklem t-testi kullanılarak %99 güvenilirlik seviyesinde karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak literatürde anlamlı olarak farklı olduğu daha önceki çalışmalarda belirtilen kadans, adım süresi, çift adım süresi özellikleri benzer şekilde bizim çalışmamızda da kontrol ile düşen grupları arasında anlamlı farklılık göstermiştir. Ayrıca literatürde daha önce düşme riskinin değerlendirilmesi için yapılan çalışmalarda kullanılmayan çarpıklık, çeyrekler arası aralık, ortalama mutlak sapma ve dinamik zaman atlama özelliklerinde de anlamlı farklılık olduğu görülmüştür. Çalışmamızda ivmelenme sinyallerinden elde edilebilecek bütün zaman domen özellikleri düşme riskinin belirlenmesi için değerlendirilmiştir. Sonuç olarak literatürde daha önce düşme riski için kullanılmayan dört yeni zaman domen özelliğinin düşme riskini belirlemede kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: İvmelenme sinyali, Zaman-domeni özellikler, Yaşlılarda düşme.

* Sorumlu Yazar: saltunkaya@konya.edu.tr

Evaluation Of Time Domain Features Of The Acceleration Signals Recorded During The Walk To Determine The Risk Of Falling In The Elderly

Abstract

Fall in elderly is a health problem as a result of the anatomical and physiological changes in the body with aging. According to the world health organization, falling is the most important health problem in the elderly. In addition to physical injury and the psychological effects of fear of falling in elderly, the fall also has economic effects on the patient and society. With the developments of health system in the world, this effect will become more evident with the rapid increase in the life span of individuals. However, these negative effects can be reduced by preventing falls in the elderly. The effective method to reduce the fall in the elderly is to predict the fall and take the necessary prevents. In order to predict the fall, balance of elderly should be evaluated in routine controls. For this, it is important to develop a simple, cheap and reliable balance assessment method that can be used in primary health care centers. Accelerometers, which are frequently used in physical activity monitoring and evaluations such as posture and movement classification, energy expenditure estimation, instantaneous fall detection can be easily used for the assessment of fall risk in the elderly. In this study, it was aimed to find out the parameters that define the risk of falling in the elderly by using one-minute three-axis acceleration signals recorded during walking on flat ground from 71 elderly (38 control 35 with risk of falling) between 65 and 87 years of age. First, the component from gravity was removed from the recorded acceleration signal, then high frequency noises were removed with a filter at 0.5Hz-5Hz. After the noise removal process, recordings were divided into steps and normalized and feature extraction process was started. Unlike the literature, time-domain features that were not used for the risk of falling in the elderly were also evaluated. The properties were compared statically at 99% reliability level. As a result, the cadence, stride duration, double stride duration, which were found to be significantly different in the literature, showed a significant difference between control and falling groups in our study too. In addition, it was found that there is a significant difference in skewness, interquartile range, average absolute deviation and dynamic time-wrapping that were not used in the previous studies to evaluate the risk of falling. In our study, all time domain properties that can be obtained from acceleration signals were evaluated to determine the risk of falling. As a result, it has been demonstrated that four new time domain features not previously used for assessment of falling risk in the literature can be used to determine the risk of falling.

Keywords: Acceleration signal, Time-domain features, Fall in the elderly.

1. Giriş

Düşme genellikle, mobilya, duvar veya diğer nesnelere oturmak veya yaslanmak amacıyla yapılan kasıtlı değişikliklerin dışında, zemine veya mevcut bulunduğunuz seviyeden daha alt bir seviyeye istemsiz geçmek olarak tanımlanır. 65 yaş ve üzerindeki insanların yaklaşık %28-35'i her yıl düşer ve bu oran 70 yaşın üzerindeki için % 32-42'ye yükselir. Düşmeler ve buna bağlı yaralanmalar, genellikle tıbbi müdahale gerektiren büyük halk sağlığı sorunlarıdır. 65 yaş ve üstünde meydana gelen düşmelerin %50'den fazlası hastanede bakım gerektirir. Eğer yaşlıda düşme sonucu kalça kırığı meydana geldi ise bu vakaların %20'si ölümle sonuçlanır. Ek olarak, düşmeler, günlük aktivitelerde daha fazla kısıtlamaya yol açacak olan bağımlılık, özerklik kaybı, immobilizasyon ve depresyon içeren bazı düşme sonrası sendromlarla sonuçlanabilir. Dünyadaki birçok ülkede yaşam süresindeki artma nedeniyle yaşlıların sayısı gittikçe artmaktadır. Dünya genelinde 60 yaş üstü insan sayısı diğer tüm gruplardan hızlı büyümektedir. 2006'da 688 milyon olan bu sayının 2050 de 2 milyar olacağı tahmin edilmektedir. Yaşlı nüfusundaki bu artış hızıyla birlikte düşme vakaları da artacaktır. Yakın gelecekte önleyici tedbirler alınmazsa, düşmelerden kaynaklanan yaralanma sayısının 2030 yılında %100 daha fazla olacağı öngörülmektedir. Fiziki yaralanmaların dışında yaşlılarda düşme korkusunun oluşması ile birlikte, düşmenin sosyal yalıtım, hayat kalitesinde düşme ve hareketlerde azalma gibi endişe verici psikolojik sonuçları vardır. Ayrıca düşme sonrası yaralanmaların tedavisi ve hastaya evde bakım sürecinde yakınının iş gücü kaybı gibi nedenlerden düşmenin oldukça büyük bir ekonomik etkisi de söz konusudur. Düşmenin sağlık hizmetlerine etkileri ve ekonomik maliyetleri tüm dünyada önemli ölçüde artmaktadır. (WHO 2007).

Sonuç olarak fiziksel, psikolojik ve ekonomik etkileri oldukça ciddi olan yaşlılarda düşmenin önlenmesi hem toplum hem birey için oldukça önemlidir. Etkili bir önleme programı ilk olarak düşme riski bulunan yaşlının belirlenmesi ile başlar ve uygun olan önleme tedbirlerinin alınması ile devam eder (Castellini, Gianola ve ark. 2019, Wu, Lee ve ark. 2019). Bunun için yıllık kontrollerde yaşlıya önceki yıl düşüp düşmedikleri, kaç kere düştükleri, düştüğünde yaralanma olup olmadığı vb. sorulardan herhangi birine evet cevabı verildiğinde ise yaşlının denge değerlendirilmesinin yapılması önerilmektedir (Moncada ve Mire 2017). Hatta denge ile ilgili sorunu olmasa dahi 65 üstü bireylerin yıllık değil rutin kontrollerinde denge ve yürüme açısından değerlendirilmesiyle 65 yaş üstü bireylerde olan denge kaybı ve düşme riskinin erken saptanabileceği ve rehabilitasyon uygulamalarının zamanında başlamasına ve düşmenin önlenmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir (Koyuncu, Tuna ve ark. 2017). Dolayısıyla 65 yaş üstü bireylerin birinci basamak sağlık merkezlerinde rutin kontrollerinde denge ve düşme değerlendirilmesinden geçmelerinin etkin bir düşme kontrolü sağlayacağı açıktır.

Denge statik ve dinamik denge olmak üzere iki alt bölüme incelenir. Statik denge değerlendirmesinde kullanılan tüm testlerin ortak dezavantajı, günlük yaşam aktivitelerinin çoğunda kullanılan adaptif postural yanıtları değerlendirmekte yetersiz olmalarıdır (Balaban, Nacır ve ark. 2009). Dolayısıyla doğru bir düşme riski değerlendirilmesi için dinamik dengenin ölçülmesi gerekmektedir. Dinamik dengenin değerlendirilmesi klinik ortamda uygulanabilen anket ve basit testlerden, bilgisayar kontrollü karmaşık cihazlarla yapılan ileri ölçümlere kadar farklı şekillerde yapılabilir (Balaban, Nacır ve ark. 2009, Koyuncu, Tuna ve ark. 2017). Düşme risk değerlendirmesi için kullanılan anket ve basit fizyolojik testler kesin bir nesnel yöntem

olmadıkları gibi sübjektif ve niteldir (Najafi, Aminian ve ark. 2002, Howcroft, Kofman ve ark. 2013, Sun ve Huang 2019). Bir takım sensörler kullanan bilgisayar kontrollü gelişmiş cihazların ise birinci basamak sağlık kuruluşlarında kullanılması mekân, uzman gereksinimi, test süresi ve maliyet gibi dezavantajları nedeniyle kullanımı imkânsızdır (Balaban, Nacır ve ark. 2009, Yang ve Hsu 2010, Howcroft, Kofman ve ark. 2013). Bu sebeplerden yaşlılarda düşmenin önceden tespit edilerek önlenmesi için ucuz, kullanımı kolay, objektif ve nicel bir yöntemin gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

Fiziksel aktivitenin ölçülmesi ve değerlendirilmesinde, ivmeölçerler giyilebilir sağlık cihazları için kullanışlı ve pratik sensörler olarak kabul görmüşlerdir (Mathie, Coster ve ark. 2004). Literatürde ivmeölçerler duruş ve hareket sınıflandırması, enerji harcama tahmini, anlık düşme tespiti ve denge kontrolü gibi fiziksel aktivite izleme ve değerlendirme araştırmalarında kullanılmaktadır (Yang ve Hsu 2010). Son yıllarda yaşlılarda düşmenin erken tespiti içinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda özellikle yürüme esnasında ivmeölçerlerden kayıt edilen ivmelenme sinyallerinden zaman, frekans ve zaman-frekansa bağımlı özellikler elde edilmiştir. Elde edilen özellikler ya istatistiksel olarak değerlendirilerek gruplar arasında fark olup olmadığına bakılmış ya da bir sınıflama modeli oluşturularak sınıflandırılmıştır (Howcroft, Kofman ve ark. 2013). Bu çalışmalarda zaman domeni özellikleri olarak ortalama adım süresi, ortalama çift adım süresi, adım düzenliliği, çift adım düzenliliği, adım simetrisi, harmonik oran, ivmelenme sinyalinin en büyük, en küçük, standart sapma ve ortalama değerleri kullanılmıştır (Weiss, Brozgol ve ark. 2013, Howcroft, Kofman ve ark. 2017, Howcroft, Kofman ve ark. 2017). Fakat zaman domeni sinyallerin değerlendirilmesinde kullanılabilecek başka özellikler de vardır (Pires ve ark. 2019). Bu çalışmada ivmelenme sinyali için kullanılabilecek bütün zaman domeni özelliklerini kapsayan ve aynı veri seti üzerinde bu özelliklerin hesaplanıp değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hem literatürde düşme risk değerlendirmesi için kullanılan zaman domeni özellikleri hem de literatürde yer almayan ancak ivmelenme sinyalleri için kullanılabilecek diğer zaman domeni özellikleri hesaplanmış ve istatistiksel olarak gruplar arasında farklılık olup olmadığı araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Katılımcılar

Uzun dönem hareket görüntüleme (Long Term Movement Monitoring Database) veri tabanı düşme riski, denge ve yürüyüş çalışmaları için 71 yaşlıdan kayıt edilen üç gün ve bir dakikalık 3D ivmelenme sinyallerinden oluşur (Goldberger, Amaral ve ark. 2000). Katılımcıların ortalama yaşı 78.36 ± 4.71 'dir ve 65 ile 87 arasında değişmektedir. Üç günlük kayıtlar ev ortamında katılımcının ivmeölçer kemerini kendi kullanımı ile alınmıştır. Bir dakikalık kayıtlar katılımcıların kendi seçtikleri hızda, ivmeölçer yürüyüş kemeri ile birlikte laboratuvar ortamında yürümeleri esnasında alınmıştır. Katılımcılar önceki düşmeleriyle ilgili verdikleri rapora bağlı olarak 38 kişi kontrol ve 35 kişi düşen olarak sınıflandırılmıştır. Eğer katılımcı son bir yıl içerisinde 2 defa düştü ise düşen, düşmediyse kontrol olarak alınmıştır (Weiss, Brozgol ve ark. 2013). Bu çalışmada birinci basamak sağlık kuruluşlarında kullanılabilecek basit bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Dolayısıyla hem kısa zamanda değerlendirme elde edilmesi hem kayıt cihazının aktif kullanılması için veri tabanındaki bir dakikalık kayıtların amacımız için daha doğru

olacağı görülmektedir. Bu yüzden analiz için bir dakikalık kayıtlar kullanılmıştır.

2.2. Önışleme

Ham ivmelenme sinyalleri dikey(V), mediolateral (ML) ve ön-arka (anterior-posterior) (AP) olmak üzere üç eksen de kayıt edilir. Ham sinyallere uygulanan ilk işlem istenmeyen ani değişimlerin etkisini azaltmak için 3 dereceli medyan filtre ile filtrelemektir. Kayıt edilen ham ivmelenme sinyalleri yerçekimi ve yürüyüş olmak üzere iki bileşenden oluşur. Bizim analiz için kullanacağımız bileşen yürüyüşten kaynaklanan ivmelenme sinyali dir. Bu iki bileşeni ayırabilmek için, ham ivmelenme sinyali ilk olarak 0.25 Hz alçak geçiren filtreyle filtrelenerek yerçekiminden kaynaklanan ivmelenme sinyali bulunur. Daha sonra yerçekiminden kaynaklanan ivmelenme sinyali ham ivmelenme sinyalinden çıkarıldığında vücut hareketlerinden yani yürüyüşten kaynaklanan bileşen elde edilmiş olur. Son olarak yürüyüşten kaynaklanan ivmelenme bileşeni 0.5Hz-5Hz bant geçiren filtreyle filtrelenerek yüksek frekanslı gürültüler atılır (Karantonis, Narayanan ve ark. 2006). Bu işlemler üç eksene ait ivmelenme sinyallerine de uygulanmıştır.

2.2. Zaman Domeni Özellikleri

Bu çalışmada yürüyüş analizinde yaygın olarak kullanılan zaman domeni özelliklerine ilave olarak bir takım istatistiksel yeni özellikler ilave edilmiştir. Bir kişiye ait özellikler hesaplanırken önce o kişiye ait ivmelenme sinyali adımlara bölünmüş, daha sonra her adım için elde edilen ivmelenme sinyali -1 ile 1 arasına normalize edilmiştir. Normalize edilen sinyalden aşağıda detaylarını açıkladığımız özellikler hesaplanmış ve her özelliğin ortalaması kişiye ait özellik olarak alınmıştır. Bu işlem üç ivmelenme ekseni için tekrarlanmıştır. Böylece her ivmelenme ekseni için 27 toplamda ise 81 özellik elde edilmiştir. Hesaplanan özellikler ve kısaltmaları aşağıda verilmiştir. Ayrıca sonuçlar verilirken her özelliğin sonuna kayıt edildiği ekseni göstermesi için eksenin kısaltması eklenmiştir.

1. **Ortalama Adım Süresi (AdS):** Ardışık iki minimum arası sürelerin ortalamasıdır.
2. **Ortalama Çift Adım Süresi (çAdS):** Ardışık iki adım süresini toplamının ortalamasıdır.
3. **Adım Düzenliliği (AdDz):** İvmelenme sinyalinin ortalama adım süresi kadar kaydırılmasıyla elde edilen yeni sinyal ile arasındaki korelasyondur (Barden, Clermont ve ark. 2016).
4. **Çift Adım Düzenliliği (çAdDz):** İvmelenme sinyalinin ortalama çift adım süresi kadar kaydırılmasıyla elde edilen yeni sinyal ile arasındaki korelasyondur (Barden, Clermont ve ark. 2016).
5. **Adım Simetrisi (AdSim):** Adım düzenliliği ile çift adım düzenliliği arasındaki yüzde farkı ifade eder (Barden, Clermont ve ark. 2016). Aşağıdaki şekilde hesaplanır.
$$AdSim = \frac{|AdDz - \text{çAdDz}|}{(AdDz + \text{çAdDz})/2} \cdot 100$$
6. **Kadans (Kdn):** Dakikadaki adım sayısı olarak kişinin yürüme hızıdır.
7. **Harmonik Oran (HR):** Harmonik oran yürümenin düzgünlüğünün bir ölçüsüdür ve ivmelenme sinyali çift harmonikleri genlik toplamının tek harmonikleri genlik toplamına oranı olarak tanımlanır. (Bellanca, Lowry ve ark. 2013).
8. **Ortalama (Ort):** İvmelenme sinyal genliğinin ortalama değeridir.

9. **İlk Yarı Ortalaması (ilkOrt):** İvmelenme sinyal genliğinin adım başından adım ortasında kadar olan değerlerinin ortalamasıdır.
10. **Son Yarı Ortalaması (sonOrt):** İvmelenme sinyal genliğinin adım ortasından adım sonuna kadar olan değerlerinin ortalamasıdır.
11. **Medyan (Med):** İvmelenme sinyali genliğinin medyanıdır.
12. **Standart Sapma (ss):** İvmelenme sinyali genliğinin standart sapmasıdır.
13. **Çarpıklık (Skew):** Ortalama etrafındaki dağılımın asimetri derecesini karakterize eder. x ivmelenme sinyali, μ ivmelenme sinyali ortalaması ve σ ivmelenme sinyali standart sapması ve E beklenen değer olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Çarpıklık} = \frac{E(x - \mu)^3}{\sigma^3}$$

14. **Basıklık (Kurt):** Ortalama etrafındaki dağılımın diklik ve düzlük derecesini karakterize eder.

$$\text{Basıklık} = \frac{E(x - \mu)^4}{\sigma^4}$$

15. **Varyans (Var):** İvmelenme sinyali genliğinin varyansıdır.
16. **Merkezi Moment (3. Derece) (mom3):** İvmelenme sinyali genliğinin üçüncü derece merkezi momentidir.
17. **Merkezi Moment (4. Derece) (mom4):** İvmelenme sinyali genliğinin dördüncü derece merkezi momentidir. x ivmelenme sinyali, μ ivmelenme sinyali ortalaması, E beklenen değer ve k derece olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{momk} = E(x - \mu)^k$$

18. **Çeyrekler Arası Aralık (iqr):** İvmelenme sinyali genliğinin ortasını kapsayan ve üçüncü dördte birlik ve birinci dördte birlik aralığın farkıdır.
19. **Ortalama Mutlak Sapma (oms):** İvmelenme sinyalinin her bir değeri ile aritmetik ortalaması arasındaki farkların ortalamasıdır.
20. **Karekök Ortalama (rms):** İvmelenme sinyalinin etkin değeridir.
21. **Sinyal Genlik Alanı (sma):** Ortalaması çıkarılmış ivmelenme sinyalinin altında kalan alandır.
22. **Shanon Entropi (ShanEnp):** Shannon entropisi rastgele bir sürecin belirsizliğinin bir ölçüsüdür (Diego Galar 2017). x ivmelenme sinyali, i zaman indisi olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{ShanEnp}(x) = - \sum_i x_i^2 \log(x_i^2)$$

23. **Sfır Geçiş (SG):** İvmelenme sinyalinin zaman eksenini kestiği noktaların sayıdır.
24. **Tepe Sayısı (TepeN):** İvmelenme sinyalindeki tepe sayısıdır.
25. **Tepe Değerlerin Ortalaması (ortTepe):** İvmelenme sinyalindeki tepe değerlerin ortalamasıdır.
26. **Birinci ve İkinci Tepe Arasındaki Süre (Tepe12):** Birinci ve ikinci tepenin oluştuğu zamanların farkıdır.
27. **Dinamik Zaman Atlama Mesafesi(dza):** Dinamik zaman atlama (dynamic time warping) zaman serisi sinyallerinin benzerliğini hesaplayan bir algoritmadır. Bu çalışmada ardışık adımlara ait sinyallerin benzerliğinin bir ölçüsü olarak kullanılmıştır. $X_{\text{sağ}}$ sağ adım ivmelenme sinyali, X_{sol} sol adım ivmelenme sinyali, k zaman indeksi olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$dza = \sqrt{\sum_{k=1}^K (X_{\text{sağ}_k} - X_{\text{sol}_k}) * (X_{\text{sağ}_k} - X_{\text{sol}_k})}$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Dikey, mediyolateral ve ön-arka eksenlerden elde edilen toplam 81 özelliğin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1'de verilmektedir. Tablo 1'de sütunlar üç kayıt eksenini için üçe, kendi içinde de kontrol ve düşen sınıfları için ikiye bölünmüştür. Her bir satır da elde edilen özellikler yer almaktadır. Herhangi bir özelliğin kontrol grubu ile düşen grubunu ayırmak için kullanılıp kullanılmayacağını anlayabilmek için bağımsız-örneklem t-testi kullanılarak özelliklerin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığı %99 güvenirlilik seviyesinde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda dikey eksen den kayıt edilen ivmelenme sinyalinin standart sapması (ss_V), çarpıklığı (Kurt_V), çeyrekler arası aralığı (iqr_V), ortalama mutlak sapması (oms_V), mediyolateral eksen den kayıt edilen ivmelenme sinyalinin harmonik oranı (HR_ML), ön-arka eksen den kayıt edilen ivmelenme sinyalinin adım süresi (AdS_AP), çift adım süresi (cAdS_AP), kadansı (Kdn_AP) ve dinamik zaman atlama mesafesi (dza_AP) özelliklerinin istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği görülmüştür. Tablo 1'de bu özellikler koyu olarak yazılmıştır. Şekil 1'de bu özelliklere ait sütun grafikleri görülmektedir. Grafikte ilk sütun kontrol ikinci sütun düşen grubunun ortalama ve standart hata değerlerini göstermektedir.

Bu çalışmada kontrol ve düşen olarak iki gruba ayrılmış yaşlılardan yürüme esnasında kayıt edilen ivmelenme sinyallerine ait zaman domeni özellikleri incelenmiştir. Bu incelemenin amacı herhangi bir zaman domeni özelliğinin yaşlılarda düşme riskini önceden belirlenmesinde kullanılıp kullanılmayacağını belirlemektir. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar sensörün kayıt esnasında yerleştirildiği vücut konumu ve kayıt esnasındaki yapılan aktiviteye göre sınıflandırılabilir. İvmelenme sensörünün baş, üst sırt, göğüs kemiği, omuz, dirsek, bilek, kalça, bel, uyluk, diz, ayak bileği ve ayak gibi konumlara yerleştirildiği görülmektedir. Bu konulardan bizim çalışmamızda da kullanılan bel konumu, çalışmaların %65'inde kullanılmıştır. Bel vücudun ağırlık merkezi olması ve sensörün basit bir kemer aracılığıyla hastayı rahatsız etmeden yerleştirilmesine imkân sağlaması nedeniyle en uygun bölgedir (Howcroft, Kofman ve ark. 2013). Bu yüzden birinci basamak sağlık kuruluşlarında kullanımı hedefleyen çalışmamız için bu yerleşim yerinin uygun olduğu düşünülmektedir. Kayıt esnasında aktivite olarak en sık kullanılan yöntem de yine bizim çalışmamızda kullandığımız düz zeminde yürümedir. Bunun yanında zamanlı kalk ve yürü, oturma kalkma geçişi, sol-sağ adım değiştirme testi gibi aktiviteler kullanılmıştır. Yine burada düz zeminde yürüme basit ve objektif bir yöntem olarak kullanılabilir. Literatürde farklı sensör konumu ve farklı aktivite sonucunda elde edilen zaman özelliklerinden anlamlı farklılık gösteren toplam 20 özellik olduğu görülmektedir (Howcroft, Kofman ve ark. 2013). Ancak bu özelliklerden 14 tanesi farklı aktivitelerden elde edilmiş özelliklerdir. Bizim çalışmamızla aynı sensör pozisyonu ve aynı aktiviteden (düz zeminde yürüyüş) elde edilmiş 5 özellik yürüyüş hızı, kadans, adım

Tablo 1. Bütün Özelliklerin Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Kayıt Ekseni	Dikey Eksen		Mediyolateral Eksen		Anterior-Posterior (Ön-Arka) Eksen		
	Sınıf	Kontrol (Ortalama ±Std. Sap.)	Düşen (Ortalama ±Std. Sap.)	Kontrol (Ortalama ±Std. Sap.)	Düşen (Ortalama ±Std. Sap.)	Kontrol (Ortalama ±Std. Sap.)	Düşen (Ortalama ±Std. Sap.)
Özellik							
AdS		0,53±0,05	0,55±0,04	0,5±0,12	0,52±0,16	0,53±0,04	0,57±0,06
cAdS		1,06±0,09	1,11±0,07	1±0,24	1,04±0,33	1,07±0,09	1,15±0,12
AdDz		0,72±0,15	0,62±0,25	-0,02±0,18	-0,03±0,22	0,62±0,21	0,62±0,24
cAdDz		0,63±0,22	0,53±0,29	-0,02±0,22	-0,06±0,24	0,71±0,17	0,64±0,26
AdSim		29,15±80,72	18,58±45,86	150,16±51,17	109,37±56,63	17,96±43,13	12,62±25,07
Kdn		116,44±10,1	110,91±8,18	130,85±29,07	128,25±32,4	115,63±9,89	107,75±10,08
HR		0,02±0	0,01±0	0,04±0,02	0,03±0,01	0,01±0	0,01±0,01
Ort		0,17±0,11	0,21±0,11	0,08±0,07	0,1±0,08	0,21±0,09	0,17±0,1
ilkOrt		0,08±0,12	0,11±0,13	0,08±0,07	0,1±0,1	0,37±0,1	0,34±0,11
sonOrt		0,28±0,16	0,32±0,12	0,09±0,09	0,11±0,08	0,05±0,13	0,01±0,12
Med		0,27±0,16	0,32±0,17	0,09±0,1	0,11±0,11	0,26±0,12	0,2±0,15
ss		0,55±0,04	0,52±0,04	0,52±0,05	0,52±0,04	0,51±0,03	0,51±0,03
Skew		-0,48±0,33	-0,65±0,37	-0,18±0,28	-0,26±0,29	-0,57±0,35	-0,43±0,36
Kurt		2,55±0,56	2,93±0,67	2,94±0,65	3,05±0,64	3,01±0,61	2,86±0,51
Var		0,3±0,04	0,27±0,04	0,27±0,04	0,27±0,04	0,26±0,03	0,26±0,03
mom3		-0,07±0,04	-0,09±0,05	-0,02±0,03	-0,02±0,03	-0,07±0,04	-0,05±0,04
mom4		0,21±0,03	0,21±0,04	0,2±0,04	0,21±0,04	0,19±0,02	0,19±0,02
iqr		0,82±0,16	0,7±0,17	0,7±0,13	0,7±0,12	0,64±0,12	0,69±0,13
oms		0,46±0,05	0,42±0,05	0,41±0,05	0,41±0,05	0,4±0,03	0,41±0,04
rms		0,59±0,03	0,58±0,04	0,55±0,04	0,56±0,04	0,56±0,03	0,56±0,03
sma		1,04±0,1	1,04±0,12	0,84±0,05	0,85±0,05	1,07±0,08	1,02±0,11
ShanEnp		11,77±1,21	12,51±1,73	9,74±2,41	10,36±3,28	10,81±1,23	11,59±1,51
SG		2,9±0,54	2,9±0,57	4,4±1,57	3,83±1,35	3,15±0,52	3,32±0,46
TepeN		3,69±0,56	3,87±0,44	3,39±1,16	3,46±1,24	3,56±0,51	3,73±0,52
ortTepe		0,59±0,1	0,61±0,1	0,63±0,09	0,61±0,11	0,56±0,1	0,53±0,1
Tepe12		0,15±0,03	0,15±0,02	0,12±0,02	0,13±0,03	0,14±0,03	0,13±0,03
dza		6,75±1,6	7,87±2,1	12,24±2,73	12,31±3,23	5,42±1,57	7,08±2,75

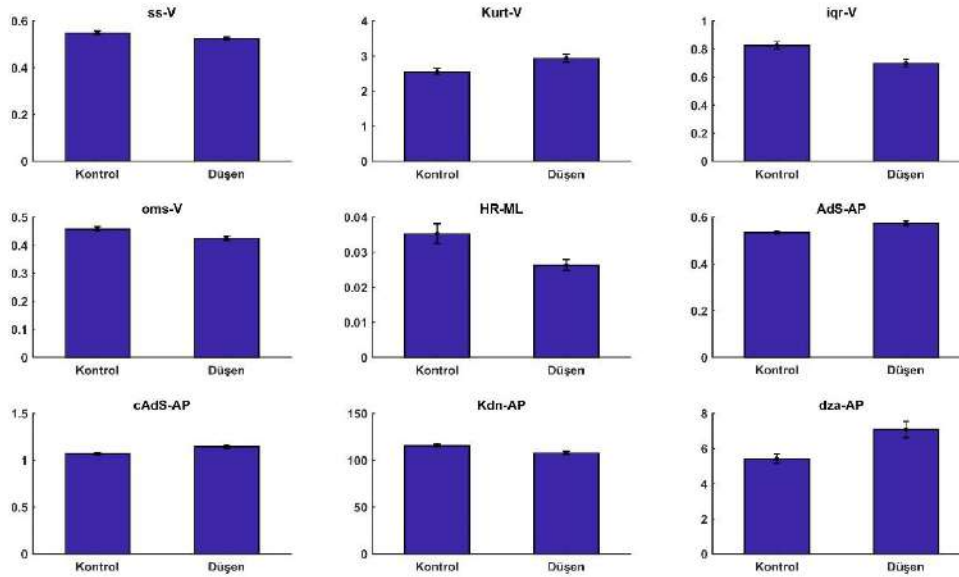
süresinin standart sapması, çift adım süresi, çift adım süresi standart sapmasıdır. Kadans, adım süresi, çift adım süresi özellikleri benzer şekilde bizim çalışmamızda da kontrol ile düşen grupları arasında anlamlı fark göstermiştir. Bu özelliklere ilave olarak literatürde daha önce kullanılan ama gruplar arasında anlamlı fark göstermeyen ss_V ve HR_ML özellikleri, bizim çalışmamızda iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermiştir. Ayrıca literatürde daha önce düşme riskinin değerlendirilmesi için yapılan çalışmalarda kullanılmayan, çalışmamızda incelediğimiz özellikler arasından Kurt_V, iqr_V, oms_V ve dza_AP özelliklerinin de iki grup arasında anlamlı fark ortaya koyduğu görülmüştür.

Anlamlı farklılık gösteren özellikler çoğunlukla dikey ve ön-arka ekseninde kayıt edilen ivmelenme sinyallerinden elde edildiği

Tablo 2. Bağımsız-örneklem t-testi p değerleri

Özellik	Kdn-AP	iqr-V	AdS-AP	cAdS-AP	dza-AP	oms-V	HR-ML	Kurt-V	ss-V
p-değeri	0,001	0,0015	0,002	0,002	0,002	0,005	0,008	0,0086	0,01

görülmektedir. Bunun sebebinin mediyolateral ekseninde elde edilen kayıtların normal adım harmonisinin dışında salınımlara sahip olması olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden adım süresi kestirimleri ve sinyalin parçalara ayrılmasında hatalı sonuçlar verebilmektedir. Tablo 1’de mediyolateral ekseninde elde edilen kadans ve adım simetrisi özellikleri incelendiğinde bu durumun etkisi olarak hatalı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu yüzden HR_ML özelliğinin gösterdiği anlamlı farkın tekrar değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Çalışmamızda anlamlı farklılık gösteren özelliklerin t-test p değerleri sıralı olarak Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre iki grup arasında en iyi ayrımı gösteren özellikler Kdn-AP, iqr-V, AdS-AP, dza-AP, cAds-AP, oms-V, HR-ML, Kurt-V, ss-V şeklinde sıralanmıştır.



Şekil 1. İstatistiksel olarak anlamlı farklılığa sahip özelliklerin sütun grafikleri

4. Sonuç

Fiziksel, psikolojik ve ekonomik etkileri oldukça ciddi olan yaşlılarda düşmenin önlenmesi hem toplum hem bireylerin yaşam kalitesinin artırılması anlamında oldukça önemlidir. Önleme çalışmasının ilk adımı ise sık sık yaşlıların düşme riskinin değerlendirilmesi, ikinci adımı ise uygun değerlendirme yönteminin bulunmasıdır. Düşme riskinin sık değerlendirilmesi ancak birinci basamak sağlık kuruluşlarında gerçekleştirilebilir. Bu yüzden birinci basamak sağlık kuruluşlarında uygulanabilecek basit ve ucuz bir düşme değerlendirme yönteminin geliştirilmesi gerekmektedir. Çalışmamızda ivmelenme sinyallerinden elde edilebilecek bütün zaman domeni özellikleri düşme riskinin belirlenmesi için toplu olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak literatürde kullanılan zaman domeni özelliklerin yanında, daha önce düşme riski için kullanılmayan dört yeni zaman domeni özelliğinin düşme riskini belirlemede kullanılabilirliği görülmüştür. Daha sonraki çalışmalarda farklı domenlerde elde edilen özelliklerin değerlendirilmesi ve bulunan özelliklerin sınıfla performanslarının incelenmesi planlanmaktadır.

Kaynakça

- Balaban, Ö., Nacı, B., Erdem, H. R., & Karagöz, A. (2009). Denge Fonksiyonunun Değerlendirilmesi. *Journal of Physical Medicine and Rehabilitation Sciences*, 12(9), 133-139.
- Barden, J. M., Clermont, C. A., Kobsar, D., & Beauchet, O. (2016). Accelerometer-Based Step Regularity Is Lower in Older Adults with Bilateral Knee Osteoarthritis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. doi:ARTN 62510.3389/fnhum.2016.00625
- Bellanca, J. L., Lowry, K. A., VanSwearingen, J. M., Brach, J. S., & Redfern, M. S. (2013). Harmonic ratios: A quantification of step to step symmetry. *Journal of Biomechanics*, 46(4), 828-831. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000315973700029
- Castellini, G., Gianola, S., Stucovitz, E., Tramacere, I., Banfi, G., & Moja, L. (2019). Diagnostic test accuracy of an automated device as a screening tool for fall risk assessment in community-residing elderly: A STARD compliant study.

Medicine (Baltimore), 98(39), e17105. doi:10.1097/MD.00000000000017105

- Diego Galar, U. K. (2017). eMaintenance (U. K. Diego Galar Ed.): Academic Press.
- Goldberger, A. L., Amaral, L. A., Glass, L., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Mark, R. G., . . . Stanley, H. E. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101(23), E215-220. doi:10.1161/01.cir.101.23.e215
- Howcroft, J., Kofman, J., & Lemaire, E. D. (2013). Review of fall risk assessment in geriatric populations using inertial sensors. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 10. doi:ARTN 9110.1186/1743-0003-10-91
- Howcroft, J., Kofman, J., & Lemaire, E. D. (2017a). Feature selection for elderly faller classification based on wearable sensors. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 14. doi:ARTN 4710.1186/s12984-017-0255-9
- Howcroft, J., Kofman, J., & Lemaire, E. D. (2017b). Prospective Fall-Risk Prediction Models for Older Adults Based on Wearable Sensors. *Ieee Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(10), 1812-1820. doi:10.1109/Tnsre.2017.2687100
- Karantonis, D. M., Narayanan, M. R., Mathie, M., Lovell, N. H., & Celler, B. G. (2006). Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring. *Ieee Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 10(1), 156-167. doi:10.1109/Titb.2005.856864
- Koyuncu, G., Tuna, F., Yavuz, S., Kabayel, D. D., Koyuncu, M., Özdemir, H., & N., S. (2017). The last station before fracture: Assessment of falling and loss of balance in elderly. *Turk J Phys Med Rehab*, 63(1), 9. doi:10.5606/tftrd.2017.90757
- Mathie, M. J., Coster, A. C. F., Lovell, N. H., & Celler, B. G. (2004). Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. *Physiological Measurement*, 25(2), R1-R20. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000221075000001
- Moncada, L. V. V., & Mire, L. G. (2017). Preventing Falls in Older Persons. *American Family Physician*, 96(4), 240-247. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28925664

- Najafi, B., Aminian, K., Loew, F., Blanc, Y., & Robert, P. A. (2002). Measurement of stand-sit and sit-stand transitions using a miniature gyroscope and its application in fall risk evaluation in the elderly. *Ieee Transactions on Biomedical Engineering*, 49(8), 843-851. doi:10.1109/Tbme.2002.800763
- Pires IM, G. N., Pombo N, Flórez-Revuelta F, Spinsante S, Canavarro Teixeira M, Zdravevski E. . (2019). Pattern Recognition Techniques for the Identification of Activities of Daily Living using Mobile Device Accelerometer. *PeerJ Preprints*, 7. doi:https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27225v2
- Sun, T. L., & Huang, C. H. (2019). Interactive visualization to assist fall-risk assessment of community-dwelling elderly people. *Information Visualization*, 18(1), 33-44. doi:10.1177/1473871617721243
- Weiss, A., Brozgol, M., Dorfman, M., Herman, T., Shema, S., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2013). Does the evaluation of gait quality during daily life provide insight into fall risk? A novel approach using 3-day accelerometer recordings. *Neurorehabil Neural Repair*, 27(8), 742-752. doi:10.1177/1545968313491004
- WHO. (2007). *WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age*. France: WHO Press.
- Wu, C. H., Lee, C. H., Jiang, B. C., & Sun, T. L. (2019). Multiscale Entropy Analysis of Postural Stability for Estimating Fall Risk via Domain Knowledge of Timed-Up-And-Go Accelerometer Data for Elderly People Living in a Community. *Entropy*, 21(11). doi:ARTN 107610.3390/e21111076
- Yang, C. C., & Hsu, Y. L. (2010). A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring. *Sensors (Basel)*, 10(8), 7772-7788. doi:10.3390/s100807772



Kuzey Atlantik Salınımının Çanakkale Rüzgâr Enerji Potansiyeline Etkisinin İncelenmesi

Zeliha Semerci¹, Bahtiyar Efe^{2*}

¹ Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000), zelihasemerci64@gmail.com

^{2*} Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5604-7068), bahtiyar.efes@samsun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 29 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 15 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.787768)

ATIF/REFERENCE: Semerci, Z. & Efe, B. (2020). Kuzey Atlantik Salınımının Çanakkale Rüzgâr Enerji Potansiyeline Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 374-380.

Öz

Kuzey Atlantik Salınımı'nın (KAS), rüzgâr enerji potansiyeline etkisinin de diğer meteorolojik parametrelerde olduğu gibi mevsimsel olarak değiştiği görülmektedir. Kış mevsiminde KAS endeksinin pozitif fazı hâkim iken ortalama rüzgâr ve yıllık üretim değeri tarafsız ve negatif faza göre düşüktür. Kış mevsiminde rüzgâr enerji potansiyeli için tarafsız ve negatif faz arasında belirgin bir değişim söz konusu değildir. İlkbahar mevsiminde ise KAS endeksinin negatif fazı hâkim iken ortalama rüzgâr ve yıllık üretim değeri belirgin düşüş söz konusudur. İlkbahar Mevsiminde KAS endeksinin pozitif fazı hâkim iken ortalama rüzgâr hızında ve yıllık üretim değeri artış söz konusudur fakat artış miktarı endeksin negatif fazına dayalı düşüş kadar yüksek değildir. İndeksin pozitif fazında üretilen enerji negatif fazında üretilen enerjiye göre daha fazladır. KAS'ın etkisi yaz mevsiminde ülkemiz için asgari düzeydedir, bu durum rüzgâr enerjisinde de kendisini göstermektedir. Yaz mevsimi için KAS endeksinin negatif ve pozitif olduğu iki durumda da ortalama rüzgâr ve yıllık üretim değeri nötr durumdan fazladır. Nihayetinde KAS endeksinin yaz mevsiminde rüzgâr enerjisine etkisi azdır. Sonbahar mevsiminde KAS endeksinin pozitif olduğu durumda yıllık üretim miktarı azami düzeyde, negatif sonbaharlar için yıllık üretim miktarı nötr faza göre düşüktür. Sonbahar mevsimi için KAS endeksinin pozitif, nötr ve negatif fazlarında üretim miktarında pozitiften negatife doğru belirgin bir azalma söz konusudur. KAS fazları ile mevsimlik ortalama rüzgâr şiddeti değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, yüksek korelasyon değerlerinin pozitif kış ile pozitif ve negatif yaz dönemlerinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kuzey Atlantik Salınımı, Rüzgâr Enerjisi, Weibull, WAsP, Çanakkale

Investigation of the Effect of North Atlantic Oscillation on Wind Energy Potential of Çanakkale

Abstract

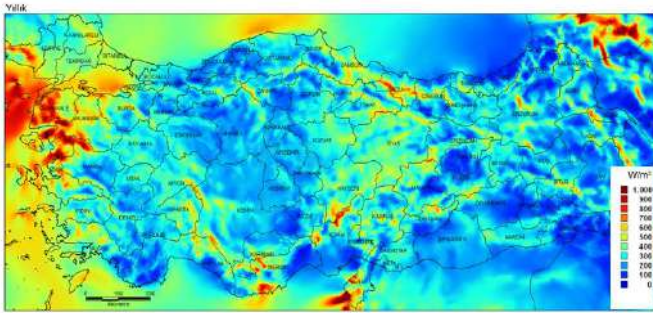
North Atlantic Oscillation has an impact on wind energy potential changing seasonally as in other meteorological parameters. While the positive phase of the NAO index prevails in winter, the average wind and annual production value is lower than the neutral and negative phase. There is no significant change between neutral and negative phases for wind energy potential in winter. In the spring season, while the negative phase of the NAO index is dominant, there is a significant decrease in the average wind speed and annual energy production value. While the positive phase of the NAO index prevails in the spring season, there is an increase in the average wind speed and annual production value, but the amount of increase is not as high as the decrease based on the negative phase of the index. The effect of NAO is minimal for our country in the summer season, and this also shows itself in wind energy. In both cases where the NAO index for the summer season is negative and positive, the average wind and annual production value is higher than the neutral situation. Ultimately, the NAO index has a slight effect on wind energy in summer. In case the NAO index is positive in autumn, the annual production amount is at maximum level, and for negative autumn, the annual production amount is lower than the neutral phase. There is a significant decrease in the production amount from positive to negative in the positive, neutral and negative phases of the NAO index for the autumn season.

Keywords: North Atlantic Oscillation, Wind Energy, Weibull, WAsP, Çanakkale.

* Sorumlu Yazar: bahtiyar.efes@samsun.edu.tr

1. Giriş

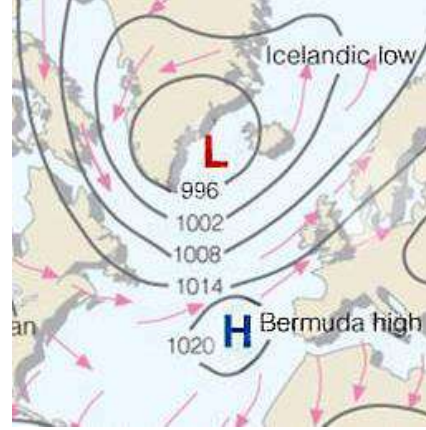
Son yılların temel sorunlarından biri olan küresel ısınma ve iklim değişikliğinin ana sebepleri insan kökenlidir (IPCC, 2013). Buharlı makinelerin icadı, sanayileşme faaliyetleri, teknolojik gelişmeler, dünya nüfusunun artışı, refah seviyesinin yükselmesi enerjiye duyulan ihtiyacı artırmıştır ve artırmaktadır. Daima artan enerji ihtiyaç ve fosil yakıtların tüketiminden ortaya çıkan tahribatı azaltmak gayesiyle uluslararası çalışmalar ile daha temiz ve dönüştürülebilir olan yenilenebilir enerji (rüzgâr, güneş, biokütle, dalga vb.) kaynakların kullanımları artmıştır (Karabulut, 1999). Global olarak toplam enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynak payı 2006 yılında %19 iken, bu oranın 2011 yılında %20'ye yükselmiştir (IEA, 2013). Türkiye rüzgâr gücünden elektrik üretim potansiyeli yüksek bir ülke olup 83.000 MW (yıllık 300 milyar kWh) üretim gücüne sahiptir. Türkiye'de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi giderek artmaktadır. Türkiye'de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi 2016 yılında 15.517 GWh, 2017 yılında 17.904 GWh, 2018 yılında 19.882 GWh'dır (IEA, 2018). Çanakkale bölgesi Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası'na (REPA) göre Türkiye'de en yüksek rüzgâr potansiyeline sahip bölgesidir (Şekil 1). Çanakkale'de kurulu güç 3.964 MW, yıllık elektrik üretimi 21.107 GWh, yıllık tüketimin %8,26'dır (Türkiye Enerji Atlası, 2020).



Şekil 1: Türkiye rüzgâr enerji potansiyel atlası (EIGM, 2020).

Rüzgâr zamana ve hava koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Rüzgârın ortalama mevsimsel ve günlük değişkenliği iyi bilinmektedir ve rüzgâr hızı güvenilir bir şekilde saatler veya günler öncesinden tahmin edilebilir. Rüzgâr değişkenliğinin az bilinen bir yönü, rüzgâr hızlarının bir yıldan diğerine nasıl ve neden değiştiğidir. Bu tür düşük salımlı değişkenlik hakkındaki bilgi, rüzgâr türbinlerinden uzun vadeli güç üretiminin öngörülmesi için önemlidir (Sailor ve ark., 2000). Atmosferdeki küresel ve bölgesel ölçekli hava sirkülasyonları, bölgesel iklim anomalilerinin oluşmasını sağlar (Yetmen, 2006). Bu küresel ölçekli sirkülasyonlardan bir tanesi de Kuzey Atlantik Salınımı (KAS)'dır. KAS, etki ettiği geniş ölçekte iklime doğrudan veya dolaylı bağlı ekonomik faaliyetleri etkilemektedir (Yetmen, 2006). KAS, İzlanda (alt-kutupi bölge) civarında bulunan alçak basınç merkezi ile Azor Adaları (alt-tropik bölge) civarında bulunan yüksek basınç merkezi arasındaki atmosferik basınç salınımdır (Şekil 2). Farklı karakteristiğe sahip iki basınç merkezi arasında meydana gelen rüzgârlar sadece Kuzey Atlantik'te değil, Kuzey Amerika'dan Avrupa ve Kuzeybatı Asya'ya uzanan bölgede; yağış, basınç ve sıcaklıkları etkilemektedir. Basınç merkezlerinin ikisi de normalden daha güçlü durumdaysa; İzlanda Alçak Basınç Merkezinin merkez değeri normalden daha küçük, Azor Yüksek Basınç Merkezi'nin merkez değeri normalden daha yüksek ise KAS endeksi pozitiftir. Azor YBM'nin bulunduğu

bölgede ABM; İzlanda ABM'nin bulunduğu bölgede YBM mevcutsa KAS endeksi negatiftir. KAS endeksi Wallace & Gutzler (1981) tarafından tanımlanmıştır. Kuzey Atlantik Salınım endeksi ile Türkiye yağışlarının ve sıcaklıklarının farkları arasında ters bir ilişki olduğunu ve KAS indisinin pozitif evresi Türkiye'de yağışların azalmasına ve sıcaklıkların düşmesine yol açarken, negatif evresinde yağışlar ve sıcaklıkların artmasına yol açtığı görülmektedir (Türkeş & Erat, 2003).



Şekil 2: KAS'ı etkileyen basınç sistemleri (NCSU, 2020)

Rüzgâr üzerine çalışmalar farklı alanlarda gerçekleştirilmektedir. Bazı çalışmalar rüzgâr enerjisi potansiyelini incelerken (Özdemir ve ark., 2015), bazı çalışmalar rüzgâr enerjisi tahmini (Efe ve ark., 2012) ile ilgilenmektedir. KAS'ın rüzgâr enerjisine etkileri ile ilgili çalışmalar da mevcuttur. Brayshaw ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada; KAS'ın üç farklı fazının İngiltere için rüzgâr enerjisi potansiyeline etkisini incelemişlerdir. Çalışmada aylık ortalama KAS verileri ABD'nin Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'nden (NOAA) elde etmişlerdir. Saatlik ortalama 10 m yükseklikten ölçülen rüzgâr hızı verilerini Met Office Integrated Data Archive System (MIDAS) veri kümesinden elde etmişlerdir. Çalışma Great Dun Fell ve Stornoway Havalimanı için uygulanmış, verileri birbirinden tamamen bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Her KAS kategorisindeki rüzgâr hızı dağılımı, rüzgâr hızlarını temsil etmek için yaygın olarak kullanılan bir dağılım olan Weibull dağılımına benzemektedir. Ayrıca rüzgâr hızları genellikle yüksek KAS sırasında düşük KAS'dakinden daha yüksektir. Saatlik ortalama güç üretimi, günlük ortalama güç üretimi ve daha uzun süreler (1030 gün) için güç üretimlerine KAS'ın etkisi incelenmiştir. KAS durumunun dağılımlar üzerinde belirgin ve istatistiksel olarak anlamlı (%99 güven aralığı) bir etkisi olduğu sonucuna varmışlardır (Brayshaw ve ark., 2011). Zubiato ve ark. (2016) yılında yaptıkları çalışmada kış mevsiminde KAS endeksi ile Batı Avrupa'daki rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Kış mevsiminin seçilmesinin nedeni, KAS'ın etkisinin Avrupa'da en çok kış mevsiminde hissedilmesidir. Çalışmada 10 metre yükseklik için hazırlanmış, 3 saatlik zaman çözünürlüğüne sahip, ECMWF Reanaliz verisi (ERA-Interim) rüzgâr veri setleri kullanılmış; veriler logaritmik bir profil kullanılarak 80 m yüksekliğindeki tipik bir rüzgâr türbini göbeği yüksekliğine ekstrapole edilmiştir. Ocak 1979 yılından başlayan rüzgâr verileri Şubat 2013'e kadar sürmektedir. KAS endeksi pozitif ve negatif olarak ikiye ayrılmıştır. Spearman rank korelasyonu kullanılarak aylık KAS endeksleri ile ortalama aylık rüzgâr hızları arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın kapsadığı 35 yıllık 104 kış ayından 55'inde pozitif KAS endeksi ve 49'unda negatif KAS endeksi görülmüştür. Pozitif KAS endeksi olan tüm aylar için ortalama rüzgâr hızı Kuzey Avrupa üzerinden ve Güney Avrupa

üzerindeki akışı zayıflatmaktadır. Öte yandan, negatif KAS kışları, Kuzey Atlantik ve Batı Avrupa sektörlerinin çoğunda daha düşük ortalama rüzgar hızları içermektedir. İber Yarımadası ve Batı Akdeniz'de daha güçlü rüzgar hızları mevcuttur. Güçlü negatif KAS endeksi ile aylık ortalama rüzgar hızları İber Yarımadası ve Akdeniz bölgesinde zayıf negatif korelasyonlar, Güney Fransa'da ve Birleşik Krallık'ın güney kesiminde zayıf pozitif korelasyonlar oluşturmuştur (Zubieta ve ark., 2016). Bustamente ve ark. (2013) yılında yaptıkları çalışmada; İber Yarımadası'nın kuzey doğusunda rüzgar enerjisi üretimi ile KAS arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bölgede seçilen üç rüzgar çiftliğinde (Aritz, El Perdón ve Alaiz) kaydedilen rüzgar hızı ve rüzgar enerjisi üretim verileri çalışmada kullanılmıştır. Rüzgar verileri, rüzgar çiftliği türbinlerinin göbek yüksekliğinde, 30 ile 45 m arasında bulunan anemometrelerden de toplanmıştır. Rüzgar ve rüzgar enerjisi kayıtları, Haziran 1999'dan Mayıs 2003'e kadar uzanır. Çalışma KAS ve bölgesel rüzgar alanı arasındaki bağlantının en güçlü olduğu Eylül-Mart ayları arasında odaklanmıştır. Çalışma, yıllık ve on yıllık zaman ölçeklerinde rüzgarla doğrusal ilişki de dahil olmak üzere rüzgar gücünün uzun vadeli değişimleriyle ilgili bazı yönleri açıklığa kavuşturmaya yardımcı olabilecektir. Çalışma sonucunda anlaşılmıştır ki, rüzgar enerjisi üretim kayıtları olmayan ancak rüzgar hızı ölçümlerinin mevcut olduğu yerlerde de rüzgar enerjisi üretiminin tahmini, KAS endeksi ile rüzgar arasındaki ilişkiye dayandırılarak yapılabilir (Bustamente ve ark., 2013).

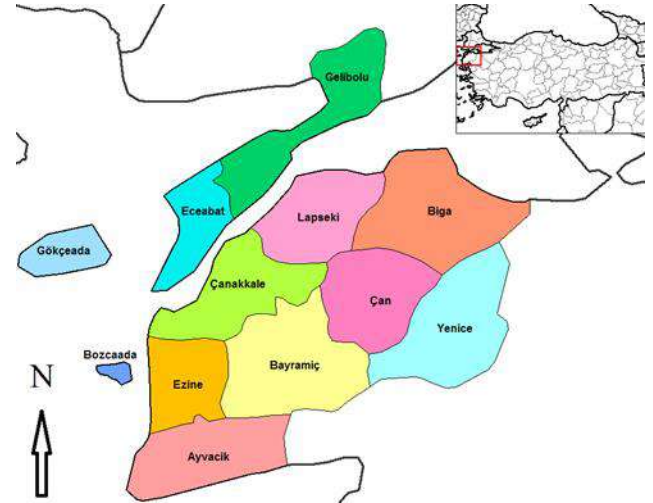
Çeşitli atmosferik olayların sıcaklık (Efe ve ark., 2020), yağış (Efe ve ark., 2019) etkisi çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Fakat atmosferik salınımların Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyeline etkisi yeterince incelenmemiştir. Bu çalışmanın amacı KAS'ın Çanakkale bölgesi rüzgar istatistiklerine ve rüzgar enerjisi potansiyeline etkisini incelemektir. Bu amaçla, 1990 – 2019 yıllarını kapsayan aralıktaki KAS fazları için, ortalama rüzgar şiddeti değerleri temin edilmiş ve KAS'ın rüzgar enerjisi potansiyeline etkisi incelenmiştir. Çalışmanın, ikinci bölümünde materyal ve metot, üçüncü bölümünde araştırma sonuçları ve tartışma, dördüncü bölümünde ise sonuç kısmı yer almaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 'nden alınan, Çanakkale Meteoroloji İstasyonuna ait, 1990 – 2019 yıllarını kapsayan dönem için saatlik ortalama rüzgâr verisi kullanılmıştır. Rüzgâr verileri 10 dakikalık ölçümlerin ortalaması şeklinde olup, 10 metre yükseklikten ölçülmüştür. Çanakkale istasyonunun seçilmesinin birinci nedeni, REPA'ya göre en yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olmasıdır (REPA, 2020). İkinci neden ise, Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santrallerinin yaklaşık %5'inin bu ilimizde kurulu olmasıdır (TUREB, 2019). Çanakkale, Kuzeybatı Anadolu' da aynı isimli boğazın en dar kıyısında yer alır. İl genel olarak 25° 40' - 27° 30' Doğu meridyenleri ile 39° 27' - 40° 45' Kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Çanakkale İli, batısında ve güneybatısında Ege Denizi, kuzeyinde Marmara Denizi ve Tekirdağ, kuzeybatısında Edirne ve Doğu ve güneydoğusunda Balıkesir ile çevrilidir (Şekil 3). En yüksek dağı Kaz Dağı'dır. Çanakkale iklimsel olarak Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasında Marmara geçiş iklimin güneybatısında yer alır. Sıcaklık bakımından Marmara geçiş ikliminde, yağış rejimi ise Akdeniz yağış rejimidir. Bölgenin engebeli yapısı iklim özelliklerinin dar alanlarda değişkenlik

göstermesine sebep olur. Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Çanakkale yarı nemli bir iklime sahiptir (Türkeş, 2011).



Şekil 3: Çanakkale il haritası ve Türkiye'deki konumu (Türkiye Rehberi, 2020)

KAS fazlarını belirlemek için, Climate Prediction Center 'dan alınan KAS endeks verileri kullanılmıştır (NWS, 2020). 1990-2019 yılları arasında endeks mevsimsel olarak incelenmiş;

- Endeksin 0'a en yakın olduğu, yani nötr fazda olduğu, her bir mevsim için 4 mevsimsel veri seti (KAS'ın etkisinin neredeyse hiç olmadığı),
- Endeksin azami olduğu, yani pozitif fazda olduğu her bir mevsim için 4 mevsimsel veri seti,
- Endeksin asgari olduğu, yani negatif fazda olduğu her bir mevsim için 4 mevsimsel veri seti

oluşturulmuştur. Böylelikle her bir mevsim için birer yıllık 3 veri seti oluşturulmuştur. Her bir KAS fazı için mevsimlere göre kullanılan rüzgâr verilerinin ait olduğu yıllar, Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Her bir mevsim ve KAS sınıfı için kullanılan yıllar

	Pozitif KAS	Negatif KAS	Nötr KAS
Kış	1991, 1995, 2012, 2015	1996, 1997, 2010, 2011	2001, 2003, 2004, 2013
İlkbahar	1992, 2004, 2011, 2015	1996, 2005, 2008, 2010	1991, 1997, 2003, 2014
Yaz	1990, 1993, 1994, 1996	2011, 2012, 2015, 2016	1991, 2003, 2005, 2006
Sonbahar	2007, 2011, 2015, 2018	2002, 2006, 2010, 2012	2000, 2001, 2004, 2013

2.2 Metot

2.2.1 Weibull Dağılımı

Rüzgâr potansiyelinin hesaplanmasında en çok kullanılan istatistiksel dağılım, iki parametrelili Weibull dağılımıdır. İki

parametrelili Weibull dağılımı ölçek ve şekil parametrelerini barındırır. Weibull dağılımı, şekil parametresinin farklı değerleri alması durumunda farklı dağılımlara dönüşür. Şekil parametresi $\beta = 1$ olduğunda üstel dağılım, $\beta = 2$ olduğunda Rayleigh dağılımına ve $\beta = 3,4$ olduğunda normal dağılıma dönüşür.

$$f(v) = \frac{k}{c} \frac{v^{(k-1)}}{c} \exp\left(-\frac{v}{c}\right)^k$$

Burada v , rüzgâr şiddetini (m/s), k ve c sırasıyla şekil ve ölçek parametrelerini temsil eder. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu ise

$$F(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right)$$

şeklinde ifade edilir. Şekil parametresi, ekvator çevresinde 1, ılıman enlemlerde 2 ve daimi rüzgâr alanları için ise 3 civarındadır (Weisser 2003).

2.2.2. Wind Atlas Analysis and Application Progra (WASP)

Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) 1987 yılında Danimarka Teknik Üniversitesi (DTU) Risø National Laboratory Wind Energy and Atmospheric Physics bölümü tarafından geliştirilmiştir. WASP rüzgâr veri analizi, rüzgâr hızı tahmini, rüzgâr atlası oluşturma, rüzgâr enerji hesaplamaları ve türbin yerleşim işlemleri, rüzgâr iklim değerlendirilmesi yapmaktadır. Ham verinin analizi sayesinde rüzgâr ölçümleri bir zaman serisi şeklinde analiz edilir. Weibull parametreleri de bu veriden hesaplanır. Rüzgâr türbinin yıllık ortalama güç eğrisi ile WASP kullanılarak üretim değerlendirilmesi yapılabilir. WASP rüzgâr türbinlerinden daha doğru sonuçlar için türbinlerin yerleştirilmesi gereken yerleri de verir. Rüzgâr güç potansiyelinin tahmininde ise ortalama rüzgârın toplam enerji içeriği WASP ile hesaplanır. Türbinin yıllık ortalama güç üretiminin gerçek bir değerlendirmesi, söz konusu türbinin güç eğrisi ile WASP' 1 kullanarak elde edilebilir. Program rüzgâr hız verilerinin iki parametrelili Weibull dağılımına uygun bir dağılım gösterdiğini varsayarak veri analizini gerçekleştirir.

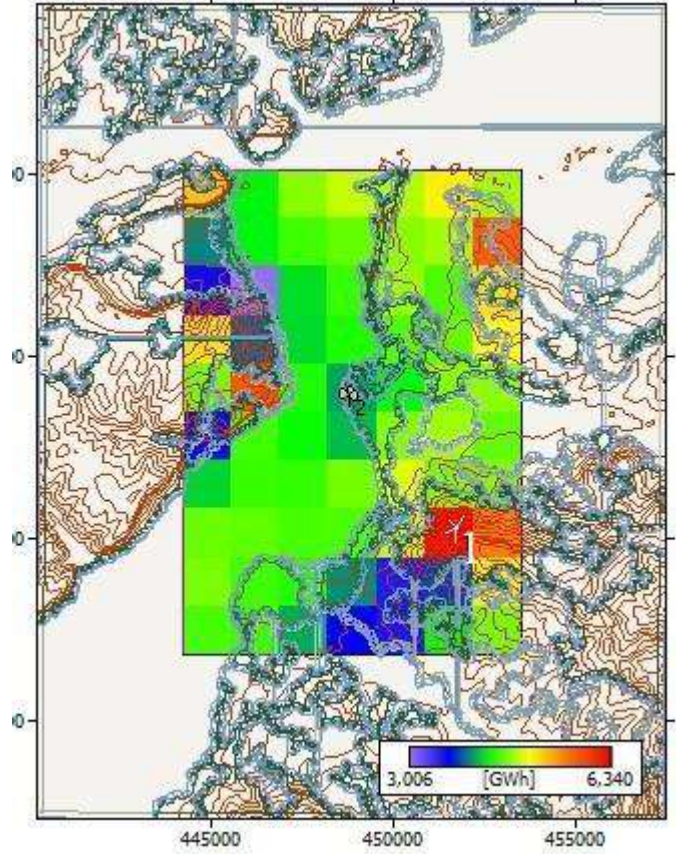
Çalışmada kullanılan veri setlerinin hepsinde hâkim rüzgâr yönü kuzeydoğudur. Tüm veri setlerinin Weibull dağılımındaki k parametresi, rüzgâr enerjisinde kullanılabilir aralık olarak kabul edilen 1-3 aralığındadır. Veri setleri herhangi bir düzeltme işlemine tabi tutulmamıştır. Rüzgâr verilerinde kopukluk, eksiklik söz konusu değildir. Her mevsim için, her bir fazdaki hâkim rüzgâr yönü, bu yöndeki rüzgârın yüzdesi, ortalama rüzgâr şiddeti, Weibull dağılımı k parametresi ve belirlenen konumdaki türbinin yıllık enerji üretimi hesaplanmıştır. KAS Endeksinin değerlerinin sıfırına en yakın olduğu mevsimler, nötr faz kabul edilmiştir. KAS Endeksinin negatif ve pozitif faz için hesaplanan değerleri, nötr faz için hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Çalışma Yerinin Tespiti

Çanakkale için 2019 yılına ait saatlik ortalama rüzgâr şiddet ve yön verileri WASP' da kullanılarak analiz edilmiştir. 2019 yılına ait verilerden elde edilen yıllık enerji potansiyeline göre potansiyelin en yüksek olduğu bölge, WASP programı aracılığı ile, Weibull dağılımı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 4). Oluşturulan haritada en yüksek potansiyele sahip (6 GWh' lik potansiyelin olduğu) bölgeden bir nokta çalışmanın devamında kullanılmak üzere seçilmiştir. Seçilen noktanın koordinatları Evrensel Enlem Merkatörü (Universe Transverse Mercator (UTM)) projeksiyonuna göre 451523,5 m. Doğu ve 4440298,0 Kuzey'dir

(Şekil 4'te 1 ile gösterilen kırmızı bölge). Daha sonra her mevsimin pozitif, negatif ve nötr fazları kendi içerisinde değerlendirilmek üzere WASP' da incelenmiştir. Vestas marka V80 (2 MW) türbini yerleştirilmek için yukarıda seçilen koordinat kullanılmıştır. Türbin iz etkisi vb. sorunlarla karşılaşmamak ve sadece KAS' ın etkisini incelemek için çalışmada tek türbin kullanılmıştır.



Şekil 4: 2019 Yılı verileri kullanılarak hesaplanan yıllık rüzgâr enerjisi potansiyeli

3.2 Kas Analizi

3.2.1 Kış mevsimi

Kış mevsiminde KAS sınıfları için rüzgâr istatistikleri ve enerji üretimi değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Nötr kışlar için veri setinde rüzgârların % 39,5'lik kısmı 45 dereceden esmiştir. Nötr kışlar için ortalama rüzgâr şiddeti, 4,73 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,49'dur. Negatif kışlar veri setinde rüzgârların %45,9'luk kısmı 45 dereceden esmiştir. Negatif kışlar için ortalama rüzgâr şiddeti 4.32 m/s'dir. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,51'dir. Pozitif KAS fazı için kış mevsimine ait rüzgârların %47,6'lık kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 3.96 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,38'dir.

Negatif ve pozitif kışlar nötr kışlarla kıyaslandığında; hâkim rüzgâr yönünde bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Pozitif kışlarda, kuzey batıdan esen rüzgârların frekansında artış olmuştur. Negatif kışlarda, ortalama rüzgâr şiddeti, %8,6 azalırken; pozitif kışlarda %16 azalmıştır. Weibull dağılımının k parametresinin değişimine baktığımızda; negatif kışlarda bir değişiklik gözlemlenmez iken pozitif kışlarda %7'lik bir azalma gözlenmektedir. Üretim değerlerine baktığımızda, nötr kışlar için

yıllık üretim 8,225 Gwh, negatif kışlar için yıllık üretim 8,2 Gwh, pozitif kışlar için yıllık üretim 7,032 Gwh' dir. Üretim değerleri;

negatif kışlar için değişmez iken pozitif kışlar için yaklaşık %15 oranında azalmıştır

Tablo 2. Kış mevsimi için KAS sınıflarına göre rüzgâr istatistikleri ve enerji üretimi

	Hâkim Rüzgâr Yönü	Veri Yüzdesi	Ortalama Rüzgâr Şiddeti (m/s)	Weibull k Parametresi	Enerji Üretimi (GWh)
Nötr KAS	45	39,5	4,73	1,49	8,225
Negatif KAS	45	45,9	4,32	1,51	8,2
Pozitif KAS	45	47,6	3,96	1,38	7,032

3.2.2 İlkbahar mevsimi

İlkbahar mevsiminde KAS kategorileri için rüzgâr istatistikleri ve enerji üretimi değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Nötr ilkbahar veri setinin % 42,6'lık kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 3,88 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,65'dir. Negatif ilkbaharlar veri setinin %35,6'lık kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 3,48 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,51'dir. Pozitif ilkbahar veri setinin %40,3'lük kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 4,00 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,71'dir.

Negatif ve pozitif ilkbaharlar nötr ilkbaharlarla kıyaslandığında; hâkim rüzgâr yönünde bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Negatif ilkbaharlarda, güney batıdan esen rüzgârların frekansında artış olmuştur. Negatif ilkbaharlarda ortalama rüzgâr şiddeti %10,3 azalırken; pozitif ilkbaharlarda ortalama rüzgâr şiddeti %3 artmaktadır. Weibull dağılımının k parametresinin değişimine baktığımızda; negatif ilkbaharlarda %8'lik azalma var iken pozitif ilkbaharlarda %3'lük bir artış gözlenmektedir. Üretim değerlerine baktığımızda nötr ilkbaharlar için yıllık üretim 7,164 Gwh, negatif ilkbaharlar için yıllık üretim 5,882 Gwh, pozitif ilkbaharlar için yıllık üretim 7,547 Gwh' dir. Negatif ilkbaharlarda üretim değeri %17,9 azalmaktadır. Pozitif ilkbaharlarda ise üretim değeri %5 artmaktadır.

Tablo 3. İlkbahar mevsimi için KAS sınıflarına göre rüzgâr istatistikleri ve enerji üretimi

	Hâkim Rüzgâr Yönü	Veri Yüzdesi	Ortalama Rüzgâr Şiddeti (m/s)	Weibull k Parametresi	Enerji Üretimi (GWh)
Nötr KAS	45	42,6	3,88	1,65	7,164
Negatif KAS	45	35,6	3,48	1,51	5,882
Pozitif KAS	45	40,3	4,00	1,71	7,547

3.2.3 Yaz mevsimi

Yaz mevsiminde KAS kategorileri için rüzgâr istatistikleri ve enerji üretimi değerleri Tablo 4'de gösterilmiştir. Nötr yaz veri setinin % 47,2'lik kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 3,46 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,89'dur. Negatif yaz veri setinin %61,2'lik kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 3,5 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 2,07'dir. Pozitif yaz veri setinin %53,8'lik kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 3,84 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 2,11'dir.

Negatif ve pozitif yazlar nötr yazlarla kıyaslandığında; hâkim rüzgâr yönünde bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Pozitif yazlarda, kuzeyden esen rüzgârların frekansında artış olmuştur. Negatif yazlarda ortalama rüzgâr şiddeti değişmemiştir; pozitif yazlarda ortalama rüzgâr şiddeti %10,9 artmaktadır. Weibull dağılımının k parametresinin değişimine baktığımızda; negatif yazlarda %9,5'lik ve pozitif yazlarda %11,6'lık artış gözlenmektedir. Üretim değerlerine baktığımızda nötr yazlar için yıllık üretim 6,638 Gwh, negatif yazlar için yıllık üretim 7,665 Gwh, pozitif yazlar için yıllık üretim 8,124 Gwh' dir. Negatif yazlarda üretim değeri %15,4 ve pozitif yazlarda üretim değeri %22,3 artmaktadır.

Tablo 4. Yaz mevsimi için KAS sınıflarına göre rüzgâr istatistikleri ve enerji üretimi

	Hâkim Rüzgâr Yönü	Veri Yüzdesi	Ortalama Rüzgâr Şiddeti (m/s)	Weibull k Parametresi	Enerji Üretimi (GWh)
Nötr KAS	45	47,2	3,46	1,89	6,638
Negatif KAS	45	61,2	3,5	2,07	7,665
Pozitif KAS	45	53,8	3,84	2,11	8,124

3.2.4 Sonbahar mevsimi

Sonbahar mevsiminde KAS kategorileri için rüzgâr istatistikleri ve enerji üretimi değerleri Tablo 5'de gösterilmiştir. Nötr sonbahar veri setinin %37'lik kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 3,86 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,52'dir. Negatif sonbahar veri setinin 48,4'lük kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 3,48 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,36'dır. Pozitif sonbahar veri setinin %56,6'lık kısmı 45 dereceden esmiştir. Ortalama rüzgâr şiddeti 3,52 m/s olarak hesaplanmıştır. Veri setinin Weibull dağılımında k parametresi 1,68'dir.

Negatif ve pozitif sonbaharlar nötr sonbaharlarla kıyaslandığında; hâkim rüzgâr yönünde bir değişiklik olmadığı

görülmüştür. Negatif ve pozitif sonbaharlarda, (hâkim rüzgâr yönü) kuzeydoğudan esen rüzgârların frekansında artış olmuştur. Negatif sonbaharlarda ortalama rüzgâr şiddeti %9,8 ve pozitif sonbaharlarda ortalama rüzgâr şiddeti %8,8 azalmaktadır. Weibull dağılımının k parametresinin değişimine baktığımızda; negatif sonbaharlarda %10,5'lik azalma var iken pozitif sonbaharlarda %10,5'lik bir artış gözlenmektedir. Üretim değerlerine baktığımızda nötr sonbaharlar için yıllık üretim 6,71 Gwh, negatif sonbaharlar için yıllık üretim 6,193 Gwh, pozitif sonbaharlar için yıllık üretim 7,291 Gwh'dir. Negatif sonbaharlarda üretim değeri %7,7 azalmaktadır. Pozitif sonbaharlarda ise üretim değeri %8,6 artmaktadır.

Tablo 5. Sonbahar mevsimi için KAS sınıflarına göre rüzgâr istatistikleri ve enerji üretimi

	Hâkim Rüzgâr Yönü	Veri Yüzdesi	Ortalama Rüzgâr Şiddeti (m/s)	Weibull k Parametresi	Enerji Üretimi (GWh)
Nötr KAS	45	37	3,86	1,52	6,71
Negatif KAS	45	48,4	3,48	1,36	6,193
Pozitif KAS	45	56,6	3,52	1,68	7,291

3.3 KAS değerleri ile rüzgar şiddeti arasındaki ilişkinin incelenmesi

Bu bölümde, her bir mevsim için en kuvvetli nötr, negatif ve pozitif KAS fazına sahip yıllarda, KAS ile yıllık ortalama rüzgar şiddeti arasındaki korelasyon incelenmiştir.

Nötr kışların rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile arasındaki spearman korelasyon katsayısı 0,25'dir. Aralarındaki ilişki çok zayıftır. Negatif kışların rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile arasındaki korelasyon katsayısı -0,43'dür. Aralarındaki ilişki zayıftır. Pozitif kışların rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile aralarındaki korelasyon katsayısı -0,86'dır. Aralarındaki ilişki yüksektir.

Nötr ilkbahar rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile aralarındaki korelasyon katsayısı -0,24'dür. Aralarındaki ilişki çok zayıftır. Negatif ilkbahar rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile aralarındaki korelasyon katsayısı 0,11'dir. Aralarındaki ilişki çok zayıftır. Pozitif ilkbahar rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile korelasyon katsayısı -0,28'dir. Aralarındaki ilişki zayıftır.

Nötr yaz rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile aralarındaki korelasyon katsayısı -0,80'dir. Aralarındaki ilişki yüksektir. Negatif yaz rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile aralarındaki korelasyon katsayısı -0,2'dir. Aralarındaki ilişki çok zayıftır. Pozitif yaz rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile aralarındaki korelasyon katsayısı -0,95'dir. Aralarındaki ilişki çok yüksektir.

Nötr sonbahar rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile aralarındaki korelasyon katsayısı -0,21'dir. Aralarındaki ilişki çok zayıftır. Negatif sonbahar rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile aralarındaki korelasyon katsayısı 0,14'dür. Aralarındaki ilişki çok zayıftır. Pozitif sonbahar rüzgar hızlarının KAS endeksleri ile aralarındaki korelasyon katsayısı 0,36'dir. Aralarındaki ilişki zayıftır.

4. Sonuç

1990-2019 yılları arasındaki Çanakkale rüzgar verileri KAS endeksi baz alınarak belirlenmiştir. Verilerin WASP aracılığıyla değerlendirilmesi sonucunda; KAS'ın rüzgâr enerji potansiyeline etkisinin de diğer meteorolojik parametrelerde olduğu gibi mevsimsel olarak değiştiği görülmektedir. Ülkemizde KAS'ın en etkili olduğu mevsim kıştır. Kış mevsiminde KAS endeksinin pozitif fazı hâkim iken ortalama rüzgâr ve yıllık üretim değeri nötr ve negatif faza göre düşüktür. Kış mevsiminde rüzgâr enerji potansiyeli için nötr ve negatif faz arasında belirgin bir değişim söz konusu değildir. İlkbahar mevsiminde ise KAS endeksinin negatif fazı etkin iken ortalama rüzgâr ve yıllık üretim değerinde belirgin düşüş söz konusudur. İlkbahar Mevsiminde KAS endeksinin pozitif fazı etkin iken ortalama rüzgâr hızında ve yıllık üretim değerinde artış söz konusudur lakin artış miktarı endeksin negatif fazına dayalı düşüş kadar yüksek değildir. KAS'ın etkisi yaz mevsiminde ülkemiz için asgari düzeydedir, bu durum rüzgâr enerjisinde de kendisini göstermektedir. Yaz mevsimi için KAS endeksinin negatif ve pozitif olduğu iki durumda da ortalama rüzgâr ve yıllık üretim değeri nötr durumdan fazladır. Nihayetinde KAS endeksinin yaz mevsiminde rüzgâr enerjisine bir etkisi yoktur. Sonbahar mevsiminde KAS endeksinin pozitif olduğu durumda yıllık üretim miktarı azami düzeyde, negatif sonbaharlar için yıllık üretim miktarı nötr faza göre düşüktür. Sonbahar mevsimi için KAS endeksinin pozitif, tarafsız ve negatif fazlarında üretim miktarında pozitiften negatife doğru belirgin bir azalma söz konusudur.

Çanakkale'nin konumu göz önüne alındığında, her mevsim farklı şekilde, rüzgâr enerji potansiyelinin %5, %10, %15 gibi oldukça yüksek oranlarda KAS'ın fazlarından etkilenmesi beklenen bir sonuçtur. Lakin sonbahar ve kış mevsiminin KAS endeksinin aynı fazlarından aynı eğilimde etkilenmemeleri çalışmanın şartıcı sonuçlarındandır. Üstelik sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinin KAS endeksinin aynı fazlarından, aynı eğilimde etkilenmeleri de çalışmanın bir diğer şartıcı sonucudur.

Sonbaharda başlayan eğilimin kış mevsiminde devam etmemesi; kış mevsiminde başlayan eğilimin ilkbaharda devam etmemesi de bir diğer şaşırtıcı sonuçtur. Yaz mevsiminde etkinin asgari düzeyden ziyade hiç olmaması da şaşırtıcıdır. KAS'ın Çanakkale rüzgâr enerji potansiyeline etkisini incelerken meteorolojik ölçüm rüzgâr verisi yerine Çanakkale de kurulu bulunan rüzgâr türbininden alınan mevsimsel üretim değerleri kullanılması daha hassas sonuçlar elde etmemize imkân tanıyacaktır. %5, %10, %15 gibi rüzgâr enerji potansiyelindeki büyük oranlardaki değişim, rüzgâr enerjisinden elektrik üreten rüzgâr çiftlikleri için oldukça önemli ve anlamlı değerlerdir. Mevsimsel elektrik üretimi tahminlerinde KAS endeksinin fazlarının da tahmine dâhil edilmesi rüzgâr enerjisinden elektrik üreticileri için büyük bir kazanç olacaktır.

KAS fazları ile mevsimlik ortalama rüzgar şiddeti değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, yüksek negatif korelasyon değerlerinin pozitif kış ile pozitif ve negatif yaz dönemlerinde olduğu görülmüştür. Pozitif kış aylarında görülen bu yüksek negatif korelasyon, KAS şiddeti arttıkça ortalama rüzgar şiddetinin azaldığını ifade etmekte olup, Zubiante ve ark. (2016)'nın sonuçları ile uyumludur. Daha uzun bir süre için ilişkinin incelenmesi daha iyi sonuçlar verecektir.

Teşekkür

Yazarlar, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne rüzgâr verilerinin temin edilmesinden dolayı teşekkür ederler.

Kaynakça

- Brayshaw, D. J., Troccoli, A., Fordham, R. & Methven, J. (2011). The impact of large scale atmospheric circulation patterns on wind power generation and its potential predictability for UK. *Renewable Energy*, 36(8), 2087-2096.
- García-Bustamante, E., González-Rouco, J. F., Navarro, J., Xoplaki, E., Luterbacher, J., Jiménez, P. A. Montávez, J. P., Hidalgo, A. & Lucio-Eceiza E. E. (2013). Relationship between wind power production and North Atlantic atmospheric circulation over the northeastern Iberian Peninsula. *Climate Dynamics*, 40, 935-949.
- Efe, B., Mentés, S., Unal, Y., Tan, E., Unal, E., Ozdemir, E.T., Barutçu, B., Onol, B. & Topcu, S. (2012). 72 hr forecast of wind power in Manisa, Turkey by using the WRF model coupled to WindSim. *Proceedings of the International conference on renewable energy research and applications (ICRERA '12) 2012*, pp. 1-6.
- Efe, B., Lupo, A. R. & Deniz. A. (2019). The Relationship Between Atmospheric Blocking and Precipitation Changes in Turkey between 1977 – 2016. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3), 1573 – 1590.
- Efe, B., Lupo, A. R., Sezen, I. & Deniz. A. (2020). The Relationship Between Atmospheric Blocking and Temperature Anomalies in Turkey between 1977 – 2016. *International Journal of Climatology*, 40(2), 1022 - 1037.
- EIGM (2020) <https://eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/REPA>, alındığı tarih: 30/03/2020.
- IEA (2013) World Energy Outlook, 2013. <https://www.eia.gov/>, alındığı tarih:10/03/2020.

- IEA (2018) World Energy Outlook, 2018. <https://www.eia.gov/>, alındığı tarih: 10/03/2020.
- IPCC (2013) İklim değişikliği raporu, 2013. <https://www.ipcc.ch/reports/>, alındığı tarih: 25/02/2020
- Karabulut, Y. (1999). *Enerji kaynakları*, Ankara Üniv. Basımevi, ANKARA.
- Klink, K. (2007). Atmospheric circulation effects on wind speed variability at turbine height. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 445-456.
- NSCU (2020) <https://climate.ncsu.edu/edu/NAO>, alındığı tarih: 10/10/2020.
- NOAA (2020), <https://ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>, alındığı tarih:05/02/2020
- Özdemir, E.T., Yerli, B., Efe, B., Kaymak, M.K., Sezen, İ. & Şahin, A.D. (2013). Çatalca meteoroloji radarı çevresinde rüzgâr enerji santrali kurulumu için RETScreen ve HOMER enerji modelleri kullanılarak gerçekleştirilen fizibilite analizi. *6th Atmospheric Science Symposium*, April 24 – 26, 2013, İstanbul, Turkey.
- Sailor, D. J., Hu, T., Li, X. & Rosen, J. N. (2000) A neural network approach to local downscaling of GCM output for assessing wind power implications of climate change. *Renewable Energy*, 19(3), 359-378.
- TUREB (2019). Rüzgâr enerjisi istatistik raporu, 2018. <https://tureb.com.tr/lib/uploads/73691c95373216fb.pdf>, alındığı tarih: 29.08.2020.
- Türkeş, M. & Erlat, E. (2003) Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic oscillation during the period 1930-2000. *Royal Meteorological Society*, 23(14), 1771-1796.
- Türkeş, M. & Deniz Acar, Z. (2011). Güney marmara bölümü'nün (kuzey batı anadolu) klimatolojisi ile yağış ve akım dizilerinde gözlenen değişimler ve eğilimler. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(1), 1579-1600.
- Türkiye Enerji Atlası (2020). <https://www.enerjiatlas.com/>, alındığı tarih: 10/03/2020.
- Türkiye Rehberi (2020). https://www.turkiye-rehberi.net/harita/resim/Turkiye/canakkale_haritasi.png, alındığı tarih: 10/10/2020.
- Wallace, J. M., & D. S. Gutzler (1981) Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109, 784-812.
- Weisser, D. (2003). A wind energy analysis of Grenada: an estimation using the 'Weibull' density function. *Renewable Energy*, 28,1803-12.
- Yetmen, H.Y. (2006) GAP alanında kuzey atlantik salınımı'na bağlı yağış ve akım değişimleri (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi.
- Zubiante, L., McDermott, F., Sweeney, C. & O'Malley, M. (2017) Spatial variability in winter NAO-wind speed relationships in western Europe linked to concomitant states of the East Atlantic and Scandinavian patterns. *Royal Meteorological Society*, 143(702), 552-562.



Evaluation of The Smart City Applications in Terms of Users: The Case of Turkey

Orhun Soydan^{1*}, Ahmet Benliay²

^{1*} Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Architecture, Department of Landscape Architecture, Niğde, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0723-921X), orhunsoydan@ohu.edu.tr

² Akdeniz University, Faculty of Architecture, Department of Landscape Architecture, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0902-2658), benliay@akdeniz.edu.tr

(First received 16 Ağustos 2020 and in final form 18 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.781153)

ATIF/REFERENCE: Soydan, O. & Benliay, A. (2020). Evaluation of The Smart City Applications in Terms of Users: The Case of Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (20), 381-391.

Abstract

Cities transform into dynamic, productive, innovative and attractive areas. Due to this transformation, some problems occur in urban areas such as health, energy, traffic, waste management, air and water pollution, unplanned urbanization. The use of communication and information technologies should be provided for solving these problems. The cities should be more livable, quality and functional areas. Planners and designers should try to find solutions to urban problems, and they should action to make cities the more "smart". To create smart cities, areas must be transformed into more sustainable and livable. Smart cities focus on solutions such as mobility/transportation, clean energy, water-food production, health, life, and public participation. The aim of the study is to evaluate the smart city applications in open-green areas according to user's opinion. For this purpose, the questionnaire was made on 455 people who are from all provinces and regions of the Turkey. The users who participated in the questionnaire, were selected on a voluntary. The results that were obtained from the questionnaire, were transferred to SPSS software, and analyses were made using some test in SPSS. The average of the answers that were given by the participants about the smart city applications, is slightly higher than the average of the answers that were given about the park information systems. Most of the participants stated that they have demands about the information and technology, and smart city applications will increase the level of perception the cities. Finally, suggestions for the smart city applications were made.

Keywords: Smart City, City, User's opinion, Questionnaire, Turkey.

Akıllı Kent Uygulamalarının Kullanıcı Görüşleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği

Öz

Şehirler dinamik, üretken, yenilikçi ve çekici alanlara dönüşmektedir. Bu dönüşüm nedeniyle sağlık, enerji, trafik, atık yönetimi, hava ve su kirliliği, plansız kentleşme, doğal kaynakların azalması gibi bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların çözümü için iletişim ve bilgi teknolojilerinin kullanımı sağlanmalıdır. Şehirler daha yaşanabilir, kaliteli ve işlevsel alanlara dönüştürülmelidir. Planlı ve tasarımcılar sorunlar için çözümler bulmaya çalışmalı ve şehirleri daha "akıllı" hale getirmek için harekete geçmelidirler. Akıllı şehirler oluşturmak için alanların daha sürdürülebilir ve yaşanabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Akıllı şehirler hareketlilik/ulaşım, temiz enerji, su-gıda üretimi, sağlık, yaşam ve halkın katılımı gibi çözümlere odaklanmaktadır. Bu çalışmanın amacı açık yeşil alanlardaki akıllı şehir uygulamalarını kullanıcının görüşüne göre değerlendirmektir. Bu amaçla, Türkiye'nin tüm il ve bölgelerinden 455 kişi üzerinden anket çalışması yürütülmüştür. Ankete katılan kullanıcılar gönüllü olarak seçilmiştir. Anketten elde edilen sonuçlar SPSS yazılımına aktarılmış ve çeşitli testler kullanılarak analiz edilmiştir. Anket sonucunda; katılımcıların akıllı şehir uygulamaları ile ilgili verdikleri cevapların ortalaması, park bilgi sistemleri hakkında verilen cevapların ortalamasından biraz daha yüksektir. Katılımcıların çoğu bilgi ve teknoloji konusunda taleplerinin olduğunu ve akıllı şehir uygulamalarının şehirlerin algılama düzeyini artıracığını belirtmişlerdir. Çalışmanın son kısmında akıllı şehir uygulamaları için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Kentler, Kent, Kullanıcı Görüşleri, Anket, Türkiye.

* Sorumlu Yazar: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Niğde, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0723-921X, orhunsoydan@ohu.edu.tr

1. Introduction

People intense pressure on natural resources in order to live comfortably. In addition, with the increase in the quality of urban life and the development of the economy, the resources in the world are not able to meet the needs (Zhang, 2019). The urban population is gradually increasing, also density of the urban areas is increasing. Migration from rural to urban areas causes many problems in the urban structure. Not only the increase in the population in urban areas, but also the industrialization, construction, and reduction of the open-green areas cause unplanned or uncontrolled of the urban development. The unplanned and uncontrolled urbanization causes serious problems in terms of the ecological sustainability. With unplanned urbanization, natural landscape features decrease, and the ecological structure and function of the regions decrease gradually (Liu and Wen, 2019). As a result, we face ecological environmental problems in urban areas. Due to overpopulation, cities have many problems such as confusion, informality, traffic, health, waste, energy, water and air pollution, urbanization, reduce to resources, increase the crime amounts. Such problems in the cities; it triggered the emergence of new perspectives in planning, design, finance, urban infrastructure, operation and services. Public administrations and local governments focused on finding solutions to the problems, and developing new strategies.

There are many methods for solving the problems which occur in the cities. These are; prevent migration from rural areas to the cities, planned urban growth, reducing pressures on natural resources, and increasing the amount of open-green areas. In addition to these methods, urban development and sustainability must be provided with innovative methods (Chen et al., 2019). In this sense, one of the method which are the most preferred in the urban areas, is "smart city applications". With smart city applications, it is possible to protect the natural resources of the growing city, increase the quality of the cities, and reduce the health problems occurring in the cities (Gu and Wang, 2012; Su et al., 2020). Therefore, landscape model that can adapted to economic development, ecological sustainability and regional landscape characteristics, should be developed (Ou and Xia, 2017). The most important problem which is should be solved in this issue, is to provide the optimization of urban development with the land use (Groot et al., 2018). Change of the information and communication technologies in the city life cause develop the culture and habits of the citizens very quickly. As a result of this transformation, the demands and expectations of the citizens are moved to completely different dimensions.

The "smart city" vision was developed to improve the cities quality using sensors, network connections, inter-object interaction and communication, governance and e-governance, e-government, sustainability, and human orientation. Smart applications are produced for practical solutions to the population density in the city by combining technology with life to improve the quality of life for citizens.

Also, the cities become more digital, and the cities gains digital identity thanks to smart applications. Therefore, this situation has increased the birth and spread of smart city projects. Smart city applications can be provided urban solutions by taking into account the land uses rather than the change of urban structure.

Studies that were conducted in recent years, are aimed at ensuring a planned urban development by linking the trio of quantity, quality and ecology (Chen et al., 2019; Strauch et al., 2019). The smart city applications can be successful with the combination of new technologies and smart infrastructures. The success of the smart city applications has a close relationship with the information and communication technologies. It should be noted that smart city applications are deeply connected to the seductive and normative visions of the future (Bilici and Babahanoğlu, 2018).

Smart city applications are known as a service which is the optimize the city applications with information and communication technologies. It is possible to define the concept of smart city as an understanding that aims to address the problems through information and communication technologies involving a multi-stakeholder group. The continuity of the smart cities is possible through the transfer of land information. The better management of the city, the applications that are used by the residents of the city and making life easier, occur only with the management of the existing information. Each definition which is brought to the concept of smart city, pays attention to another or several dimensions of smart city. Smart cities should have three main features: innovation, problem solving skills, and information-communication technologies.

The most important component of these features is to solve the problems and the integration of technology into urban life. The smartness of the city is the internal quality of the region where innovation processes are facilitated by information and communication technologies. The degree of smartness depends on the opportunities of the digital infrastructure that are offered to the people. In addition, one of the most important aims of the smart city applications is that the involvement of the citizens in decision making processes. The more the communication between the local administrations and the locals starts to shift from the traditional style to the digital setting, the more effective, widespread and faster the citizen participation will occur. (Örselli and Akbay, 2019).

It is possible to gather studies on the smart city applications under 3 groups. One of these is the smart city application in certain parts of the city. Ateş (2020) stated the advantages of the smart city applications in the cities transportation systems. In the second group, there are studies to determine the effect of smart city applications on urban innovation. Taşyürek and Çelik (2020) examined that on smart stop systems that are used in cities. Tomaş and Dostoğlu examined smart house with artificial intelligence. Caragliu and F. Del Bo (2019) analyzed the technological advances caused by smart city applications in 309 European metropolitan cities.

In the last group, there are studies on economic development, which was developed by ensuring urban sustainable growth and optimization of smart city practices. Cao (2020) aimed to find the solution and mechanism of action of green development policies and measures on the urban economy. Finally, they found that innovation-oriented strategies have a positive effect on green development, and different innovation-oriented initiatives play different roles in economic green development.

Özdemir and Güngör (2019) tried to explain ecological planning principles in smart city applications. However, there are no studies on the effects of smart city applications on open-green areas.

In this study, it was tried to be determined what the expectations of people in the park, which is one of the urban open-green areas, within the scope of smart city applications using qualitative methods. Conducting such a study on both a national and international scale will be a guideline for how smart city applications should be in the park designs that will be made future. The aim of this study is to evaluate the smart city applications in open-green areas according to user opinion. The study has certain limiting factors. Smart city applications in our country is a very current issue, and there is no application in the areas that we can take as an example. Therefore, a visual example for the smart city applications could not be presented to the users. This is one of the points where the work is lacking in terms of informing the participants. Within the scope of this study, this deficiency tried to be eliminated as much as possible. The users were told about the smart city applications, and then the questionnaire started. In addition, the questions that were asked in the questionnaire, were selected for smart city applications in Europe, and user's opinions were determined.

2. Material and Method

Questionnaire was made to determine the user's opinions and demands for the smart city applications in Turkey. The questionnaire consists of 4 parts and 17 questions. In the first part, demographic characteristics of the users who participated in the questionnaire, were determined.

In the second part of the questionnaire, the purpose of the users which come to the parks, the time of their stay in the parks, and the reasons for their preference, were determined. In the third part of the questionnaire, the expectations of the participants were determined. In the last part of the questionnaire, the opinions of the participants about the information systems of the parks and cities were determined.

According to TUIK (2019), the population of the Turkey is 82.000.000 in 2019. Region that has population size of up to 1.000.000, questionnaire is required on 383 people in a 95% confidence interval (Yazıcıoğlu and Erdoğan, 2014). It was thought that there might be deficiencies in the questionnaire, and 455 people were participated to the questionnaire.

The users who participated in the questionnaire, were selected on a voluntary. The results that were obtained from the questionnaire, were transferred to the SPSS software, and the results were analysed using frequency analysis. Finally, suggestions for smart city applications and parking information systems were developed.

3. Results and Discussion

Demographic characteristics of the participants are given in Table 1. Most of the participants live in Istanbul, Ankara, Izmir, Antalya and Adana which are the big cities in Turkey.

Table 1. Demographic characteristics of the participants

Questions	Answers	Number	Percent	Std. Error
Gender	Male	149	32.7	.022
	Female	306	67.3	
Age	Under 18 age	7	1.5	.044
	18-25	301	66.2	
	26-35	68	14.9	
	36-45	54	11.9	
	46-55	21	4.6	
	55-65	4	0.9	
Child or children	No	372	81.7	.043
	1	17	3.7	
	2	43	9.5	
	3	18	4.0	
	4	3	0.7	
	Above 4	2	0.4	
Education	Primary School	3	0.7	.029
	Secondary School	5	1.0	
	High School	54	11.9	
	Undergraduate	352	77.4	
	Postgraduate	31	6.8	
	Doctorate	10	2.2	
Profession	Student	269	59.1	.082
	Public	68	14.9	
	Self-employment	13	2.9	
	Private sector	59	13.0	
	Housewife	15	3.3	
	Retired	4	.9	
	Other	27	5.9	

Continuation of Table 1

Questions	Answers	Number	Percent	Std. Error
Marital Status	Single	366	80.4	.019
	Married	89	19.6	
City	Antalya	126	27.7	.097
	İstanbul	93	20.4	
	Ankara	41	9.0	
	İzmir	34	7.5	
	Adana	21	4.6	
	Other	140	30.8	

A total of 140 people from the other regions participated in the study, and this number was distributed equally by regions.

The opinions of the participants about the parks, are given in Table 2.

Table 2. The opinions of the participants about the parks

Questions	Answers	Number	Percent	Std. Error
Participation in the parks	Alone	65	14.3	.023
	Family	160	35.2	
	Friends	230	50.5	
Park preference	Children's park	85	18.7	.014
	Mini parks	91	20.0	
	Theme parks	141	31.0	
	Wayside parks	77	16.9	
	Neighbourhood parks	157	34.5	
	District parks	135	29.7	
	Region parks	103	22.6	
	National parks	147	32.3	
Urban parks	208	45.7		
Density of going to parks	Daily	9	2.0	.020
	2-3 days a week	66	14.5	
	1 day a week	84	18.5	
	1 in 15 days	76	16.7	
	Once in a month	173	38.0	
	Never	47	10.3	
Duration of stay in the parks	0-1 hours	115	25.3	0.18
	1-2 hours	198	43.5	
	2-3 hours	105	23.1	
	3-5 hours	27	5.9	
	Above 5 hours	10	2.2	
Time range	06.00 - 08.00	7	1.5	.017
	08.00 – 10.00	32	7.0	
	10.00 – 12.00	32	7.0	
	12.00 – 14.00	55	12.1	
	14.00 – 16.00	140	30.8	
	16.00 – 18.00	186	40.9	
	18.00 – 20.00	159	34.9	
	20.00 – 22.00	102	22.4	
Late than 22.00	49	10.8		
Transportation to parks	Public transport vehicles	135	29.7	.021
	Private car	176	38.7	
	Bicycle	32	7.0	
	Pedestrian	316	69.5	
	Other	8	1.8	

The responses of the participants about the smart city applications are given in Table 3. The questions which were asked within the scope of smart city applications, were scored very insignificant as 1 point, and very significant as 5 point.

The average of all questions is over (3.5). While the highest average disabled individuals were route information (4.26), the lowest average was the infrastructure information of the city (3.65).

Table 3. Participant's opinions on the smart city applications

Questions	Answers	Number	Percent	Mean
Information about the parks which are located near me, should be given	Very Insignificant	19	4.2	3.71
	Insignificant	39	8.6	
	No idea	85	18.7	
	Significant	222	48.8	
	Very significant	90	19.7	
Traffic condition should be given	Very Insignificant	13	2.9	3.95
	Insignificant	38	8.3	
	No idea	50	11.0	
	Significant	213	46.8	
	Very significant	141	31.0	
Information about the activities in the city should be given	Very Insignificant	18	4.0	4.03
	Insignificant	30	6.5	
	No idea	35	7.7	
	Significant	210	46.2	
	Very significant	162	35.6	
Information should be given about street lighting in the city	Very Insignificant	23	5.1	3.95
	Insignificant	40	8.8	
	No idea	43	9.5	
	Significant	179	39.3	
	Very significant	170	37.3	
Information about Wi-Fi areas in the city should be given	Very Insignificant	27	6.0	3.97
	Insignificant	40	8.8	
	No idea	46	10.1	
	Significant	147	32.3	
	Very significant	195	42.8	
Information about crowded in the city should be given	Very Insignificant	24	5.3	3.82
	Insignificant	41	9.0	
	No idea	66	14.5	
	Significant	186	40.9	
	Very significant	138	30.3	
Information about renewable energy should be given.	Very Insignificant	26	5.7	3.73
	Insignificant	40	8.8	
	No idea	87	19.1	
	Significant	180	39.6	
	Very significant	122	26.8	
Information about the air pollution in the city should be given	Very Insignificant	18	4.0	4.02
	Insignificant	27	6.0	
	No idea	58	12.7	
	Significant	178	39.1	
	Very significant	174	38.2	
Information about the weather condition should be given	Very Insignificant	16	3.6	4.02
	Insignificant	32	7.0	
	No idea	44	9.7	
	Significant	169	37.1	
	Very significant	194	42.6	

Continuation of Table 3

Questions	Answers	Number	Percent	Mean
Information about the disabled routes should be given	Very Insignificant	13	2.9	4.26
	Insignificant	20	4.4	
	No idea	32	7.0	
	Significant	160	35.2	
	Very significant	230	50.5	
Information about the city infrastructure should be given	Very Insignificant	27	5.9	3.65
	Insignificant	48	10.6	
	No idea	97	21.4	
	Significant	164	36.1	
	Very significant	119	26.0	
Information about the smart transportation should be given	Very Insignificant	19	4.2	4.14
	Insignificant	23	5.1	
	No idea	35	7.7	
	Significant	175	38.5	
	Very significant	203	44.5	
Information about the smart garbage applications should be given	Very Insignificant	17	3.7	3.83
	Insignificant	44	9.7	
	No idea	74	16.3	
	Significant	181	39.9	
	Very significant	139	30.4	
Information about the recycling should be given	Very Insignificant	19	4.2	4.06
	Insignificant	25	5.5	
	No idea	49	10.8	
	Significant	178	39.2	
	Very significant	184	40.3	
Information of the hospital and pharmacy should be given	Very Insignificant	14	2.9	4.17
	Insignificant	26	5.7	
	No idea	50	11.0	
	Significant	149	32.8	
	Very significant	217	47.6	
The nearest parking lot and it's space information should be given	Very Insignificant	19	4.2	4.03
	Insignificant	33	7.3	
	No idea	50	11.0	
	Significant	166	36.5	
	Very significant	187	41.0	
Charging stations should be given for electric vehicles	Very Insignificant	30	6.6	3.82
	Insignificant	33	7.3	
	No idea	68	15.0	
	Significant	181	40.0	
	Very significant	142	31.1	
Information of the schools which located near me, should be informed	Very Insignificant	30	6.6	3.66
	Insignificant	51	11.3	
	No idea	82	18.1	
	Significant	171	37.7	
	Very significant	120	26.3	
Smart meter (Electricity, Water, Gas) application should be developed and integrated into the smart city information system.	Very Insignificant	29	6.4	3.71
	Insignificant	40	8.8	
	No idea	94	20.8	
	Significant	159	35.1	
	Very significant	132	28.9	

The responses of the participants to the questions asked about the parks information systems are given in Table 4.

Except for one questions, the average of all questions is over (3.5).

Table 4. The responses of the participants to the questions asked about the parks information

Questions	Answers	Number	Percent	Mean
Information about the sunny and shade conditions of the parks should be given	Very Insignificant	19	4.2	3.71
	Insignificant	67	14.7	
	No idea	51	11.2	
	Significant	207	45.5	
	Very significant	111	24.4	
Information about the temperature of the parks should be given	Very Insignificant	14	3.1	3.74
	Insignificant	66	14.5	
	No idea	59	13.0	
	Significant	201	44.1	
	Very significant	115	25.3	
Unobstructed route information of the parks should be given	Very Insignificant	15	3.3	4.11
	Insignificant	28	6.2	
	No idea	48	10.6	
	Significant	165	36.3	
	Very significant	199	43.6	
Areas for animals should be indicated	Very Insignificant	13	2.9	4.16
	Insignificant	29	6.4	
	No idea	35	7.7	
	Significant	173	38.1	
	Very significant	205	44.9	
Security information of the parks should be given	Very Insignificant	15	3.3	4.23
	Insignificant	19	4.2	
	No idea	33	7.3	
	Significant	166	36.6	
	Very significant	222	48.6	
Information about the land uses of the parks should be given	Very Insignificant	12	2.6	4.19
	Insignificant	25	5.5	
	No idea	38	8.4	
	Significant	168	37.0	
	Very significant	212	46.5	
Transportation and route information of the parks should be given	Very Insignificant	15	3.3	4.13
	Insignificant	26	5.7	
	No idea	46	10.1	
	Significant	166	36.6	
	Very significant	202	44.3	
Wi-Fi and charge points information in the parks should be given	Very Insignificant	18	4.9	4.00
	Insignificant	33	7.2	
	No idea	54	11.0	
	Significant	177	39.0	
	Very significant	175	37.9	
Information of the crimes in the parks should be given	Very Insignificant	30	6.5	3.75
	Insignificant	38	8.4	
	No idea	90	19.9	
	Significant	152	33.6	
	Very significant	147	31.6	
Information about parking density in the parks should be given.	Very Insignificant	26	5.7	3.98
	Insignificant	30	6.6	
	No idea	44	9.6	
	Significant	178	38.9	
	Very significant	179	39.2	
Information should be given about the working hours of irrigation systems in the parks	Very Insignificant	16	3.5	3.85
	Insignificant	42	9.3	
	No idea	71	15.1	
	Significant	190	41.9	
	Very significant	137	30.2	

Continuation of Table 4

Questions	Answers	Number	Percent	Mean
Information about the lighting hours of the parks should be given.	Very Insignificant	20	4.4	3.97
	Insignificant	30	6.6	
	No idea	57	12.5	
	Significant	184	40.4	
	Very significant	164	36.0	
Information about the names of the plants in the parks should be given	Very Insignificant	18	4.0	3.53
	Insignificant	65	14.3	
	No idea	107	23.5	
	Significant	189	41.5	
	Very significant	76	16.7	
Information about the names of the allergic plants in the parks should be given	Very Insignificant	13	2.9	4.15
	Insignificant	27	6.0	
	No idea	45	9.9	
	Significant	164	36.2	
	Very significant	206	45.0	
Information should be given about the flowering time of plants in the park.	Very Insignificant	25	5.5	3.53
	Insignificant	55	12.1	
	No idea	120	26.5	
	Significant	162	35.8	
	Very significant	93	20.1	
Information should be given about the fertilization times of the plants in the parks.	Very Insignificant	26	5.7	3.58
	Insignificant	51	11.3	
	No idea	116	25.6	
	Significant	153	33.8	
	Very significant	109	23.6	
Information about the reinforcement elements in the parks should be given.	Very Insignificant	19	4.2	3.54
	Insignificant	64	14.1	
	No idea	112	24.6	
	Significant	173	38.0	
	Very significant	87	19.1	
Information about the sports activities in the parks should be given.	Very Insignificant	11	2.4	4.09
	Insignificant	30	6.6	
	No idea	49	10.8	
	Significant	180	39.6	
	Very significant	185	40.5	
Information should be given about the bright areas of the parks in the evening	Very Insignificant	16	3.5	4.02
	Insignificant	31	6.8	
	No idea	52	11.5	
	Significant	182	40.2	
	Very significant	174	38.0	
Information should be given about the lighting elements which have sensors.	Very Insignificant	30	6.6	3.52
	Insignificant	64	14.1	
	No idea	100	22.1	
	Significant	159	35.1	
	Very significant	102	22.1	
Information about the time that was spent in the parks, should be given	Very Insignificant	55	12.1	3.39
	Insignificant	51	11.2	
	No idea	103	22.9	
	Significant	151	33.3	
	Very significant	94	20.5	
Density information of the parks should be given	Very Insignificant	28	6.2	3.76
	Insignificant	41	9.0	
	No idea	70	15.4	
	Significant	188	41.4	
	Very significant	128	28.0	

The below-average question is about the time people spend in the parks. While the highest average security information of the park (4.23), the lowest average was information about the time that was spent in the park, should be given (3.39).

As a result of the questionnaire, the average of the answers that were given by the participants about the smart city applications, is slightly higher than the average of the answers that were given about the park information systems. The average of the responses about smart city applications was 3.98.

The average of the responses about park information systems was 3.79. Especially in the answers which were given about the park information systems, the average of the information about digitization, unobstructed route and safety is very high.

Cross-examines were conducted to determine whether there were differences in the answers that were given to the questionnaire's questions according to groups. For this, chi-square analysis in SPSS.20 software was used. In general, there was no significant difference in cross-examines ($p > 0.05$). It was determined that park preferences changed only by sex. According to the results of the analysis, men prefer neighbourhood parks, while women prefer city parks.

For the questions about the smart city applications, while men want more information about traffic density than women, women want more information about the knowledge of the near parks than men. The answers are in the same direction and it shows that people's expectations regarding the smart city applications and park information systems are similar. Particularly, the answers that were given to the questions about smart city applications, are similar, and people expect the information to be transmitted by digital methods. In Turkey, people generally prefer the city park. City parks must have certain standards. Some features such as size, land use etc. should be considered in the design of the urban parks, and designed accordingly. Nowadays, most of the urban parks which are located in Turkey, does not have a design related to smart city systems. With this study, the importance of applying the smart information systems in these areas was determined. In addition, people stated that they go to the parks once a month. This is a very low rate. It is necessary to increase this rate and bring in activities that will increase the time people spend in the parks.

In some cities, it is possible to see the applications on the smart city in Turkey. For example, Konya has smart city applications such as "smart public transport system", "contactless card system", "smart junction system", "smart bike system", "smart waste management", "mobile applications", "city information system". However, these uses are related to public transportation, historical sites and recycling. They provide unlimited contributions in terms of economy and ecology. However, these activities should not be limited in certain areas, but should be expanded.

Lack of the smart city application especially for the open-green areas that people use intensely, will cause many problems, such as traffic and environmental pollutions. 69.5% of the people who was participated the questionnaire, access to park by walking. Especially in summer, temperatures are very high in Turkey. Therefore, it is necessary to develop smart systems that show the air temperature and the state of the park especially for people who provide transportation by walking. After that, people generally use their private vehicles (38.7%).

For people who provide transportation by car, systems providing information about parking density of the areas and traffic density of the city should be developed.

Urban structure is the basic building block for smart and ecological cities. In order to ensure the formation of the smart and sustainable cities, ecological principles should be taken into consideration and technology should be combined with ecology. For this reason, the cities must be smart for sustainable development. Information technologies are important in smart city applications, but ecological aspects should not be ignored. In the ecological city concept, which is the basis of more sustainable urban designs, we act with technology that increases ecological awareness with the nature-oriented design approach and takes into account the local climate and green area structure. Only in this way smart and sustainable city concept can be developed together. For the smart and green cities, natural elements should be considered and the destruction and unnecessary use of the nature should be avoided.

By following the technological developments that will enable the use of nature more efficiently, smart city methodology should be combined with green city and sustainability principles. Today, smart solutions such as monitoring air and water pollution with sensors, provide the energy savings. Also new smart buildings such as integration of technological housing areas are used for smart city application. The best examples of the smart city applications in east countries and European cities; It is implemented in Paris, London, Berlin, Singapore, Barcelona and Amsterdam. These cities are the cities that have smart city elements and each developed similar city models and strategies besides similar features (Çetin and Çiftçi, 2019).

In London, 'London Environmental Strategy' aims to achieve zero carbon emissions and at least 50% green space. By providing incentives for electric vehicles, 'Zero Emission Areas' are created where zero emission vehicles can enter. The non-profit 'Open Data Institute', which supports Smart London, was established. With the security cameras mounted on the body, the security officers work more transparently. With the Oyster Card, which is a contactless payment system in transportation, time savings were achieved.

A navigation system has been installed at London Underground Station for disadvantaged groups. With the "Talk London Initiative", question and answer activities were held and people were included in the planning process. By establishing the "Croydon Technology Centre", the infrastructure for innovative studies was created. With the London infrastructure application, the urban development process is under control and monitored. With the "London Data Store", it is aimed to quickly identify the needs of the city with the maximum efficiency of big data. Such applications are made in Turkey, can contribute to work towards smart city applications. In this context, it is very important that local and central governments provide the necessary financial support and encourage public participation.

The transition to the smart city applications with the development plans and programs in Turkey since the 2000s, the National Science and Technology Policy and Vision 2023 has been applied with policy documents. The first smart city application is the action of establishing an ecological settlement called 'Information Valley Project' in Yalova. Informatics based Smart City projects were then continued with cities such as Istanbul, Ankara, Izmir, Kocaeli, Bursa, Eskişehir, and their applications were started in other cities.

In the 10th Development Plan which covered the years of 2014-2018, indicated that "the use of smart city applications, especially in the fields of health, transportation, building, energy and disaster and water management will increase, and the infrastructure and capacity of the cities to smart cities transformation will be supported" (Bilici and Babahanoğlu, 2018).

Similar results were found in other studies on these subject. Luvizi and Lorenzini (2014) stated that virtualization of green areas using sensors and mobile devices can lead to digital management of urban green and real-time navigation in all areas. Sun and Zhang (2020) stated that the implementation of smart cities preserves 20% of urban resources and the region's industry has grown on average by more than 30% annually. Angelidou et al., (2018) emphasized the need to explore the relationship of smart and sustainable cities more systematically, focusing on practical applications that will enable a better understanding of typologies and design concepts. Li and Yiğitcanlar and Teriman (2015) identified urban planning and development issues for the integration of smart urban technologies and their possible effects on shaping the built environment to produce sustainable urban futures. As a result of all these studies, we can say that the integration of smart city applications with urban ecological models and urban development is very important.

Smart transportation, smart security, smart energy, smart health, smart buildings and smart life applications, which meet the needs of the increasing city population, produce solutions to increasing demands and follow technological developments, are smart city solutions. With smart economic solutions, applications that will contribute to the development of the city are applied. In summary, when smart city applications are evaluated, although smart applications are put into operation by separate units, the concept of an integrated smart city will come up with the smart urbanization approach in the near future.

4. Conclusions and Recommendations

The rate of the urbanization in the world has been rapidly increasing. In parallel with this phenomenon, there is a continuous increase in the population of the cities. As a result of the researches, it has been obtained that the population of the cities will continue to increase. This situation made it almost imperative for cities to become more efficient, healthier and more accessible. Many innovations, changes and regulations have been implemented in the urban environment since the cities emerged.

These innovations, changes and regulations have been made to greatly increase the welfare of citizens, and improve living conditions. Today, transformation is evolving towards building "smart cities". When the smart city applications in Turkey are evaluated, compared with practices in the world which was done on this issue, it can be stated to be fairly new.

The smart city applications that are carried out give importance only to the technological dimension of the subject; it is seen that other components that make up the smart city are ignored. Some information technology companies, smart city practices implemented as state supported, both add a vision to local administrations and lead public policies implemented in this field. In this context, it is seen that especially in some metropolitan cities, there are some important and successful smart city applications (Bilici and Babahanoğlu, 2018).

Today's cities contain all kinds of problems. Therefore, if urban spaces cannot be managed properly, undesirable consequences may arise when the majority of the population lives in cities. As a matter of fact, smart city vision was created by revealing the plan of a futuristic city that associates a new artificial intelligence with information and communication technologies.

Many authors in the literature have limited the framework of the smart city as a "solution to urban challenges". Therefore, it has been argued that the way to implement a good smart city model is through a good urban planning that takes advantage of the opportunities of technology. In this context, in order to evaluate a city as a smart city; A system consisting of smart economy, smart governance, smart mobility, smart environment, smart life, smart technology, smart infrastructure and most importantly, smart citizens who will accept and use all these smart solutions must be established.

It is seen that countries which have high level of development, strong economies and strong capital structure, are at the forefront of the smart city market. Smart cities need a very serious cost, a strong infrastructure in information and communication technologies. When these developments Turkey reflections on a world scale evaluation; the cities were affected by these developments and were included almost every city very slight smart city applications. It can be said that especially the cities with high income level are ahead and many smart city applications are implemented. It is observed that these applications are generally smart traffic, smart parking systems, information services, unmanned aerial vehicles and map drawing, applications for disabled people, and partially solar energy production in solar panels. In this context, the limited application of smart city in Turkey, but began to be said that the promise of hope for the future (Örselli and Akbay, 2019). Today, we can say that every system has started to be digitalized. As a result of the study, it has been determined that people will participate in a model to be created about smart city management and park information systems. As a result, the future of mankind will be shaped in smart cities, new generation cities will focus more on the internet and user-oriented services, and the biggest contribution to smart cities will be information and communication technologies and infrastructures.

References

- Angelidou, M., Psaltoglou, A., Komninos, N., Kakderi, C., Tsarchopoulos, P., Panori, A. (2018). Enhancing sustainable urban development through smart city applications. *Journal of Science and Technology Policy Management*.
- Ates, M. (2020). The Role of Smart City Solutions on the Road to Smart Territories: Smart Solutions to Urbanization Problems. In *Handbook of Research on Smart Territories and Entrepreneurial Ecosystems for Social Innovation and Sustainable Growth* (pp. 1-18). IGI Global.
- Bilici, Z., Babahanoğlu, V. (2018). Smart City Implementations and The Case of Konya. *Journal of Academic Approaches* 9(2), 124-139.
- Cao, Z. (2020). Smart City: Digital Technology Drives Liveability and Prosperity. *IEEE Internet of Things Magazine*, 3(1), 2-3.
- Chen, K., Long, H., Liao, L., Tu, S., Li, T. (2019). Land use transitions and urban-rural integrated development: Theoretical framework and China's evidence. *Land Use Policy*, 92, 104465.

- Chen, H., Shi, Y.Y. (2019). Optimal allocation of land use space in Zhengzhou under the goal of ecological and economic coordination, *J. Nat. Resour. Life Sci. Educ.* 41 (04), 717–728.
- Caragliu, A., Del Bo, C.F. (2019). Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 373-383.
- Çetin, M., Çiftçi, Ç. (2019). Investigation of The Smart City Concept with Examples from The World and Our Country Literature Review. *National Journal of Environmental Sciences Research*, 2(3), 134-143.
- Groot, J.C., Yalaw, S., Rossing, W.A. (2018). Exploring ecosystem services trade-offs in agricultural landscapes with a multi-objective programming approach, *Landsc. Urban Plan.* 29–36
- Gu, S.Z., Wang, M. (2012). Theoretical considerations and strategic choice on the development of Smart City, *China Popul. Resour. Environ.* 22 (05), 74–80.
- Liu, Y. S., Wen, K. A. (2019). Implementation of a CMOS/MEMS Accelerometer with ASIC Processes. *Micromachines*, 10(1), 50.
- Luvisi, A., Lorenzini, G. (2014). RFID-plants in the smart city: Applications and outlook for urban green management. *Urban forestry & urban greening*, 13(4), 630-637.
- Ou, D.H., Xia, J.G. (2017). Landscape pattern optimization in peri-urban areas based on the particle swarm optimization method: a case study in Longquanyi District of Chengdu, *Geogr. Res.* 36 (03), 553–572.
- Örselli, E., Akbay, C. (2019). Technology and Transformation in Urban Life: Smart Cities. *Journal of International Management Academy*, 2(1), 228-241.
- Özdemir, A., Güngör, S. (2019). Ecological Planning Approach for Smart Cities, *Architecture, Planning and Design Research Papers*, Gece Kitaplığı, ISBN: 978-625-7958-57-8, 2, 25-47.
- Strauch, M., Cord, A.F., Pätzold, C., Lautenbach, S., Kaim, A., Schweitzer, C., Volk, M. (2019). Constraints in multi-objective optimization of land use allocation—Repair or penalize? *Environmental Modelling & Software*, 118, 241-251.
- Su, L., Fan, J., Fu, L. (2020). Exploration of smart city construction under new urbanization: A case study of Jinzhou-Huludao Coastal Area. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 100403.
- Sun, M., Zhang, J. (2020). Research on the application of block chain big data platform in the construction of new smart city for low carbon emission and green environment. *Computer Communications*, 149, 332-342.
- Taşyürek, M., Çelik, M. (2020). Prediction of vehicle arrival times in the smart bus stop system using ensemble artificial neural networks. *European Journal of Science and Technology*, (18), 72-79.
- Tomaş, M., Dostoğlu, N. (2020). Smart House with Artificial Intelligence. *European Journal of Science and Technology*, (18), 486-493.
- TUİK. (2019). Türkiye İstatistik Kurumu, Nüfus Bilgileri, <http://tuik.gov.tr>. (Erişim tarihi: 15.05.2020).
- Yazıcıoğlu, Y., Erdoğan, S. (2014). SPSS applied scientific research methods. Detay Publishing.
- Yigitcanlar, T., Teriman, S. (2015). Rethinking sustainable urban development: towards an integrated planning and development process. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(1), 341-352.
- Zhang, L., Li, B. Z., Guo, K. J., Liu, F., Zong, G., Li, X. Y., Ouyang, Z. Y. (2019). Dynamics and spatial pattern prediction of lakes in the northern Tanggula Mountains, Tibet, China. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology*, 30(8), 2793-2802.



Directional Evolution of the Ruled Surfaces via the Evolution of Their Directrix Using q-frame along a Timelike Space Curve

Gül Uğur Kaymanlı^{1*}, Cumali Ekici², Mustafa Dede³

^{1*} Cankiri Karatekin University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Cankiri, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4932-894X), gulugurk@karatekin.edu.tr

² Eskisehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Mathematics and Computer Science, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3247-5727), cekici@ogu.edu.tr

³ Kilis 7 Aralık University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Kilis, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2652-637X), mustafadede@kilis.edu.tr

(First received 29 Ocak 2020 and in final form 19 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.681674)

ATIF/REFERENCE: Kaymanlı, G. U., Ekici, C. & Dede, M. (2020). Directional Evolution of the Ruled Surfaces via the Evolution of Their Directrix Using q-frame along a Timelike Space Curve. *European Journal of Science and Technology*, (20), 392-396.

Abstract

In this study, the ruled surfaces obtained by normal and binormal vectors along a timelike space curve by using q-frame are investigated in 3 dimensional Minkowski space. Directional evolutions of both quasi normal and quasi binormal ruled surfaces are studied by using their directrices. Then, we work on some geometric properties such as inextensibility, developability and minimality of these ruled surfaces.

Keywords: Evolution surface, Minkowski space, q-frame, Ruled surface.

Timelike Uzay Eğrisi Boyunca q-çatı Kullanılarak Doğrultmanların Gelişimine Göre Regle Yüzeylerin Yönlü Gelişimleri

Öz

Bu çalışmada, 3 boyutlu Minkowski uzayında q-çatılı timelike uzay eğrisi boyunca normal ve binormal vektörlerle elde edilen regle yüzeyler incelendi. Doğrultmanlar kullanılarak hem quasi normal hem de quasi binormal regle yüzeylerin yönlü gelişimleri çalışıldı. Daha sonra bu regle yüzeylerin açılabilirliği, uzatılamaz olduğu ve minimal olma özellikleri gibi bazı geometrik özellikler üzerine çalıştık.

Anahtar Kelimeler: Gelişim Yüzeyi, Minkowski Uzayı, q-çatı, Regle Yüzeyi.

* Sorumlu Yazar: Cankiri Karatekin University, Department of Mathematics, Cankiri, Turkey, ORCID: 0000-0003-4932-894X, gulugurk@karatekin.edu.tr

1. Introduction

The time evolution of a curve or a surface is generated by inextensible flows of a curve or a surface. The flow of a curve or a surface is said to be inextensible if its arclength is preserved or the intrinsic curvature is preserved, respectively. Physically, the inextensible curve flows lead to motions in which no strain energy is induced. Also, the evolutions of curves have many important applications of physics as magnetic spin chains and vortex filaments [3,12,17].

In recent times, the motion of inelastic plane curves has been studied by many authors. After Da Rios in 1906 found out the geometric relation between the motion of curves and the differential equation, Doliwa in 1994 [9] characterized the integrable motions of a curve. While Kwon 2005 [16] and Körpınar 2011 [15] worked on inextensible flows of curves in Euclidean space, Gurbuz 2009 [11] and Yüzbaşı 2018 [22] studied these curves in Minkowski space. Abd. Ellah 2015, Hussein 2016, D.W. Yoon 2019, Soliman 2018 studied the evolutions of the ruled surfaces via the evolution of their directrix [1,13,20,21]. After the quasi-normal vector of a curve was introduced by Coquillart [5], Dede et.al. [6] found quasi frame in 2015 and Soliman also used this frame to work on this subject in 2018 [20].

For a space curve $\alpha(t)$, quasi frame consists of three orthonormal vectors, the unit tangent vector \mathbf{t} , the quasi-normal \mathbf{n}_q and the quasi-binormal vector \mathbf{b}_q . The quasi frame as called q-frame $\{\mathbf{t}, \mathbf{n}_q, \mathbf{b}_q\}$ is written as

$$\mathbf{t} = \frac{\alpha'}{\|\alpha'\|}, \mathbf{n}_q = \frac{\mathbf{t} \wedge \mathbf{k}}{\|\mathbf{t} \wedge \mathbf{k}\|}, \mathbf{b}_q = \mathbf{t} \wedge \mathbf{n}_q, \quad (1)$$

where \mathbf{k} is the projection vector [6]. The q-frame has many advantages versus other frames (Frenet, Bishop). For instance the q-frame can be defined even along a line ($\kappa = 0$) and the construction of the q-frame doesn't change if the space curve has unit speed or not and the q-frame can also be calculated easily [6].

The projection vector \mathbf{k} is a unit vector along x -, y - and z - axes. We choose the projection vector $\mathbf{k} = (0, 0, 1)$ without loss of generality. A quasi frame along a space curve is shown in Figure 1.

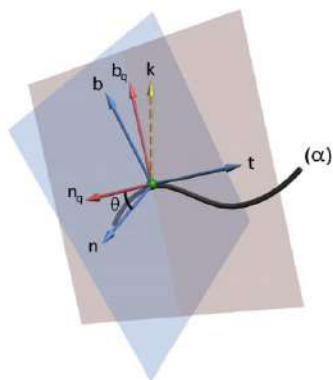


Figure 1: The q-frame and Frenet frame.

The derivation equations of the quasi frame is expressed by

$$\begin{bmatrix} \mathbf{t}' \\ \mathbf{n}'_q \\ \mathbf{b}'_q \end{bmatrix} = \|\alpha'\| \begin{bmatrix} 0 & k_1 & k_2 \\ -k_1 & 0 & k_3 \\ -k_2 & -k_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n}_q \\ \mathbf{b}_q \end{bmatrix}, \quad (2)$$

where the quasi curvatures are given as follows

$$k_1 = -\frac{\langle \mathbf{t}, \mathbf{n}'_q \rangle}{\|\alpha'\|}, k_2 = -\frac{\langle \mathbf{t}, \mathbf{b}'_q \rangle}{\|\alpha'\|}, k_3 = \frac{\langle \mathbf{n}'_q, \mathbf{b}'_q \rangle}{\|\alpha'\|}. \quad (3)$$

A ruled surface is a surface that can be swept out by moving a line in space. Therefore, it has a parametrization of the form

$$\varphi(u, v) = \alpha(u) + v\delta(u)$$

where α is called the directrix and δ is the director curve.

In Minkowski 3-space \mathbb{R}_1^3 , the inner product of two vectors $\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3)$ and $\mathbf{w} = (w_1, w_2, w_3)$ is defined as

$$\langle \mathbf{u}, \mathbf{w} \rangle = u_1 w_1 + u_2 w_2 - u_3 w_3$$

and the cross product of two vectors $\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3)$ and $\mathbf{w} = (w_1, w_2, w_3)$ is defined as

$$\mathbf{u} \wedge \mathbf{w} = (u_3 w_2 - u_2 w_3, u_1 w_3 - u_3 w_1, u_1 w_2 - u_2 w_1)$$

where $\mathbf{e}_1 \wedge \mathbf{e}_2 = \mathbf{e}_3$, $\mathbf{e}_2 \wedge \mathbf{e}_3 = -\mathbf{e}_1$, $\mathbf{e}_3 \wedge \mathbf{e}_1 = -\mathbf{e}_2$, respectively [2]. If \mathbf{u} and \mathbf{w} are timelike vectors then $\mathbf{u} \wedge \mathbf{w}$ is a spacelike vector [19].

The norm of the vector \mathbf{w} is given by

$$\|\mathbf{w}\| = \sqrt{|\langle \mathbf{w}, \mathbf{w} \rangle|} \quad (4)$$

We say that a Lorentzian vector \mathbf{w} is spacelike, lightlike or timelike if $\langle \mathbf{w}, \mathbf{w} \rangle > 0$, $\langle \mathbf{w}, \mathbf{w} \rangle = 0$ and $\mathbf{w} \neq 0$, $\langle \mathbf{w}, \mathbf{w} \rangle < 0$, respectively. In particular, the vector $\mathbf{w} = 0$ is spacelike [18,19]. Let $\alpha(t)$ be a timelike space curve with a non-vanishing second derivative.

Then Frenet formulas of timelike curve may be written as

$$\begin{bmatrix} \mathbf{t}' \\ \mathbf{n}' \\ \mathbf{b}' \end{bmatrix} = \nu \begin{bmatrix} 0 & \kappa & 0 \\ \kappa & 0 & \tau \\ 0 & -\tau & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n} \\ \mathbf{b} \end{bmatrix} \quad (5)$$

where $\nu = \|\mathbf{t}'\|$. The curvature and torsion of timelike curve

$\alpha(t)$ in Minkowski 3-space are obtained by

$$\kappa = \|\mathbf{t}'\|, \tau = \langle \mathbf{n}', \mathbf{b} \rangle \quad (6)$$

respectively [2,19].

Let φ be a surface in Euclidean 3-space, the first fundamental form I of φ is defined by

$$I = E ds^2 + 2F ds dv + G dv^2 \quad \text{where}$$

$$E = \langle \varphi_s, \varphi_s \rangle, F = \langle \varphi_s, \varphi_v \rangle, G = \langle \varphi_v, \varphi_v \rangle. \quad (7)$$

The second fundamental form II of φ is given by

$$II = e ds^2 + 2f ds dv + g dv^2 \quad \text{where}$$

$$e = \langle \varphi_{ss}, N \rangle, f = \langle \varphi_{sv}, N \rangle, g = \langle \varphi_{vv}, N \rangle \quad (8)$$

and N is the unit normal of φ . The Gaussian and the mean curvatures are expressed as

$$K = \frac{eg - f^2}{EG - F^2} \text{ and } H = \frac{eG - 2fF + gE}{2(EG - F^2)} \quad (9)$$

respectively. The necessary and sufficient condition for a regular surface being developable and flat is that its Gaussian curvature vanishes identically. A minimal surface in \mathbf{R}^3 is a regular surface if its mean curvature vanishes identically [4].

Moreover, in [22] a surface evolution $\varphi(s, \nu, t)$ and its flow $\frac{\partial \varphi}{\partial t}$ are said to be inextensible if the following equalities satisfy

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\partial F}{\partial t} = \frac{\partial G}{\partial t} = 0. \quad (10)$$

In this paper, we give another approach to evolutions of the ruled surfaces depend on a timelike space curve by q-frame used in [7,8,10,14]. Using q-frame, we present two sets of quasi frame equations with respect to arc-length s and time t . We obtain three differential equations depend on q-curvatures for the q-frame vectors of the timelike space curve. Calculating first and second fundamental forms of this ruled surface, we get geometric properties such as curvatures, flatness, inextensibility and minimality of the ruled surface.

2. q-frame Along a Timelike Space Curve

As an alternative frame, quasi frame as called q-frame in both Euclidean and Minkowski space is defined by Dede and Ekici et al. [6,10]. For a space curve $\alpha(t)$, quasi frame consists of three orthonormal vectors, the unit tangent vector \mathbf{t} , the quasi-normal \mathbf{n}_q and the quasi-binormal vector \mathbf{b}_q . The quasi frame as called q-frame $\{\mathbf{t}, \mathbf{n}_q, \mathbf{b}_q\}$ is written as

$$\mathbf{t} = \frac{\alpha'}{\|\alpha'\|}, \mathbf{n}_q = \frac{\mathbf{t} \wedge \mathbf{k}}{\|\mathbf{t} \wedge \mathbf{k}\|}, \mathbf{b}_q = \mathbf{t} \wedge \mathbf{n}_q. \quad (11)$$

Since the derivation formula for the q-frame for the timelike curve in Minkowski space does not depend on projection vector being timelike or spacelike, we work on spacelike projection vector without loss of generality.

In [8], the derivation equations of the directional q-frame for the timelike space curve when tangent vector (timelike), projection vector $\mathbf{k} = (0, 1, 0)$ (spacelike), quasi-normal vector (spacelike) and quasi-binormal vector (spacelike) are given by

$$\begin{bmatrix} \mathbf{t}' \\ \mathbf{n}'_q \\ \mathbf{b}'_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k_1 & k_2 \\ k_1 & 0 & k_3 \\ k_2 & -k_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n}_q \\ \mathbf{b}_q \end{bmatrix}, \quad (12)$$

where the q-curvatures are

$$k_1 = \langle \mathbf{t}', \mathbf{n}_q \rangle, k_2 = \langle \mathbf{t}', \mathbf{b}_q \rangle, k_3 = \langle \mathbf{n}'_q, \mathbf{b}_q \rangle \quad (13)$$

Then, we have a relation matrix in the following form

$$\begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n}_q \\ \mathbf{b}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cosh \theta & \sinh \theta \\ 0 & -\sinh \theta & -\cosh \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n} \\ \mathbf{b} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Thus,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n} \\ \mathbf{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cosh \theta & \sinh \theta \\ 0 & -\sinh \theta & -\cosh \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n}_q \\ \mathbf{b}_q \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Moreover, the relation between q-curvatures and Frenet curvatures are as follows

$$k_1 = \kappa \cos \theta, \quad k_2 = -\kappa \sin \theta, \quad k_3 = d\theta + \tau.$$

3. Evolution of Timelike Space Curve with Time by q-frame

In this section, we obtain time evolution equations depending on q-curvatures of the evolving curve in order to obtain space curve with q-frame. That is, integrating time evolution equations for given λ, μ, η , one can find q-curvatures. Using eq. (6), we get evolving curve.

Theorem 1. The evolution equations for the quasi curvatures of the evolving curve are given by

$$\begin{aligned} \frac{\partial k_1}{\partial t} &= k_2 \eta - k_3 \mu + \frac{\partial \lambda}{\partial s} \\ \frac{\partial k_2}{\partial t} &= k_3 \lambda - k_1 \eta + \frac{\partial \mu}{\partial s} \\ \frac{\partial k_3}{\partial t} &= k_2 \lambda - k_1 \mu + \frac{\partial \eta}{\partial s} \end{aligned} \quad (16)$$

where the quasi formula with respect to time t is in the form

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n}_q \\ \mathbf{b}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \lambda & \mu \\ \lambda & 0 & \eta \\ \mu & -\eta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n}_q \\ \mathbf{b}_q \end{bmatrix}.$$

Proof. Using equation (11), and defining

$$q = \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n}_q \\ \mathbf{b}_q \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & k_1 & k_2 \\ k_1 & 0 & k_3 \\ k_2 & -k_3 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & \lambda & \mu \\ \lambda & 0 & \eta \\ \mu & -\eta & 0 \end{bmatrix}, \quad (17)$$

we can write

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial s} &= Aq, \\ \frac{\partial q}{\partial t} &= Bq. \end{aligned}$$

Applying the compatibility condition

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial q}{\partial s} \right) = \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right), \quad (18)$$

one can find easily

$$\frac{\partial A}{\partial t} - \frac{\partial B}{\partial s} + [A, B] = 0 \quad (19)$$

where $[A, B] = AB - BA$ is called Lie bracket of A and B .

Using the equations (12) and (14), the matrix of evolution equations is obtained by

$$\begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial k_1}{\partial t} - \frac{\partial \lambda}{\partial s} - k_2 \eta + k_3 \mu & \frac{\partial k_2}{\partial t} - \frac{\partial \mu}{\partial s} + k_1 \eta - k_3 \lambda \\ \frac{\partial k_1}{\partial t} - \frac{\partial \lambda}{\partial s} + k_3 \mu - k_2 \eta & 0 & \frac{\partial k_3}{\partial t} - \frac{\partial \eta}{\partial s} + k_1 \mu - k_2 \lambda \\ \frac{\partial k_2}{\partial t} - \frac{\partial \mu}{\partial s} - k_3 \lambda + k_1 \mu & -\frac{\partial k_3}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial s} + k_2 \lambda + k_1 \mu & 0 \end{bmatrix} = 0$$

Thus the compatibility condition becomes

$$\begin{aligned} \frac{\partial k_1}{\partial t} &= k_2 \eta - k_3 \mu + \frac{\partial \lambda}{\partial s} \\ \frac{\partial k_2}{\partial t} &= k_3 \lambda - k_1 \eta + \frac{\partial \mu}{\partial s} \\ \frac{\partial k_3}{\partial t} &= k_2 \lambda - k_1 \mu + \frac{\partial \eta}{\partial s} \end{aligned}$$

which proves theorem.

4. Directional Evolutions of the Ruled Surfaces Depending on A Timelike Space Curve

In this section, giving the characterizations of evolutions of ruled surfaces generated by both quasi normal and quasi binormal, we calculate their Gaussian and mean curvatures.

4.1. Evolution of Quasi Normal Ruled Surface

The equation of surfaces generated by quasi normal is

$$\varphi(s, v, t) = \alpha(s, t) + v \mathbf{n}_q(s, t)$$

First partial derivatives of the surface $\varphi(s, v, t)$ are

$$\varphi_s = (1 + vk_1) \mathbf{t} + vk_3 \mathbf{b}_q \text{ and } \varphi_v = \mathbf{n}_q.$$

The normal vector of $\varphi(s, v, t)$ is

$$N = \frac{\varphi_s \wedge \varphi_v}{\|\varphi_s \wedge \varphi_v\|} = \frac{-vk_3 \mathbf{t} - (1 + vk_1) \mathbf{b}_q}{\sqrt{-v^2 k_3^2 + (1 + vk_1)^2}}$$

The coefficients of the first fundamental form are calculated by

$$\begin{aligned} E &= v^2(k_3^2 - k_1^2) - 2vk_1 - 1 \\ F &= 0 \\ G &= 1. \end{aligned}$$

Second partial derivatives of the surface $\varphi(s, v, t)$ are

$$\begin{aligned} \varphi_{ss} &= v \left(\frac{\partial k_1}{\partial s} + k_2 k_3 \right) \mathbf{t} + \left((1 + vk_1) k_1 - vk_3^2 \right) \mathbf{n}_q + \left((1 + vk_1) k_2 + v \frac{\partial k_3}{\partial s} \right) \mathbf{b}_q \\ \varphi_{sv} &= k_1 \mathbf{t} + k_3 \mathbf{b}_q \\ \varphi_{vv} &= \frac{\partial \mathbf{n}_q}{\partial v} = 0. \end{aligned}$$

The coefficients of the second fundamental form are calculated by

$$\begin{aligned} e &= \frac{-k_2 - v(2k_1 k_2 - \frac{\partial k_3}{\partial s}) + v^2 [k_3^2 \frac{\partial}{\partial s} (\frac{k_1}{k_3}) + k_2(k_3^2 - k_1^2)]}{\sqrt{1 + v^2(k_1^2 - k_3^2) + 2vk_1}} \\ f &= \frac{vk_1(1 - k_3) - k_3}{\sqrt{1 + v^2(k_1^2 - k_3^2) + 2vk_1}} \\ g &= 0. \end{aligned}$$

One can find Gaussian and mean curvatures

$$K = -\frac{f^2}{E} = \frac{-k_3^2 + 2vk_1 k_3(1 - k_3) - v^2 k_1^2(1 - 2k_3 + k_3^2)}{(1 + v^2(k_1^2 - k_3^2) + 2vk_1) \cdot (v^2(k_3^2 - k_1^2) - 2vk_1 - 1)}$$

and

$$H = \frac{e}{2E} = \frac{-k_2 - v(2k_1 k_2 - \frac{\partial k_3}{\partial s}) + v^2 [k_3^2 \frac{\partial}{\partial s} (\frac{k_1}{k_3}) + k_2(k_3^2 - k_1^2)]}{2(1 + v^2(k_1^2 - k_3^2) + 2vk_1)^{3/2}}$$

respectively. The quasi normal ruled surface is minimal if and only if $e = 0$.

The ruled surfaces generated by quasi normal are developable and flat if and only if

$$k_3 = \frac{1}{1 + (vk_1)^{-1}} \tag{20}$$

With the help of (10), if the quasi normal surface is inextensible, then one can derive this differential equation

$$v^2 \frac{\partial}{\partial t} (k_3^2 - k_1^2) - v \frac{\partial k_1}{\partial t} = 0. \tag{21}$$

4.2. Evolution of Quasi Binormal Ruled Surface

The equation of surfaces generated by quasi binormal is

$$\varphi(s, v, t) = \alpha(s, t) + v \mathbf{b}_q(s, t)$$

First partial derivatives of the surface $\varphi(s, v, t)$ are

$$\begin{aligned} \varphi_s &= (1 + vk_2) \mathbf{t} - vk_3 \mathbf{n}_q \\ \varphi_v &= \mathbf{b}_q. \end{aligned}$$

The normal vector of $\varphi(s, v, t)$ is

$$N = \frac{\varphi_s \wedge \varphi_v}{\|\varphi_s \wedge \varphi_v\|} = \frac{-vk_3 \mathbf{t} + (1 + vk_2) \mathbf{n}_q}{\sqrt{1 - v^2 k_3^2 + (1 + vk_2)^2}}$$

The coefficients of the first fundamental form are calculated by

$$\begin{aligned} E &= v^2(k_3^2 - k_2^2) - 2vk_2 - 1 \\ F &= 0 \\ G &= 1. \end{aligned}$$

Second partial derivatives of the surface $\varphi(s, v, t)$ are

$$\varphi_{ss} = v\left(\frac{\partial k_2}{\partial s} - k_1 k_3\right)\mathbf{t} + (k_1 + vk_1 k_2 - v\frac{\partial k_3}{\partial s})\mathbf{n}_q + (k_2 + vk_2^2 - vk_3^2)\mathbf{b}_q$$

$$\varphi_{sv} = k_2\mathbf{t} - k_3\mathbf{n}_q$$

$$\varphi_{vv} = 0.$$

The coefficients of the second fundamental form are calculated by

$$e = \frac{k_1 + v(2k_1 k_2 - \frac{\partial k_3}{\partial s}) + v^2[k_3^2 \frac{\partial}{\partial s}(\frac{k_2}{k_3}) + k_1(k_2^2 - k_3^2)]}{\sqrt{|1 + v^2(k_2^2 - k_3^2) + 2vk_2|}}$$

$$f = \frac{-k_3}{\sqrt{|1 - v^2 k_3^2 + (1 + vk_2)^2|}}$$

$$g = 0.$$

Gaussian and mean curvatures are calculated by

$$K = \left(\frac{k_3}{1 - v^2 k_3^2 + (1 + vk_2)^2} \right)^2$$

and

$$H = \frac{k_1 + v(2k_1 k_2 - \frac{\partial k_3}{\partial s}) + v^2[k_3^2 \frac{\partial}{\partial s}(\frac{k_2}{k_3}) + k_1(k_2^2 - k_3^2)]}{2(1 - v^2 k_3^2 + (1 + vk_2)^2)^{3/2}}$$

respectively. The quasi binormal ruled surface is minimal if and only if $e = 0$.

The ruled surfaces generated by quasi binormal are both developable and flat if and only if $k_3 = 0$. With the help of (10), if the quasi binormal surface is inextensible, then one can derive this differential equation

$$v^2 \frac{\partial}{\partial t}(k_3^2 - k_2^2) - v \frac{\partial k_2}{\partial t} = 0. \tag{22}$$

References

[1] Abd-Ellah, H. N. (2015) Evolution of translation Surfaces in Euclidean 3 space \mathbf{E}^3 , Applied Mathematics and Information Science. 9(2), 661-668.
 [2] Akutagawa, K., and Nishikawa, S. (1990) The Gauss map and spacelike surfaces with prescribed mean curvature in Minkowski 3-space, Tohoku Math. J. 42(2): 67-82.

[3] Balakrishnan, R., Blumenfeld, R. (1997) Transformation of general curve evolution to a modified Belavin-Polyakov equation. J. Math. Phys., 38(11), 5878-5888.
 [4] Carmo, M. (1976) Differential Geometry of Curves and Surfaces, Prentice-Hall, Saddle River.
 [5] Coquillart, S. (1987) Computing offsets of B-spline curves, Computer-Aided Design, 19(6): 305-09.
 [6] Dede, M., Ekici, C., and Gorgulu, A. (2015) Directional q-frame along a space curve, IJARCSSE. 5(12), 775-780.
 [7] Dede, M., Ekici, C., and Tozak, H. (2015) Directional tubular surfaces, International Journal of Algebra. 9(12), 527-535.
 [8] Dede, M., Tarım, G., and Ekici, C. (2017) Timelike directional Bertrand curves in Minkowski Space, 15th International Geometry Symposium, Amasya, Turkey.
 [9] Doliwa, A., and Santini, P. (1994) An elementary geometric characterisation of the integrable motions of a curve. Physics Letters A, 185, 373-384.
 [10] Ekici, C., Dede, M., Tozak, H. (2017) Timelike directional tubular surfaces, Int. J. Mathematical Anal., 8(5), 1-11.
 [11] Gurbuz, N. (2009) Inextensible flows of spacelike, timelike and null curves. Int. J. Contemp Math Sci., 4, 1599-1604.
 [12] Hasimoto, H. (1959) A soliton on a vortex filament. J. Fluid Mech., 51(3), 477-485.
 [13] Hussien, R.A., and Youssef, T. (2016) Evolution of Special Ruled Surfaces via the Evolution of Their Directrices in Euclidean 3-Space \mathbf{E}^3 , Applied Mathematics and Information Science. 10(5), 1949-1956.
 [14] Kaymanli, G.U., Ekici, C. and Dede, M. (2018) Directional canal surfaces in E^3 , Current Academic Studies in Natural Sciences and Mathematics Sciences, 63-80.
 [15] Korpınar, T., Asil, V. and Baş, S. (2011) On characterization inextensible flows of curves according to Bishop frame, Notas de Matematica, 7(1), 37-45.
 [16] Kwon, D.Y., Park, F.C. (2005) Inextensible flows of curves and developable surfaces, Appl. Math. Lett., 18, 1156-1162.
 [17] Lakshmanan, M., Ruijgrok, T.W., Thompson, C.J. (1976) On the dynamics of a continuum spin system, Phys. A, 84(3), 577-590.
 [18] Lopez, R. (2014) Differential geometry of curves and surfaces in Lorentz-Minkowski space. International Electronic Journal of Geometry, 7, 44-107.
 [19] O'Neill, B. (1983) Semi-Riemannian geometry with applications to relativity. Academic Press, New York.
 [20] Soliman, M.A., Abdel-All, N.H., Hussein, R.A. and Youssef, T. (2018) Evolutions of the Ruled Surface via the Evolution of Their Directrix Using Quasi Frame along a Space Curve, Journal of Applied Mathematics and Physics. 6, 1748-1756.
 [21] Yoon, D.W., Yuzbasi, Z.K. and Aslan, E.C. (2019) Evolution of Spacelike Curves and Special Timelike Ruled Surfaces in the Minkowski Space, arXiv:1908.00053v1.
 [22] Yuzbasi, Z.K., Yoon, D.W. (2018) Inextensible Flows of Curves on Lightlike Surfaces. Mathematics, 6(11), 224.



Lateral Load Resisting Systems in High-Rise Reinforced Concrete Buildings

Dia Eddin Nassani^{1,*}, Kamiran Ali¹

¹Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendislik Bölümü, Gaziantep, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4196-8822

*Corresponding Author: Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendislik Bölümü, Gaziantep, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4196-8822,
diaeddin.nassani@hku.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 24 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.808269)

ATIF/REFERENCE: Nassani, D. E. & Ali, K. (2020). Lateral Load Resisting Systems in High-Rise Reinforced Concrete Buildings. *European Journal of Science and Technology*, (20), 397-403.

Abstract

An efficient and economical tall building cannot be designed without a thorough understanding of the significant factors affecting the selection of the structural system and knowledge of how the structural system will interrelate with architectural, mechanical and other aspects. In this study, structural analyses were performed to compare the structural response of different types of lateral load resisting systems (moment-resisting frame system, shear wall system, dual system and framed tube system) under effect of seismic and wind loads using the structural program ETABS. The building consists of 28 stories with area of 625m² (25m x 25m). Storey displacements were evaluated for all lateral load resisting systems. Among the types of lateral load resisting systems, dual system showed a very suitable structural response for this height and did not exceed the limitation values.

Keywords: lateral load resisting system, high rise buildings, earthquake load, wind load, displacements.

Yüksek Katlı Betonarme Binalarda Yanal Yük Dayanım Sistemleri

Özet

Verimli ve ekonomik bir yüksek bina, yapısal sistemin seçimini etkileyen önemli faktörler tam olarak anlaşılmadan ve bu sistemin mimari, mekanik ve diğer yönlerle nasıl bir ilişki içinde olacağı bilgisi olmadan tasarlanamaz. Bu çalışmada, farklı tipteki yanal yük dirençli sistemlerin (moment çerçeve sistem, perde duvarlı sistem, perdeli-çerçeve sistem ve tüplü çerçeve sistemler) sismik yükler ve rüzgâr yükleri altında yapısal tepkilerini karşılaştırmak için bir yapısal analiz programı olan ETABS kullanılarak yapısal analizler yapılmıştır. Bina 625m² (25m x 25m) alana sahip 28 kattan oluşmaktadır. Tüm yanal yük dirençli sistemler için kat deplasmanları hesaplanmıştır. Yanal yük dirençli sistem tipleri arasında perdeli-çerçeve sistem, bu yükseklik için çok uygun bir yapısal tepki göstermiş ve sınır değerlerini aşmamıştır.

Anahtar Kelimeler: yanal yük dirençli sistem, yüksek binalar, deprem yükü, rüzgâr yükü, deplasmanlar.

1. Introduction

High-rise structure is defined as a structure of thirty-five meters' height or greater that is divided at regular intervals into occupiable levels [1]. The main aim of all types of structural models used in structures is to support gravity loads. Dead load, live load, rain load, and snow load are the most used loads resulted from the gravity effects. Additional to vertical loads, structures are exposed to lateral forces due to winds and earthquakes. Lateral forces cause very high stresses and deflections. So that, structures should have the adequate strength to resist vertical forces together with required stiffness against horizontal loads [2].

Increasing in population in most countries raises land area prices, so tall building has been growth and number of stories increases and reaches 100 to 200 stories and will increase to more for high rise towers. Structures in seismic zones could be exposed to high stresses and deflections. Along with vertical loads, structures have to resist the lateral loads which could develop a severe damage. The earthquake and wind loads can develop a lot of results like (ground shaking, ground displacement, fire, and flood); therefore, it is very important to prevent the negative results which are coming from earthquake. The main purpose of seismic design is to resist the lateral forces during the earthquake thus reducing the possibility of death or injuries to people in the earthquake zone. Because severe earthquake is rare, engineers expect that structure damage is possible and acceptable but collapse should be prevented [3].

In seismic design of reinforced concrete (RC) multistoried structures, determination of the lateral load-resisting model is a very important issue. Specific structural members are designed to resist the lateral loads that raised during strong earthquake and wind loading. Stiffnesses and configuration of these identified members have a major role to determine the design load level in the members. Buildings are identified as rigid or flexible structures. High-rise buildings are more flexible and exposed to vibration due to earthquake and wind loads [4].

William Jenney's Home Insurance Building of 1879 is considered the first extensive application of the internal skeleton and curtain wall to a high office building. The Chicago School of Architecture refined the use of beams and columns in steel and subsequently frame construction became widespread. Also at this time concrete slabs and columns were develop [5]. The architect Perret designed the Rue Franklin Apartment Buildings in 1903 which was the first use of a reinforced concrete skeleton structural system [6].

Shear walls in the connection with concrete slabs were first utilized on the Lake Meadows Housing Project in Chicago 1949. The structure became very common for residential constructions due to the reason that walls can be utilized to separate rooms. Architectural communities encouraged the designers to develop the design ingenuity. Later, shear wall-frame connections were the development of using shear walls with simply supported exterior framing. The thirty-eight floor Brunswick Building (1962) is considered as first structure using the shear wall-frame system.

During the structural design innovation period, many lateral load resisting models have been developed like the outrigger braced structures in connection with surrounding belt truss and

many different framed tube models like tube-in-tube, partially braced tube-tube, and bundled tube models which provide an economical high-rise structure designs with different height-width ratios [7-10].

Development of high strength and light concrete materials, good connecting and construction techniques, and accurate methods to predict the structural performance of buildings due to loads, and practical applications of those innovations. Jinghai and Xinhua [11] conducted a study about latticed shell tube-reinforced concrete core wall structures. Authors used two types of structures systems in same building, one of them was located in the interior which is RC core wall and the other was located in the exterior faces of building, and concluded that arranging a number of diagonal braces reasonably can enhance the lateral resisting capability of latticed shell tube effectively.

Massumi and Absalan [12] conducted a study about interaction between bracing system and moment resisting frame in braced RC frames. The authors investigated the results of two experimental models of reinforced concrete frames and developed a new numerical model. They concluded that the interactions between RC frames and bracing systems have a significant and good effect on developing the performance of dual model. The result of numerical analysis indicates a raise of 18% in the ultimate strengths of the dual model, which results from the interactions between the two models.

Sadjadia et al., [13] conducted a study about seismic performance of reinforced concrete RC moment resisting frames. He conducted four structural cases which are (ductile, nominally ductile, gravity loaded design- and retrofitted gravity loaded design), In the study, a typical 5-story frame is designed for all cases and presents an analytical study for the earthquake effect on reinforced concrete structures using time history analyses and push-over analyses. It is figured out that the ductile and nominally ductile structures performed perfectly under the studied earthquakes, while performances of the gravity loaded design frames were not good. After the damaged gravity loaded design frames were strengthened, the earthquake resistances were developed.

Patil et al., [1] studied the structural behavior high-rise structures using the equivalent static analysis method. The authors evaluated different horizontal load resisting models. The different horizontal load resisting models are: moment frames, braced frames, and shear wall frames. The effect of horizontal load resisting models is evaluated under the seismic loadings. The major factors considered in this research are: storey drifts, base shear, story deflections, time period, shear forces, bending moments, and axial forces. Design results showed obvious improvements in all parameters particularly in the braced and shear wall frames.

The main purpose of the present study is to show the structural response of moment-resisting frame system, shear wall system, dual system and frame tube system due to seismic and wind loads by evaluating storey displacements of each system using structural program ETABS [14].

2. Types of Structural Systems

The selection of the lateral load resisting system (LLRS) for s specific building is clearly a design decision of fundamental importance, yet there is no system that is best for all buildings

[15]. Factors to consider when selecting a seismic force resisting system include: performance, architectural and nonstructural coordination, construction cost, and design budget. Acceptable earthquake performance is a function of more than the selected structural system [15]. Configuration of the LLRS within the building is fundamental to good design, concerning such issues as structural irregularities, torsion, redundancy, and the combination of systems.

The most commonly used structural systems have been classified by Khan [16]. They are broadly defined as follows: moment resisting frames, shear wall system, dual system, shear truss-outrigger braced systems, framed-tubes, Tube-in-tube systems with interior columns, and bundled tubes and modular tubes.

A brief explanation to the types of lateral load resisting systems used in this research are presented.

2.1 Moment resisting frames

Moment resisting frames are normal frame with beams, columns and fixed or semi-rigid connections. The stiffness and strength are proportional to the height of story and column spacing. Moment resisting frames could also be built with columns connected to flat slab or flat plate. This type is without shear walls so the number of stories are limited depending on the bay spans between columns and story height [16].

2.2 Shear wall system

A shear wall system is defined by ASCE 7-05 [17] as “a structural system with shear walls providing support for all or major portions of the vertical loads. Shear walls provide seismic resistance”. Shear walls will be added due to the structural type, size, loads and number of stories. And depend on property of material, geometry, stiffness, symmetry and center of rigidity.

2.3 Dual system

A dual system is defined by ASCE 7-05 [17] as “a structural system with a complete space frame providing support for vertical loads and capable of resisting at least 25% of prescribed seismic forces.

2.4 Framed tubes

The framed tube structural system is the most modern type developments in high-rise structural buildings. The framed tube system consists of very closely spaced (between 2-3 meters) exterior columns are joined in each floor level with deep edge beams (with depth usually 0.5-1.5meters). Like other structure of this form, the exterior tube or columns is designed to resist the entire lateral loading. Vertical gravitational forces are resisted partly by the exterior frames and partly by some inner structure such as interior columns or an interior core. Sometimes the closely spaced column arrangement makes access difficult to the public area at the base. It can be avoided by using a large transfer girder to collect the vertical loads from the closely spaced columns and distribute them to a smaller number of larger more widely spaced columns at the base [18]. The framed tube allows the core framing to be constructed independently therefore the exterior can be constructed while the interior layout is being finalized [16].

3. Description of the Analytical Models

The structure considered in this study was reinforced concrete building with 28 storeys. The building area is 625m² (25 x 25 m) and consist of five bays in both directions. The floor plans for the different types of lateral load resisting systems are shown in Fig.1, Fig.2, Fig.3 and Fig.4. The storey height of the building is 3.4 m for all floors except the first floor in which the storey height is 4.4 m and thickness of slab is 0.2 m.

Regarding the moment-resisting frame system, the beam cross section B is 0.65 x 0.75m and the column section C is 0.65 x 0.65m. Regarding the shear wall system, the thickness of shear wall is 0.4 m. Regarding the dual system, the beam cross section B is 0.40 x 0.50m, the column section C is 0.40 x 0.40m and the thickness of shear wall is 0.4 m. Regarding the tube system, the beam cross section B1 is 0.40 x 0.50 m, B2 is 0.40 x 1.20 m, the column section C1 is 0.40 x 0.40 m, C2 is 0.4 x 120 m and the thickness of shear wall is 0.4 m. In the design of the buildings, a uniform mass distribution over the height of the structure was assumed. The design of the structures was performed according to the lateral load distribution specified in International Building Code IBC [19] and American Society of Civil Engineering ASCE [17].

In order to investigate the effect of the different types of lateral load resisting systems, equivalent static analysis was performed to compare the structural response of moment-resisting frame system, shear wall system, dual system and frame tube system under effect of earthquake and wind loads.

The modulus of elasticity of concrete is $E = 26000$ MPa, the compressive strength is $F'c = 30$ MPa and Poisson's Ratio = 0.2.

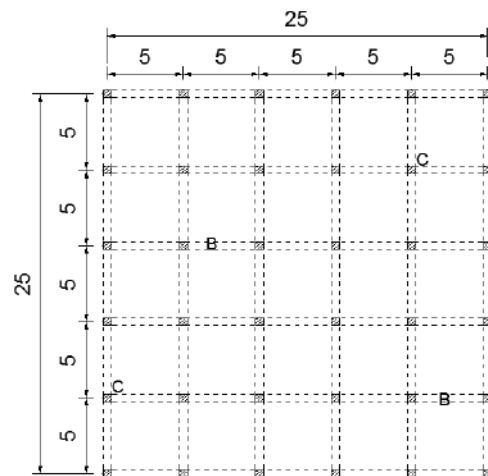


Figure 1. Typical floor plan of moment-resisting frame system (units in meter).

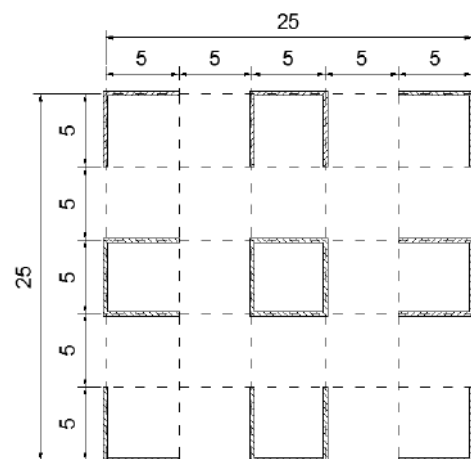


Figure 2. Typical floor plan of shear wall system (units in meter).

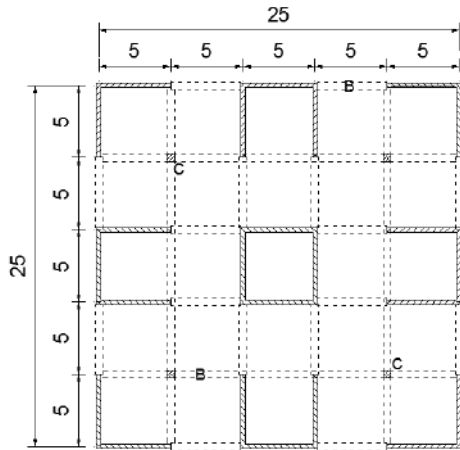


Figure 3. Typical floor plan of dual system (units in meter).

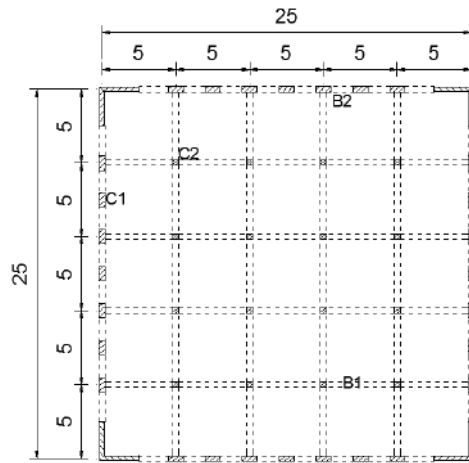


Figure 4. Typical floor plan of frame tube system (units in meter).

4. Analysis Method

The latest National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) guidelines such as FEMA 273 [20] and FEMA 356 [21] show that, for a specific earthquake, the building should have adequate capacity to resist a specified roof displacement which is called as target displacement.

In the current study, equivalent static analysis was performed to determine the structural behavior of 28-storey building with moment-resisting frame system, shear wall system, dual system and frame tube system due to seismic and wind loads. The analyses of the frames were carried out through a well-known computer program ETABS.

4.1 Seismic load coefficients and factors:

- Time period = 0.028, 0.8
- Ecc. Ratio = 0.5
- Response modification, R;
- For moment resisting system = 3
- For shear wall system = 4.5
- For dual system = 6
- For frame tube system = 6
- Occupancy importance, I = 1
- $S_s = 2.29$

- $S_1 = 0.869$
- Long- period transition period = 8
- Site class = B
- $SD_s = 1.5267$
- $SD_1 = 0.5793$

4.2 Wind load coefficients and factors:

- Wind speed (mph) = 110
- Exposure type = C
- Importance factor = 1
- Topographical Factor, $K_{zt} = 1$
- Gust Factor = 0.85
- Directionally Factor, $K_d = 0.85$
- Windward Coeff. = 0.8
- Leeward Coeff. = 0.5
- Exposure height from base to story 28

5. Results and Discussion

The four models are analyzed in the same situations and the same properties, either the material properties or the factors which have relations with lateral loads (quake and wind). Meanwhile, they were analyzed in the same (seismic zone, type class, wind speed, exposure type,...etc). They were analyzed in so symmetrical plane, homogeneous vertical height, and there is no weak floor from the base floor up to upper floor, it means the models have been analyzed in an ideal case.

The results of this study showed that the displacements in all structural systems are in the permitted limitation according to the international codes except moment resisting that the results show that it is not possible for this level (28 floors).

In all models, there are not any problems with the rotation displacements because the symmetric is available in all models. The outputs of these models are too much because the structure is high-rise building and contains many points in every floor, therefore, there is no need to show all of these outputs. For instance, in every floor, point number one was selected for comparison when dealing with displacement, but for story drift, the researcher showed the maximum value in each floor.

5.1 Moment Resisting System

Table 1 and Figure 5 show the displacements versus the storey number due to Earthquake (Q_x) in moment resisting system.

Table 1. Displacements versus the storey number due to Earthquake (Q_x).

Story number	point	Displacement U_x (mm)
Story 28	1	840.2
Story 27	1	821.8
Story 26	1	801.4
Story 25	1	779
Story 24	1	754.7
Story 23	1	728.7
Story 22	1	701.1
Story 21	1	672.1
Story 20	1	641.9
Story 19	1	610.6
Story 18	1	578.4
Story 17	1	545.4
Story 16	1	511.9
Story 15	1	477.8
Story 14	1	443.5
Story 13	1	409
Story 12	1	374.5
Story 11	1	340.1
Story 10	1	306.1
Story 9	1	272.4
Story 8	1	239.3
Story 7	1	206.9
Story 6	1	175.2
Story 5	1	144.5
Story 4	1	114.9
Story 3	1	86.5
Story 2	1	59.3
Story 1	1	33.2

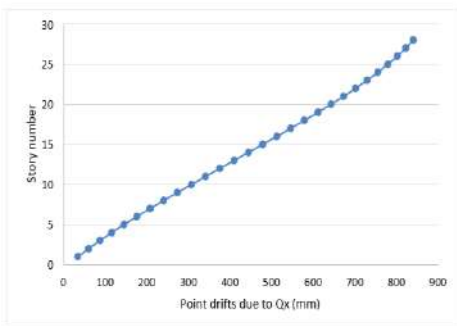


Figure 5 Point drifts due to Q_x

Table 2. Displacements versus the storey number due to wind load (W_x).

Story number	point	Displacement U_x (mm)
Story 28	1	61.6
Story 27	1	60.5
Story 26	1	59.4
Story 25	1	58.1
Story 24	1	56.7
Story 23	1	55.2
Story 22	1	53.6
Story 21	1	51.9
Story 20	1	50.2
Story 19	1	48.3
Story 18	1	46.3
Story 17	1	44.3
Story 16	1	42.1
Story 15	1	39.9
Story 14	1	37.6
Story 13	1	35.2
Story 12	1	32.8
Story 11	1	30.3
Story 10	1	27.7
Story 9	1	25.1
Story 8	1	22.5
Story 7	1	19.8
Story 6	1	17.1
Story 5	1	14.4
Story 4	1	11.7
Story 3	1	9
Story 2	1	6.3
Story 1	1	3.6

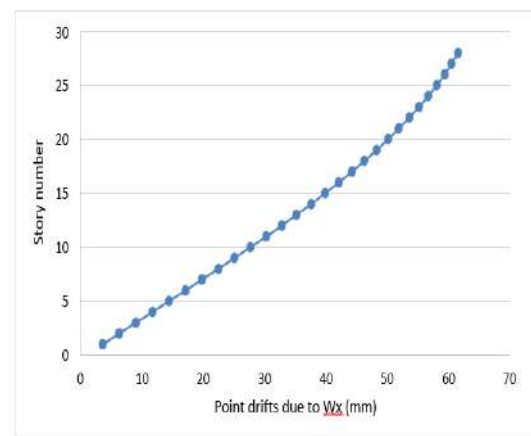


Figure 6. Point drifts due to W_x

Table 2 and Figure 6 show the displacements in (mm) versus the storey number due to wind load (W_x).

It has been noted that the displacements values for both loads (Q_x and W_x) were decreased from the moment resisting system to the shear wall system, and the dual frame has less values than moment resisting and shear wall. It was also shown that the tube

system has the least values from the other systems. From the mentioned results, the researcher found out these points:

- The first system, which is (moment resisting system), is not possible for this height (28 floors) because the values of all floors that were obtained were very high and exceed the limitation values which were in the (UBC 97) code.
- The results of the two systems (shear wall system and dual system) showed that they were very suitable for this height and did not exceed the limitation values which were in the (UBC 97) code.
- The results of the fourth system (tube system) showed that they were very low and were in the limitations but it is not recommended to be used in this height because it is too costly.

5.2 Shear Wall System

Figure 7 shows the displacements in (mm) versus the storey number due to Earthquake (Qx) in shear wall system.

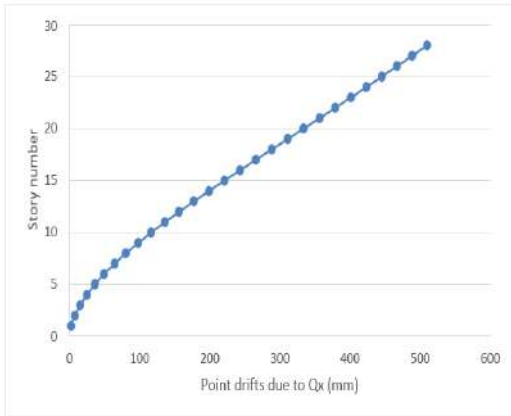


Figure 7 Point drifts due to Qx

Figure 8 shows the displacements in (mm) versus the storey number due to wind load (Wx).

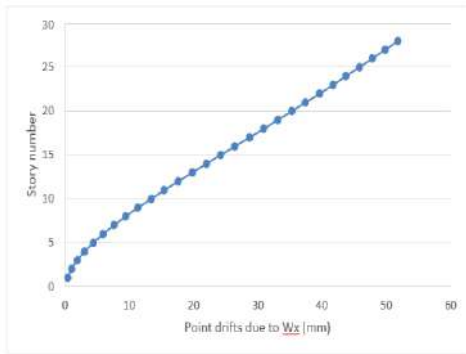


Figure 8. Point drifts due to Wx

From figures 7 and 8 above, the displacements due to earthquake did not exceed the limited values according to the international codes except two upper floors were critical and these floors needed to be braced just due to earthquake and it is safe due to wind load Wx.

5.3 Dual System

Figure 9 shows the displacements in (mm) versus the storey number due to Earthquake (Qx) in dual system.

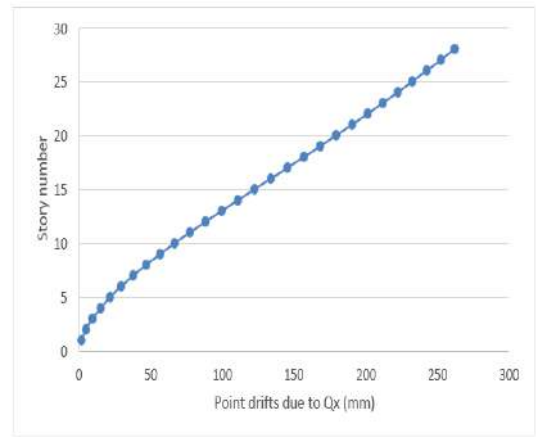


Figure 9 Point drifts due to Qx

Figure 10 shows the displacements in (mm) versus the storey number due to wind load (Wx).

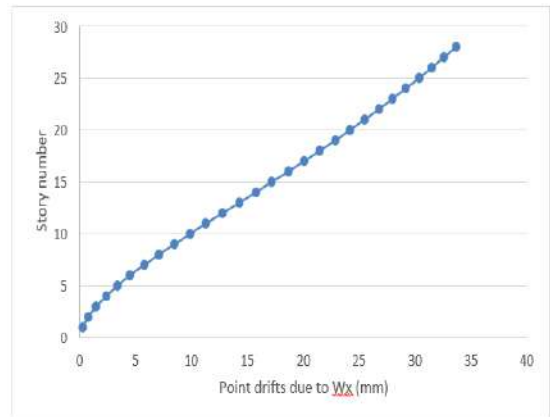


Figure 10. Point drifts due to Wx

From figures 9 and 10 above, it showed that there is no problem due to earthquake and wind load to construct a building with this height and with these factors and situations. The stiffness of this structure has been improved due to the use of this system with ratio about 48% for earthquake load and about 35% for wind load if it compared with the shear wall system.

5.4 Tube System

Figure 11 show the displacements in (mm) versus the storey number due to Earthquake (Qx).

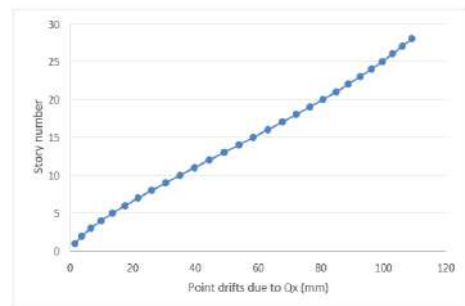


Figure 11 Point drifts due to Qx

Figure 12 show the displacements in (mm) versus the storey number due to wind load (Wx).

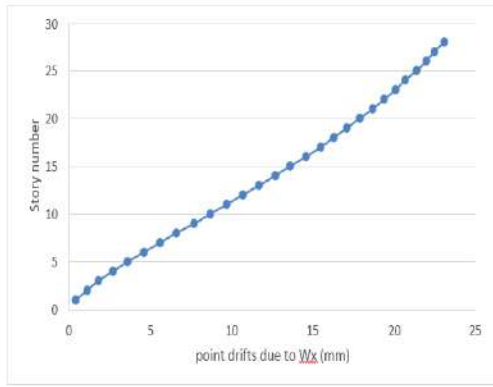


Figure 12. Point drifts due to Wx

Charts 11 and 12 showed that the displacement due to lateral loads (earthquake and wind) was decreased if they compare to the displacements of dual system. it has been a good improvement in the value of displacements, this due to exterior columns which located in the perimeter of the building and the ratio of decrease is about 62% for earthquake load and about 38 % for the wind load if it compared with dual system.

The following tables (table 3 and 4) and figures (figure 13 and 14) show the results of the earthquake Qx and wind Wx loadings of all the structure systems:

Table 3. Comparison between four systems of Qx in X direction

Story number	Point	Moment Resisting	Shear Wall	Shear Frame	Tube System
Story 28	1	840.2	509.7	262.4	109.2
Story 27	1	821.8	488.4	252.8	106.2
Story 26	1	801.4	466.9	242.9	103
Story 25	1	779	445.3	232.9	99.8
Story 24	1	754.7	423.4	222.7	96.3
Story 23	1	728.7	401.3	212.3	92.7
Story 22	1	701.1	379	201.6	88.9
Story 21	1	672.1	356.6	190.8	85
Story 20	1	641.9	333.9	179.7	80.8
Story 19	1	610.6	311.2	168.5	76.6
Story 18	1	578.4	288.5	157.1	72.2
Story 17	1	545.4	265.9	145.6	67.8
Story 16	1	511.9	243.3	134.1	63.2
Story 15	1	477.8	221	122.5	58.5
Story 14	1	443.5	199	111	53.9
Story 13	1	409	177.5	99.6	49.2
Story 12	1	374.5	156.5	88.4	44.4
Story 11	1	340.1	136.2	77.4	39.7
Story 10	1	306.1	116.7	66.8	35.1
Story 9	1	272.4	98.1	56.6	30.5
Story 8	1	239.3	80.7	46.9	26
Story 7	1	206.9	64.5	37.7	21.7
Story 6	1	175.2	49.6	29.3	17.5
Story 5	1	144.5	36.4	21.7	13.5
Story 4	1	114.9	24.9	15	9.9
Story 3	1	86.5	15.3	9.3	6.6
Story 2	1	59.3	7.9	4.9	3.7
Story 1	1	33.2	2.7	1.7	1.5

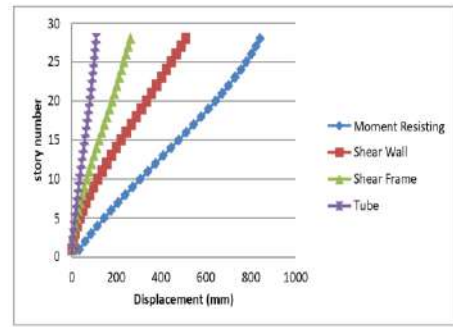


Figure 13. Comparison between four systems of Qx in X direction

Table 4 comparison between four systems of Wx in X direction

Story number	Moment Resisting	Shear Wall	Shear Frame	Tube System
Story 28	61.6	51.8	33.7	23.1
Story 27	60.5	49.8	32.6	22.5
Story 26	59.4	47.8	31.5	22
Story 25	58.1	45.8	30.4	21.4
Story 24	56.7	43.7	29.2	20.7
Story 23	55.2	41.7	28	20.1
Story 22	53.6	39.6	26.8	19.4
Story 21	51.9	37.4	25.5	18.7
Story 20	50.2	35.3	24.2	17.9
Story 19	48.3	33.1	22.9	17.1
Story 18	46.3	30.9	21.5	16.3
Story 17	44.3	28.7	20.1	15.5
Story 16	42.1	26.4	18.7	14.6
Story 15	39.9	24.2	17.2	13.6
Story 14	37.6	22	15.8	12.7
Story 13	35.2	19.8	14.3	11.7
Story 12	32.8	17.6	12.8	10.7
Story 11	30.3	15.4	11.3	9.7
Story 10	27.7	13.4	9.9	8.7
Story 9	25.1	11.3	8.5	7.7
Story 8	22.5	9.4	7.1	6.6
Story 7	19.8	7.6	5.8	5.6
Story 6	17.1	5.9	4.5	4.6
Story 5	14.4	4.4	3.4	3.6
Story 4	11.7	3	2.4	2.7
Story 3	9	1.9	1.5	1.8
Story 2	6.3	1	0.8	1.1
Story 1	3.6	0.4	0.3	0.4

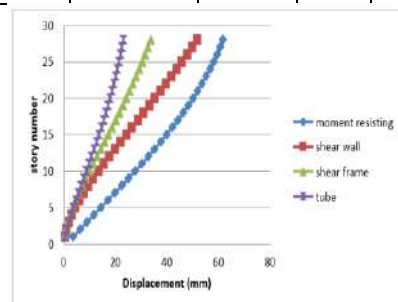


Figure 14. Comparison between four systems of Wx in X direction

direction

It has been noted that the displacements values for both loads (Q_x and W_x) were decreased from the moment resisting system to the shear wall system, and the dual system has less values than moment resisting and shear wall. It was also shown that the tube system has the least values from the other systems.

The first system, which is (moment resisting system), is not possible for this height (28 floors) because the values of all floors that were obtained were very high and exceed the limitation values which were in the (UBC 97) code. The results of the two systems (shear wall system and dual system) showed that they were very suitable for this height and did not exceed the limitation values which were in the (UBC 97) code.

6. Conclusion

The building for all types of structures has been analyzed in the same situations and the plan is symmetric. Therefore, the study showed that the effect of earthquake on the structure was greater than the effect of wind on the building.

From the second type (shear wall system), the study noted that the maximum drift story due to earthquake load (Q_x) in the X-direction for the two upper floors was critical, so there was more than one solution for this problem. This can change all the systems to another one or this can increase the stiffness of structure by increasing the compressive strength of concrete, but these two mentioned solutions were somehow costly, so the best solution is to make bracing only for weak two floors.

The study noted that the results of displacements from the type 4 (frame tube system) for all lateral loads (earthquake and wind) were decreased very much if it compared to the other structure systems because there were stiff columns with deep beams (spandrels) on the exterior of the building work as rigid members and connections and give the building a high stiffness against lateral loads, but this system is expensive (costly) for this heights and it is recommended to be used in higher buildings, for example more than 60 stories.

The main purpose of this study was to prove that the changing in the type of structural system from the moment resisting system to the tube system had positive results in the performance of the structure behavior, and this purpose is satisfied in this study as it was shown in tables (3 and 4) and charts (13 and 14). The researcher took the samples from these two tables randomly which were Q_x and W_x in X-direction and the results showed that the deflections were decreased with changing the type of structure from the first system (moment resisting) to the fourth system (tube).

References

[1] Patil S.S., Konapure C.G., Ghadge S.A., (2013). Equivalent Static Analysis of High-Rise Building with Different Lateral Load Resisting Systems, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(1), pp.1-9.

[2] Kevadkar M.D., Kodag P.B. (2013). Lateral Load Analysis of R.C.C. Building, *International Journal of Modern Engineering Research*, 3(3), pp.1428-1434.

[3] Halis M. Gunel, H. Emre Ilgin, (2007). A proposal for the classification of structural systems of tall buildings, *ScienceDirect Building and Environment* 42 (2007) 2667–267.

[4] Suresh P, Panduranga Rao B, Kalyana Rama J.S, (2013). Influence of diagonal braces in RCC multi-storied frames under wind loads: A case study, *international journal of civil and structural engineering*, 3(1), 2012 pp.214-226.

[5] Khan F R, "The Bearing Wall Comes of Age", *Architectural and Engineering News*, 10(10), 1968, pp.78-85.

[6] Fitzsimmons, N., "History and Philosophy of Tall Buildings", *Proceedings, International Conference on Planning and Design of Tall Buildings*, Vol.1, Lehigh Univ., 1972, pp.41-52.

[7] Güneyisi E.M., Muhyaddin, G.F., "Comparative Response Assessment of Different Frames with Diagonal Bracings under Lateral Loading", *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 39, pp. 3545–3558, 2014.

[8] Güneyisi E.M., Ameen, N., "Structural Behavior of Conventional and Buckling Restrained Braced Frames Subjected to Near-Field Ground Motions", *Earthquakes and Structures*, Vol. 7, pp. 553-570, 2014.

[9] Lu Xinzhen , Lu Xiao , Guan H., Zhang W., Ye L., "Earthquake-induced collapse simulation of a super-tall mega-braced frame-core tube building", *Journal of Constructional Steel Research*, 82, 2013, pp. 59–71.

[10] Kamgar R , Saadatpour M.M., "A simple mathematical model for free vibration analysis of combined system consisting of framed tube, shear core, belt truss and outrigger system with geometrical discontinuities", *Applied Mathematical Modelling*, 36(10), 2012, pp. 4918–4930.

[11] Jinghai G., Xinhua L., (2007). Design method research into latticed shell tube–reinforced concrete (RC) core wall structures, *ScienceDirect Journal of Constructional Steel Research* 63 (2007) 949–960: www.elsevier.com/locate/jcsr.

[12] Massumin A., Absalan M., (2012). Interaction between bracing system and moment resisting frame in braced RC frames , *ScienceDirect: www.elsevier.com/locate/acme* .

[13] Sadjadia R., Kianousha M.R., Talebib S., (2006). Seismic performance of reinforced concrete moment resisting frames, *ScienceDirect Engineering Structures* 29 (2007) 2365–2380: www.elsevier.com/locate/engstruct.

[14] ETABS: Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Version 15.0.0, Integrated building design software, Computers and Structures Inc., Berkeley (2015).

[15] SEAOC (2009), Seismic design recommendations, Structural Engineers Association of California, Sacramento, California.

[16] Khan; F.R. (1974). "New structural systems for tall buildings and their scale effects on cities", *Proceedings of Symposium held at Vanderbilt University*, 67 Nashville, Tennessee, November 14-15, 99-129.

[17] ASCE.7-05. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, USA 2005.

[18] Paulino M.R., (2010). "Preliminary Design of Tall Buildings", M.Sc thesis, Worcester Polytechnic Institute, USA.

[19] IBC. International building code. International Code Council, Inc. USA 2006.

[20] FEMA (Federal Emergency Management Agency): NEHRP guidelines for seismic rehabilitation of buildings, FEMA-273. Washington, DC (1997).

[21] FEMA (Federal Emergency Management Agency): Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building, FEMA-356, Washington, DC (2000).



Yüksek Dereceli Glial Tümörlerin Radyoterapisinde VMAT Tekniği İle IMRT Tekniğinin Karşılaştırılması

Hazım Orhan Kızılkaya^{1*}, Yonca Yahşi Çelen², Ayşe Okumuş³, Deniz Arslan⁴

¹ Sisli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital, Department of Radiation Oncology, İstanbul-Turkey (ORCID: 0000-0001-6946-7539), orhankizilkaya959@yahoo.com

² Balıkesir University, Department of Biophysics, Balıkesir- Turkey (ORCID:0000-0002-2869-664X), yoncayahsi@gmail.com

³ Yeni Yüzyıl University, Gaziosmanpaşa Hospital, İstanbul-Turkey (ORCID: 0000-0003-4721-0534), ayseokm@gmail.com

⁴ Yedikule Chest Diseases and Thoracic Surgery Education and Research Hospital, İstanbul-Turkey (ORCID: 0000-0003-0080-2284), denizsaracoglu@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 3 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 24 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.799077)

ATIF/REFERENCE: Kızılkaya, H. O., Yahşi Çelen, Y., Okumuş A. & Arslan, D. (2020). A Comparison of Volumetric Modulated Arc Therapy and Conventional Intensity-Modulated Radiotherapy for High Grade Glial Tumors. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 404-408.

Öz

Radyoterapide amaç, belirlenen hedef hacim üzerine en uygun dozu verirken, radyasyona hassas kritik organları ve civarındaki sağlıklı dokuları mümkün olduğunca korumaktır. Bu çalışmanın amacı, Bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüsü alınmış 10 beyin tümörü tanılı hastanın, Eclipse tedavi planlama sisteminde VMAT tekniği kullanılarak oluşturulan en iyi planlarla, yedi alanlı IMRT tekniği kullanılarak oluşturulan en iyi planları kritik organ dozları, hedef hacim, tedavi süreleri ve monitör unit (MU) değerleri açısından karşılaştırmaktır. Çalışma retrospektif bir çalışma olup, hastalar çalışmalarda geçen plan ve tekniklerle tedavi edilmemiştir. Hedef hacim için tanımlanan dozun %100'ü hedef hacmin en az %95'ini alacak şekilde planlamalar yapılmıştır. Elde edilen doz-volüm histogramları aracılığıyla çalışılan farklı planların hedef hacim ve kritik organ dozları Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) protokolünden faydalanarak, eşleşmiş veriler için t – testi kullanılarak minitab programı ile alınan sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. PTV kapsamı, konformite ve homojenite indeksi VMAT ve IMRT planları için eşdeğerdi. VMAT planları IMRT ile karşılaştırıldığında PTV max. 64,835±0,504 (p=0,039), Beyin max. 64,378±0,565 (p=0,025), ve Eye L. max. 20,39± 12,17 (p=0,046) için ortalama dozları arasında fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Beyin ortalama 26,74±3,42 (p=0,096), Beyin Sapı max. 32,44±18,70 (p=0,178), Eye R. max. 32,90± 16,84 (p=0,076), Optik Nerve L. max. 23,17± 15,45 (p=0,851), Optik Nerve R. max. 22,63± 17,98 (p=0,688), Optik Kiazma max. 25,25± 20,24 (p=0,531) dozları VMAT planlarında daha düşük bulunmasına karşılık istatistiksel olarak anlamlı değildir. VMAT tekniği ile yapılan planlarda daha az monitör unit (MU) ve daha kısa tedavi süresi olması nedeniyle tercih edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Beyin tümörleri, Yüksek dereceli glioma, Yoğunluk ayarlı radyasyon tedavisi(IMRT), Volumetrik modüle ark tedavisi (VMAT)

A Comparison of Volumetric Modulated Arc Therapy and Conventional Intensity-Modulated Radiotherapy for High Grade Glial Tumors

Abstract

The aim of radiotherapy is to protect critical organs sensitive to radiation and surrounding healthy tissues as much as possible, while giving the most appropriate dose on the specified target volume. The aim of this study is to provide the best plans of 10 brain tumor patients, whose computed tomography (CT) image was taken, using the best plans created using the VMAT technique in the Eclipse treatment planning system and the best plans created using the seven-field IMRT technique to compare doses in terms of target volume, duration of treatment and monitor unit (MU) values. The study is a retrospective study and patients were not treated with the plans and techniques used in the studies. Plans have been made so that 100% of the dose defined for the target volume will take at least 95% of the target volume. Using the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) protocol, the results obtained with the minitab program were statistically evaluated using the t-test for the matched data. PTV coverage, conformity and homogeneity index were equivalent for VMAT and IMRT plans. VMAT plans compared to IMRT, PTV max. 64,835±0,504 (p=0,039), Brain max. 64,378±0,565 (p=0,025), and Eye L. max. 20,39± 12,17 (p=0,046) The difference between the mean doses is statistically significant. Brain mean 26,74±3,42 (p=0,096), Brainstem max. 32,44±18,70 (p=0,178), Eye R. max. 32,90± 16,84 (p=0,076), Optik Nerve L.max. 23,17± 15,45 (p=0,851), Optik Nerve R. max. 22,63± 17,98 (p=0,688), Optik Chiasma max. 25,25± 20,24 (p=0,531) were found lower in VMAT plans but it

* Corresponding Author: Sisli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital, Department of Radiation Oncology, İstanbul-Turkey, ORCID: 0000-0001-6946-7539, orhankizilkaya959@yahoo.com

was not statistically significant. It may be preferred in plans made with the VMAT technique due to less monitor units (MU) and shorter treatment time.

Keywords: Brain tumors, High- grade glioma, Intensity- modulated radiotherapy (IMRT), Volumetric modulated arc therapy (VMAT)

1. Introduction

Primary brain tumors are the 6th most common malignancy among all malignancies. 2% of cancers and 3% of deaths due to cancer occur due to brain tumors (Noone et al. 2015). Central nervous system (CNS) tumors peak between the ages of 65-84 with an increasing frequency starting from the 20s and then decrease. Brain tumors were first described macroscopically by Cruveilhier in 1829 and classified as microscopically by Bressler in 1836. However, Virchow laid the foundation for the current classification of brain tumors. He described neuroglia as the intercellular matrix of the brain in 1860. Again, Virchow defined the connection between macroscopic and microscopic features of tumors and made the definition of "glioma" for the first time. Although many classification systems have been used so far, the most frequently used classification system is the World Health Organization (WHO) classification in 1993, which was revised in 2016 (Lous et al., 2016, Kleihues & Cavenee, 2000). Today, the incidence of brain tumors is gradually increasing. Brain tumors are divided into low-grade and high-grade tumors, and more than 2/3 of these tumors form glioblastoma (GBM) with a poor prognosis.

Brain tumors are divided into two groups as benign and malignant tumors. Benign tumors have a slow growth rate. In addition, they can be easily separated from the brain part and all or almost all of them can be easily removed. Malignant tumors grow very quickly. They have the consistency of mud. Therefore, not all of them can be removed surgically. After the operation, they grow again in a certain period of time and continue to put pressure on the brain (Lyman, 1985, Meral, 2007).

Glial tumors are pathologically classified into 4 groups. Grade I and II tumors, low grade; Grade III and IV tumors are high grade.

Grade I: Pilocytic Astrocytoma

Grade II: Astrocytoma, Oligodendroglioma;

Grade III: Anaplastic Oligodendroglioma, Anaplastic Astrocytoma, Anaplastic Oligoastrocytoma

Grade IV: Glioblastoma Multiforme (GBM)

With the 2016 regulation of WHO, besides the morphological diagnosis, genetic changes played a role in the diagnosis. Presence of IDH mutations or its absence affects the behavior pattern.

A pre-diagnosis is made by contrast-enhanced cranial magnetic resonance imaging (MRI) or computed tomography (CT) taken after a detailed physical and neurological examination. Histological diagnosis is made by surgical resection or by biopsy in cases that are not suitable for surgery. The diagnosis is made radiologically in optic gliomas and brainstem gliomas. Histology, tumor grade, and its negative or positive IDH are very important in planning treatment and determining prognosis (Çetingöz, 2015, Gunderson & Tepper, 2008).

The main treatment for high-grade glial tumors is surgery, but surgery may not be possible in some cases. If the tumor is located in some very sensitive vital parts of the brain, touching these areas is life-threatening, so radiation therapy (radiotherapy) and drug therapy (chemotherapy) can be applied in this case. It is necessary

to apply adjuvant radiotherapy or concomitant chemoradiotherapy to nearly eighty percent of surgically viable tumors. Tumors that occur in other parts of the body can also metastasize to the brain (Komaki et al., 1995).

With the improvement in the prognosis of high-grade gliomas with the combined use of radiotherapy and chemotherapy, the long-term survival and late radiation effects of patients are becoming more and more important. Intensity-modulated radiotherapy (IMRT) is an investigated treatment for high-grade gliomas as a way to increase the dose and reduce late toxicity. According to the results of the retrospective analysis, IMRT has been shown to reduce acute and long-term neurotoxicity compared to three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) and at the same time protect progression-free and overall survival equally (Narayana et al., 2006).

When the plan studies using three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) and noncoplanar IMRT technique were compared, it was seen that IMRT technique provided dosimetric advantage for high-grade gliomas (Narayana et al., 2006, Thilman et al., 2001).

IMRT plans resulted in better coverage of the planned target volume (PTV) dose in organs at risk (OAR) while reducing the dose. In clinical studies, better dosimetry and patient outcomes were obtained with both coplanar and non-coplanar IMRT techniques (Narayana et al., 2006, Floyd et al., 2004, Miwa et al., 2008).

For high grade gliomas, if PTV intersects with optic nerve, chiasma and brainstem, 7-area coplanar can be treated with IMRT technique. Because in the IMRT technique, it is possible to wrap the dose in this PTV area, which shows less convexity compared to other parts of the brain, better than 3D-CRT.

Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT), first proposed by Yu in 1995, provides radiation therapy using overlapping arcs (Yu, 1995). Treatment plans are computer-optimized to meet dose-volume targets, such as conventional fixed-field IMRT.

2. Material Method

Ten patients with a diagnosis of high grade glial tumor previously treated were included in the study. Retrospectively selected patients were not treated with the plans and techniques used in the study, and our aim is to compare the dosimetrically critical organ doses and target volume maximum doses as a result of the comparison of treatment plans made with different techniques in the Varian Trilogy Linear Accelerator device treatment planning system. The plans of the patients participating in the study were rescheduled in the Varian Trilogy device Eclipse treatment planning system.

In the Eclipse treatment planning system, the treatment plans of the patients were planned using the 7-field IMRT technique (0,38,76,114,246,284,322) angles and 6 MV photon energy. Treatment plans prepared using the VMAT technique were made using 2 full arc or 2 half arc technique, depending on the location of the disease. 60 Gy dose was defined in 30 fractions and the plan was studied.

Computed tomography (CT) scanning of 10 patients in the study was achieved by making a thermoplastic mask in a position that will provide the most optimal planning convenience for each patient with a 3 mm cross-section range and keeping the head fixed. While the contouring procedure required for planning was done, the CT images of the patients and the MRI (Magnetic Resonance Image) that were present in the hospital or brought by the patient outside the hospital were fused and used if deemed necessary by the relevant doctor. GTV, CTV, PTV, OAR and PRV volumes were created in figure 1. Plans have been made so that 100% of the dose defined for the target volume will take at least 95% of the target volume.

The target volume and critical organ doses of the different plans studied using the obtained dose-volume histograms were evaluated using the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) protocol. The organs with contoured OAR were the brainstem, spinal cord, right and left optic nerves, optic chiasma, retinas, lenses and normal brain (except PTV). Evaluation of treatment plans A comparative dosimetric analysis was performed using 10 CT images. In table 1, at least 100% coverage of PTV was achieved with 95% isodose of 60 Gy in 30 fractions without violating the OAR maximum dose restrictions.

Table 1. Recommended tolerance doses for organs at risk.

Organ at Risk	Dose
Brainstem	Maximum dose <54 Gy
Spinal cord	Maximum dose <45-50 Gy
Optic nerves	Maximum dose <54 Gy
Chiasma	Maximum dose <54 Gy
Retina	Mean dose <45Gy

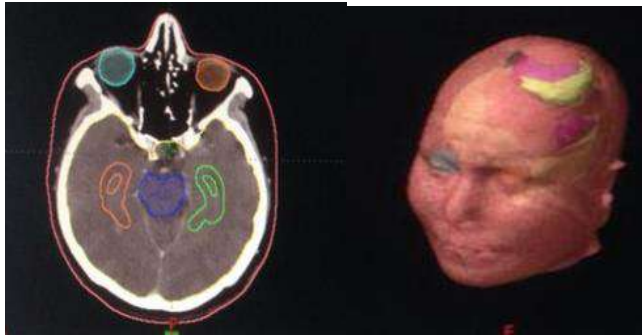


Fig. 1. 3D and transverse representation of the PTV and OAR volumes used in planning.

During the treatment, set-up accuracy is checked regularly with both kV and MV image guided RT techniques. In this way, by ensuring adequate set-up security, the safety margins for PTV can be reduced and risky organs can be protected.

3. Results and Discussion

When the isodose distributions in the axial section of the plans obtained with IMRT and VMAT techniques are examined in figure 2, the dosimetric comparison of the average values of the data obtained from the treatment planning system is shown in table 2. comparing the plan results of 10 patients using IMRT and VMAT techniques according to statistical test results,

While PTV mean IMRT was 60.08 ± 0.92 (Gy), PTV mean VMAT was found to be 59.78 ± 3.19 and there is no significant difference since it is $p = (0.787)$.

While PTV max. IMRT was 64.24 ± 0.812 (Gy), PTV max. VMAT was found to be 64.835 ± 0.504 and there is a significant difference since $p = (0.039)$.

While PTV min. IMRT was 48.09 ± 3.19 (Gy), PTV min. VMAT was found to be 47.75 ± 5.42 , and there is no significant difference since $p = (0.768)$.

While Brain max. IMRT is 63.24 ± 1.529 (Gy), Brain max. VMAT was found to be 64.378 ± 0.565 , and there is a significant difference since $p = (0.025)$.

Brain mean when IMRT is 28.73 ± 4.73 (Gy), Brain mean VMAT was found to be 26.74 ± 3.42 , and there is no significant difference since $p = (0.096)$.

Brainstem max. While IMRT is 34.17 ± 20.47 (Gy) Brainstem max. VMAT was found to be 32.44 ± 18.70 and there is no significant difference since $p = (0.178)$.

Lens L. max. when IMRT is 5.48 ± 2.635 (Gy), Lens L. max. VMAT was found to be 6.45 ± 2.268 , and there is no significant difference since $p = (0.158)$.

Lens R. max. when IMRT is 6.14 ± 3.23 (Gy), Lens R. max. VMAT was found to be 6.28 ± 2.38 , and there is no significant difference since $p = (0.881)$.

Eye L. max. while IMRT was 28.61 ± 15.01 (Gy), Eye L. max VMAT was found to be 20.39 ± 12.17 and there is a significant difference since $p = (0.046)$.

Eye R. max. while IMRT was 37.69 ± 14.37 (Gy), Eye R. max VMAT was found to be 32.90 ± 16.84 and there was no significant difference since $p = (0.076)$.

Optic Nerve L. max. IMRT was found to be 24.21 ± 14.35 (Gy), while Optic Nerve L. max VMAT was found to be 23.17 ± 15.45 and there was no significant difference since it was $p = (0.851)$.

Optic Nerve R. max IMRT was found to be 24.21 ± 14.35 (Gy), while Optic Nerve R. max VMAT was found to be 23.17 ± 15.45 and there was no significant difference since $p = (0.851)$.

Optic Chiasma max IMRT was found to be 28.03 ± 19.69 (Gy), while Optic Chiasma max VMAT was found to be 25.25 ± 20.24 $p = (0.531)$, so there was no significant difference.

Minitab program was used in statistical calculations. Since the data included in the study were found to be suitable for normal distribution, they were analyzed using the Paired T test.

$$\mu_{\text{difference}}: \text{mean of (IMRT-VMAT)}$$

$$H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$$

$$H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$$

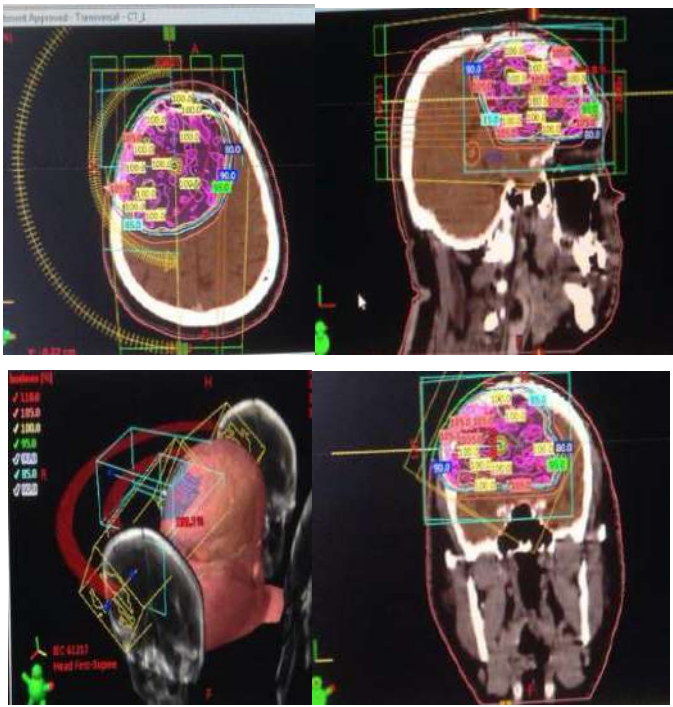


Fig. 2. Axial, sagittal, frontal isodose maps representation of the dose distribution in PTV in VMAT planning technique.

Table 2: Dosimetric comparison of the mean values of the data obtained with IMRT and VMAT techniques.

Variable	IMRT Mean (Gy)	VMAT Mean (Gy)	P value
PTV Mean	60,08± 0,92	59,78±3,19	0,787
PTV Max	64,24± 0,812	64,835±0,504	0,768
PTV Min	48,09± 3,19	47,75±5,42	0,768
Brain Max.	63,24± 1,529	64,378±0,565	0,021
Brain Mean	28,73± 4,73	26,74±3,42	0,096
Brainstem Max	34,17± 20,47	32,44±18,70	0,178
Lens L. Max	5,48± 2,635	6,45±2,268	0,58
Lens R. Max	6,14± 3,23	6,28±2,38	0,881
Eye L. Max	28,61± 15,01	20,39± 12,17	0,046
Eye R. Max	37,69± 14,37	32,90± 16,84	0,076
Optik Nerve L Max	24,21± 14,35	23,17± 15,45	0,81
Optic Nerve R Max	23,11± 16,61	22,63± 17,98	0,688
Optic Chiasm Max	28,03± 19,69	25,25± 20,24	0,631

When the isodose distributions of IMRT and VMAT plans were examined in axial section, both methods provided 100% isodose coverage for at least 95% of PTV for all plans. PTV coverage, conformity and homogeneity index were equivalent for VMAT and IMRT plans. Compared to the VMAT plans IMRT, PTV Max, Brain max, and Eye L. max. The difference between the mean doses is statistically significant.

Brain Mean, Brain Stem Max., Eye R. Max, Optic Nerve L Max, Optic Nerve R Max, Optic Chiasma Max were found lower in VMAT plans but were not statistically significant. In the plans made with the VMAT technique, fewer monitor units (MU) and shorter treatment time were obtained.

In the study performed by Shaffer et al. (2010), 95% isodose coverage was provided to at least 98% of PTV in all plans made using IMRT and VMAT techniques. Conformality and homogeneity index and the PTV coverage were equivalent with two plans. The IMRT plan failed to meet dose restrictions for the lens. When comparing VMAT with IMRT plan, mean doses given to retinas, lenses and optic nerves were found to be 5-29% lower. Mean doses of brainstem and chiasma are equivalent. Normal brain mean dose is significantly higher (12%). Maximum dose values for the brainstem, chiasma, ipsilateral optic nerve, and normal brain were equivalent, and the maximum doses for the contralateral optic nerve, lenses, and retinas were significantly lower, 16–33%. In the study, the mean MU value for IMRT was 789 ± 112, while the mean MU value for VMAT was 363 ± 45 and significantly lower. (54%; p = 0.002). The average time to deliver a 2 Gy fraction is 5.1 ± 0.4 min with IMRT and 1.8 ± 0.1 with VMAT. The mean duration was significantly lower with VMAT plans (65%; p = 0.002).

A planning study comparing 3D-CRT, IMRT, and VMAT for prostate cancer Palma et al. (2008), and studies comparing IMRT and VMAT for head and neck Vanetti et al. (2008), prostate Kjaer-Kristoffersen et al. (2008), and cervical cancers Cozzi et al. (2008), have been published. Similar to our study, while VMAT requires less MU, treatment times for VMAT were 70-90 seconds. Treatment times with IMRT are 5 minutes Kjaer-Kristoffersen et al. (2008), for prostate cancer and 15 minutes Vanetti et al. (2008), for head and neck cancer. The results we found in our study were found to be compatible with the literature.

4. Conclusions

In head and skull base radiotherapy, preserving the patient's quality of life as well as tumor control is of great importance. The fact that the brain sub-regions involved in cognitive functions in cranial irradiation are within the treatment area and the radiation tolerance doses are low are the most important factors determining the quality of life.

The effects of radiation on cognitive functions determine the quality of life of our patients. Especially in the treatment of brain tumors, a quality life is as important as living for a long time. Radiation can cause impairment of functions such as thought, memory concentration and speech and decrease the quality of life. The tolerance doses of critical organs and tissues should not be exceeded.

During treatment planning, selection of appropriate angles where oncology and risky organs can be protected maximum, determination of area size and shape, and tolerance doses of RAO's around are issues to be considered. It should always be kept in mind as a preferable treatment method in plans made with the VMAT technique due to the fact that there are less monitor units (MU) and shorter treatment time.

5. Acknowledge

Our work has been done within the framework of academic ethical principles and the ethics committee permission has been obtained under the number 2450.

References

Noone, AM, Howlader, N, Krapcho, M, Miller, D, Brest, A, Yu, M, Ruhl, J, Tatalovich, Z, Mariotto, A, Lewis, DR, Chen, HS, Feuer, EJ and Cronin, KA (2015). SEER Cancer Statistics Review, 1975-2015. National Cancer Institute.

- Louis, DN, Perry, A, Reifenger, G, Von Deimling, A, Figarella-Branger, D, Cavenee, WK, Ohgaki, H, Wiestler, OD, Kleihues, P and Ellison, DW (2016). The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Acta Neuropathologica*, 131 (6), 803-820. Doi: [10.1007/s00401-016-1545-1](https://doi.org/10.1007/s00401-016-1545-1)
- Kleihues, P and Cavenee, WK. (2000). Pathology and Genetics of Tumours of the Nervous System. World Health Organization Classification of Tumours. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Pres, Lyon, 55- 69.
- Lyman, JT. (1985). Complication probability as assessed from dose-volume histograms. *Radiation Reseach Suppl.* 8, 13-19. Doi: [10.2307/3583506](https://doi.org/10.2307/3583506)
- Meral, R. (2007). Radyasyonun Bilissel Fonksiyonlara Etkisi. *Türk Nörosirürji Dergisi*, 17(3), 139-148.
- Çetingöz, R. (2015). Radyoterapi Tekniklerinin Görev ve Sorumlulukları (p. 5-7). *Türk Radyasyon Onkolojisi Derneği Temel ve Klinik Radyoterapi*. ISBN:978-605-63913-0-9.
- Gunderson, LL, Tepper, JE. (2008). *Clinical Radiation Oncology* (5th edition). Elsevier & Saunders, Philadelphia. Hardcover ISBN: 9780323672467.
- Komaki, R, Meyers, CA, Shin, DM, Garden, AS, Byrne, K, Nickens, JA and Cox JD (1995). Evaluation of cognitive function in patients with limited small cell lung cancer prior to and shortly following prophylactic cranial irradiation. *International Journal Radiation Oncology Biol. Phys.* 33(1), 179-182. DOI: [10.1016/0360-3016\(95\)00026-U](https://doi.org/10.1016/0360-3016(95)00026-U)
- Narayana, A, Yamada J and Berry S (2006). Intensity-modulated radiotherapy in high-grade gliomas: Clinical and dosimetric results. *Int. J. Radiat Oncol Biol Phys* 64, 892–897 DOI: [10.1016/j.ijrobp.2005.05.067](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2005.05.067).
- Thilmann C, Zabel A, Grosser KH, Hoess A, Wannemacher M and Debus J (2001). Intensity-modulated radiotherapy with an integrated boost to the macroscopic tumor volume in the treatment of high-grade gliomas. *International Journal Cancer*, 96:341–349. DOI: [10.1002/ijc.1042](https://doi.org/10.1002/ijc.1042).
- Floyd, NS, Woo, SY, Teh, BS, Prado, C, Mai, YW, Trask, T, Gildenberg, PL, Holoye, P, Augspurger, ME, Carpenter, SL, Lu, HH, Chiu, KJ, Grand, WH and Butler, EB (2004). Hypofractionated intensitymodulated radiotherapy for primary glioblastoma multiforme. *International Journal Radiation Oncol. Biol. Phys.* 58:721–726. DOI: [10.1016/S0360-3016\(03\)01623-7](https://doi.org/10.1016/S0360-3016(03)01623-7)
- Miwa, K, Matsuo, M, Shinoda, J, Oka, N, Kato, T, Okumura, A, Ueda, T, Yokoyama, K, Yamada, J, Yano, H, Yoshimura, S and Iwama, T (2008). Simultaneous integrated boost technique by helical tomotherapy for the treatment of glioblastoma multiforme with 11C-methionine PET: Report of three cases. *J Neuro Oncol.* 87(3), 333–339. DOI: [10.1007/s11060-008-9519-3](https://doi.org/10.1007/s11060-008-9519-3).
- Yu, CX. (1995). Intensity-modulated arc therapy with dynamic multileaf collimation: An alternative to tomotherapy. *Phys Med. Biol.* 40(9) 1435–1449. DOI: [10.1088/0031-9155/40/9/004](https://doi.org/10.1088/0031-9155/40/9/004).
- Otto, K. (2008). Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Med. Phys* 35:310–317. DOI: [10.1118/1.2818738](https://doi.org/10.1118/1.2818738)
- Shaffer R, Alan M, Nichol MD, Vollans E, Fong M, Nakano S, Moiseenko V, Schmuland M, Mickenzie M and Otto K (2010). A Comparison of Volumetric Modulated Arc Therapy And Conventional Intensity-Modulated Radiotherapy For Frontal And Temporal High-Grade Gliomas. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys* 76(4), 1177–1184. DOI: [10.1016/j.ijrobp.2009.03.013](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.03.013)
- Palma D, Vollans E, James K (2008). Volumetric modulated arc therapy for delivery of prostate radiotherapy: Comparison with intensity-modulated radiotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*,72: 996–1001.
- Vanetti E, Clivio A, Nicolini G, (2008). Volumetric modulated arc radiotherapy for carcinomas of the oro-pharynx, hypopharynx and larynx: A treatment planning comparison with fixed field IMRT. *Radiother Oncology*.
- Kjaer-Kristoffersen F, Ohlhues L, Medin J (2008). RapidArc volumetric modulated therapy planning for prostate cancer patients. *Acta Oncology*, 48:227–232.
- Cozzi L, Dinshaw KA, Shrivastava SK (2008). A treatment planning study comparing volumetric arc modulation with Rapid Arc and fixed field IMRT for cervix uteri radiotherapy. *Radiother Oncology*, 89:180–191.



Glutopik Analizinin Aynı Kategoride Yer Alan Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin (*Triticum aestivum* L.) Sınıflandırma ve Değerlendirmesinde Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi

Gökhan Çeliker¹, Halef Dizlek^{2*}

¹ Diyarbakır Ticaret Borsası, Diyarbakır, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0165-8619), mrgkan@gmail.com

² Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5873-5462), hdizlek@osmaniye.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 25 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.796345)

ATIF/REFERENCE: Çeliker, G. & Dizlek, H. (2020). Glutopik Analizinin Aynı Kategoride Yer Alan Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin (*Triticum aestivum* L.) Sınıflandırma ve Değerlendirmesinde Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 409-424.

Öz

Çalışmada TS 2974 Buğday standardına göre aynı kategoride yer alan ekmeklik buğday çeşitlerinin (*Triticum aestivum* L.) Farinograf ve Ekstensograf özelliklerinin belirlenerek TMO hububat alım kriterleriyle uyumluluğunun incelenmesi ve Glutopik analizinin bu sınıflandırma ve değerlendirme çerçevesinde kullanılabilirliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Sunulan çalışma iki kısımdan oluşmaktadır: Birinci kısımda; temel teknolojik ve reolojik özellikleri saptanan 6 farklı buğday örneğinde tavlı, tavsız ve tam buğday unu şeklinde üç farklı öğütme tekniği uygulanmış olup örneklere glutopik analizi ayrıca uygulanmıştır. İkinci kısımda ise, TS 2974 buğday standardına göre sınıflandırılan 36 farklı buğday çeşidiyle analizler gerçekleştirilmiştir. Glutopik cihazının düşük numune miktarı ihtiyacı, kısa analiz süresi ve gluten yapısı hakkında bilgi vermesi avantajlı yönlerini oluştururken, elde edilen verilerin değişkenliğinin çok olması ve araştırma devam ederken üretici firmanın cihazla ilgili yazılımı güncellemesi Glutopik üzerinde daha fazla çalışma yapılmasına gereksinim olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte maksimum tork değeri yüksek olan buğday unlarının su absorpsiyonlarının yüksek olduğu, A(0-5) arası alan ve mesafenin büyümesine koşut olarak hamurun direnç ve uzama yeteneğinin arttığı, elastikiyetinin geliştiği belirlenmiştir. Birinci kısımda Glutopik parametreleri ile Ekstensograf uzama kabiliyeti arasında daha fazla ilişki kurulmuşken, ikinci kısımda Glutopik parametreleri ile daha çok Ekstensograf enerji değeri arasında ilişki kurulmuştur. Farinograf su absorpsiyon değeri ile maksimum tork arasında (her iki kısım çalışmada da aynı düzeyde) pozitif yönde ilişki olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ekmeklik buğday, TS 2974 Buğday standardı, Tasnif, Glutopik.

Determination of the Usability of Glutopik Analysis on Classification and Evaluation of Bread Wheat Varieties (*Triticum aestivum* L.) in the Same Category

Abstract

In this study, firstly Farinograph and Extensograph properties of bread wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) in the same category according to the TS 2974 Wheat standard were determined. Then it is aimed to determine the examination of compliance with the Soil Products Office's grain purchase criteria and the availability of Glutopik analysis within the frame of classification and evaluation. The presented study consists of two parts: In the first part; three different grinding techniques in the form of tempered, no tempered and whole wheat flour were applied to 6 different wheat samples whose basic technological and rheological properties were determined, and glutopik analysis was also applied to the samples. In the second part, 36 different wheat varieties classified according to the TS 2974 wheat standard were analyzed. While the requirement of low amount of sample, short analysis time and giving information about gluten structure are creating the advantageous aspects of Glutopik device; the large variability of obtained data and when the research continues producing company's updating the software about device have suggested the necessity for further work needed to be done with the Glutopik device. In addition to this, it is determined that the water absorption of wheat flour

* Sorumlu Yazar: hdizlek@osmaniye.edu.tr

is high whose maximum torque value is high, the dough's resistance and extensibility increased and elasticity improved in parallel with A(0-5) area and distance's increasing. In the first part, a more correlation was established between Glutopeak parameters and Extensograph extensibility, while in the second part, a correlation was established between Glutopeak parameters and Extensograph energy value. It has been observed that there is a positive correlation between the Farinograph water absorption value and the maximum torque (at the same level in both parts study).

Keywords: Bread wheat, TS 2974 Wheat standard, Classification, Glutopeak.

1. Giriş

Buğdaylar, Türkiye'de TS 2974 (TSE, 2018) Buğday standardı çerçevesinde hazırlanan TMO Alım bareminde belirlenen kriterler doğrultusunda, yetkili sınıflandırıcı laboratuvarlar tarafından sınıflandırılmaktadır. Ancak aynı grup ve sınıfta yer alması nedeniyle aynı depoda sınıflandırılan bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin piyasada farklı fiyatlar üzerinden alınıp-satıldığı görülmektedir. Piyasada farklı fiyatlardan alınıp satılan ekmeklik buğday çeşitlerinin lisanslı depolarda aynı sınıfta depolanması ve depolanan ürünün piyasa fiyatının daha düşük gerçekleşmesi, ürünlerin lisanslı depoya götürülme riskini doğurmaktadır. Bu durum; depolamada reolojik değerler açısından yüksek kaliteli buğday çeşitlerinin diğer kalite bandındaki çeşitler ile karışmasına ve orta seviyede bir kalite sınıfının ortaya çıkmasına, ekmeklik buğday piyasasında yüksek kalitedeki buğday arzının düşmesine, bu nedenle iç piyasada kaliteli buğday piyasa fiyatlarının yükselmesine ve buğday ithalatının artmasına sebep olmaktadır (Dizlek ve Çeliker, 2017; Çeliker ve Dizlek, 2020).

Türkiye, özelde durum buğdayı (*Tr. durum*) genelde ise buğday üretiminde bölgesel olarak önemli bir aktördür. Ekmeklik buğdayda kalite kriterlerinin genel itibari ile %10-14 nem miktarına sahip, yabancı madde içeriği az, hektolitreye ağırlığı yüksek, homojen (irilik bakımından yeknesak) yapıda, ait olduğu tür ve çeşidin karakteristik özelliklerini taşıyan, yüksek un verimine sahip, protein ve gluten miktarı ile gluten kalitesi yüksek ve yeterli enzim etkinlik düzeyine sahip olması istenir (Posner ve Hibbs, 1997; Dizlek ve Özer, 2016).

Protein ve gluten miktarı, gluten indeksi, sedimantasyon değerleri, düşme sayısı ve fiziksel analizler buğday kalite değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, kalite hakkında sınırlı bilgilere ulaşılmakta ve bazı analizlerin tekrarlanabilirliği düşük ölçekte gerçekleşmektedir (Chandi ve Seetharaman, 2012). Hamurun reolojik özelliklerini belirleyen analizler (Farinograf, Ekstensograf, Alveograf, Miksograf vb.) daha kapsamlı bilgiler sağlayan, tekrarlanabilirliği yüksek testlerdir (Lukow ve ark., 1989). Ancak analiz sürelerinin uzun olması ve fazla miktarda numuneye ihtiyaç duyulması, bu reolojik analizlerin kullanılmasını kısıtlamaktadır (Chandi ve Seetharaman, 2012; Karaduman ve ark., 2015). Bu nedenle gluten kalitesinin tahmin edilebilmesi için, kısa süreli ve az numune ile çalışma yapılabilen yeni tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Buna yönelik yapılan araştırmalar sonucunda, Glutopik cihazı ile hızlı bir şekilde buğday kalitesi hakkında bilgi edinildiği ifade edilmiştir (Anonymus, 2018; Karaduman ve ark., 2019; Zawieja ve ark., 2020). Bu cihazın temel prensibi; belirli oranlardaki un-su karışımına uygulanan farklı yoğurma kuvveti (0-3000 d⁻¹ arası) ve bu kuvvete karşı oluşan tepkinin ve sürenin ölçülmesi, yani ilkin gluten ve gluten ağı oluşumu ve devam eden hızlı yoğurma ile oluşan ağı parçalanması ilkesine dayanmaktadır. Bu analizin temel çıktıları; maksimum noktaya ulaşmak için geçen süre, pik yüksekliği ve takip eden pikteki azalışın ölçülmesi olup, oldukça kısa süre içerisinde (buğday

çeşidine göre değişmekle birlikte genel itibari ile 1-4 d arasında) ölçüm yapılabilir (Karaduman ve ark., 2015).

Buğday unu sektöründe nispeten yeni bir ekipman olan Glutopik cihazı ile son yıllarda bazı çalışmalar yapılmıştır (Melnyk, 2011; Chandi ve Seetharaman, 2012; Brunnbauer ve ark., 2012; Marti ve ark., 2014 ve 2015; Karaduman ve ark., 2015 ve 2019; Sissons, 2016; Wang ve ark., 2017 ve 2018; Şanal ve ark., 2018; Malegori ve ark., 2018; Zawieja ve ark., 2020; Şahin ve ark., 2020). Genel olarak söz konusu araştırmalarda, buğday kalitesinin değerlendirilmesinde Glutopik parametrelerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Daha önce bir örneğine rastlamadığımız bu çalışmada, diğer vasıfları aynı hale getirilerek sadece protein miktarına göre sınıflandırılan ve temel reolojik özellikleri ortaya konulan muhtelif ekmeklik buğday çeşitlerinin (*Triticum aestivum* L.), Glutopik analizleri yapılarak buğday sınıflandırılmasında Glutopik cihazının kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Protein miktarının sınıflandırmadaki etkisini belirleyerek ortaya koymak amacıyla araştırmada kullanılan buğday örnekleri, öncelikle TS 2974 (TSE, 2018) doğrultusunda hazırlanan 2017-2018 Dönemi Hububat Alım Baremine göre, protein dışındaki diğer parametreleri müsavi (birbirine denk) hale getirmek için safiyet analizleri yapılmış (analiz yapılan numune içerisinde bulunan saf tohum ve numune ile istenmeyen diğer komponentlerin [diğer mahsul, ot tohumları, zararlı ot tohumları ve cansız yabancı madde vb.] ağırlıkça yüzde oranları tespit edilmiş), tüm numuneler TS 2974 standardı doğrultusunda aynı sınıfta olacak şekilde saf tohum dışında kalan komponentleri ayıklanmış ve temizlenmiştir. Böylelikle buğday numuneleri sadece protein miktarına göre sınıflandırılacak duruma getirilmiştir. Müsavi hale getirilen numunelerin TS 2974 (TSE, 2018) ve TMO Alım Bareminde (TMO, 2018) belirtilen metotlar doğrultusunda analizleri yapılmış ve bu kriterlere göre buğday grupları ile sınıfları tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan materyal ve bu materyalin temel özellikleri Çeliker ve Dizlek (2020)'de detaylı olarak belirtilmiştir. Yine "Buğday Grupları ve Sınıflarının Oluşturulması" ile "Buğday Gruplarının Sınıflandırılması ve Numuneleri Kıırma İşlemleri" ayrı alt başlıklar halinde söz konusu makalede verilmiş, bu nedenle burada verilmemiştir.

2.2. Buğday Kalite Analizleri

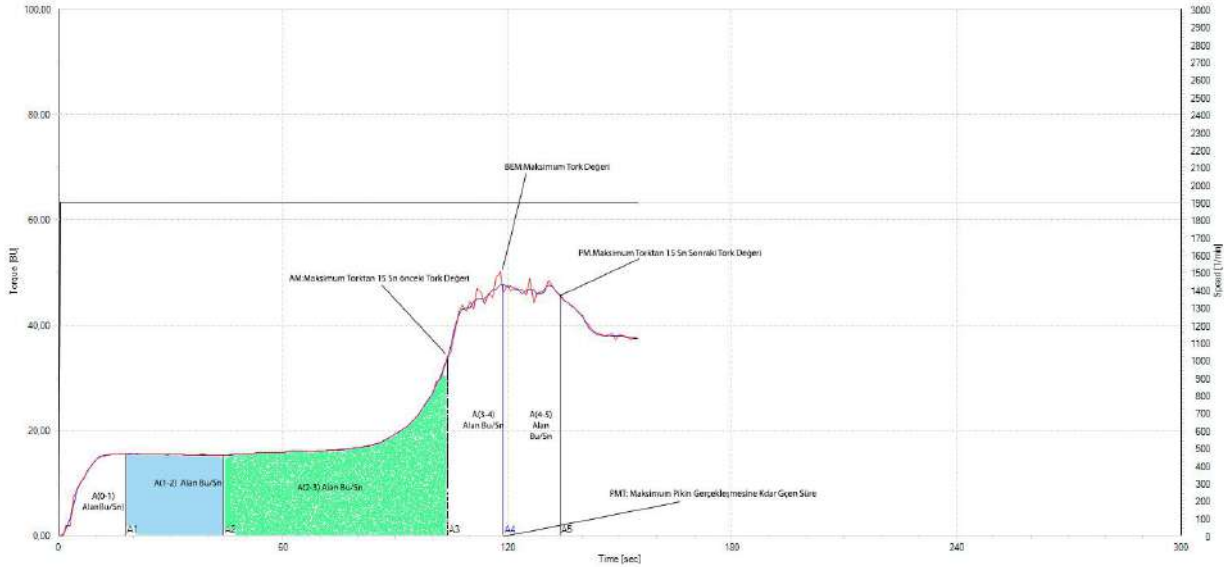
Hazırlanan numunelerin rutubet ve protein miktarı tayinleri TS EN 15948 (TSE, 2015a), yaş gluten miktarı ve gluten indeksi değeri TS EN ISO 21415-2 (TSE, 2016), sedimantasyon endeksi TS EN ISO 5529 (TSE, 2013a), gecikmeli sedimantasyon testi Greenaway ve ark. (1965), düşme sayısı TS EN ISO 3093 (TSE, 2013b), Farinograf ve Ekstensograf analizleri ise sırasıyla TS EN ISO 5530-1 (TSE, 2015b) ve TS EN ISO 5530-2 (TSE, 2015c) metotlarına göre yapılmıştır.

2.3. Glutopik Analizi

Protein, Farinograf ve Ekstensograf değerleri belirlenen buğday numuneleri, aralarındaki olası farkı ortaya koymak açısından üç farklı buğday kırma metodu ile öğütülmüş (tavlı, tavsız ve tam buğday unu olarak [tavlı öğütülen buğdayların un randımanı %60-65, tavsız öğütülen buğdayların un randımanı ise %40-45 aralığında belirlenmiştir]) ve Glutopik cihazında analizleri yapılmıştır. Çalışmada Glutopik ölçümlerinde Melnyk (2011) tarafından kullanılan yöntem esas alınmıştır. Buna göre, bir numune kabına toplamda 18 g olacak şekilde (%14 rutubete

göre 8.5 g numune ve 9.5 g 0.5 M CaCl₂ çözeltisi) eklenmiş, sabit 1900 d d⁻¹'da dönen bıçağın uyguladığı torka karşı oluşan direnç ölçülmüştür.

Glutopik cihazından elde edilen grafikten Maksimum tork (BEM), Maksimum pik süresi (PMT), Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri (AM), Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri (PM), A0 ile A1 arası alan (A(0-1)), A1 ile A2 arası alan (A(1-2)), A2 ile A3 arası alan (A(2-3)), A3 ile A4 arası alan (A(3-4)) ve A4 ile A5 arası alan (A(4-5)) belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Örnek bir Glutopik Grafiği

Glutopik cihazının yazılım güncelleme çalışmalarının devam ediyor olması ve parametreleri ile ilgili net bir bilginin tarafımıza sunulamamış olması, ayrıca yapılan çalışmalarda birbirinden oldukça farklı metodların kullanılmış olması ve literatürde birbirleriyle çelişen bulguların varlığı nedeniyle çalışma iki kısımdan oluşturulmuştur:

Birinci kısımda; protein, Farinograf ve Ekstensograf değerleri bilinen numuneler ile Glutopik analizleri yaparak cihazın parametreleri (BEM, PMT, AM, PM, A(0-1), A(1-2), A(2-3), A(3-4) ve A(4-5)) hakkında daha net bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

İkinci kısımda; TS 2974 (TSE, 2018) buğday standardına göre sınıflandırılan 36 çeşit numune ile analizler yapılmıştır. Cihazın yeni yazılımında; A(0-1) alan adı "Start-up energy (Başlangıç enerjisi)", A(1-2) alan adı "Plateau energy (Plato enerjisi)" olarak adlandırılmış olup, A(2-3) parametresi yeni parametreler arasından çıkarılmış ve A(3-4) ile A(4-5) alan değerleri birleştirilerek A(3-5) "Aggregation energy (Toplanma enerjisi)" olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle "Araştırma Sonuçları ve Tartışma" kısmında Glutopik cihazı ile gerçekleştirilen ikinci kısım çalışmalarda cihazın yeni parametrelerine yer verilmiştir.

2.4. İstatistiksel Analizler

Denemelerde değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyi ölçülmeye çalışılmış ve analizleri yapılan buğday-un örneklerine ait değerler arasındaki korelasyon ilişkisi JMP Release 5.0, Windows NT 6.1, SAS Institute 1989-2002 programı ile belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Birinci Kısım Analizler

3.1.1. Glutopik Cihazı Parametrelerinin Protein Miktarı ile Karşılaştırılması

Protein ve gluten miktarı farklı olduğu bilinen altı çeşit buğday, Glutopik analizleri için öğütme metodundan kaynaklanacak tesirin de görülebilmesi amacıyla iki farklı şekilde öğütülmüştür: tam buğday unu ve tavlı öğütülmüş buğday unu. Glutopik cihazında yapılan analizlere ait bulgular Çizelge 1 ve 3'de, bu bulguların protein-gluten miktarları ile korelasyon ilişkisi ise Çizelge 2 ve 4'de verilmiştir. Çizelge 2'de sunulan analiz bulgularına göre, Glutopik cihazı parametrelerinden maksimum pik süresi ile gluten miktarı arasında negatif yönde 0.88 (P<0.01) düzeyinde önemli bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

Çizelge 1. Farklı Buğday Çeşitlerinin Tam Buğday Unu Numunelerine Ait Protein-Gluten Miktarları İle Bu Buğdayların Glutopik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tam Buğday Unu	Protein Miktarı (%)	Gluten Miktarı (%)	Gluten İndeks (%)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	A(0-1) (GPI, Alan)	A(1-2) (GPI, Alan)	A(2-3) (GPI, Alan)	A(3-4) (GPI, Alan)	A(4-5) (GPI, Alan)
Adana-99	12.4	24.5	95	82	45	22	34	1451	1451	914	537	572
Abuşbey	12.9	38.8	57	59	53	48	44	1353	155	512	769	703
Bahaki	13.6	37.8	44	63	54	25	46	119	64	593	673	746
Sibirya	14.3	33.9	81	80	54	51	41	1890	322	643	804	675
Wafia	15.9	41.9	45	54	50	25	40	1243	1243	637	606	670
GWB-47	16.7	42.4	60	42	81	66	64	2144	2144	1049	1095	1072

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

Çizelge 2. Çizelge 1’de Verilen Buğday Çeşitlerinin Tam Buğday Unu Numunelerine Ait Protein-Gluten Miktarları İle Bu Buğdayların Glutopik Analiz Sonuçlarının Korelasyon İlişkisi

Tam Buğday Unu	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	A(0-1) (GPI, Alan)	A(1-2) (GPI, Alan)	A(2-3) (GPI, Alan)	A(3-4) (GPI, Alan)	A(4-5) (GPI, Alan)
Protein	-0.73	0.72	0.47	0.68	0.4	0.58	0.38	0.62	0.72
Gluten	-0.88**	0.58	0.43	0.66	0	0.05	-0.18	0.55	0.64
Gluten indeks	0.74	-0.23	0.03	-0.39	0.5	0.21	0.42	-0.15	-0.35

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

*P<0.05 seviyesinde önemli, **P<0.01 seviyesinde önemli.

Çizelge 3. Farklı Buğday Çeşitlerinin Tavlı Öğütülmüş Buğday Unu Numunelerine Ait Protein-Gluten Miktarları İle Bu Buğdayların Glutopik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tavlı Öğütülmüş Un	Protein Miktarı (%)	Gluten Miktarı (%)	Gluten İndeks (%)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	A(0-1) (GPI, Alan)	A(1-2) (GPI, Alan)	A(2-3) (GPI, Alan)	A(3-4) (GPI, Alan)	A(4-5) (GPI, Alan)
Adana-99	12.4	24.5	95	135	46	37	40	258	437	1176	666	662
Abuşbey	12.9	38.8	57	56	52	29	45	1410	1410	730	680	740
Babahaki	13.6	37.8	44	67	51	24	44	123	161	556	635	739
Sibirya	14.3	33.9	81	114	54	52	47	149	101	2573	767	736
Wafia	15.9	41.9	45	48	49	25	41	1106	1106	544	562	694
GWB-47	16.7	42.4	60	62	59	52	50	1485	336	557	844	818

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

Çizelge 4. Çizelge 3’de Verilen Buğday Çeşitlerinin Tavlı Öğütülmüş Buğday Unu Numunelerine Ait Protein-Gluten Miktarları İle Bu Buğdayların Glutopik Analiz Sonuçlarının Korelasyon İlişkisi

Tavlı Öğütülmüş Un	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	A(0-1) (GPI, Alan)	A(1-2) (GPI, Alan)	A(2-3) (GPI, Alan)	A(3-4) (GPI, Alan)	A(4-5) (GPI, Alan)
Protein	-0.52	0.64	0.34	0.5	0.51	-0.07	-0.21	0.31	0.59
Gluten	-0.93**	0.61	-0.12	0.49	0.67	0.32	-0.47	0.06	0.66
Gluten İndeks	0.94**	-0.23	0.56	-0.12	-0.41	-0.35	0.66	0.35	-0.36

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

*P<0.05 seviyesinde önemli, **P<0.01 seviyesinde önemli.

Çizelge 4’de tavlı öğütülmüş un numunelerinde yapılan Glutopik analizi neticesinde, gluten miktarı ile maksimum pik süresi arasında $r = -0.93$ ($P<0.01$) düzeyinde negatif yönde korelasyon olduğu, gluten indeks değeri ile $r = 0.94$ ($P<0.01$) düzeyinde pozitif yönde bir korelasyon ilişkisi saptanmıştır. Sonuç olarak, maksimum pik süresi ile gluten miktarı arasında negatif, gluten indeks değeri arasında ise pozitif yönde korelasyon olduğu görülmüştür. Elgün ve Ertugay (1997), unun

gluten miktarındaki artışın gelişme süresini arttırdığını bildirmişlerdir. Buna göre gluten miktarı ile maksimum pik süresi arasında pozitif yönde bir ilişki olması beklenir. Bu çalışmada gluten miktarı artışının unun su absorbe etme hızını arttırdığı saptanmıştır.

3.1.2. Glutopik Cihazı Parametrelerinin Ekstensograf Değerleri ile Karşılaştırılması

Araştırmanın bu bölümünde altı farklı buğday çeşidi ile çalışılmıştır. Bunlar yerli buğday çeşitleri olan Pandas, Bezostaja, Adana-99 ile ithal buğday çeşitleri Litvanya, Sibirya

ve Rus buğdaylarıdır (Çizelge 5). Ekstensograf analizleri (Çizelge 6) yapılan bu çeşitlerin uzaya bilirlilik değerleri ile tavlı, tavsız ve tam buğday unu olarak öğütülmüş numunelerin Glutopik analiz sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 5. Üç Farklı Metotla Kırılmış Altı Çeşit Buğday Numunesinin (Pandas, Bezostaja, Adana-99, Litvanya, Sibirya, Rus) Ekstensograf 135. d Uzama Yeteneği Değerleri İle Yüksek Korelasyon İlişkisi Gösteren Glutopik Parametreleri

Un Örneği	BEM	AM	A(2-3)	A(3-4)
Tavlı	0.80*	0.88*	0.96**	0.90*
Tavsız	0.62	0.65	0.71	0.71
Tam Buğday	0.85*	0.89*	0.22	0.95**

BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan.

*P<0.05 seviyesinde önemli, **P<0.01 seviyesinde önemli.

Çizelge 5’de görüleceği üzere, Ekstensograf analizinin 135. dakikasındaki ölçüme ilişkin uzama kabiliyeti ile Glutopik maksimum tork, maksimum tork sonrası tork, A(2-3) ve A(3-4) alan değerleri arasında çok yüksek düzeyde pozitif bir korelasyon olduğu görülmüştür. 135. dakikadaki uzama kabiliyetinin maksimum tork değeri ile tavlı kırılmış numune üzerinde yapılan analizinde, $r = 0.80$ ($P < 0.05$) oranında bir ilişki gözlenmişken, çekiçli değirmende öğütülmüş numunede ise ilişkinin $r = 0.85$ ($P < 0.05$) düzeyinde gerçekleştiği görülmüştür. 135. dakikadaki uzama kabiliyetinin maksimum tork 15 s sonrası tork değeri ile ilişkisine bakıldığında, tavlı kırılmış numunede 0.88 ($P < 0.05$) ve çekiçli değirmende kırılmış tam buğday unu numunesinde ise 0.89 ($P < 0.05$) düzeyinde ilişki olduğu görülmüştür. 135. dakikadaki hamur uzama yeteneğinin tavlı kırılmış numunenin Glutopik analiz parametresi olan A(2-3) değeri ile $r = 0.96$ ($P < 0.01$) düzeyinde oldukça yüksek olan ilişkisinin tavsız ve tam buğday unu numunelerinde çok düşük olduğu görülmüştür. 135. dakikadaki uzama kabiliyetinin tavlı un numunesinin A(3-4) değeri ile 0.90 ($P < 0.05$) düzeyinde olan ilişkisi, tam buğday ununda 0.95 ($P < 0.01$) düzeyinde gerçekleşmiştir. Sonuçların incelenmesiyle; ortamda bulunan suyun absorbe edilmeye başlandığı A(2-3) alan ile suyun maksimum absorbe edildiği an olduğunu değerlendirdiğimiz maksimum torka kadar geçen kısım olan A(3-4) alanlarının büyüklüğü, çeşidin uzama kabiliyeti ile pozitif yönde bir ilişki göstermiştir.

Çalışmada kullanılan numunelerin Glutopik sonuçları ile Ekstensograf maksimum direnç değerleri Çizelge 6’da, Ekstensograf 135. d maksimum direnç değerleri ile maksimum pik süresi arasındaki korelasyon ilişkisi ise Çizelge 8’de sunulmuştur. Çizelge 8’de verilen korelasyon düzeyleri karşılaştırmasında, tavlı un numunesinde maksimum pik süresi ile Ekstensograf 135. d maksimum direnç değeri arasında $r = 0.74$ düzeyinde ilişki görülmüştür.

Çizelge 6. Glutopik Analizleri Yapılan Altı Farklı Buğday Çeşidinin Bazı Ekstensograf Ve Su Absorbsiyon İle Düşme Sayısı Değerleri

Örnek Adı	45. d			90. d			135. d			Su Absorbsiyonu (500 FU) [%]	Düşme Sayısı (s)
	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Maksimum Direnç (BU)	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Maksimum Direnç (BU)	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Maksimum Direnç (BU)		
Pandas	106	166.1	480	95.7	162.9	441.3	106	166.1	480.1	62	473
Rus (İthal)	115.9	171.1	519.6	141.1	171.3	643.6	148.7	171.4	666.5	59	395
Bezostaja	71.6	136	384.7	71.7	130.9	419.5	67.2	122.7	418.4	60	415
Litvanya (İthal)	87.3	167.9	382.5	102.9	170	453.9	88.8	156.9	424.4	61	324
Adana-99	103.6	170.4	464.1	122.2	156.5	611.7	133.7	156.9	682.9	59	400
Sibirya (İthal)	108	205.2	385.2	117.4	213.4	410.8	120.9	215.2	419.7	63	358

Çizelge 7. Üç Farklı Şekilde Öğütülmüş Altı Farklı Buğday Çeşidinin Glutopik Testi Sonuçları

Örnek Adları	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	A(0-1) (GPI, Alan)	A(1-2) (GPI, Alan)	A(2-3) (GPI, Alan)	A(3-4) (GPI, Alan)	A(4-5) (GPI, Alan)
Tavsız Öğütülmüş Buğday Unu (un randımanı %40-45)									
Pandas	56	63	57	51	1540	290	522	881	836
Rus (İthal)	93	53	51	46	1459	243	554	780	720
Bezostaja	58	54	41	43	1685	1685	910	775	709
Litvanya (İthal)	64	57	56	50	1122	106	379	843	794
Adana-99	69	53	35	42	1845	1845	1099	746	703
Sibirya (İthal)	95	63	60	56	322	78	2820	924	851
Tavlı Öğütülmüş Buğday Unu (un randımanı %60-65)									
Pandas	69	50	45	45	1829	1829	1101	718	731
Rus (İthal)	126	47	44	38	115	247	1836	685	642
Bezostaja	72	47	25	41	362	81	462	603	691
Litvanya (İthal)	91	48	46	42	117	82	1459	716	654
Adana-99	135	46	37	40	258	437	1176	666	662
Sibirya (İthal)	114	54	52	47	149	101	2573	767	736
Tam Buğday Unu									
Pandas	53	51	27	38	1198	1198	1268		
Rus (İthal)	64	52	23	40	1303	1303	702	601	693
Bezostaja	54	44	20	33	1001	1001	502	498	561
Litvanya (İthal)	54	50	24	40	1097	1097	524	573	646
Adana-99	82	45	22	34	1451	1451	914	537	572
Sibirya (İthal)	80	54	51	41	1890	322	643	804	675

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

Çizelge 8. Üç Farklı Metotla Kırılmış Altı Çeşit Buğday Numunesinin (Pandas, Bezostaja, Adana-99, Litvanya, Sibiry, Rus) Ekstensograf 135. D Maksimum Direnç Değerleri İle Glutopik Maksimum Pik Süresi Arasındaki Korelasyon İlişkisi

Un Örneği	Maksimum Pik Süresi
Tavlı	0.74
Tavsız	0.28
Tam Buğday	0.44

*P<0.05 seviyesinde önemli, **P<0.01 seviyesinde önemli.

3.1.3. Glutopik Cihazı Parametrelerinin Farinograf Su Absorbsiyon ve Düşme Sayısı Değerleri ile Karşılaştırılması

Tam buğday unu şeklinde öğütülmüş numuneler dışında tavlı ve tavsız olarak öğütülen buğday örneklerine ait unların su absorpsiyon değerleri ile Maksimum Tork değerleri arasında önemli bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Çizelge 9'da görüleceği üzere tavlansız olarak öğütülmüş buğday ununda en yüksek korelasyon ilişkisi Maksimum Tork ve Maksimum Tork 15 s sonrası parametrelerinde görülmüştür. Tavsız öğütülmüş buğday ununda yapılan analizde Maksimum Tork ve A(4-5) parametrelerinde, tam buğday unu olarak öğütülmüş buğday ununda yapılan analizlerde ise en yüksek korelasyon ilişkisi Maksimum Tork 15 s öncesi ile A(3-4) parametre değerlerinde görülmüştür. Netice olarak özellikle Maksimum Tork

parametresi ile unun su absorpsiyon değeri hakkında daha kuvvetli bir şekilde bilgi sahibi olunabileceği öngörülmektedir (Çizelge 6). Wang ve ark. (2017), su absorpsiyon değerleri benzer olan un numunelerinde yapılan analizlerde; un mukavemetinin artmasıyla birlikte maksimum pik zamanı ve maksimum pik noktasına kadar olan alan değerinin arttığını, maksimum torkta ise çok az değişiklik gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Zawieja ve ark. (2020), farinograf su absorpsiyon değeri ile Glutopik maksimum tork değeri arasında $r = 0.85$, maksimum pik süresi arasında $r = 0.45$ düzeyinde korelasyon ilişkisi belirlemişlerdir.

Çizelge 9. Üç Farklı Metotla Kırılmış Altı Çeşit Buğday Numunesinin (Pandas, Bezostaja, Adana-99, Litvanya, Sibiry, Rus) Farinograf Su Absorbsiyon Değerleri İle Glutopik Cihazı Parametreleri Arasındaki Korelasyon İlişkisi

Un Örneği	PMT	BEM	AM	PM	A(0-1)	A(1-2)	A(2-3)	A(3-4)	A(4-5)
Tavlı	-0.41	0.93**	0.59	0.97**	0.36	0.27	0.45	0.73	0.84*
Tavsız	0.14	0.94**	0.72	0.90**	-0.73	-0.57	0.57	0.92**	0.95**
Tam Buğday	0.22	0.64	0.81	0.55	0.75	-0.79*	-0.06	0.85	0.05

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

*P<0.05 seviyesinde önemli, **P<0.01 seviyesinde önemli.

Düşme sayısı ile aynı numunelerin Glutopik analiz parametreleri değerleri karşılaştırılmış, sonuçlar Çizelge 6'da verilmiş ve sadece tavlansız olarak öğütülmüş buğday unu numunelerinde Çizelge 10'da görüleceği üzere, düşme sayısı değeriyle A(0-1) arasında $r = 0.82$ ($P<0.05$) düzeyinde korelasyon olduğu görülmüştür. Bu alan, hamurun su ile ilk temas bölgesi olup glutenin gelişmeye henüz başlamadığı ve

sadece nişasta ile suyun birleşiminden oluşan kıvam yoğunluğunun bıçağa uyguladığı karşı kuvvet alanı olarak değerlendirilmiştir. Bunun, aynı değirmende öğütülmeleri nedeniyle zedelenmiş nişasta miktarları aynı düzeyde olduğu kabul edilen unlardaki amilaz aktivitesinin etkisini ortaya çıkardığı ve amilaz aktivitesi düşük yani düşme sayısı değeri yüksek olan çeşitlerin zedelenmiş nişastaya etkisinin az olması nedeniyle Glutopik A(0-1) parametre değeri ile aynı yönde ilişki içinde olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 10. Üç Farklı Metotla Kırılmış Altı Çeşit Buğday Numunesinin Düşme Sayısı Değerleri İle Glutopik Cihazı Parametreleri Arasındaki Korelasyon İlişkisi

Un Örneği	PMT	BEM	AM	PM	A(0-1)	A(1-2)	A(2-3)	A(3-4)	A(4-5)
Tavlı	-0.38	-0.12	-0.33	0.02	0.82*	0.80	-0.50	-0.31	0.38
Tavsız	-0.42	0.14	-0.20	-0.25	0.56	0.28	-0.27	-0.11	-0.07
Tam Buğday	-0.25	-0.22	-0.28	-0.44	-0.17	0.36	0.33	-0.44	-0.51

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

*P<0.05 seviyesinde önemli, **P<0.01 seviyesinde önemli.

Özetlenecek olursa (Çizelge 7); buğdaylarda maksimum pik süresi ile gluten miktarı arasında negatif, gluten indeks değeri arasında pozitif yönde bir korelasyon olduğu görülmüştür. Ekstensograf analizi 135. dakikadaki hamur uzama kabiliyetinin tavlı, tavsız öğütülmüş un ve çekiçli değirmende öğütülmüş tam buğday unu numunelerinde önemli sayılabilecek ilişkisinin A(3-4) değeri, maksimum tork ve maksimum tork sonrası tork değerleri ile olduğu görülmüştür. Ekstensograf maksimum direnç değerleri ile Glutopik parametreleri arasında ilişkinin zayıf olduğu görülmüştür. Farinograf su absorpsiyon değerleri ile Glutopik parametreleri arasında yapılan değerlendirmede, su absorpsiyonunun özellikle maksimum tork değeri ile pozitif korelasyonunun olduğu gözlenmiştir. Glutopik verilerinin düşme sayısı değeri ile olan ilişkisine bakıldığında, sadece tavlanaarak öğütülmüş buğday ununda A(0-1) parametre değeri ile düşme sayısı arasında bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

Çalışmadan elde edilen bulgularla genel olarak uyumlu bir biçimde Brunnbauer ve ark. (2012); 9 buğday çeşidini Glutopik cihazıyla analize tabi tuttukları çalışmalarında; maksimum pik süresi değerinin hamur gelişme süresi ile $r = 0.735$, maksimum tork ile protein miktarı arasında 0.956 , uzama kabiliyeti arasında 0.664 , ekmek hacmi arasında 0.768 değerinde ilişki bulunduğunu, sonuçların protein içeriği ve ekmek hacmi ile yüksek korelasyon gösterdiğini, bununla birlikte zayıf ekmeklik özelliklere sahip bazı buğday çeşitlerinin bu korelasyonlara uymadığını bildirmişlerdir. Marti ve ark. (2014), Glutopik çalışmasında, protein içeriği ve maksimum pik arasında anlamlı bir pozitif korelasyon ($r = 0.70$, $P < 0.01$) ilişkisinin gözlemlendiğini, pikin altındaki alan ve gluten arasında pozitif korelasyon değerine ulaşıldığını ($r = 0.76$, $P < 0.01$) bildirmişlerdir. Söz konusu araştırmacılar ayrıca, Glutopik testinde, iyi kalitedeki buğdayların alanının 2400 AU değerinden büyük olmasıyla numunelerin kalitesiz olanlardan (alan < 2400 AU) ayırt edilebildiğini bildirmişlerdir. Wang ve ark. (2018) Glutopik test cihazının, tam buğday unlarında gluten oluşumunun değerlendirilmesinde etkin biçimde kullanılabilirliğini; Karaduman ve ark. (2019) Glutopik Maksimum Tork değerinin buğday genotiplerinin protein kalitesini ayırt etmek için yararlı bir parametre olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, Sissons (2016)'ın bildiriyle de uyumlu olarak Maksimum Tork ve Maksimum Tork 15 s sonrası tork değeri ile orta, zayıf ve çok zayıf un gruplarının açıkça birbirinden ayırt edilebildiğini ve söz konusu değerlerin tam buğday unlarındaki gluten'in kuvvetiyle yüksek oranda korelasyon gösterdiğini ifade etmişlerdir. Wang ve ark. (2017), Glutopik kuvvet indeksinin, pik maksimum alan ve zaman, pik maksimum tork, ekstensograf maksimum direnç ve alan, farinograf stabilite ve yoğurma tolerans indeksi gibi un-hamur mukavemet parametreleri ile önemli korelasyonlar ($P < 0.05$) sergilediğini ifade etmişlerdir.

3.2. İkinci Kısım Analizler

Çalışmanın bu bölümünde Glutopik cihazı parametreleri hakkında edinilen bilgiler ışığında TS 2974 Buğday standardı (TSE, 2018) ve bu doğrultuda hazırlanmış 2018 yılı TMO Alım Baremine göre yapılan sınıflandırma ile Farinograf ve Ekstensograf değerleri karşılaştırılmıştır. İkinci kısım Glutopik analizlerinde, üretici firma mevcut yazılımı güncellemiş ve yeni yazılımın kullanımını tavsiye etmiştir. Analizlere ait veriler Çizelge 11'de sunulmuştur.

Çizelge 12'nin incelenmesiyle de görülebileceği gibi, protein miktarı ile en yüksek korelasyon ilişkisinin tavsız ve tavlı öğütülmüş unda $r = 0.67$ ($P < 0.01$) düzeyinde Maksimum

Tork parametresi ile; protein miktarı ile tam buğday unu olarak öğütülmüş numunelerde ise en yüksek korelasyonun $r = 0.65$ ($P < 0.05$) düzeyinde Toplanma enerjisi arasında olduğu görülmüştür. Özellikle Anadolu Beyaz Sert ve Anadolu Kırmızı Sert grubundaki buğdaylar ile korelasyon ilişkisinin $r = 0.70-0.84$ aralığında ($P < 0.01$) olduğu görülmüştür.

Brunnbauer ve ark. (2012)'nin yapmış olduğu çalışmada maksimum tork ile protein arasında $r = 0.956$ oranında bir korelasyon ilişkisi olduğu belirlenmiş, Marti ve ark. (2014)'nin yapmış olduğu çalışmada ise protein içeriği ve maksimum tork arasında anlamlı bir pozitif korelasyon ($r = 0.70$, $P < 0.01$) gözlemlendiği belirtilmiştir. Benzer biçimde Amoriello ve ark. (2016), Glutopik cihazının unun protein içeriğini değerlendirmede yararlı bir araç olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlar ile çalışmadan elde edilen bulguların nispeten uyumlu olduğu görülmüştür. Protein miktarının fazla olmasının cihazın bıçağının çevirme gücüne karşı oluşan tepki gücünün yani torkun artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Glutopik cihazından elde edilen verilerin Ekstensograf parametreleri ile olan ilişkisi incelendiğinde (Çizelge 13); özellikle 135. d çizim parametrelerinden enerji değeri ile tavsız öğütülmüş numunelerde maksimum pik süresinin $r = 0.78$ ($P < 0.01$), tavlı öğütülmüş numunede $r = 0.51$ ($P < 0.01$) ve tam buğday unu olarak öğütülmüş numunede $r = 0.60$ ($P < 0.01$) düzeyinde önemli bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Bu bulgular, gerek uzama yeteneğinin ve gerekse maksimum direnç değerinin PMT ile olan ilişkisi konusunda bize fikir vermekte olup, gluten gelişim süresi ve dönme kuvvetine karşı oluşan mukavemetin süresinin PMT parametre değerini belirlediği düşüncesi ile örtüşmektedir. Tam buğday unu olarak öğütülmüş numunelerde başlangıç enerjisi ile Ekstensograf 135. d enerji değeri arasında $r = 0.78$ ($P < 0.01$), maksimum direnç arasında $r = 0.69$ ($P < 0.01$) düzeyinde bir ilişki olduğu görülmüştür. Uzama yeteneği ile birinci kısma göre ikinci kısımda yapılan çalışmada Glutopik parametreleri ile daha zayıf bir ilişki olduğu görülmüş, özellikle Ekstensograf enerji değeri ile daha kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Birinci kısımda yapmış olduğumuz çalışmada da maksimum direnç ile Glutopik değerleri arasında ilişki olmadığı görülmüştür.

Elde edilen verilerin genel olarak incelenmesiyle; tavlı ve tavsız öğütülen numuneler ile Glutopik parametrelerinin korelasyon ilişkisinin tam buğday unu ile öğütülmüş numunelere göre daha az olduğu görülmüştür. Birinci kısımda yapmış olduğumuz çalışmada ise daha çok tavlı öğütülmüş numunelerde korelasyon ilişkisinin gerek su absorpsiyon değeri ile gerekse Ekstensograf uzama kabiliyeti ile daha iyi olduğu izlenmiştir. Lu ve Seetharaman (2014), genellikle sert buğday unları ile yapılan glutopik çizimlerinin yumuşak buğday unları ile yapılan çizimlere göre daha uzun PMT ve daha yüksek BEM değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Farinograf su absorpsiyon değeri ile Glutopik değerleri karşılaştırıldığında, birinci kısımda yapmış olduğumuz çalışmaya benzer olarak, tavlı öğütülmüş buğday ununda maksimum tork ile $r = 0.80$ ($P < 0.01$) düzeyinde pozitif yönde bir korelasyon olduğu görülmüştür. Analiz metoduna bakıldığında standart olarak bir hacim alanda rutubet değerine göre verilen su miktarının, glutenin su absorpsiyon yeteneğine göre oluşumu sırasında ortamdaki su miktarını azalttığı, bunda dönen bıçağa karşı oluşan kuvveti yani oluşan maksimum torku arttırdığı kanısına varılmıştır. Ayrıca Başlangıç enerjisi ile $r = 0.73$ ($P < 0.01$) düzeyinde bir ilişki olduğu, Maksimum pik süresi ile r

= -0.62 ($P < 0.01$) düzeyinde negatif yönde bir ilişkinin olduğu, bunun dışında kalan diğer Farinograf parametreleri ile Glutopik değerleri arasında çok fazla (anlamlı) bir ilişki olmadığı görülmüştür (Çizelge 13). Benzer biçimde Şanal ve ark. (2018) Farinograf su absorpsiyon değeri ile Glutopik maksimum pik süresi arasında negatif yönde bir korelasyon ($r = -0.25$) olduğunu bildirmişlerdir.

Özetle Glutopik başlangıç enerjisi ile Ekstensograf uzama kabiliyeti ve enerji değerleri arasında, Farinograf su absorpsiyon düzeyi ile Glutopik maksimum tork ve başlangıç enerjisi arasında bir korelasyon olduğu görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen bulgularla uyumlu olarak Marti ve ark. (2015); GlutoPeak cihazının un kalitesini ortaya koyan hızlı bir test cihazı olarak potansiyel gösterilse, literatür çalışmalarında kullanılan farklı yazılımlar ve bu çerçevede farklı test koşullarının (yani un-su oranı ve karıştırma hızı) bu cihazdan elde edilen sonuçların birbirleriyle karşılaştırılmasını güçleştirdiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 11. Çalışmada Kullanılan Örneklerin Bazı Ekstensograf Değerleri İle Üç Farklı Şekilde Öğütülerek Yapılan Glutopik Testine Ait Verilerin Karşılaştırılması

No	Grup ¹	Örnek Kodu	45. d											90. d				135. d				Tavsız Öğütülmüş Un				Tavh Öğütülmüş Un				Tam Buğday Unu				
			Protein (%)	Sedimentasyon (ml)	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Maksimum Direnç (BU)	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Maksimum Direnç (BU)	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Maksimum Direnç (BU)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	Başlangıç Enerjisi (GPI)	Plato Enerjisi (GPI)	Toplanma Enerjisi (GPI)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	Başlangıç Enerjisi (GPI)	Plato Enerjisi (GPI)	Toplanma Enerjisi (GPI)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	Başlangıç Enerjisi (GPI)	Plato Enerjisi (GPI)	Toplanma Enerjisi (GPI)
1	ABS	2CYH-ABS-3	11.6	35	108	155	515	134	144	716	141	136	832	59	47	27	39	1395	1395	1236	62	44	20	39	103	111	1174	71	43	22	33	1240	1240	1062
2	DK	PHV1-DK-2	13	32	62	139	315	70	128	400	40	63	534	33	54	27	45	945	945	1429	53	46	21	40	1091	1091	1229	42	44	17	33	741	741	1020
3	AKS	SKT-AKS-2	12.9	35	67	139	344	71	130	399	77	126	461	45	53	23	43	1101	1101	1337	61	49	31	40	1175	147	1368	57	44	18	33	957	957	1053
4	DB	VAF-DB-1	14	24	67	130	367	70	126	410	70	122	431	42	52	23	37	1010	1010	1235	60	48	26	36	1312	1312	1243	56	40	20	32	961	961	1016
5	DK	PHV-DK-4	11.4	31	63	134	338	64	111	424	71	117	455	37	51	24	40	964	964	1288	62	44	20	39	103	111	1174	49	42	18	32	812	812	963
6	DB	VAF-DB-4	11.7	29	68	132	365	71	118	451	64	108	449	49	47	21	36	1045	1045	1137	70	45	19	35	178	57	1107	61	39	17	27	916	916	911
7	AKS	ESP-AKS-2	13.1	40	110	157	526	112	144	605	110	136	624	71	54	46	44	1937	1937	1494	101	44	28	42	100	333	1269	63	45	20	35	1101	1101	1093
8	AKS	SKT-AKS-1	13.6	36	71	142	371	79	133	440	85	130	499	68	48	35	38	156	28	1359	71	49	45	41	1227	338	1396	51	50	20	37	1026	1026	1221
9	AKS	SKT-AKS-4	11.3	28	79	135	437	97	116	642	101	109	730	40	47	26	37	1012	1012	1183	91	43	24	36	196	39	1180	62	42	18	33	963	963	1014
10	AKS	ESP-AKS-3	12.6	39	94	151	459	111	141	617	111	128	679	70	51	27	42	1567	1567	1312	87	47	26	40	170	178	1264	60	42	23	32	1104	1104	1052
11	AKS	SKT-AKS-3	11.9	30	49	130	263	60	131	330	61	123	359	41	49	27	38	1014	1014	1229	57	46	20	38	1080	1080	1161	58	43	18	32	962	962	1039
12	DB	VAF-DB-3	12	25	62	132	332	69	123	408	64	116	406	49	43	19	34	955	655	1050	60	45	20	34	1162	1162	1104	57	39	18	28	908	908	923
13	DK	PHV2-DK-2	13	34	61	133	324	68	124	399	75	117	471	34	56	30	43	1047	1047	1432	37	47	22	42	859	859	1219	38	42	19	31	744	744	1018
14	DB	VAF-DB-2	13.1	30	67	127	386	85	129	488	83	125	504	42	49	22	36	952	952	1166	40	49	27	36	1083	1083	1241	58	41	18	31	923	923	997
15	ABS	CYH-ABS-1	13.6	42	130	164	603	155	150	823	147	135	887	70	51	33	41	1706	1706	1384	58	48	29	42	327	90	1363	72	46	22	35	1262	1262	1122
16	AKS	ESP-AKS-1	15	61	132	184	551	143	162	698	155	159	785	72	60	59	50	1751	233	1698	100	51	50	44	124	125	1461	61	53	24	42	1307	1307	1366
17	AKS	RML-AKS-3	12.2	35	84	126	495	97	105	732	105	98	868	49	45	26	44	1196	1196	1226	70	50	27	42	1598	1598	1351	73	38	26	34	1318	1318	1048
18	AKS	RML-AKS-2	12.9	40	97	138	531	118	117	796	121	114	864	50	52	30	45	1318	1318	1306	55	50	36	42	1625	1625	1382	65	44	26	35	1290	1290	1118

Çizelge 11'in Devamı: Çalışmada Kullanılan Örneklerin Bazı Ekstensograf Değerleri İle Üç Farklı Şekilde Öğütülerek Yapılan Glutopik Testine Ait Verilerin Karşılaştırılması

No	Grup ¹	Örnek Kodu	Protein (%)	Sedimentasyon (ml)	45. d		90. d		135. d		Tavsız öğütülmüş un				Tavlı öğütülmüş un				Tam buğday unu															
					Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	Başlangıç Enerjisi (GPI)	Plato Enerjisi (GPI)	Toplanma Enerjisi (GPI)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	Başlangıç Enerjisi (GPI)	Plato Enerjisi (GPI)	Toplanma Enerjisi (GPI)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	Başlangıç Enerjisi (GPI)	Plato Enerjisi (GPI)	Toplanma Enerjisi (GPI)			
19	ABS	CYH-ABS-3	11.9	38	150	500	139	139	785	121	120	814	75	46	23	37	233	205	1217	88	46	23	40	125	229	1219	76	43	20	33	1207	1207	1042	
20	ABS	CYH-ABS-2	12.7	35	98	165	449	115	145	632	114	137	664	60	51	28	37	1432	1432	1334	78	48	24	41	212	182	1311	66	46	19	31	1097	1097	1093
21	AKS	RML-AKS-4	11.3	44	89	131	509	121	121	773	111	106	848	58	52	32	44	1540	1540	1389	107	47	44	40	135	295	1356	70	46	24	34	1327	1327	1118
22	DK	VKT-DK-4	11.4	28	75	129	421	79	111	548	90	101	702	46	46	25	36	854	229	1231	93	41	20	35	490	35	1098	53	41	18	32	869	869	1004
23	AKS	RMK-AKS-1	13.6	42	100	135	566	111	113	779	96	97	828	55	57	34	46	1564	1564	1468	57	54	31	44	1498	1498	1402	62	47	22	38	1150	1150	1131
24	DK	VKT-DK-2	13.3	28	63	139	335	64	126	374	60	114	390	59	46	19	39	1113	1113	1195	77	46	21	41	1392	1392	1105	49	44	19	34	900	900	1086
25	DK	VKT-DK-3	12.1	25	65	130	362	81	115	531	87	115	586	58	45	21	36	285	44	1193	83	41	22	34	1308	1308	1105	53	44	19	34	908	908	1071
26	ABS	ADN-ABS-2	12.9	43	102	160	486	132	154	667	123	135	720	56	57	44	44	1726	1726	1572	94	48	36	41	296	70	1374	68	47	20	33	1163	1163	1133
27	ABS	ADN-ABS-1	13.8	47	98	159	462	111	145	604	118	138	689	52	57	44	45	1327	221	1570	75	47	26	40	131	156	1306	58	43	21	35	1044	1044	1071
28	ABS	ADN-ABS-4	11.4	35	99	158	475	106	125	672	117	125	760	86	44	20	38	305	282	1126	98	44	40	37	102	381	1252	77	40	21	32	1257	1257	1012
29	ABS	ADN-ABS-3	11.7	36	92	151	465	130	143	710	138	139	791	73	48	26	39	1530	1530	1277	105	46	21	41	106	462	1200	75	44	18	34	1126	1126	1036
30	DK	GÖK-RUS-1	12.7	37	74	147	365	85	138	452	73	122	450	44	62	51	48	1655	1655	1714	71	48	44	40	1241	329	1366	48	46	18	34	842	842	1064
31	DK	GÖK-RUS-4	11.4	38	90	147	455	104	132	602	90	125	559	68	50	24	44	1486	186	1319	131	42	21	37	122	230	1126	67	35	27	30	1268	1268	979
32	DK	GÖK-RUS-3	14.1	50	100	153	495	103	142	568	110	140	616	66	60	56	50	215	45	1680	104	48	45	40	160	195	1357	97	39	26	31	1458	1458	1087
33	DK	GÖK-RUS-2	13.4	35	97	159	458	112	154	561	103	148	531	66	57	53	48	1285	869	1594	122	47	45	40	107	322	1327	56	51	23	39	1204	1204	1278
34	DB	CUM-DB-4	11.3	26	80	131	448	86	117	552	82	101	612	100	40	18	33	207	119	1002	133	38	19	32	202	50	991	77	29	26	25	1029	113	834
35	AKS	ALD-AKS-3	12	38	80	141	410	76	127	450	80	127	475	77	48	24	38	162	109	1257	75	47	18	42	303	111	1168	60	44	18	33	1011	1011	1062
36	ABS	TOS-ABS-1	15,8	48	122	161	579	155	147	831	152	135	909																					

¹ ABS: Anadolu Beyaz Sert, DK: Diğer Kırmızı, AKS: Anadolu Kırmızı Sert, DB: Diğer Beyaz buğdayları ifade eder.

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

Çizelge 12. Üç Farklı Şekilde Öğütülen Örneklerin Glutopik Analiz Sonuçları İle Teknolojik Analiz Değerlerinin Korelasyon İlişkisi

Öğütme Türü	Tavsız öğütülmüş Un						Tavlı öğütülmüş un						Tam buğday unu									
	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	Başlangıç Enerjisi (GPI)	Plato Enerjisi (GPI)	Toplanma Enerjisi (GPI)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	Başlangıç Enerjisi (GPI)	Plato Enerjisi (GPI)	Toplanma Enerjisi (GPI)	PMT (s)	BEM (BU)	AM (BU)	PM (BU)	Başlangıç Enerjisi (GPI)	Plato Enerjisi (GPI)	Toplanma Enerjisi (GPI)	
Teknolojik Analizler																						
Protein	-0.07	0.67**	0.63**	0.56*	0.23	0.05	0.65**	-0.30	0.67**	0.49**	0.54**	0.23	0.18	0.64**	-0.12	0.52**	0.14	0.57**	0.14	0.25	0.65**	
Sedimentasyon	0.29	0.66**	0.75**	0.76*	0.37*	0.04	0.75*	0.34	0.53**	0.64**	0.70**	-0.34*	-0.31	0.73**	0.36*	0.48**	0.47**	0.58**	0.65**	0.63**	0.67**	
Gecikmeli Sedimentasyon	0.18	0.67**	0.71**	0.78*	0.39*	0.10	0.75*	0.41*	0.45**	0.58**	0.64**	-0.25	-0.18	0.66**	0.32	0.46**	0.46**	0.55**	0.60**	0.61**	0.63**	
Gluten Miktarı	0.43*	0.43*	0.40*	0.23	-0.06	-0.12	0.39*	-0.37*	0.54**	0.44*	0.32	0.20	0.06	0.49**	-0.26	0.52**	-0.24	0.45**	-0.11	0.15	0.51**	
Gluten İndeks	-0.44*	0.00	0.07	0.15	0.30	0.16	0.04	0.52**	-0.11	0.04	0.07	-0.34*	-0.21	0.02	0.44**	-0.06	0.41*	0.07	0.50**	0.32	0.06	
Düşme Sayısı	-0.44	-0.32	-0.55**	-0.43	-0.25	-0.01	-0.49*	-0.64**	0.05	-0.39	-0.33	0.52**	0.66**	-0.27	-0.37	-0.23	-0.35	-0.19	-0.49*	-0.30	-0.35	
str	-0.01	0.29	0.26	0.17	-0.14	-0.30	0.33	-0.07	-0.28	0.07	-0.10	0.00	-0.15	-0.14	-0.32	0.02	-0.13	-0.04	-0.36*	-0.39	0.04	
sn	0.08	-0.36	-0.29	-0.33	0.16	0.15	-0.40*	0.00	0.01	-0.27	-0.10	-0.17	0.02	-0.07	0.17	0.06	-0.07	0.09	0.16	0.13	-0.01	
relax	-0.04	0.37	0.31	0.30	-0.12	-0.24	0.42*	0.00	-0.24	0.13	-0.02	0.03	-0.13	-0.11	-0.27	-0.07	-0.05	-0.11	-0.32	-0.34	-0.03	

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

*P<0.05 seviyesinde önemli, **P<0.01 seviyesinde önemli.

Çizelge 13. Farklı Metotlarla Öğütülmüş Numuneler İle Yapılan Glutopik Analizleriyle Ekstensograf Ve Farinograf Verileri Arasındaki Korelasyon Değerleri

	45. d			90. d			135. d			Farinograf ölçümleri						
	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Maksimum Direnç (BU)	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Maksimum Direnç (BU)	Enerji (cm ²)	Uzama Kabiliyeti (mm)	Maksimum Direnç (BU)	Su Absorbsiyonu (500 FU) [%]	Su Absorbsiyonu (%14) [%]	Gelişme Süresi (d)	Stabilite (d)	Yumuşama Derecesi (FU)	Yumuşama Derecesi (ICC) [FU]	
Tavsız Öğütülmüş Un	PMT (s)	0.54**	0.46**	0.52**	0.48**	0.42	0.41*	0.78**	0.37*	0.33*	-0.40*	0.16	0.13	-0.10	-0.06	0.01
	BEM (BU)	0.34*	0.45**	-0.19	-0.16	0.52**	-0.30	-0.21	0.33*	-0.26	0.45*	0.25	0.07	0.11	-0.04	0.14
	AM (BU)	0.56**	0.62**	-0.39*	-0.42*	0.65**	-0.24	-0.40*	0.52**	-0.23	0.20	0.32	0.13	-0.01	-0.13	0.15
	PM (BU)	0.47**	0.45**	-0.16	0.34*	0.41*	-0.02	0.03	0.23	0.00	0.33	0.08	0.03	0.21	-0.03	0.04
	Başlangıç Enerjisi (GPI)	0.47**	0.36**	-0.29	0.43**	0.38*	0.02	0.35*	0.28	0.03	0.09	0.15	0.20	-0.06	-0.16	0.03
	Plato Enerjisi (GPI)	0.28	0.19	-0.19	0.20	0.23	0.11	0.16	0.20	0.14	0.14	-0.11	0.05	-0.03	-0.03	-0.06
	Toplanma Enerjisi (GPI)	0.46**	0.57**	-0.15	-0.35*	0.60**	-0.27	-0.13	0.40*	-0.22	0.26	0.27	0.08	0.09	-0.03	0.15
Tavlı Öğütülmüş Un	PMT (s)	0.48	0.45**	0.45**	0.49**	0.43	0.43*	0.51**	0.36*	0.39*	-0.62**	-0.59**	-0.11	0.43*	0.05	-0.30
	BEM (BU)	0.15	0.28	-0.02	0.13	0.23	0.04		0.21	0.03	0.80**	0.82**	0.44	-0.28	-0.24	0.38
	AM (BU)	0.50**	0.47**	-0.41*	0.42*	0.44**	0.00	0.44**	0.42*	-0.07	0.51	0.51*	0.12	-0.01	-0.18	0.14
	PM (BU)	0.49**	0.49**	0.42*	0.44**	0.42*	0.35*	0.42*	0.35	0.35*	0.25	0.22	0.21	0.00	-0.01	0.20
	Başlangıç Enerjisi (GPI)	-0.47**	-0.53**	-0.13	-45**	-0.45**	0.16	-0.46**	-0.42*	0.19	0.73**	0.73**	0.05	-0.13	-0.12	0.24
	Plato Enerjisi (GPI)	-0.35*	-0.48**	-0.07	0.13	-0.44**	0.29	0.07	-0.41*	0.28	0.59**	0.53**	0.12	-0.18	-0.17	0.28
	Toplanma Enerjisi (GPI)	0.56**	0.49	-0.50**	0.52**	0.45**	0.43**	0.52**	0.36*	0.43*	0.44*	0.60**	0.36	-0.19	-0.22	0.36
Tam Buğday Unu olarak öğütülmüş	PMT (s)	0.55**	0.65	0.64**	0.58**	0.62	0.62**	0.60**	0.57	0.56**	-0.38	0.07	0.29	-0.22	-0.15	-0.02
	BEM (BU)	-0.05	0.49*	-0.04	-0.05	0.51**	-0.22	-0.06	0.39*	-0.19	0.34	0.34	0.23	-0.12	-0.14	0.27
	AM (BU)	0.54**	0.63	0.63**	0.47**	0.56	0.55**	0.46**	0.50	0.50**	0.07	0.04	0.09	0.16	-0.08	-0.08
	PM (BU)	0.47**	0.47**	0.39*	0.42*	0.39*	0.34**	0.44**	0.35*	0.34*	0.33	0.36	0.31	-0.17	-0.27	0.35
	Başlangıç Enerjisi (GPI)	0.76**	0.49**	0.82**	0.76**	0.35*	0.77**	0.76**	0.42*	0.69**	-0.13	0.17	0.27	-0.07	-0.17	0.00
	Plato Enerjisi (GPI)	0.60**	0.47**	0.59**	0.62**	0.37*	0.59**	0.63**	0.44**	0.52**	-0.13	0.17	0.27	-0.07	-0.17	0.00
	Toplanma Enerjisi (GPI)	0.54**	0.60**	-0.41*	0.48**	0.57**	-0.11	0.50**	0.52**	-0.12	0.30	0.41	0.24	-0.09	-0.18	0.24

PMT: Maksimum pik süresi, BEM: Maksimum tork, AM: Maksimum torktan 15 s önceki tork değeri, PM: Maksimum torktan 15 s sonraki tork değeri, A(0-1): A0 ile A1 arası alan, A(1-2): A1 ile A2 arası alan, A(2-3): A2 ile A3 arası alan, A(3-4): A3 ile A4 arası alan, A(4-5): A4 ile A5 arası alan.

*P<0.05 seviyesinde önemli, **P<0.01 seviyesinde önemli.

4. Sonuç

Gerek Türkiye’de ve gerekse diğer ülkelerde Glutopik hakkında yeterli çalışma olmaması ve parametreleri hakkında net bilgilere ulaşılamamış olması nedeniyle, sonuçları bilinen numuneler üzerinde farklı öğütme tekniklerinin de etkisinin görülmesi amacıyla birinci ve ikinci kısım çalışma diye adlandırılan çalışmalar neticesinde cihazın parametreleri hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Elde edilen verilerin incelenmesi ve birlikte değerlendirilmesiyle; özellikle tam buğday unu olarak öğütülmüş numunede protein miktarı ile birinci kısımda maksimum tork ve A(3-4) parametresi ile ilişkinin kurulabildiği, ikinci kısımda ise yine maksimum tork ve toplanma enerjisi (A(3-5)) parametresi ile ilişki kurulabildiği, sedimantasyon değerleri ile maksimum tork ve toplanma enerjisi değerleri arasında bir ilişki olduğu görülmüştür. Birinci kısımda Glutopik parametreleri ile Ekstensograf uzama kabiliyeti arasında daha fazla ilişki kurulmuşken, ikinci kısımda Glutopik parametreleri ile daha çok Ekstensograf enerji değeri arasında ilişki kurulmuştur. Farinograf su absorpsiyon değeri ile maksimum tork arasında (her iki kısım çalışmada da aynı düzeyde) pozitif yönde ilişki olduğu görülmüştür. Maksimum direnç değeri ile Glutopik parametreleri arasında anlamlı bir ilişkiye rastlanılmamıştır.

Glutopik cihazının düşük numune miktarı ihtiyacı, kısa analiz süresi ve gluten yapısı hakkında bazı bilgiler vermiş olması olumlu bir yan olarak dururken, elde edilen verilerin değişkenliğinin çok ve parametrelerinin tam olarak anlamlandırılmamış olması halen cihaz ile daha fazla çalışma yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte maksimum tork değeri yüksek olan buğdayların su absorpsiyonlarının yüksek olduğu, özellikle A(0-5) arası alan ve mesafenin büyümesine koşut olarak hamurun direnç ve uzamasının arttığı, elastikiyetinin geliştiği belirlenmiştir.

Glutopik analizi ve parametreleri ile öngörülen sınıflandırma çerçevesinde bazı değerlendirmeler yapılabileceği, ancak yapılan çalışmalarda birbirleriyle çelişen sonuçların olduğu, ayrıca halen yazılım çalışmalarının tam olarak neticelenmemiş olması cihazın parametreleri ile ilgili kuşku doğmasına sebep olmuştur. Bu itibar ile cihaz yazılımında verilen parametrelerin üretici firma tarafından gözden geçirilerek analiz esnasında çizilen grafikte, daha stabil sonuçlar verecek farklı parametrelerin üretilerek olgunlaştırılabileceği düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma yüksek lisans tezinden üretilmiş olup, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimi tarafından OKÜBAP-2017-PT3-037 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Amoriello, T., Turfani, V., Galli, V., Mellara, F. & Carcea, M. (2016). Evaluation of new viscometer performance in predicting the technological quality of soft wheat flour. *Cereal Chemistry*, 93(4), 364-368.
- Anonymus (2018). *Use Gluten to Quickly Determine Quality, Using the GlutoPeak*. [https://www.brabender.com/food/produkte/rheometer/via-](https://www.brabender.com/food/produkte/rheometer/via-gluten-schnell-mehle-schrote-vital-gluten-qualifizieren-glutopeak/#)

- [gluten-schnell-mehle-schrote-vital-gluten-qualifizieren-glutopeak/#](https://www.brabender.com/food/produkte/rheometer/via-gluten-schnell-mehle-schrote-vital-gluten-qualifizieren-glutopeak/#). (Erişim tarihi: 25.01.2019).
- Brunnbauer, M., Selmair, P. & Köhler, P. (2012). Determination of the gluten aggregation behaviour from different wheat cultivars and correlation with the rheological and the baking properties. ISFRS 2012 Congress, 10-13 April 2012 (in Brabender Glutopeak inkl. Software Glutopeak book), Duisburg, Germany, p:171-172.
- Chandi, G.K. & Seetharaman, K. (2012). Optimization of gluten peak tester: a statistical approach. *Journal of Food Quality*, 35(1), 69-75.
- Çeliker, G. & Dizlek, H. (2020). Ülkemizdeki buğday standardına göre aynı kategoride yer alan ekmeçlik buğday çeşitlerinin reolojik özelliklerinin belirlenerek hububat alım kriterleriyle uyumluluğunun incelenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(1), 71-92.
- Dizlek, H. & Çeliker, G. (2017). Wheat purchase criterias of Soil Crops Office (TMO) in Turkey and examination of its suitability. 2nd International Energy and Engineering Conference, 12-13 October 2017, Gaziantep, s:1231.
- Dizlek, H. & Özer, M.S. (2016). Effects of sunn pest (*eurygaster integriceps*) damage ratio on physical, chemical, and technological characteristics of wheat. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 8(1), 145-156.
- Elgün, A. & Ertugay, Z. (1997). *Tahıl İşleme Teknolojisi*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi.
- Greenaway, W.T., Neustadt, M.H. & Zeleny, L. (1965). A test for stink bug damage in wheat. *Cereal Chemistry*, 42(6), 577-579.
- Karaduman, Y., Akın, A., Türkölmez, S. & Tunca, Z.Ş. (2015). Ekmeçlik buğday ıslah programlarında gluten kalitesinin değerlendirilmesi için glutopik parametrelerinin kullanılabilirliğinin araştırılması. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 65-74.
- Karaduman, Y., Önder, O., Sayaslan, A. & Aydın, N. (2019). Utilisation of glutopeak tester on whole-wheat flour for gluten quality assessment. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 11(3), 295-304.
- Lu, Z. & Seetharaman, K. (2014). Suitability of Ontario-grown hard and soft wheat flour blends for noodle making. *Cereal Chemistry*, 91(5), 482-488.
- Lukow, O.M., Payne, P. & Tkauchuk, R. (1989). The HMW glutenin subunits composition of Canadian wheat cultivars and their association with bread-making quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 46, 451-460.
- Malegori, C., Grassi, S., Ohm, J.B., Anderson, J. & Marti, A. (2018). Glutopeak profile analysis for wheat classification: skipping the refinement process. *Journal of Cereal Science*, 79, 73-79.
- Marti, A., Cecchini, C., D'egidio, M.G., Dreisoerner, J. & Pagani, M.A. (2014). Characterization of durum wheat semolina by means of a rapid shear-based method. *Cereal Chemistry*, 91(6), 542-547.
- Marti, A., Qiu, X., Schoenfuss, T.C. & Seetharaman, K. (2015). Characteristics of Perennial Wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*) and refined wheat flour blends: impact on rheological properties. *Cereal Chemistry*, 92(5), 434-440.
- Melnyk, J.P. (2011). Effect of the hofmeister series on gluten aggregation measured using a high shear-based technique. *Food Research International*, 44, 893-896.

- Posner, E.S. & Hibbs, A.N. (1997). *Wheat Flour Milling*. St. Paul, MN: American Association Cereal Chemists Incorporated.
- Sissons, M. (2016). GlutoPeak: a breeding tool for screening dough properties of durum wheat semolina. *Cereal Chemistry*, 93(6), 550-556.
- Şahin, M., Göçmen Akçacık, A., Aydoğan, S., Demir, B., Mecitoğlu Güçbilmez, Ç., Hamzaoğlu, S., Gür, S. & Yıldırım, T. (2020) Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*) genotiplerinin gluten kalitesinin glutopik cihazı ile değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(2), 151-164.
- Şanal, T., Evlice, A.K., Pehlivan, A. & Külen, S. (2018). The relationship between some quality characteristics and glutopeak parameters in bread wheat. Proceedings of the 13th International Gluten Workshop, 14-17 March 2018, Mexico.
- TMO (2018). Toprak Mahsulleri Ofisi, Hububat Raporu, Ankara.
- TSE (2013a). Buğday - Sedimentasyon Endeksi Tayini - Zeleny Deneyi. TS EN ISO 5529, Ankara.
- TSE (2013b). Buğday, Çavdar ve Bunların Unları, Durum Buğdayı ve Durum Buğdayı İrmigi - Hagberg - Pertene Göre Düşme Sayısının Tayini. TS EN ISO 3093, Ankara.
- TSE (2015a). Tahıllar - Nem ve Protein Tayini - Bütün Tanelerde Yakın - Infrared - Spektroskopi Kullanma Metodu. TS EN 15948, Ankara.
- TSE (2015b). Buğday Unu - Hamurun Fiziksel Karakteristikleri - Bölüm 1: Farinograf Kullanılarak Su Absorbsiyonunun ve Reolojik Özelliklerinin Tayini. TSE EN ISO 5530-1, Ankara.
- TSE (2015c). Buğday Unu - Hamurun Fiziksel Karakteristikleri - Bölüm 2: Ekstensograf Kullanılarak Reolojik Özelliklerinin Tayini. TSE EN ISO 5530-2, Ankara.
- TSE (2016). Buğday ve Buğday Unu - Gluten İçeriği - Bölüm 2: Mekanik Yöntemle Yaş Gluten ve Gluten İndeksi Tayini. TS EN ISO 21415-2, Ankara.
- TSE (2018). Buğday, TS 2974, Ankara.
- Wang, K., Dupuis, B. & Fu, B.X. (2017). Gluten aggregation behavior in high-shear-based glutopeak test: impact of flour water absorption and strength. *Cereal Chemistry*, 94(5), 909-915.
- Wang, J., Hou, G.G., Liu, T., Wang, N. & Bock, J. (2018). GlutoPeak method improvement for gluten aggregation measurement of whole wheat flour. *LWT-Food Science and Technology*, 90, 8-14.
- Zawieja, B., Makowska, A. & Gutsche, M. (2020). Prediction of selected rheological characteristics of wheat based on glutopeak test parameters. *Journal of Cereal Science*, 91, 102898.



Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi

Vekil Sari^{1*}, Fatih Yavuz Özyiğit²

^{1*} Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5963-0179), vsari@cumhuriyet.edu.tr

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0417-6890), yavuz.ozyigt@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 2 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 25 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.797434)

ATIF/REFERENCE: Sari, V. & Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 425-437.

Öz

Fosil yakıtların azalması ve çevre kirliliğine sebep olması nedeniyle yenilenebilir enerjiden elektrik enerjisi üretiminin önemi son yıllarda artmıştır. Buna bağlı olarak dünyada ve ülkemizde kurulan rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin sayısı da gittikçe artmaktadır. Ülkemiz güneş enerjisi bakımından oldukça verimli bir konuma sahiptir. Bu yüzden bu alanda birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada Sivas ilinin 5 ilçesinde kurulu gücü 10 MW olan monokristal paneller ve kurulu gücü 9,999 MW olan polikristal paneller kullanılarak toplam 10 adet güneş enerjisi santrali tasarımı ve analizi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan paneller sabit eğik sistem olarak tasarlanmış, panel eğim açısı 35° ve azimuth açısı 0° olarak konumlandırılmıştır. Monokristal sistem tasarımında 290 Watt gücünde 34.482 adet panel ve 72 kW'lık 148 adet invertör kullanılmıştır. Paneller 21 adet seri ve 1.642 adet paralel olacak şekilde bağlanmıştır. Modüllerin toplam alanı 56.440 m² dir. Polikristal sistem tasarımında 290 Watt'lık 34.480 adet panel ve 72 kW'lık 148 adet invertör kullanılmıştır. Paneller 20 adet seri ve 1.724 adet paralel olacak şekilde bağlanmıştır. Modüllerin toplam alanı 66.161 m² dir. Sistem tasarımı için Trina Solar markasının monokristal panelleri ve Canadian Solar firmasının polikristal panelleri seçilmiş, invertör için ise Kaco New Energy markasının invertörleri seçilmiştir. Santraller şebekeye bağlı olarak tasarlanmıştır. Güneş enerjisi santrallerinin tasarımı ve analizi için PVsyst programı kullanılmıştır. Santrallerin banka kredisi alınmadan ve banka kredisi alınarak kurulması durumları incelenmiştir. Banka kredisi kullanılmadan yapılan analizlerin sonucunda en kısa geri ödeme süresi 4,5 yıl ile Divriği ve Yıldızeli ilçelerinde polikristal paneller ile kurulan santrallerde gözlenmiştir. En uzun geri ödeme süresi ise 6,3 yıl ile Zara ilçesinde monokristal paneller ile kurulan santralde olmuştur. Merkez ilçe ve Yıldızeli ilçesinde monokristal panellerle kurulan santrallerin en yüksek performans oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. En düşük performans oranı Gürün ilçesinde polikristal paneller ile kurulan santralde olmuştur. En düşük birim maliyet 0,04443 \$/kWh ile Divriği ilçesinde polikristal panellerle kredi alınmadan kurulan santralde olurken en yüksek birim maliyet ise 0,06159 \$/kWh ile Zara ilçesinde monokristal panellerle kredi alınarak kurulan santralde olmaktadır. Yapılan çalışmaların sonucunda yıllık üretilen elektrik enerjisi en fazla Gürün ilçesinde, en az Zara ilçesinde olmaktadır. Yapılan ekonomik analiz sonucunda, en fazla kar monokristal paneller için Divriği ilçesinde, polikristal paneller için Yıldızeli ilçesinde olmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen bulguların Sivas ili ve ilçelerinde kurulacak güneş enerjisi santralleri için faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, PVsyst, Fotovoltaik Sistemler.

Design and Analysis of Grid Connected Solar Power Plants in Different Districts of Sivas Province

Abstract

Due to the decrease in fossil fuels and causing environmental pollution, the importance of electrical energy production from renewable energy has increased in recent years. Accordingly, the number of wind and solar power plants established in the world and in our country is gradually increasing. Our country has a very productive position in terms of solar energy. Therefore, many studies are carried out in this area. In this study, 10 solar power plants were designed and analyzed using monocrystalline panels with an

* Sorumlu Yazar: vsari@cumhuriyet.edu.tr

installed power of 10 MW and polycrystalline panels with an installed capacity of 9,999 MW in 5 districts of Sivas. The panels used are designed as a fixed inclined system, the panel inclination angle is 35° and the azimuth angle is 0°. In the design of the monocrystalline system, 34.482 panels of 290 Watt and 148 inverters of 72 kW were used. The panels are connected in 21 series and 1.642 in parallel. The total area of the modules is 56.440 m². In the design of the polycrystalline system, 34.480 panels of 290 Watt and 148 inverters of 72 kW were used. The panels are connected in 20 series and 1.724 in parallel. The total area of the modules is 66.161 m². Monocrystalline panels of Trina Solar brand and polycrystalline panels of Canadian Solar company were chosen for the system design, and inverters of Kaco New Energy brand were chosen for the inverter. The power plants are designed as connected to the grid. PVsyst program was used for the design and analysis of solar power plants. Establishment of power plants without a bank loan and with a bank loan has been examined. As a result of the analysis made without using bank loans, the shortest repayment period was observed in the power plants established with polycrystalline panels in Divriği and Yıldızeli districts with 4,5 years. The longest payback period was 6,3 years in the power plant established with monocrystalline panels in Zara district. It has been determined that the power plants installed with monocrystalline panels in the central district and Yıldızeli district have the highest performance rate. The lowest performance rate was in the power plant established with polycrystalline panels in Gürün district. The lowest unit cost is 0,04443 \$/kWh in the power plant established in Divriği district without a loan with polycrystalline panels, while the highest unit cost is 0,06159 \$/kWh in the power plant established in Zara district with a loan with monocrystalline panels. As a result of the studies carried out, the annual electricity generated is the highest in Gürün district and at least in Zara district. As a result of the economic analysis, the highest profit is in Divriği district for monocrystalline panels and in Yıldızeli district for polycrystalline panels. It is thought that the findings obtained from this study will be useful for the solar power plants to be established in Sivas province and its districts.

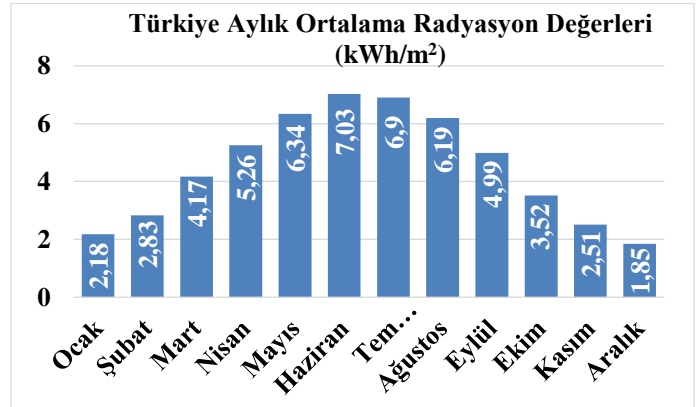
Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, PVsyst, Photovoltaic Systems.

1. Giriş

Enerji, insanların ihtiyaçlarının karşılanması için vazgeçilmezdir. Ayrıca ülkelerin geleceğini, güvenliğini etkileyen ve yönlendiren ana faktörlerden biridir. Küresel alanda yaşanan krizlerin en önemli nedenlerinden biri enerji kaynaklarıdır (Erdoğan, 2020). Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bölümü fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar çevreye zarar vermekte ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu yüzden daha yaşanabilir bir gelecek için çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri için gerekli olan kaynakları tüketmeden, bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilen enerji biçimini ifade eder (Türkmen, 2020). Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması için 1992 yılında Brezilya'nın Rio kentinde gerçekleşen Rio Deklarasyonunda (Rio Declaration, 1992) iklim değişikliğinin ana sebebi olarak görülen fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerji kaynaklarının alması gerektiği ve ülkelerin bu kaynakların kullanımını artırması gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca ülkelerin yenilenebilir enerjiyi kullanarak ihtiyaç duydukları enerjileri kendi olanaklarıyla üretmeleri sonucunda enerjide dışa bağımlılığı da azalacaktır.

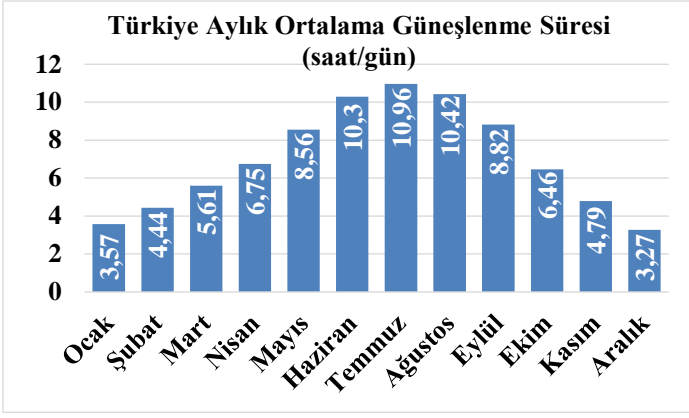
Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisi, dünyamız için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneşten yeryüzüne gelen enerjinin şiddeti 0-1100 W/m² arasında değişmektedir. Güneşten dünyaya gelen güç insanlığın yıllık ticari ihtiyacının 16.000 katından fazla ve dünyadaki elektrik santrallerinin toplam gücünün 61.000 katından fazladır (Erkinay, 2012). Ülkemiz küresel ışınım miktarı bakımından oldukça elverişli bir konumda bulunmaktadır ve 6,8 saat ortalama günlük güneşlenme süresine sahiptir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Türkiye Günlük Güneşlenme Süreleri, 2020). Şekil 1' de Türkiye'nin aylık ortalama küresel ışınım değerleri gösterilmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması, 2020). Şekil 2' de Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri gösterilmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Aylık

Ortalama Güneşlenme Süresi, 2020). Şekil 3' de Türkiye'nin ortalama günlük toplam güneşlenme süresi dağılımı gösterilmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Türkiye Günlük Güneşlenme Süreleri, 2020). Şekil 4' de Türkiye küresel yatay ışınım haritası gösterilmektedir (Huld, 2020).



Şekil 1. Türkiye'nin aylık ortalama küresel ışınım değerleri (Fig 1. Turkey's monthly average global radiation values)

Verilerden ve haritalardan da görüldüğü üzere ülkemiz güneş enerjisi bakımından oldukça verimli bir konuma sahiptir. Bu nedenle bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Çekirdek (2017) yaptığı çalışmada, Konya ve Balıkesir illerinde 0,883 kWh gücünde şebeke bağlantılı sistem tasarlamıştır. Sabit eğik sistemler, tek ve çift eksen sistemler ayrı ayrı incelenmiştir. Sistemlerin incelenmesinde PVsyst programı kullanılmıştır. En fazla enerji çift eksenli sistemlerden elde edilmiştir. İki şehir arasında güneşlenmeye bağlı olarak geri dönüş süreleri aralarında 1 yıl fark ettiği ve Konya ilinde daha erken geri dönüş sağlandığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Türkiye aylık ortalama güneşlenme süreleri (Fig 2. Average monthly sunshine duration in Turkey)



Şekil 3. Türkiye ortalama günlük toplam güneşlenme süresi dağılımı (Fig 3. Average daily sunshine duration distribution Turkey)



Şekil 4. Türkiye küresel yatay ışınım haritası (Fig 4. Turkey global horizontal irradiation map)

Tekale (2018) yaptığı çalışmada, ışınım değerleri farklı olan bölgelerde 1.140,48 kW kurulu güce sahip güneş enerjisi santrallerinin yapılabilirlik durumlarını PVsyst programı ile araştırmıştır. GES (Güneş Enerji Santrali)' lerde yatırım belirli bölgelere yapılmakta ve arazi fiyatı buralarda artmaktadır. Yapılan çalışmada en hızlı geri dönüş, ışınım değeri en yüksek olan şehir Şanlıurfa' da olurken, en uzun geri dönüş ise Ankara' da olmuştur. Şehirlerarasındaki geri dönüş süresi farkının 1 yıl kadar olduğu tespit edilmiştir.

Koçak (2018) yaptığı çalışmada, Büyükçekmece ilçesinde 4 farklı panel ve 2 farklı invertör kombinasyonlarından oluşan 5,5-6 MW arası değişen kurulu güce sahip güneş enerjisi santrallerinin analizleri FV*SOL programı yardımıyla gerçekleştirmiştir. Yapılan güneş enerjisi santralinin ekonomik analizi için iç karlılık oranı ve geri ödeme süresi hesabı yapılmıştır.

Kahraman (2018) yaptığı çalışmada, Kütahya ili için 1 MW'lık güneş enerjisi santrali ve rüzgâr enerjisi santralinin fizibilite çalışmasını gerçekleştirmiştir. Çalışma gerçekleştirilirken RETScreen ve Homer programları kullanmıştır. Çalışmada % 50 öz sermaye ve % 100 öz sermaye olmak üzere iki farklı durum incelenmiştir. Güneş enerji santrali için ilk senaryoda yatırım maliyetlerinin yarısı olarak kredi kullanımında 11 yıl geri ödeme süresi ve 56.467 \$ net değer ve iç karlılık oranı % 11,9 olarak hesaplanmıştır. Yapılan ikinci senaryoda ise maliyetlerin tamamı sermayeden karşılandığı durumda geri ödeme süresi 11 yıl, net değer 13.624 \$ ve iç karlılık oranı ise % 9,8 olarak hesaplanmaktadır. Yapılan bu çalışmada iki senaryonun da uygulanabilir olduğu ancak ilk senaryonun daha mantıklı olduğu vurgulanmıştır.

Aldudak (2018) yaptığı çalışmada, kurulu güneş enerjisi santralinden elde edilen sonuçları PVsyst programı hesaplamalarıyla karşılaştırmıştır. Program çıktıları ile güneş enerjisi santral verileri arasındaki tutarlılık vurgulanmıştır. Yatırımcılara fikir vermesi amacıyla, farklı bölgeler için PVsyst programı ile simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Girgin (2011) yaptığı çalışmada, Karaman bölgesinde 5 MW gücünde 36 farklı sistemin enerji üretimi ve ekonomik analizini yapmıştır. Sistemler 32° panel eğimine sahip sabit eğik sistemler, tek eksen ve çift eksen sistemler olarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar PVsyst programı aracılığıyla yapılmıştır. Tek eksen güneş takip sistemlerinde %24' e kadar bir artış ve çift eksen takip sistemlerinde ise %35' e kadar bir artış gözlemlenmiştir.

Keskin (2012) yaptığı çalışmada, Dünya' da ve Türkiye' de bulunan 7 il için şebekeden bağımsız 5 kW'lık sistem modellemesi gerçekleştirmiştir. Modellemeler için PVsyst programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda enlemin üretilen enerjiye etkisi gözlemlenmektedir. En yüksek verim monokristal modüller ile elde edilmiş, amorf silikon teknolojili modüllerde ise en yüksek üretim değerine ulaşılmıştır. Sistem maliyeti monokristal, polikristal ve amorf silikon teknolojili modüllerde 19 ile 24 yıl arasında sistemin sağladığı enerjinin, elektrik toplam maliyetine denk geleceği hesaplanmıştır.

Eyigün (2010) yaptığı çalışmada, Meteorom meteoroloji verilerini kullanarak, PVsyst programı yardımıyla Türkiye' nin 7 farklı bölgesinde bulunan iller için farklı modül teknolojileri ve farklı evirici konseptleriyle aynı boyuttaki fotovoltaik (FV) santrallerin verimlilik ve üretim maliyetlerini karşılaştırmıştır. İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgesinde kurulacak FV santrallerin yıllık kWp/kWh enerji üretimlerinin en yüksek değerde olduğu, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde kurulacak FV santrallerin ise kWp/kWh enerji üretim değerlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Akcan vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, PVsyst programı ile Batman merkezde bulunan bir okulun enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla çatı tipi FV bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemin üreteceği enerji miktarı, sistem performansı ve sistemde bulunan elemanların birbirleriyle uyumluluğu üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Gün ışığının olmadığı durumlarda okulun enerji ihtiyacının şebekeden karşılanacağı, yeterli olması durumunda ise üretim fazlasının şebekeye aktarılacağı şekilde tasarlanmıştır. Okulda üretilen yıllık 35,31 MWh enerji şebekeye satılarak okul için gelir elde edilmesi planlanmıştır. FV sistemden elektrik üretiminin Batman ili için iyi bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

Akyazı vd. (2019) yaptıkları çalışmada, şebeke ile entegreli, güneş enerjisi ile şarj edilebilen, akü sistemi üzerinden beslenen akıllı LED'li bir aydınlatma armatürü tasarlamış ve uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalarda LED'li aydınlatma armatürünün ışık şiddeti yaya veya araç trafiğine bağlı olarak değişmekte ve sürekli aynı şiddette yanmayarak enerji tasarrufu sağladığı ve kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Güner & Muharremoğlu (2020) yaptıkları çalışmada, Adnan Menderes Havalimanının otoparkına kurulabilecek bir FV üretim sisteminin tasarımı ve ürettiği enerji ile otoparkın enerji ihtiyacını karşılayıp karşılamadığının analizinin yapmışlardır. FV sistemin gücü 534 kW olarak hesaplanmıştır. Toplamda 2.770 m² alanı kaplamaktadır. 1.617 adet 330 W gücünde LG330N1C-A5 marka monokristal güneş paneli kullanılmıştır. Paneller 21 seri modül ve 77 paralel diziden oluşmaktadır. Otoparkın bir aylık saatlik tüketim bilgisi kullanılarak otoparkın ortalama günlük yük eğrisi elde edilmiştir. Bu iki bilgi karşılaştırılarak havalimanının enerji analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda adı geçen havalimanı otoparkına sistemin projelendirilmesi hazırlanmıştır. Bu çalışmada teorik ile uygulamanın birleştirilmesi de hedeflenmiştir.

Dandil & Gürgeç (2019) tarafından yapılan çalışmada, geriye yayılım algoritmasının yanında iki farklı sezgisel yöntem kullanılarak eğitilen bir yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılmıştır. Bu YSA modeli ile farklı eğim açılarında (10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°) yerleştirilmiş FV panel güç çıkışlarının, akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak aylık olarak tahmin edilmesine yönelik hibrit bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkinliği ölçüm yapılan gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ortalama yüzdelik hatanın analizi ile doğrulanmıştır. Çalışmada Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi yerleşkesi içerisine kurulmuş FV panel test düzeneğinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Düzeneğe yerleştirilen her bir FV panel Perlight marka ve PLM-100P/12 model olup polikristal yapıya sahiptir.

Türkdoğan vd. (2020) yaptıkları çalışmada, 40 haneli bir topluluğun şebekeden bağımsız elektrik ve termal yük ihtiyacını karşılamak için çeşitli hibrit enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik analizlerini yapmıştır. Ortalama 320 kWh/gün elektrik ve 142,47 kWh/gün termal yük ihtiyaçlarının karşılanması ve bu amaç için HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) programı kullanılarak kurulacak enerji sistemlerinin üreteceği enerjinin birim fiyatı tespit edilmiştir. Manisa'nın Gördes bölgesi Türkiye'nin ortalama güneş radyasyonu değerlerine yakın parametrelere sahip olduğundan seçilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre hibrit sistemde bataryaların etkili bir şekilde kullanılması gerektiği görülmüştür. Yapılan araştırmalar sonucunda seçilen sistemin kurulum maliyeti 215.958 \$, operasyon maliyeti 18.029 \$ ve tüm projenin net bugün ki maliyeti 598.958 \$ olduğu hesaplanmıştır. Birim enerji maliyetinin 0,164 \$ seviyelerine indiği görülmüştür.

Akboy (2019) tarafından yapılan çalışmada, 1 kW gücü ve 100 kHz anahtarlama frekansına sahip şebekeye bağlı bir FV sistem kurularak, PSIM programı ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistemde 250 W-1.000 W/m² ışınım özelliklerine sahip 4 eş panel seri bağlanmıştır. Farklı ışınım ve güç değerleri altında sistem çalıştırılarak şebeke etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda farklı koşullar altında hedeflenen sistemin, ilgili kontrol algoritmalarına bağlı olarak hızlı dinamik cevap verme süresine sahip olduğu ve şebeke

tarafında her zaman yüksek güç faktörü elde edildiği gözlemlenmiştir.

Yağlı & Koç (2020) yaptıkları çalışmada, Gaziantep bölgesinde kurulacak güneş enerjisi üretim tesislerinde panellerin optimum açıları belirlenmeye çalışılmıştır. Realitye en yakın sonuç verdiğinden PVsyst programı seçilmiştir. Programa azimut açısı girilmiş, elde edilen transpozisyon faktörü değerleriyle birlikte panellerin eğim açılarına göre ürettikleri enerji miktarları değerlendirilmiştir. Gaziantep bölgesi için en uygun açının 30° olduğu tespit edilmiştir.

Sarı & Özyiğit (2020) yaptıkları çalışmada, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde PVsyst programını kullanarak polikristal ve monokristal panellerden oluşan 0,999 MW gücünde iki ayrı güneş enerji üretim santrali tasarlanmıştır. Bu iki santral kurulum maliyeti, enerji üretimi ve karlılık yönünden incelenmiştir. Monokristal panellerin kurulum masrafinin polikristal panellerden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın monokristal modül kullanılması durumunda monokristal modül veriminin daha yüksek olması sebebiyle sistem ömrü sonunda getirdiği kazancın daha fazla olacağı tespit edilmiştir. Polikristal paneller kullanılarak oluşturulan sistemlerde ise ilk kurulum maliyetlerinin monokristal panellere göre daha düşük olması sebebiyle daha erken dönüşler gözlemlendiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ise Sivas ilinin beş ayrı ilçesinde kurulacak 10 MW gücündeki toplam 10 adet güneş enerji santralinin tasarımı ve analizi yapılmıştır. Böylelikle Sivas ilinin beş farklı ilçesindeki bölgesel ve dolayısıyla iklimsel farklılıkların güneş enerji üretim santrallerinin kurulum, işletme ve ekonomisine etkileri de araştırılmıştır. Bu çalışmada incelenen santral 10 MW gücündedir. Sarı & Özyiğit (2020)'nin yaptıkları çalışmada ise santral 0,999 MW gücündedir. Dolayısıyla aynı bölgede farklı güçteki santrallerin karşılaştırması da yapılabilir.

Ülkemizin dışındaki diğer ülkelerde de güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Barua vd. (2017) yaptıkları çalışmada, Hindistan'da bulunan Pondicherry Üniversitesi'nin çatısına FV sistemin kurulumunu ve analizini PVsyst programını kullanarak yapmıştır. Simülasyon sonucunda yıllık 590 MWh enerji üretileceği tespit edilmiştir. Bu değerlerin Pondicherry Üniversitesi'ndeki toplam yıllık enerji tüketiminin yaklaşık % 11'i olduğu belirtilmiştir.

Ramoliya (2015) yaptığı çalışmada, PVsyst programını kullanarak şebekeye bağlı 1 MW gücündeki güneş enerji santralinin performansını incelemiş ve kayıp güçlerini hesaplamıştır. Modül kalite kaybı yıllık 802,14 kWh, modül uyumsuzluğu kaybı yıllık 32.055 kWh, omik kablolu kayıp yıllık 15.476 kWh ve toplam inverter kaybı yıllık 33.326 kWh olarak bulunmuştur. Gujarat'ın Shapur Köyü'nde oluşturulan santralin yıllık 1.416.980 kWh enerji ürettiği hesaplanmıştır. Sistemin veriminin yıllık ortalama 0,764 olduğu tespit edilmiştir.

Kumar vd. (2017) yaptıkları çalışmada, şebekeye bağlı 100 KW gücünde bir FV sistemin PVsyst programı ile simülasyonunu yapmışlar ve performansını analiz etmişlerdir. Ayrıca iklimsel veriler Meteorom programından elde edilmiştir. Kurulan sistem, her biri 310 W gücündeki 323 adet FV modülden oluşmaktadır. Tüm FV modüller 17 dizi halinde düzenlenmiş ve her bir dizi seri olarak 19 modülden oluşmaktadır. İncelemelerin sonucunda sistemin şebekeye yıllık 161,6 MWh enerji vereceği tespit edilmiştir. Sistemin veriminin % 80 olduğu hesaplanmıştır.

Cavalcante vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Brezilya'nın Mogi Mirim şehrinde 3 MW gücündeki güneş enerji santralini analizini PVsyst programı ile analiz etmişlerdir. Santralde 330W gücünde toplam 9.900 adet Canadian Solar marka polikristal modül kullanılmıştır. Santralin şebekeye yıllık 4.560 MWh enerji vereceğini ve sistemin veriminin % 76 olduğunu hesaplamışlardır. En yüksek enerjinin Kasım ayında, en düşük enerjinin de Haziran ayında üretileceğini tespit etmişlerdir.

Saxena & Gidwani (2018) yaptıkları çalışmada, 100 kW gücünde şebeke bağlantılı Hindistan'ın Rajasthan eyaletinin Kota şehrinde çatıya kurulması düşünülen bir güneş enerji santralini PVsyst programı ile analiz etmişlerdir. Verimi % 11,27 olan FV modüller ve verimi % 97,6 olan inverter kullanılarak oluşturulan sistemin yıllık ürettiği enerji 167,8 MWh olarak bulunmuştur. Analiz edilen FV sistemin verimi % 75,7 dir. Aylık olarak üretilen en yüksek enerji 16.437 kWh ile Mart ayında, 11.453 kWh ile Ağustos ayında olmaktadır.

Tallab & Malek (2015) yaptıkları çalışmada, PVsyst programını kullanarak Cezayir'de 1 MW gücünde bir FV sistem tasarımı ve analiz yapmışlardır. Gerçekleştirilen güneş enerjisi santrali ile yıllık 1.805 MWh elektrik enerjisi üretimi yapıldığı ve sistemin veriminin % 77,8 olduğu hesaplanmıştır. Panellerin açısı mevsimsel olarak değiştirildiğinde yaz-kış sabit açılı panellere göre % 5 daha fazla elektrik üretimi yapıldığı tespit edilmiştir.

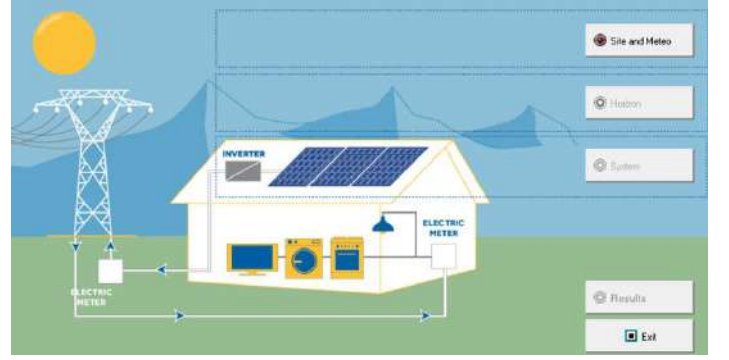
Satish vd. (2020) yaptıkları çalışmada, Dubai'de 200 kW gücünde şebeke bağlantılı monokristal panellerden oluşan FV sistemin kurulumu ve incelemesini PVsyst programı ile yapmışlardır. Tasarlanan sistem 22 adet seri ve 32 adet paralel bağlanmış toplam 704 adet panelden oluşmaktadır. Sunmodule markalı 285 W gücündeki monokristal paneller 25° lik açı ile yerleştirilmiştir. Sistemin yıllık 352,6 MWh enerji ürettiği belirtilmiştir.

Saraswat (2016) yaptığı çalışmada, aynı yük ve hava koşullarında farklı üreticilerin güneş panellerinin karşılaştırmalı performans analizini yapmışlardır. Farklı güneş panellerinin kayıplar ve verimlilik açısından karşılaştırmalı analizi tablo şeklinde sunulmuştur. Bu çalışmada PVsyst programı kullanılmıştır.

Rout & Kulkarni (2020) yaptıkları çalışmada, 2 kW gücünde çatıya kurulması düşünülen şebekeye bağlı bir FV sistemi PVsyst programı ile oluşturularak analiz etmişlerdir. Panel eğim açısı 20,3° dir. Kullanıcı yüklerinin 3.244,8 kWh olduğu, sistemin 2.962,4 kWh enerji ürettiği ve aradaki 33,23 kWh' lik enerji farkının şebekeden karşılanacağı tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

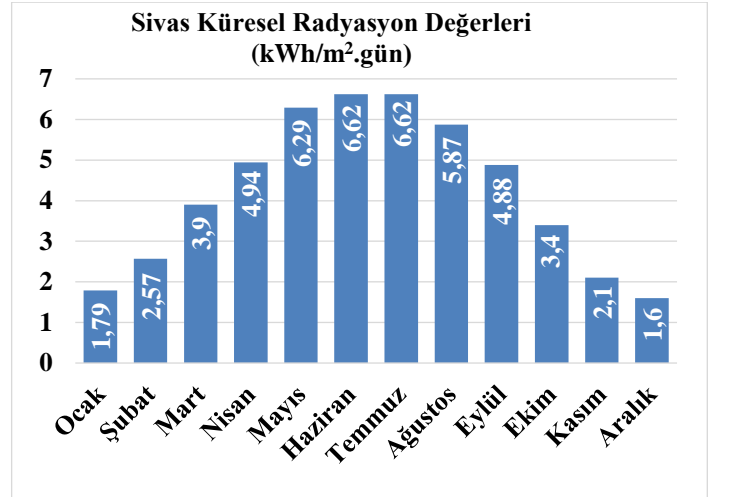
Bu çalışmada PVsyst programı kullanılarak Sivas ilinin beş farklı ilçesinde kurulacak santrallerin modellenmesi ve hesaplamaları yapılmıştır. FV sistemler için PVsyst programı ayrıntılı çalışma, boyutlandırma, saatlik simülasyon yapabilmekte ve içerdiği birçok özellikten dolayı gerçek değerlere oldukça yakın sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca programın hesaplama sonuçlarına finans kuruluşları kredi vermektedir (Sarı & Özyiğit, 2020). Şekil 5' de PVsyst program ekranı görülmektedir.



Şekil 5. PVsyst program ekranı (Fig 5. PVsyst program screen)

2.1. İklimsel Veriler

Tablo 1' de Sivas ilinin iklimsel verileri görülmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler). Şekil 6' da Sivas ilinin aylara göre küresel ışınım değerleri, Şekil 7' de ise Sivas ilinin ilçelere göre küresel ışınım değerleri görülmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası).



Şekil 6. Sivas ilinin aylara göre küresel ışınım değerleri (Fig 6. Global radiation values of Sivas province according to months)

2.2. Yer Seçimi

Proje kurulumu için yer seçimi yapılırken arazinin eğimi, toprak türü, güney yönüne cephesi, tarım arazisi olmaması ve ulaşım durumu gibi özellikler göz önünde bulundurulmuştur. Santraller için 180 dönümlük bir arazi gerekmektedir. Seçilen araziler sanayi bölgelerine yakın olarak seçilmiştir. Proje alanları belirlenirken, ulaşım altyapısının olması, arazilerin eğimi, toprak türünün proje inşasına uygun olması, arazilerin çevresinde gölge yaratacak yapı veya bitki örtüsü olmaması ve proje alanlarının enerji nakil hattına yakın olması gibi kriterler göz önüne alınmıştır.

2.3. Tasarım

Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar FV güneş teknolojileri ve ısıl güneş teknolojileridir. FV hücreler, üzerlerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanır, bu yapıya güneş hücresi modülü ya da FV modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt' tan Mega Watt' lara kadar sistemler oluşturulabilir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri).



Şekil 7. Sivas ilinin ilçelere göre küresel ışınlam değerleri (Fig 7. Global irradiance values of Sivas province according to districts)

Tablo 1. Sivas ili iklimsel verileri (Table 1. Climatic data of Sivas province)

Sivas	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
Ocak	-3,4	0,7	-7,3	2,5	13	43,1
Şubat	-2,1	2,5	-6,3	3,5	12,2	39,1
Mart	2,6	7,9	-2,1	4,8	13,3	44,9
Nisan	8,8	15	3	6,3	13,4	57
Mayıs	13,4	20	6,9	8	14	61,1
Haziran	16,9	23,9	9,5	10,5	8,6	33,9
Temmuz	19,9	27,7	11,6	11,9	2,4	9,5
Ağustos	20,1	28,5	11,7	11,4	2	6,7
Eylül	16,1	24,5	8	9,4	4,2	17,8
Ekim	10,8	18,4	4,1	6,4	7,8	33,7
Kasım	4,7	10,7	-0,2	4,2	9,3	40,4
Aralık	-0,7	3,5	-4,4	2,4	12,2	44,8
Yıllık	8,9	15,3	2,9	81,3	112,4	432

FV hücrelerde yarı-iletken malzeme olarak kristal silikonun (silisyum) kullanıldığı sistemlere kristal silikon teknolojisi denilmektedir. Silisyum, oksijenden sonra yer kabuğunda en çok bulunan elementtir. Doğada saf şekilde bulunmayan silisyumun hücre yapımına hazır hale gelmesi için yüksek sıcaklık gerektiren işlemler sonucunda silikondioksit bileşiğinden ayrılması gerekmektedir. Üretim sürecindeki farklılıklardan dolayı kristal silikon FV hücrelerin; monokristal silikon, polikristal silikon ve ribbon silikon hücre olmak üzere üç çeşidi bulunmaktadır. Monokristal silikon FV teknolojilerin dezavantajlarının en başında silisyumun yüksek derecede saflaştırılması işleminin fazla enerji gerektirmesi, karmaşık ve uzun bir süreçte gerçekleştirilmesi ve maliyetli olması gelmektedir. Elektriksel özellikleri açısından monokristal FV hücrelerle hemen hemen aynı olan polikristal silikon FV hücreler monokristal hücreye göre daha az enerji gerektiren bir süreçte üretilmektedir. Bu nedenle üretim maliyeti daha düşüktür. Ancak, polikristal hücrenin verimliliği monokristal hücrenin verimliliğinden daha düşüktür (Cebeci, 2017).

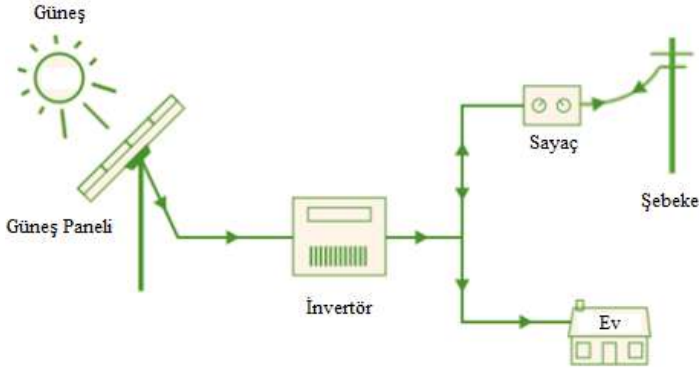
Bu çalışmada, kullanılacak paneller sabit eğik sistem olarak tasarlanmış, panel eğim açısı 35° ve azimuth açısı 0° olarak konumlandırılmıştır. Monokristal sistem tasarımında 290 Watt' lık 34.482 adet panel ve 72 kW' lık 148 adet invertör

kullanılmıştır. Paneller 21 adet seri ve 1.642 adet paralel olacak şekilde bağlanmıştır. Modüllerin toplam alanı 56.440 m² dir. Polikristal sistem tasarımında 290 Watt' lık 34.480 adet panel ve 72 kW' lık 148 adet invertör kullanılmıştır. Paneller 20 adet seri ve 1.724 adet paralel olacak şekilde bağlanmıştır. Modüllerin toplam alanı 66.161 m² dir.

Sistem tasarımı için yaygın olarak kullanılan Trina Solar markasının monokristal panelleri ve Canadian Solar firmasının polikristal panelleri seçilmiş, invertör için ise yaygın kullanılan Kaco New Energy markası seçilmiştir. Tablo 2' de kullanılacak FV panel ve invertör marka ve modelleri verilmiştir. Santraller şebekeye bağlı olarak tasarlanmıştır. Şekil 8' de şebekeye bağlı sistemin genel yapısı görülmektedir (Start Solar, 2020).

Tablo 2. Kullanılacak fotovoltaik panel ve İnvörtör (Table 2. Photovoltaic panel and inverter to be used)

Ürün	Üretici	Model
Monokristal	Trina Solar Co.	TSM-290DD05A.08(II)
Polikristal	Canadian Solar Inc.	CS6X-290P
İnvörtör	Kaco New Energy	Powador 72.0 TL3 Park XL



Şekil 8. Şebeke bağlantılı sistem genel yapısı (Fig 8. Grid-connected system general structure)

2.4. Ekonomik Analiz

Santrallerin banka kredisi alınmadan % 100 özsermaye ile ve 8 yıllık geri ödemeli yıllık % 8,5 faizle banka kredisi alınarak kurulması durumları incelenmiştir. Arazi birim fiyatları m² olarak belediyenin internet sitesinden (Sivas Belediyesi, 2020) alınmıştır. Tablo 3’ de arazilerin toplam fiyatları görülmektedir. Tablo 4’ de santrallerin kurulumundaki maliyetler verilmiştir.

Tablo 3. Arazi Fiyatları (Table 3. Land Prices)

Merkez	Divriği	Gürün	Yıldızeli	Zara
1.421.362 \$	174.693 \$	1.778.688 \$	241.394 \$	2.540.982 \$

Tablo 4. Maliyet Tablosu (Table 4. Cost table)

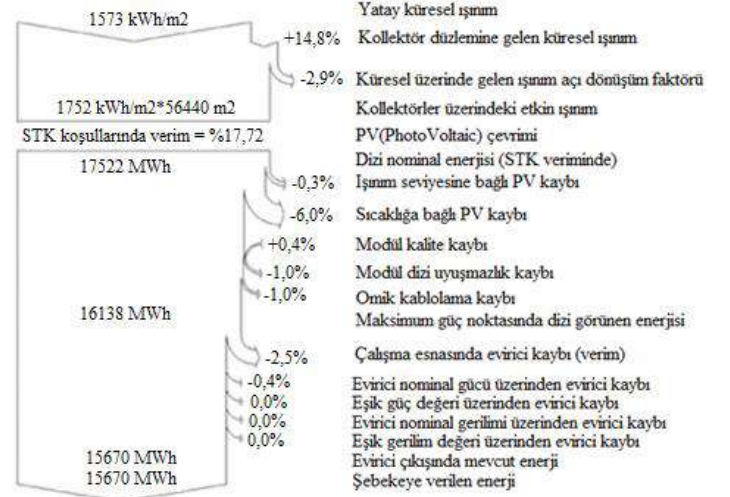
FV Modül Monokristal	2.899.937 \$
FV Modül Polikristal	2.599.792 \$
İnverter	932.400 \$
Geliştirme (Proje ve saha hazırlık)	186.000 \$
Personel Binası	20.610 \$
Personel Giderleri	63.100 \$/yıllık
Kablolar DC- AC	650.000 \$
Konstrüksiyon	850.000 \$
Trafo, beton köşk vs.	410.000 \$
Bakım-Onarım-Temizleme-Sigorta	126.000 \$/yıllık
İşçilik+Nakliye	660.000 \$
Diğer (Arazi düzenlemesi, merkezi izleme odası, mühendislik, scada sistemleri, koruma ekipmanları vs.)	930.000 \$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

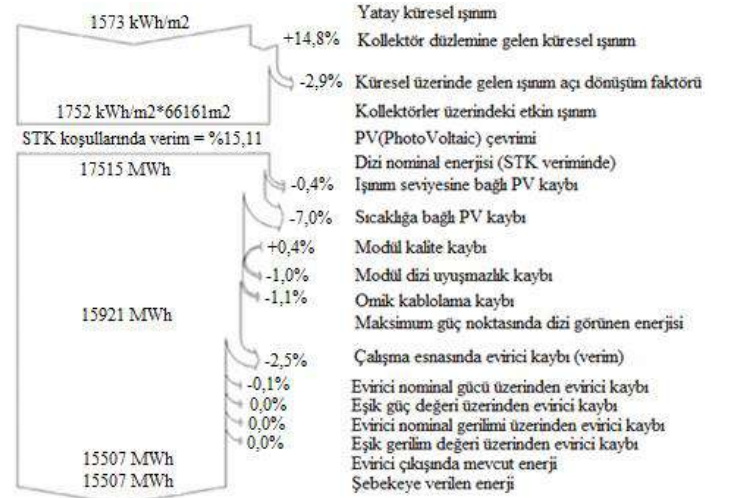
Bu çalışmada, Sivas ilinin beş ilçesinde ilk olarak monokristal paneller kullanılarak 10 MW, ikinci olarak polikristal paneller kullanılarak 9,999 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santrali tasarımı gerçekleştirilmiş ve sonuçlar maliyet ve üretim açısından analiz edilmiştir.

Sivas ili Merkez ilçesinde kurulu gücü 10 MW olan monokristal paneller kullanılarak ilk tasarım gerçekleştirilmiştir. Santralin kurulacağı arazinin küresel radyasyon miktarı yıllık 1.573 kWh/m² dir. Standart Test Koşullarında (STK) verimi %17,72 (Solar Design Tool, Trina Solar, 2020) olan panellerin dizi nominal enerjisi 17.522 MWh olarak gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 15.670 MWh enerji vermektedir. Şekil 9’ da merkez ilçede monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı verilmiştir. Merkez ilçede yapılan diğer analiz ise kurulu gücü

9,999 MW olan polikristal paneller ile gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin küresel radyasyon miktarı 1.573 kWh/m² dir. STK’ da verimi %15,11 (Solar Design Tool, Canadian Solar, 2020) olan panellerin dizi nominal enerjisi 17.515 MWh olarak gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 15.507 MWh enerji vermektedir. Şekil 10’ da merkez ilçede polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı görülmektedir.



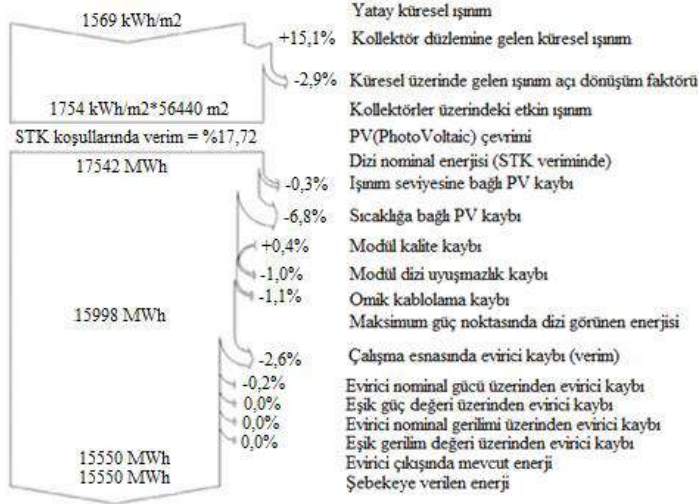
Şekil 9. Merkez ilçede monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 9. Energy loss diagram of the power plant built with monocrystalline panels in the central district)



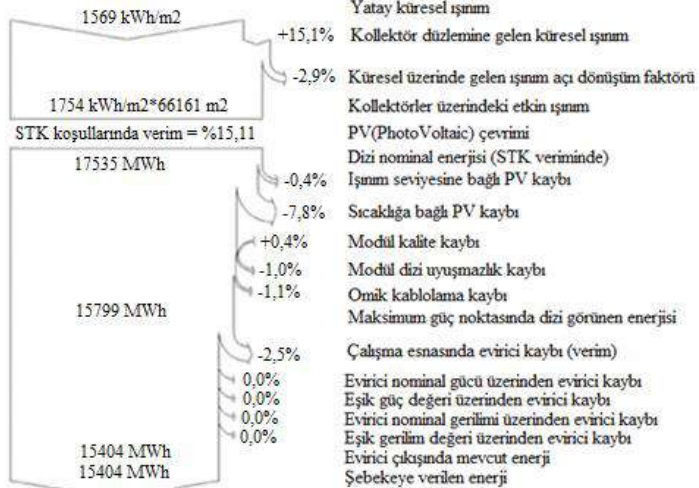
Şekil 10. Merkez ilçede polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 10. Energy loss diagram of the power plant created with polycrystalline panels in the central district)

Divriği ilçesinde ilk olarak monokristal panel kullanılarak 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinin kurulum çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin küresel radyasyon miktarı yıllık 1.569 kWh/m² dir. Panellerin dizi nominal enerjisi 17.542 MWh olarak gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 15.550 MWh enerji vermektedir. Şekil 11’ de Divriği ilçesinde monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı görülmektedir. Divriği ilçesindeki diğer çalışmada polikristal panel kullanılarak 9,999 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinin ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Panellerin dizi nominal enerjisi 17.535 MWh olarak

gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 15.404 MWh enerji vermektedir. Şekil 12’ de Divriği ilçesinde polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı görülmektedir.



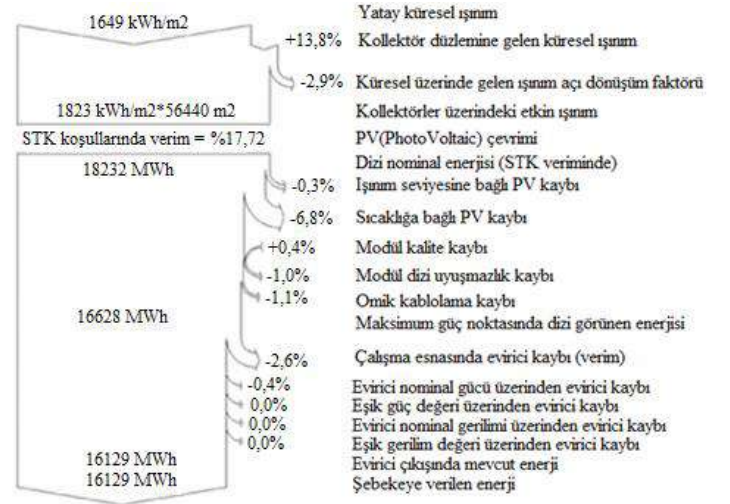
Şekil 11. Divriği ilçesinde monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 11. Energy loss diagram of the power plant built with monocrystalline panels in Divriği district)



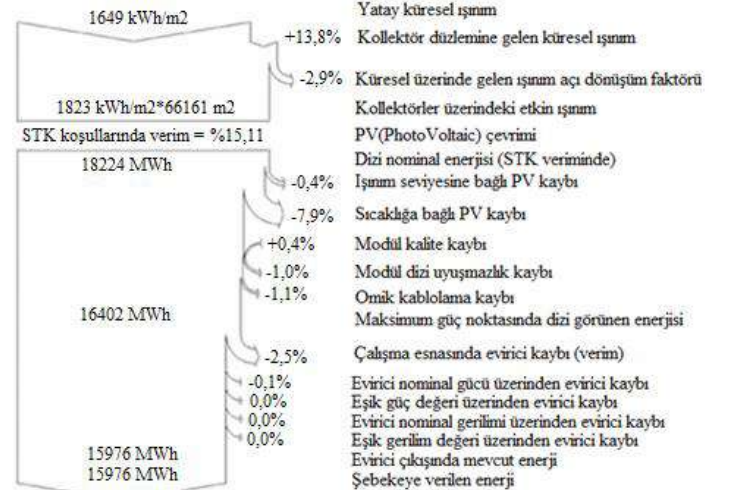
Şekil 12. Divriği ilçesinde polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 12. Energy loss diagram of the power plant built with polycrystalline panels in Divriği district)

Gürün ilçesinde ilk olarak monokristal panel kullanılarak 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin küresel radyasyon miktarı yıllık 1.649 kWh/m²’ dir. Panellerin dizi nominal enerjisi 18.232 MWh olarak gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 16.129 MWh enerji vermektedir. Şekil 13’ de Gürün ilçesinde monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı görülmektedir. Gürün ilçesindeki diğer çalışmada polikristal panel kullanılarak 9,999 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Panellerin dizi nominal enerjisi 18.224 MWh olarak gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 15.976 MWh enerji vermektedir. Şekil 14’ de

Gürün ilçesinde polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı görülmektedir.

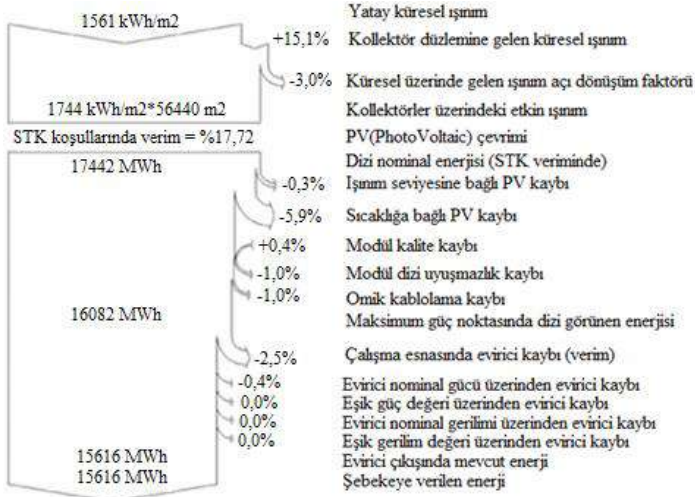


Şekil 13. Gürün ilçesinde monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 13. Energy loss diagram of the power plant built with monocrystalline panels in Gürün district)

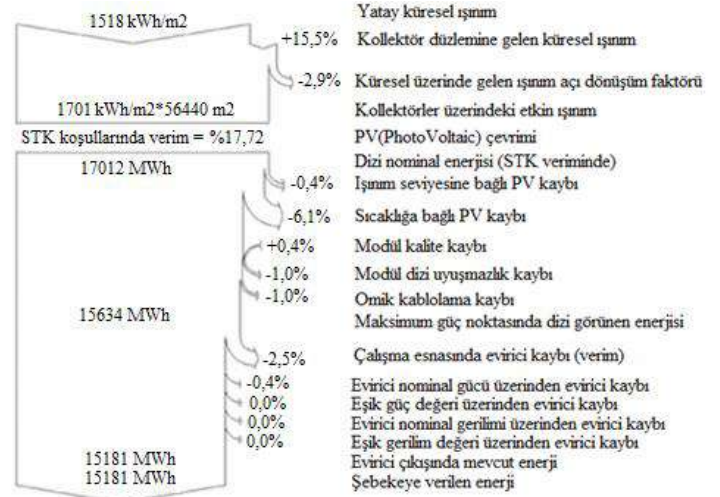


Şekil 14. Gürün ilçesinde polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 14. Energy loss diagram of the power plant built with polycrystalline panels in Gürün district)

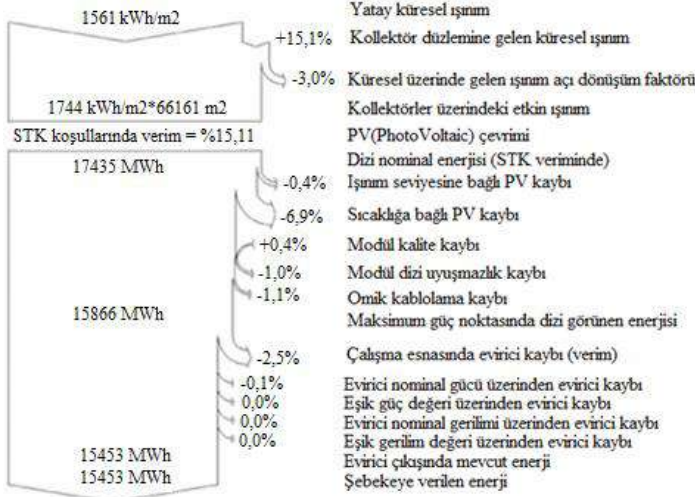
Yıldızeli ilçesinde ilk olarak monokristal panel kullanılarak 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin küresel radyasyon miktarı yıllık 1.561 kWh/m²’ dir. Panellerin dizi nominal enerjisi 17.442 MWh olarak gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 15.616 MWh enerji vermektedir. Şekil 15’ de Yıldızeli ilçesinde monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı görülmektedir. Yıldızeli ilçesindeki diğer çalışmada polikristal panel kullanılarak 9,999 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Panellerin dizi nominal enerjisi 17.435 MWh olarak gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 15.453 MWh enerji vermektedir. Şekil 16’ da Yıldızeli ilçesinde polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı görülmektedir.



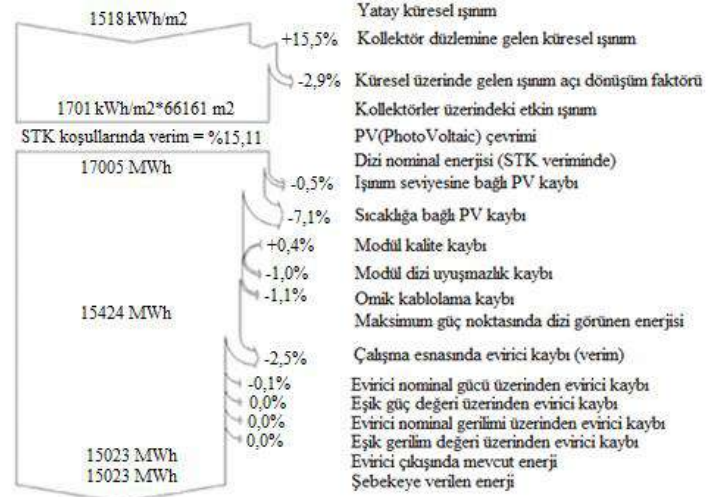
Şekil 15. Yıldızeli ilçesinde monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 15. Energy loss diagram of the power plant built with monocrystalline panels in Yıldızeli district)



Şekil 17. Zara ilçesinde monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 17. Energy loss diagram of the power plant built with monocrystalline panels in Zara district)

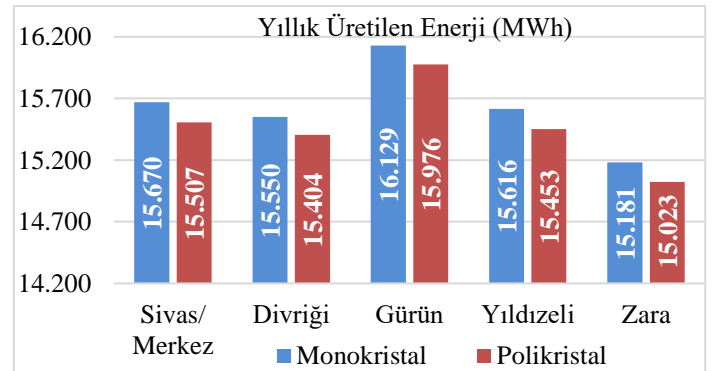


Şekil 16. Yıldızeli ilçesinde polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 16. Energy loss diagram of the power plant built with polycrystalline panels in Yıldızeli district)



Şekil 18. Zara ilçesinde polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı (Fig 18. Energy loss diagram of the power plant built with polycrystalline panels in Zara district)

Zara ilçesinde ilk olarak monokristal panel kullanılarak 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin küresel radyasyon miktarı yıllık 1.518 kWh/m²' dir. Panellerin dizi nominal enerjisi 17.012 MWh olarak gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 15.181 MWh enerji vermektedir. Şekil 17' de Zara ilçesinde monokristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı görülmektedir. Zara ilçesindeki diğer çalışmada polikristal panel kullanılarak 9,999 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Panellerin dizi nominal enerjisi 17.005 MWh olarak gerçekleşmektedir. Kayıplar çıkarıldığında sistem şebekeye yıllık 15.023 MWh enerji vermektedir. Şekil 18' de Zara ilçesinde polikristal panellerle oluşturulan santralin enerji kayıp diyagramı görülmektedir.



Şekil 19. İlk yıl üretilen yıllık enerji (Fig 19. Annual energy generated in the first year)

Şekil 19' da tüm ilçelere ait ilk yıl üretilen yıllık elektrik enerjisi görülmektedir. Yıllık üretilen enerji en fazla Gürün ilçesinde (monokristal için 16.129 MWh, polikristal için 15.976 MWh) en az Zara ilçesinde (monokristal için 15.181 MWh, polikristal için 15.023 MWh) olmaktadır. Bunun sebebi Şekil 7'

de görüldüğü gibi Gürün ilçesinin küresel ışınım miktarının en fazla, Zara ilçesinin küresel ışınım miktarının en az olmasıdır.

Santrallerin, banka kredisi alınmadan ve 8 yıl geri ödemeli yıllık % 8,5 faizle banka kredisi alınarak kurulması durumları incelenmiştir. Santrallerin banka kredisi alınmadan kurulumundaki sonuçlara göre santrallerin geri ödeme süreleri Tablo 5’ de verilmiştir. Tablo 5’ de görüldüğü gibi polikristal panellerle oluşturulan santrallerin geri ödeme süreleri, monokristal panellerle oluşturulan santrallerin geri ödeme sürelerinden daha kısa olmaktadır. Bunun nedeni Şekil 20’ de görüldüğü gibi polikristal panellerle oluşturulan santrallerin yatırım maliyetlerinin daha az olmasıdır. En kısa geri ödeme süresi 4,5 yıl ile Divriği ve Yıldızeli ilçelerinde polikristal paneller ile kurulan santrallerde gözlenmiştir. En uzun geri ödeme süresi ise 6,3 yıl ile Zara ilçesinde monokristal paneller ile kurulan santralde olmuştur. Tablo 6’ da kurulan santrallerin PVsyst programından elde edilen performans oranları verilmiştir. Merkez ve Yıldızeli ilçesinde monokristal panellerle kurulan santraller % 86,9 ile en yüksek performans oranına sahiptirler. En düşük performans oranı % 85,3 ile Gürün ilçesinde polikristal paneller ile kurulan santralde olmuştur. Tablo 7’ de santrallerin birim maliyetleri verilmiştir. En düşük birim maliyet 0,04443 \$/kWh ile Divriği ilçesinde polikristal panellerle kredi alınmadan kurulan santralde olmaktadır. En yüksek birim maliyet ise 0,06159 \$/kWh ile Zara ilçesinde monokristal panellerle kredi alınarak kurulan santralde olmaktadır.

Tablo 5. Santrallerin Geri Ödeme Süreleri (Table 5. Payback Periods of Power Plants)

İlçe Adı	Monokristal	Polikristal
Merkez	5,3 yıl	5,2 yıl
Divriği	4,6 yıl	4,5 yıl
Gürün	5,4 yıl	5,3 yıl
Yıldızeli	4,6 yıl	4,5 yıl
Zara	6,3 yıl	6,1 yıl

Tablo 6. Santrallerin Performans Oranları (Table 6. Performance Ratios of Power Plants)

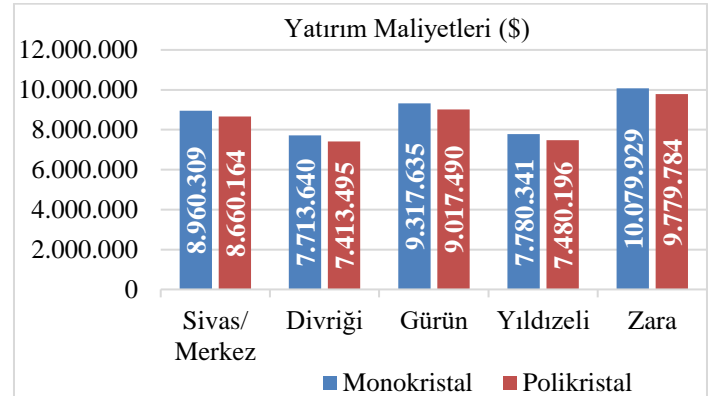
İlçe Adı	Monokristal	Polikristal
Merkez	% 86,9	% 86,2
Divriği	% 86,3	% 85,4
Gürün	% 86,1	% 85,3
Yıldızeli	% 86,9	% 86,2
Zara	% 86,7	% 86,0

Tablo 7. Santrallerin Birim Maliyetleri (Table 7. Unit Costs of Power Plants)

İlçe Adı	Kredisiz Kurulum (US\$/kWh)		Kredili Kurulum (US\$/kWh)	
	Monokristal	Polikristal	Monokristal	Polikristal
Merkez	0,04752	0,04720	0,05634	0,5581
Divriği	0,04486	0,04443	0,05251	0,05185
Gürün	0,04738	0,04702	0,05629	0,05573
Yıldızeli	0,04485	0,04451	0,05254	0,05197
Zara	0,05135	0,05105	0,06159	0,06109

Santrallerin banka kredisi kullanılarak kurulması durumu da incelenmiştir. Santrallerin kurulum maliyetlerinin tamamı, bankadan çekilecek kredi ile karşılanmıştır. Merkez ilçedeki çalışmaların sonuçlarına göre, enerji satışından elde edilen getiri ile ilk 8 yıl banka ödemesi ve işletme giderleri karşılanmakta ayrıca monokristal paneller için ilk 8 yılın sonunda 560.000 \$,

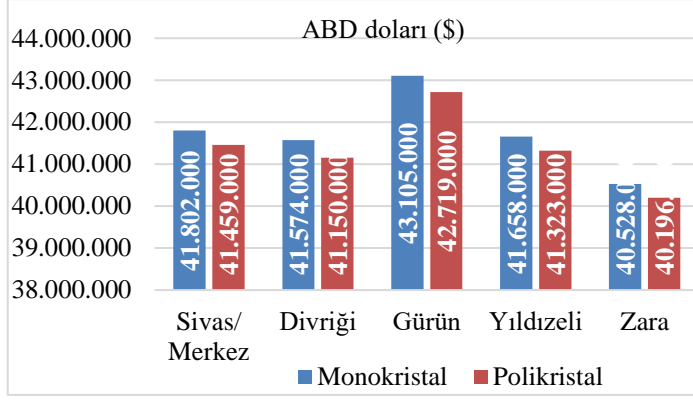
polikristal paneller için 864.000 \$ kazanç elde edilmektedir. Santralin 30 yıllık ömrü boyunca monokristal panellerden 17.836.000 \$, polikristal panellerden 17.964.000 \$ toplam kazanç elde edilmektedir. Divriği ilçesinde gerçekleştirilen çalışmaların sonucunda, enerji satışından elde edilen getiri ile ilk 8 yıl banka ödemesi ve işletme giderleri karşılanmakta ayrıca monokristal paneller için ilk 8 yılın sonunda 2.248.000 \$, polikristal paneller için 2.524.000 \$ kazanç elde edileceği tespit edilmiştir. Santralin 30 yıllık ömrü boyunca monokristal panellerden 19.407.000 \$, polikristal panellerden 19.466.000 \$ toplam kazanç elde edilmektedir. Gürün ilçesinde gerçekleştirilen çalışmalarda enerji satışından elde edilen getiri ile ilk 8 yıl banka ödemesi ve işletme giderleri karşılanmakta ayrıca monokristal paneller için 514.000 \$, polikristal paneller için 804.000 \$ kazanç elde edilmektedir. Santralin 30 yıllık ömrü boyunca monokristal panellerden 18.457.000 \$, polikristal panellerden 18.550.000 \$ toplam kazanç elde edilmektedir. Yıldızeli ilçesinde gerçekleştirilen çalışmalarda enerji satışından elde edilen getiri ile ilk 8 yıl banka ödemesi ve işletme giderleri karşılanmakta ayrıca monokristal paneller için 2.184.000 \$, polikristal paneller için 2.491.000 \$ kazanç elde edilmektedir. Santralin 30 yıllık ömrü boyunca monokristal panellerden 19.386.000 \$, polikristal panellerden 19.522.000 \$ toplam kazanç elde edilmektedir. Zara ilçesinde gerçekleştirilen çalışmalarda enerji satışından elde edilen getiri ile ilk 8 yılın sonunda banka ödemesi ve işletme giderleri karşılanamamakta ve monokristal için toplam 1.480.000 \$, polikristal için 1.171.000 \$ borçlanılmaktadır. 9. yıl ise borç kapatılıp monokristal için 59.000 \$, polikristal için 354.000 \$ getiri sağlanmaktadır. Santralin 30 yıllık ömrü boyunca monokristal panellerden 15.142.000 \$, polikristal panellerden 15.281.000 \$ toplam kazanç elde edilmektedir.



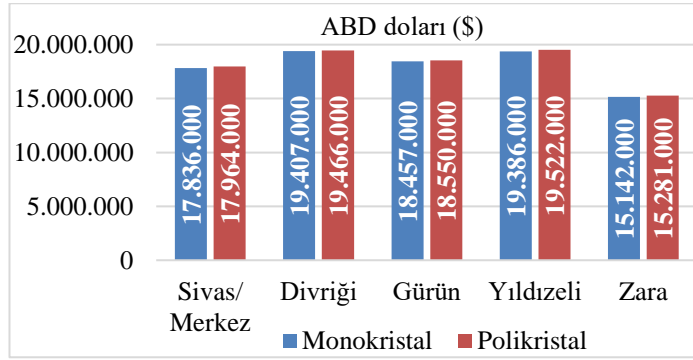
Şekil 20. Yatırım maliyetleri (Fig 20. Investment costs)

Şekil 20’ de tüm ilçelere ait yatırım maliyetleri gösterilmektedir. Yatırım maliyetinin en fazla Zara ilçesinde olmasının sebebi bu ilçedeki arazi fiyatlarının yüksek olmasıdır. Bu çalışma kapsamında santraller tasarlanırken sanayi bölgelerine yakın yerler seçilmiştir. Zara ilçesindeki sanayi bölgesine yakın arazilerin fiyatları da yüksektir. Bu ilçede yatırım maliyetini azaltmak için santralin, fiyatı daha düşük olan araziye kurulması gerekmektedir. Şekil 21’ de tüm ilçelere ait 30 yıllık santral ömrü boyunca kurulum ve işletme masrafları çıkarılmadan enerji satışından elde edilen toplam getiri gösterilmektedir. Burada üretilen enerji miktarı ile orantılı olarak satılan enerji en fazla Gürün ve en az Zara ilçesinde olmaktadır. Şekil 22’ de ise 30 yıl boyunca elde edilen getiriden kurulum ve işletme masrafı çıkarıldığında elde edilen kâr gösterilmektedir. Santralin 30 yıllık ömrü boyunca toplam kârı monokristal panellerle Merkez ilçe için 17.836.000 \$, Divriği ilçesi için

19.407.000 \$, Gürün ilçesi için 18.457.000 \$, Yıldızeli ilçesi için 19.386.000 \$ ve Zara ilçesi için ise 15.142.000 \$ olmaktadır. Polikristal panellerle oluşturulan santralin 30 yıllık toplam kârı Merkez ilçe için 17.964.000 \$, Divriği ilçesi için 19.466.000 \$, Gürün ilçesi için 18.550.000 \$, Yıldızeli ilçesi için 19.522.000 \$ ve Zara ilçesi için ise 15.281.000 \$ olmaktadır. En fazla kâr monokristal paneller için 19.407.000 \$ ile Divriği ilçesinde, polikristal paneller için 19.522.000 \$ ile Yıldızeli ilçesinde olmaktadır.



Şekil 21. Santral ömrü boyunca elde edilen getiri (Fig 21. Income over the life of the plant.)



Şekil 22. Santral ömrü boyunca elde edilen kar (Fig 22. Profit over the life of the plant.)

4. Sonuç

Fosil yakıtların çevreye verdiği zararlardan dolayı yenilenebilir enerjiden elektrik enerjisi üretimi gittikçe artmaktadır. Ayrıca ülkelerin enerji üretiminde dışa bağıllığını azaltmanın en iyi yolu yenilenebilir enerji yatırımlarıdır. Bu çalışmada Sivas ilinin beş farklı ilçesinde PVsyst programı ile 10 MW gücünde monokristal ve polikristal panellerden oluşan güneş enerji santralleri tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Kredi kullanmadan ve 8 yıllık geri ödemeli kredi kullanılması durumları incelenmiştir. Öncelikle banka kredisi alınmadan santrallerin kurulumu analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre polikristal panellerle oluşturulan santrallerin geri ödeme süreleri, monokristal panellerin geri ödeme sürelerinden daha kısa olmaktadır. Bunun nedeni polikristal panellerle oluşturulan santrallerin yatırım maliyetlerinin daha az olmasıdır. En kısa geri ödeme süresi Divriği ve Yıldızeli ilçelerinde polikristal paneller ile kurulan santrallerde 4,5 yıl olarak gözlenmiştir. En uzun geri ödeme süresi 6,3 yıl ile Zara ilçesinde monokristal paneller ile kurulan santralde olmuştur. Merkez ve Yıldızeli ilçesinde monokristal panellerle kurulan santraller % 86,9 ile en yüksek performans oranına sahiptirler. En düşük performans oranı % 85,3 ile Gürün ilçesinde polikristal paneller ile kurulan santralde

olmuştur. En düşük birim maliyet 0,04443 \$/kWh ile Divriği ilçesinde polikristal panellerle kredi alınmadan kurulan santralde olmaktadır. En yüksek birim maliyet ise 0,06159 \$/kWh ile Zara ilçesinde monokristal panellerle kredi alınarak kurulan santralde olmaktadır.

Her bir santral güneş enerji potansiyeli, enerji üretimi, maliyet, geri ödeme süresi ve karlılık açısından karşılaştırılmıştır. Monokristal panellerin verimi daha yüksek olduğundan dolayı, monokristal panellerle oluşturulan sistemin elektrik enerjisi üretimi polikristal panellere göre daha yüksek olmaktadır. Monokristal panellerle oluşturulan sistemin ilk kuruluş masrafı polikristal panellerle oluşturulan sistemin ilk kuruluş masrafından daha yüksek olmaktadır. İlk yatırım masrafının düşük olması için polikristal paneller tercih edilebilirken, uzun vadede daha çok getiri için monokristal paneller tercih edilebilir. Maliyetler eklenmeden sadece elektrik üretim miktarına bakıldığında en fazla üretilen elektrik enerjisi Gürün ilçesinde olmaktadır, bunun nedeni bu ilçede küresel ışınım miktarının diğer ilçelere göre en fazla olmasıdır. En az üretilen elektrik enerjisi ise Zara ilçesinde olmaktadır bunun nedeni küresel ışınım miktarının bu ilçede diğer ilçelere göre en az olduğundan dolayıdır. Şekil 22’ de görüldüğü gibi gelirlerden maliyetler çıkarıldıktan sonra santral ömrü boyunca elde edilen en çok kar monokristal paneller için 19.407.000 \$ ile Divriği ilçesinde, polikristal paneller için 19.522.000 \$ ile Yıldızeli ilçesinde olmaktadır. Zara ilçesinin arazi fiyatları yüksek olduğu için elde edilen kar düşük çıkmıştır. O yüzden bu ilçede güneş enerjisi santrali kurulması düşünüldüğünde, fiyatı ucuz bir araziye kurulması daha doğru bir çözüm olacaktır.

Bu çalışmada 10 MW gücünde güneş enerjisi santrali kurulumu ve analizi Sivas ilinin beş ilçesinde yapılmış, bütün ilçelerde yapılmamıştır. Bundan sonraki çalışmalarda diğer ilçelerde de farklı güçlerde güneş enerji santrali kurulumu ve analizinin yapılması Sivas ilinde kurulabilecek güneş enerji santralleri için faydalı olacaktır. Ayrıca bu çalışmanın devamında daha uzun vadede ve daha kısa vadede kredi çekilerek santrallerin kurulumu durumları analiz edilebilir. Her bir durum için geri ödeme süreleri ve birim maliyetler belirlenebilir. Böylelikle Sivas ilinde güneş enerjisi santrali kurulumu ve analizi ile ilgili daha çok bilgi elde edilmiş olur ve bu sayede bu bölgede yatırımlar artabilir. Bu konudaki çalışmalara elektrik enerjisi iletim maliyetleri de eklenebilir. Bir bölgede üretilen elektrik enerjisinin daha uzak bölgelerde kullanılması durumu incelenebilir ve böylelikle sistemdeki hat kayıpları ve sistemin verimi hesaplanabilir.

Kaynakça

- Akboy, E. (2019). Yüksek Güç Faktörlü Şebeke Bağlı Bir PV Sistemin Modellenmesi ve Farklı Işınım Altında Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 794-802.
- Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M.R. (2020). PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.
- Akyazı, Ö., Şahin, E. & Kahveci, D. C. (2019). Fotovoltaik Panel ve Şebeke Entegrasyonlu Akıllı Sokak Lambası Tasarımı ve Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 356-360.
- Aldudak, M. (2018). Economic Analysis and Efficiency Evaluation of PV Systems in Different Cities of Turkey.

- Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 94s, İstanbul.
- Barua, S., Prasath, R. A., & Boruah, D. (2017). Rooftop Solar Photovoltaic System Design and Assessment for The Academic Campus Using PVsyst Software. *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 5(1), 76-83.
- Cavalcante, M. M., de Souza Silva, J. L., Villalva, M. G., & Lins, M. P. F. (2019). Performance Analysis of a Solar Photovoltaic Power Plant. *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America* (1-5).
- Cebeci, S. (2017). Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi. T.C. Kalkınma Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Yayın No: 2977, Ankara.
- Çekirdek, M. (2017). Fotovoltaik Güç Santrallerinin Tekno-Ekonomik Analizi: Türkiye Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 89s, İzmir.
- Dandıl, E. & Gürgen, E. (2019). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıktılarının Tahmini ve Sezgisel Algoritmalar ile Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 146-158.
- Erdoğan, S. (2020). Enerji, Çevre ve Sera Gazları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 277-303.
- Erkınyay, P. U. (2012). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgâr Enerjisinin Türkiye’de Binalarda Kullanımı Üzerine Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 101s, Adana.
- Eyigün, S. (2010). Türkiye’ nin Farklı Bölgelerinde Kurulacak Fotovoltaik Santrallerin Teknik ve Ekonomik Açından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 125s, İstanbul.
- Girgin, M. H. (2011). Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW’lık Güneş Enerjisi Santrali için Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 223s, İstanbul.
- Güner, S. & Muharremoğlu, A. (2020). Bir Havalimanı Otoparkına Kurulabilecek Fotovoltaik Üretim Sisteminin Tasarımı ve Enerji Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 182-188.
- Huld, T. Global Irradiation and Solar Electricity Potential, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/G_hor_T_R.png Erişim Tarihi: 19.09.2020
- Kahraman, M. Ü. (2018). Kütahya Bölgesi Güneş ve Rüzgâr Enerji Potansiyellerinin Tekno-Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 135s, Kütahya.
- Keskin, E. (2012). Türkiye İklim Koşullarında Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Tasarımı ve Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 114s, Ankara.
- Koçak, M. E. (2018). Büyükçekmece İlçesindeki Güneş Enerji Santralının Tasarımı ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 129s, Sakarya.
- Kumar, N. M., Kumar, M. R., Rejoice, P. R., & Mathew, M. (2017). Performance Analysis of 100 kWp Grid Connected Si-poly Photovoltaic System Using PVsyst Simulation Tool. *Energy Procedia*, 117, 180-189.
- Ramoliya, J. V. (2015). Performance Evaluation of Grid-connected Solar Photovoltaic Plant Using PVSYST Software. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 2(2), 372-378.
- Rio Declaration on Environment and Development, (1992). https://legal.un.org/avl/pdf/ha/dunche/rio_ph_e.pdf Erişim Tarihi: 19.09.2020
- Rout, K. C., & Kulkarni, P. S. (2020). Design and Performance Evaluation of Proposed 2 kW Solar PV Rooftop on Grid System in Odisha Using PVsyst. *2020 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECES)* (1-6).
- Saraswat, R. (2016). Comparative Performance Evaluation of Solar PV Modules from Different Manufacturers in India by Using PVsyst. *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)* (1-3).
- Sarı, V. & Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesinde Güneş Enerjisi Santralının Ekonomik Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(65), 517-526.
- Satish, M., Santhosh, S., & Yadav, A. (2020). Simulation of a Dubai Based 200 KW Power Plant Using PVsyst Software. *2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)* (824-827).
- Saxena, G., & Gidwani, L. (2018). Estimation of Energy Production of Grid Connected Rooftop Solar Photovoltaic System at Nagar Nigam Kota, Rajasthan. *2018 3rd International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH)* (45-49).
- Sivas Belediyesi. Rayiç Sorgulama. <https://online.sivas.bel.tr/Rayic/Index> Erişim Tarihi: 05.10.2020
- Solar Design Tool, Canadian Solar CS6X-290P, <http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Canadian-Solar/3850/CS6X-290P/specification-data-sheet.html>
- Solar Design Tool, Trina Solar TSM-290DD05A.08(II), <http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Trina-Solar/4926/TSM-290DD05A-08-II-/specification-data-sheet.html>
- Start Solar, System Types, <http://startsolar.co.in/system-types/#on-grid> Erişim Tarihi: 19.09.2020
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/58.aspx> Erişim Tarihi: 19.09.2020
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi: 19.09.2020
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Aylık Ortalama Güneşlenme Süresi, <https://www.mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx> Erişim Tarihi: 19.09.2020
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SIVAS> Erişim Tarihi: 19.09.2020
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması (2004-2018) Heliosat Model Ürünleri, https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx Erişim Tarihi: 19.09.2020

- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü,
Türkiye Günlük Güneşlenme Süreleri,
<https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Gunluk-Guneslenme-Suresi.pdf> Erişim Tarihi: 19.09.2020
- Tallab, R., & Malek, A. (2015). Predict System Efficiency of 1 MWc Photovoltaic Power Plant Interconnected to The Distribution Network Using PVsyst Software. *2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (1-4).
- Tekkale, G. (2018). Türkiye' nin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Teknik ve Finansal Analizi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 137s, İstanbul.
- Türkdoğan, S., Mercan, M.T.& Çatal, T. (2020). Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik

- Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşılanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 476-485.
- Türkmen, S. (2020). Enerji Trilemması: Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(6), 299-309.
- Yağlı, H. & Koç, Y. (2020). Gaziantep Bölgesi İçin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Kurulacak Panellerin Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 475-483.



Patates (*Solanum tuberosum* L.) Yetiştirilen Toprakların Verimlilik Durumu ve Potansiyel Besin Maddesi Sorunlarının Belirlenmesi

Gülen Özyazıcı^{1*}, Mehmet Arif Özyazıcı², Orhan Dengiz³

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2187-6733), gulenozyazici@hotmail.com

² Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8709-4633), arifozyazici@hotmail.com

³ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0458-6016), o_dengiz@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 6 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 25 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.791286)

ATIF/REFERENCE: Özyazıcı, G., Özyazıcı, M.A. & Dengiz, O. (2020). Patates (*Solanum tuberosum* L.) Yetiştirilen Toprakların Verimlilik Durumu ve Potansiyel Besin Maddesi Sorunlarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 438-447.

Öz

Bu araştırmada, patates (*Solanum tuberosum* L.) yetiştirilen toprakların verimlilik durumlarının toprak analizleriyle belirlenmesi ve potansiyel bitki besin maddesi sorunlarının ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Ordu ve Trabzon illerinde patates tarımı yapılan arazilerden 109 adet toprak örneği alınmıştır. Toprak örneklerinde bazı fiziksel (tekstür) ve kimyasal [toprak reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC), kireç, organik madde, toplam azot (N), alınabilir fosfor (P), ekstrakte edilebilir potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), bor (B), demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn) ve mangan (Mn)] özellikleri belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre; toprakların ağırlıklı olarak (% 95.42'sinin) tınlı (orta bünyeli) topraklar olduğu ve tuzluluk yönünden sorun teşkil etmediği, patates için ideal pH aralığındaki toprakların oranının yaklaşık % 42.2 olduğu tespit edilmiştir. Büyük çoğunluğu az kireçli düzeyde olan patates topraklarının; % 51.37'sinde organik madde, % 86.24'ünde toplam N, % 53.22'sinde alınabilir P ve % 56.88'inde ekstrakte edilebilir K yeterli ve/veya yüksek düzeydedir. Ekstrakte edilebilir Ca ve Mg düzeylerinin büyük oranda iyi düzeyde olduğu araştırma topraklarının; % 45.87'si ekstrakte edilebilir B, % 35.78'inde ekstrakte edilebilir Zn ve % 11.93'ünde ekstrakte edilebilir Mn çok az/az düzeydedir. Patates tarımı yapılan toprakların ekstrakte edilebilir Fe ve Cu içerikleri yüksek/yeterli düzeyde bulunmuştur. Ordu ve Trabzon illerinde patates tarımı yapılan alanlarda mutlaka toprak analizlerine göre gübreleme programları düzenlenmeli ve yaprak analizleri de dikkate alınarak gübreleme önerilerinde bulunulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Toprak verimliliği, Mineral besin maddeleri, Patates, Asit topraklar.

Determination of Fertility Condition and Potential Nutrition Problems of The Potato (*Solanum tuberosum* L.) Grown Soils

Abstract

In this research, it was aimed to determine the fertility status of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivated soils by soil analysis and to reveal potential plant nutrient problems. For this purpose, 109 soil samples were taken from agricultural land with potatoes in the provinces located in the Black Sea region of Turkey Ordu and Trabzon. Some physical (texture) and [chemical soil reaction (pH), electrical conductivity (EC), lime, organic matter, total nitrogen (N), available phosphorus (P), extractable potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), boron (B), iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn) and manganese (Mn)] properties were determined in the samples. According to the results of the research; It has been determined that predominantly (95.42%) of the soils are loamy (medium textured) soils and do not pose a problem in terms of salinity, the ratio of soils in the ideal pH range for potatoes is approximately 42.2%. Most of potato soils are less calcareous; Organic matter at 51.37%, total N at 86.24%, obtainable P at 53.22% and extractable K at 56.88%

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2187-6733, gulenozyazici@siirt.edu.tr

are sufficient and / or high. In research soils where extractable Ca and Mg levels are mostly at good levels; 45.87% of extractable B, 35.78% of extractable Zn and 11.93% of extractable Mn is very low / low level. Extractable Fe and Cu contents of potato cultivation soils were found to be high/sufficient. In the areas where potato cultivation is carried out in Ordu and Trabzon provinces, fertilization programs should be arranged for soil analysis and fertilization recommendations should be made by taking into account the leaf analysis.

Keywords: Soil fertility, Mineral nutrients, Potato, Acid soils.

1. Giriş

Günümüzde nüfus artışına paralel olarak düzensiz kentleşme ve sanayileşme, tarım arazileri üzerindeki baskıyı giderek arttırmakta; küresel ısınma ile birlikte tarım arazilerinin amaç dışı kullanımı, aşırı ve bilinçsiz gübreleme ve sulama, tarım topraklarının verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, kaybedildikleri takdirde yenilenmesi mümkün olmayan toprakların korunması, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri dikkate alınarak kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu durum, tarımsal üretimde optimum ve kaliteli ürün elde edilmesinde önemli olduğu kadar, aynı zamanda sürdürülebilir toprak yönetimi ve sürdürülebilir tarım sisteminin de bir gereğidir. En uygun bir biçimde kullanıldıklarında beklenen verimi sağlayabilen toprakların (Everest ve ark., 2020), sürdürülebilir biçimde kullanılıp yönetilmesi için de toprak kaynaklarını yeterli şekilde incelemek ve izlemek mümkündür (Özyazıcı ve ark., 2016).

İklim, topoğrafya, vejetasyon gibi faktörlere bağlı olarak çok küçük alanlarda dahi değişkenlikler gösteren toprakların özelliklerinin belirlenmesi, farklı toprak parametreleri arasındaki ilişkilerin ortaya konması, üzerinde yetişen bitki örtülerinin de verim ve kalitesi bakımından önem taşımaktadır. Türkiye’de bu amaca yönelik olarak farklı ekolojilerde büyük ve küçük ölçekli birçok çalışmada toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri ortaya konarak; çeltik tarımında (Taban ve ark., 1997), kiraz bahçelerinde (Başaran ve Okant, 2005; Yağmur ve Okur, 2011; Çelik ve Urhan, 2020), yonca tarımında (Özyazıcı ve ark., 2013), sarımsak tarımında (Akça ve ark., 2017), tahıllarda (Doğan ve Erdal, 2018; Eren, 2019), fındık tarımında (Özkutlu ve ark., 2019), soya bitkisinde (Kars ve Ekberli, 2020), mısır bitkisinde (Kars ve Ekberli, 2019; Ordu, 2020) potansiyel beslenme problemleri belirlenmeye çalışılmış, belirlenen toprak özellikleri doğrultusunda kullanım amacına uygun değerlendirmeler yapılarak gübreleme programlarının oluşturulmasına yönelik önemli veriler elde edilmiştir.

Dünyada besin kaynakları içerisinde ilk sıralarda yer alan patates (*Solanum tuberosum* L.) yetiştiriciliğinde; yumru verimini, genetik faktörlerin ve uygulanan kültürel işlemlerin yanı sıra toprak koşulları da büyük oranda etkilemektedir (Burton, 1989; Khan ve ark., 2011). Patates tarımında özellikle azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) gibi besin elementlerinin verim ve kalitede önemli etkileri olduğu (Allison ve ark., 2001; Tunçtürk ve ark., 2004; Belachew, 2016; Zhang ve ark., 2018; Akpınar ve ark., 2019; Tatar, 2019) dikkate alındığında, patates yetiştiriciliğinin yapıldığı topraklarda bu elementler ile besin maddelerinin alımında etkili olan toprak özelliklerinin saptanması patates tarımında önem arz etmektedir.

Bu araştırma, Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi’nde hem yemeklik hem de tohumluk amacıyla ekonomik anlamda patates

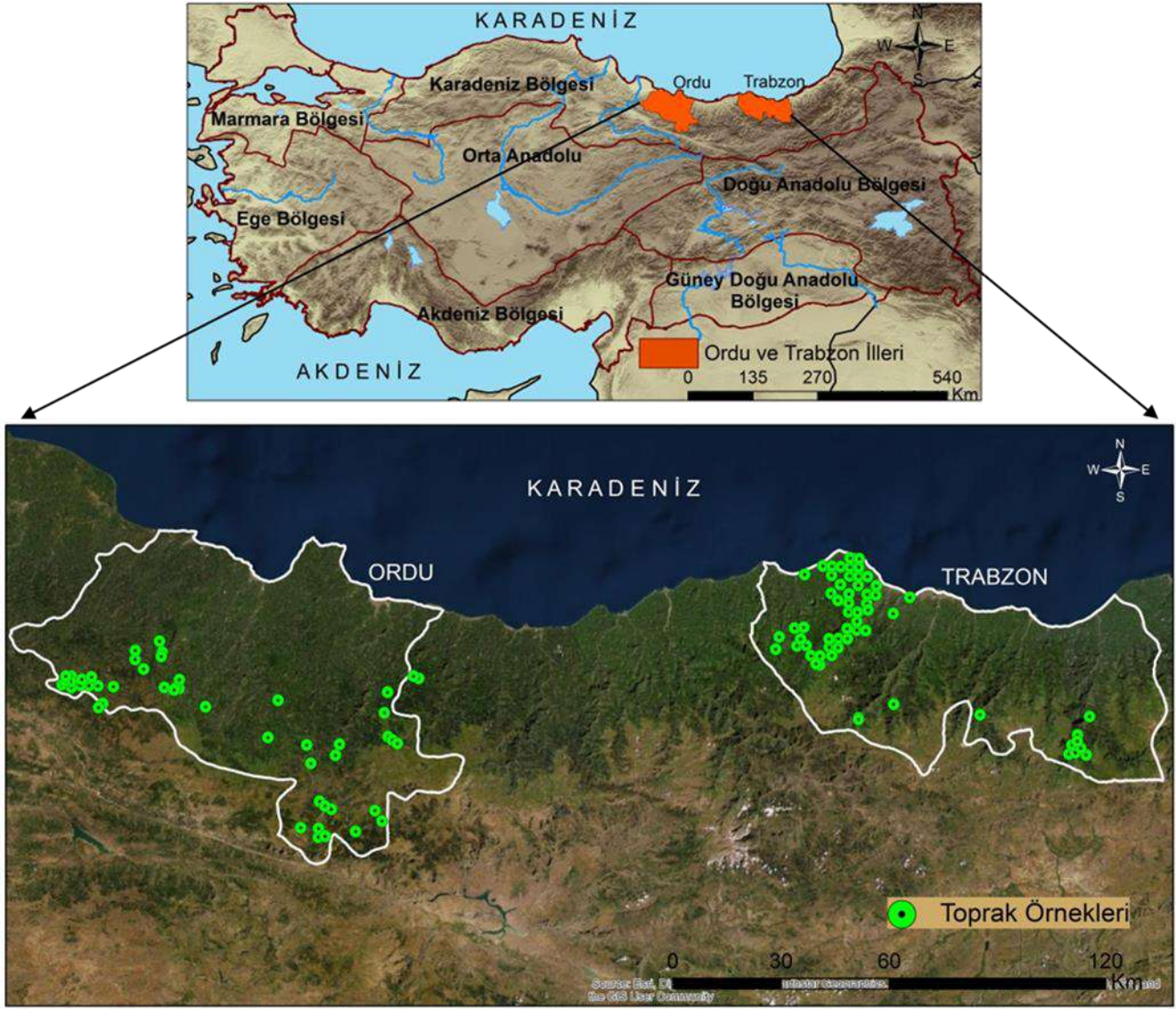
(*S. tuberosum* L.) tarımı yapılan alanlardaki toprakların, verimlilik durumunu belirlemek ve potansiyel bitki besin maddesi sorunlarını ortaya koymak amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırmanın materyalini, Karadeniz Bölgesi’nin Ordu ve Trabzon illerinde patates tarımının yapıldığı alanlardan alınan toplam 109 adet toprak örneği oluşturmuştur. Toprak örneklerinin 49’u Ordu, 60’ı Trabzon ilinden alınmıştır (Şekil 1). Toprak örnekleri, genel kurallara uygun olarak 0-20 cm derinlikten Jackson (1958) tarafından bildirildiği şekilde paslanmaz çelik kürek ile alınmıştır. Alınan toprak örnekleri laboratuvar koşullarında temiz ambalaj kâğıtlarına serilerek, taş ve bitki parçacıkları ayıklanmış, havada kurumaya bırakılmış; daha sonra kuruyan toprakların tamamı tahta tokmaklarla dövülerek 2 mm’lik çelik elekten geçirilmiş ve analizlere hazır hale getirilmiştir.

Toprak örneklerinin bünye analizleri, Bouyoucos hidrometre yöntemiyle (Bouyoucos, 1951); toprak reaksiyonu (pH), hazırlanan saturasyon çamurunda cam elektrotlu pH metre ile ölçülerek (Richards, 1954), asit karakterli topraklardan alınan örneklerin pH analizi ise 1:2.5’luk toprak su çözeltisi kullanılarak (Sağlam, 1978); elektriksel iletkenlik (EC) değeri, saturasyon çamurundan çıkartılan ekstrakta kondaktivite cihazı ile (Richards, 1954); kireç (CaCO_3) içerikleri, Scheibler kalsimetresiyle (Çağlar, 1949); organik madde kapsamı, modifiye edilmiş Walkley Black yöntemiyle (Nelson ve Sommers, 1982); alınabilir P içeriği, alkalın ve nötr karakterli topraklar için Olsen yöntemine göre (Olsen ve ark., 1954), asit karakterli topraklar için ise Bray ve Kurtz (1945) tarafından bildirilen yöntemine göre; toplam N analizi, modifiye Kjeldahl yöntemine göre (Jackson, 1958); ekstrakte edilebilir K, kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) kapsamı toprakların 1 N amonyum asetat (pH= 7.0) çözeltisi ile ekstrakte edilmesiyle (Anonymous, 1992); ekstrakte edilebilir bor (B) içeriği ise, topraktan sıcak su ile ekstrakte edilen B miktarının azometin-H ile oluşturulan kompleksin renk yoğunluğuna dayanılarak (Wolf, 1971) belirlenmiştir. Toprakların ekstrakte edilebilir demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn) ve mangan (Mn) miktarları; Lindsay ve Norvell (1978) tarafından bildirildiği şekilde, toprak örneklerinin DTPA+TEA (pH= 7.3) ile ekstrakte edildikten sonra, elde edilen süzüklerdeki Fe, Cu, Zn ve Mn miktarları atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Perkin Elmer Analyst 300)’nde okunarak tayin edilmiştir.

Toprak örneklerinin kum, kil ve silt yüzdeleri kullanılarak tekstür üçgeni yardımıyla bünye sınıfları belirlenmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde sınır değerler kullanılmış olup, sınır değerlerine göre toprak örneklerinin dağılımı ve oranları hesaplanarak değerlendirilmeler yapılmıştır.



Şekil 1. Araştırma alanı lokasyon haritası, örnekleme noktaları

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

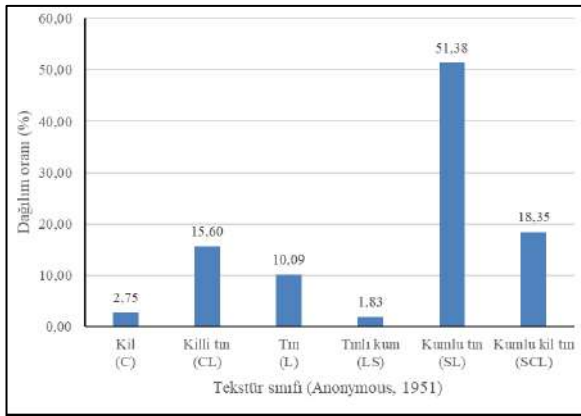
Patates tarımı yapılan toprakların kum, kil ve silt içerikleri sırasıyla % 23.42-83.48, % 5.81-49.01 ve % 7.71-38.19 arasında

değişkenlik göstermiştir (Tablo 1). Analiz sonuçlarına göre araştırma topraklarının bünye sınıfları kil (C), killi tın (CL), tın (L), tınlı-kum (LS), kumlu tın (SL) ve kumlu kil tın (SCL) olarak belirlenmiştir. Anonymous (1951) tarafından bildirilen bünye sınıflarına göre patates yetiştiriciliği yapılan toprakların % 2.75'inin killi topraklar (C), % 95.42'sinin tınlı (orta bünyeli) topraklar (CL, L, SL, SCL) ve % 1.83'ünün ise kumlu (hafif bünyeli) topraklar (LS) olduğu görülmüştür (Şekil 2).

Tablo 1. Patates tarımı yapılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikleri (n= 109)

	Bünye (%)			pH	EC (dS/m)	Kireç (%)	Organik madde (%)
	Kum	Kil	Silt				
En düşük	23.42	5.81	7.71	3.82	0.112	0.2	0.42
En yüksek	83.48	49.01	38.19	7.77	1.953	50.6	10.68
Ortalama	56.08	20.02	23.89	6.22	0.593	1.9	3.71
Basıklık	-0.59	0.21	-0.04	-0.95	4.21	47.33	-0.22
Çarpıklık	-0.18	0.79	-0.50	-0.45	1.89	6.53	0.66
Ortanca	55.27	17.26	24.61	6.53	0.53	0.47	3.01
Standart sapma	12.30	9.65	6.06	1.07	0.37	5.98	2.12
Varyans	151.23	93.12	36.76	1.15	0.13	35.74	4.47
Değişim katsayısı	21.93	48.19	25.37	17.26	61.68	311.35	57.00

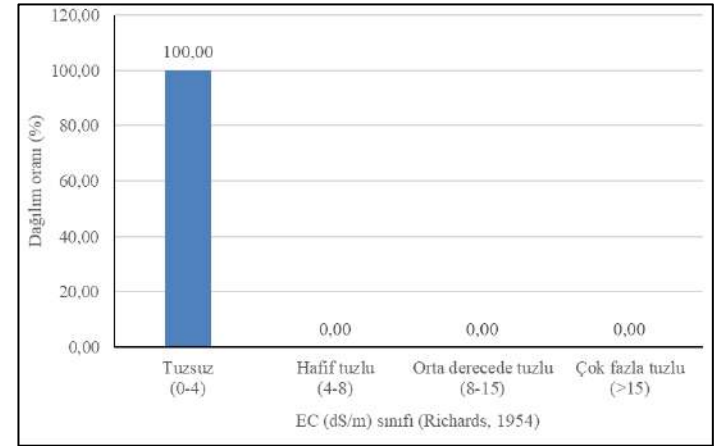
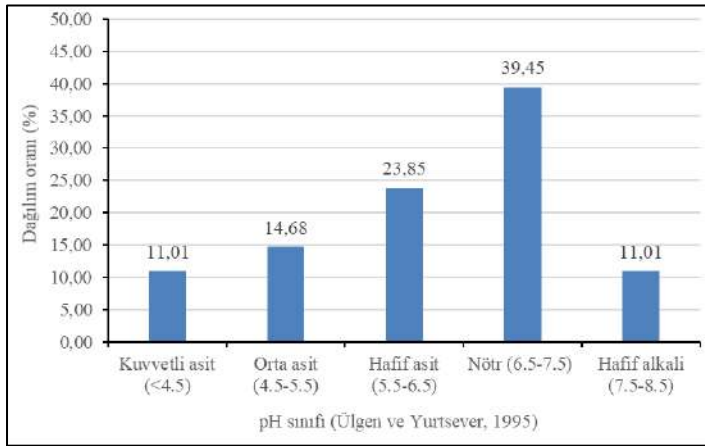
Fiziki yapı bakımından patates için ideal topraklar, yumuşak, kabarmış, gevşek yapılı ve iyi havalandırılmış topraklardır. Bu toprakların daha çok kumlu tın, siltli tın ve tın arasında değişen topraklar olduğu bildirilmektedir (Esendal, 1990; Anonymous, 2020a). Bu duruma göre, incelenen toprakların büyük çoğunluğunun patates yetiştiriciliği için uygun tekstüre sahip olduğu söylenebilir. Kil oranının yüksek olduğu verimli topraklarda patatesten iyi verim alınabilir; ancak, killi topraklarda patates yumruları iyi gelişemez. Esendal (1990), orta derecede ağır topraklarda iyi sonuç alabilmek için topraklara yeşil gübreleme uygulamasının önerildiğini bildirmektedir. Afyonkarahisar ili Dinar ilçesi patates ekim alanlarından alınan toprak örneklerinin % 87.14'ünün killi tın bünyeli olduğu (Çetin ve Eraslan, 2015); İzmir ili Ödemiş ilçesinde patates yetiştirilen toprakların % 94.88'lik kısmının tın bünyeli topraklar olduğu (Parlak, 2016) rapor edilmiştir.



Şekil 2. Patates Tarımı Yapılan Toprakların Tekstür Sınıflarına Göre Dağılımları (n= 109)

Araştırmada incelenen toprak örneklerinin pH değerlerinin 3.82-7.77 arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 1). Toprak örneklerinin Ülgen ve Yurtsever (1995) tarafından bildirilen sınır değerlerine göre dağılımı incelendiğinde; % 11.01'inin kuvvetli asit, % 14.68'inin orta asit, % 23.85'inin hafif asit, % 39.45'inin nötr, % 11.01'inin ise hafif alkali tepkimeye sahip olduğu saptanmıştır (Şekil 3). Patates tarımında iyi verim alınması ve özellikle uyuz hastalıklarının zarar yapmaması için toprak reaksiyonu asit olmalıdır (Esendal, 1990). Patates tarımında ideal pH aralığını; İncekara (1973) 5.4-7.5, Jane (2016) ve Anonymous (2020b) 5.5-6.0, Anonymous (2020a) 5.2-6.4, Mugo ve ark. (2020) 5.5-7.0 arasında bildirmektedirler. Metcalfe ve Elkins (1980) ve Anonymous (2020b), toprak pH değerinin 4.8-6.1 aralığının dışında olması durumunda verimin düştüğünü ifade etmiştir. Jane (2016), patates bitkisi asit topraklara toleranslı olmasına rağmen, bitki besin elementlerinin alınabilirliği açısından pH'nın 6-6.5 aralığına yükseltilmesinin faydalı olacağını belirtmektedir. Kenya'da patates yetiştirilen toprakların pH değerinin 5.5'in altında ve genellikle pH= 4-5 aralığının daha yaygın olduğu bildirilmektedir (Kiiya ve ark., 2006). Araştırmacılar pH'nın 5.5'in altında olması halinde K, N, P, kükürt (S), Ca ve Mg alımının sınırlanacağını, alüminyum (Al), Mn, B, Fe, Cu ve Zn seviyelerinin yükseleceğini (Recke ve ark., 1997; Kanyanjua ve Agaya, 2006); patates veriminde daha da fazla verim düşüklüğüne neden olan düşük toprak pH'sı probleminin besin dengesizliklerine de yol açmasının ihtimal dahilinde olduğunu (Janssens ve ark., 2013) rapor etmişlerdir. Araştırmamızda, Ordu ve Trabzon illerinde patates yetiştiriciliğinin yapıldığı toprakların yaklaşık % 42.2'sinin patates için uygun pH aralığında (pH= 5.5-7.0) olduğu söylenebilir. Patates tarımında sorun teşkil eden kuvvetli ve orta asit topraklarda, toprak analizlerine göre kireç; hafif alkalin topraklarda ise, kükürt uygulaması önem arz etmektedir.

İncelenen toprakların EC değerleri 0.112-1.953 dS/m arasında değişmekte olup (Tablo 1), patates tarımı yapılan topraklarda tuzluluk problemi bulunmamaktadır (Şekil 3). Benzer bulgular Parlak (2016) tarafından da rapor edilmiştir.



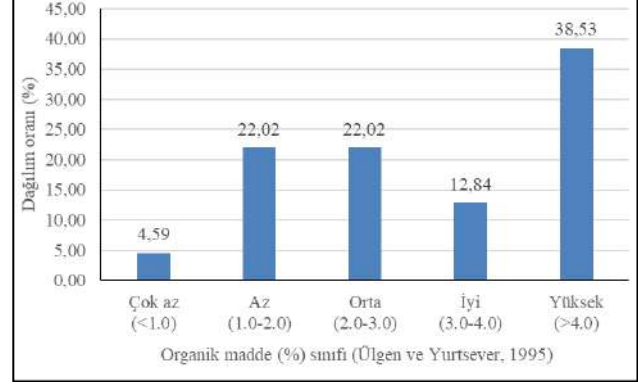
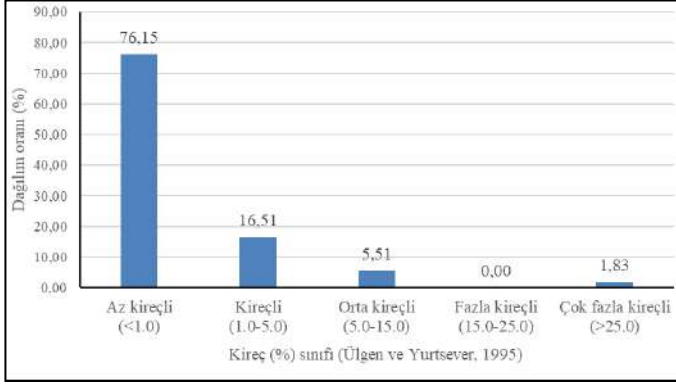
Şekil 3. Patates Tarımı Yapılan Topraklarda pH ve EC Değerlerinin Dağılımı (n= 109)

Patates tarımının yapıldığı tarım alanlarından alınan toprak örneklerinin kireç kapsamının % 0.2-50.6 arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 1). Şekil 4'ten de görüleceği üzere, topraklar kireç kapsamı yönünden az kireçli ile çok fazla kireçli arasında dağılım gösterdiği; toprakların % 76.15'inin az kireçli, % 16.51'inin kireçli, % 5.51'inin orta kireçli ve % 1.83'ünün ise çok fazla kireçli olduğu saptanmıştır. Özellikle düşük pH değerlerinin bulunduğu topraklarda, toprak analiz sonuçlarına bağlı olarak kireçlemenin yapılması patates verimi

bakımından mutlaka gereklidir. Araştırmamız bulgularına benzer şekilde Ödemiş'te patates yetiştirilen toprakların % 84.62'sinin az kireçli, % 15.38'inin ise kireçli sınıfta yer aldığı belirlenmiştir (Parlak, 2016). Afyonkarahisar-Dinar ilçesi patates ekim alanlarında ise analiz yapılan toprak örneklerinin % 72.9'unun orta kireçli ve % 25.7'sinin fazla kireçli olduğu tespit edilmiştir (Çetin ve Eraslan, 2015).

Patates yetiştirilen tarım topraklarının organik madde içeriklerinin % 0.42-10.68 arasında değişkenlik göstermiştir (Tablo 1). Ülgen ve Yurtsever (1995)'e göre yapılan sınıflandırmada analizi yapılan toprak örneklerinin % 26.61'inin çok az ve az, % 22.02'sinin orta ve % 51.37'sinin ise organik madde yönünden iyi ve yüksek sınıfta yer aldığı saptanmıştır (Şekil 4). Mugo ve ark. (2020), patates tarımında toprak organik maddesinin, toprak pH'sından sonra sürdürülebilir besin maddelerinin yönetiminde ikinci derecede önemli faktör olduğunu vurgulamışlardır. Toprakta bitki besin maddelerinin yarayışlılığında etkili olan organik maddenin

yetersiz olduğu alanlarda; ahır gübresi, kompost, humik asit gibi toprak organik maddesini arttıran uygulamaların yapılması önerilebilir. Patates yetiştirilen topraklarda yapılan araştırmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin, Afyonkarahisar yöresinde incelenen toprakların organik madde kapsamının % 0.52-% 2.87 arasında değiştiği ve incelenen toprakların % 5.7'sinin çok az, % 81.44'unun az ve % 12.86'sının orta düzeyde organik madde içerdiği (Çetin ve Eraslan, 2015), İzmir yöresinde ise incelenen toprakların tamamının çok az ve az düzeyde organik madde kapsadığı (Parlak, 2016) saptanmıştır.



Şekil 4. Patates Tarımı Yapılan Topraklarda Kireç ve Organik Madde Miktarlarının Dağılımı (n= 109)

3.2. Toprakların Besin Maddesi İçerikleri

Patates tarımı yapılan toprakların toplam N kapsamı % 0.022-0.689 arasında değişmektedir (Tablo 2). Şekil 5'ten de görüldüğü üzere, Anonymous (1990)'a göre yapılan sınıflandırma sonucunda, incelenen toprakların toplam N kapsamının büyük çoğunluğunun (% 86.24'ünün) yeterli-fazla-çok fazla düzeyde olduğu anlaşılmıştır. Patates azotu en iyi şekilde değerlendiren bir bitki olup; N, patatesten nişastanın teşekkül etmesi için gerekli olan ve yumru verimini etkileyen önemli besin elementlerinden biridir (Westermann ve ark., 1988; Esendal, 1990; Muleta ve Aga, 2019; Koch ve ark., 2020).

Toplam N toprakta değişkenlik gösteren bir element olup, toprak azotunun kaynağını toprak organik maddesi veya humus oluşturur (Rourke, 1985; Bilen ve Sezen, 1993). Bu nedenle toprak organik maddesine bağlı olarak azotlu gübre uygulanmalıdır. Patates yetiştirilen alanlarda yapılan çalışmalarda, Çetin ve Eraslan (2015) toprakların N bakımından % 27.14'ünün az, % 50'sinin yeterli, % 22.86'sının fazla olduğunu; Parlak (2016) toprakların toplam N miktarlarının % 0.03-% 0.95 arasında değiştiğini, toprakların toplam N yönünden % 20.51'inin çok az, % 74.36'sının az ve % 5.13'ünün yeterli düzeyde azot içerdiğini saptamışlardır.

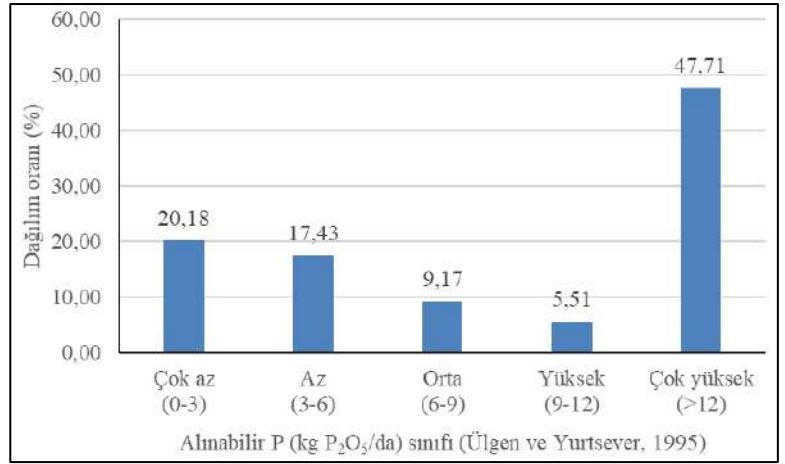
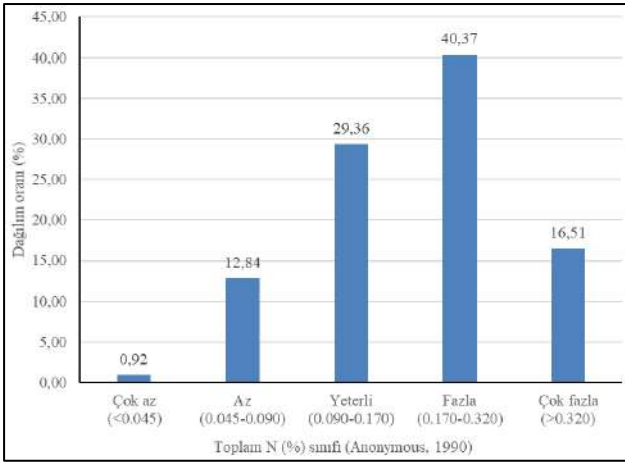
Tablo 2. Patates tarımı yapılan toprakların besin elementi içeriklerine ait tanımlayıcı istatistikleri (n= 109)

	Toplam N (%)	Alınabilir P (kg P ₂ O ₅ /da)	Ekstrakte edilebilir makro ve mikro elementler (ppm)							
			K	Ca	Mg	B	Fe	Cu	Zn	Mn
En düşük	0.022	0.1	42	435	41	0.33	5.41	0.21	0.11	4.61
En yüksek	0.689	113.2	832	10740	2681	3.67	209.87	22.27	9.28	130.96
Ortalama	0.205	20.1	278	4412	719	1.17	46.69	3.24	2.03	34.87
Basıklık	2.17	4.38	0.25	-0.43	0.55	2.13	2.66	34.62	2.22	2.56
Çarpıklık	1.16	2.10	0.91	0.37	1.33	1.25	1.42	4.64	1.77	1.42
Ortanca	0.18	11.12	233.00	4415.00	416.54	1.02	35.74	2.76	1.03	28.51
StdS	0.11	24.85	183.50	2613.05	686.93	0.60	38.17	2.42	2.34	22.45
Varyans	0.01	617.56	33671.83	6828006.05	471879.21	0.37	1456.88	5.88	5.49	503.83
DK	55.65	123.67	66.00	59.22	95.57	51.85	81.76	74.72	115.32	64.38

StdS: Standart sapma, DK: Değişim katsayısı, n: örnek sayısı

Patates yetiştirilen toprakların alınabilir P kapsamının 0.1-113.2 kg P₂O₅/da arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 2). Topraklar alınabilir P kapsamı yönünden Ülgen ve Yurtsever (1995)'e göre sınıflandırıldığında; % 37.61'inin çok az ve az, % 9.17'sinin orta, % 53.22'sinin yüksek ve çok yüksek seviyede P içerdiği görülmüştür (Şekil 5). Nispeten yüzlek kök sistemi nedeniyle patates, diğer tarla bitkilerinden daha çok fosfora ihtiyaç duyar (Tindall ve ark., 1993; Anonymous, 2020c).

Patates tarımında P, yumru sayısında ve yumru veriminde etkili olmaktadır (Allison ve ark., 2001; Kavurmacı, 2008; Zelalem ve ark., 2009; Fernandes ve ark., 2015). Patates tarımında fosforun önemli bir besin maddesi olduğu dikkate alındığında, Ordu ve Trabzon yöresinde patates dikim öncesi mutlaka toprak analizlerinin yapılması ve eksikliği görülen alanlarda tavsiye edilen miktar ve gübre cinsi ile fosforlu gübre uygulamalarının yapılması önem taşımaktadır.

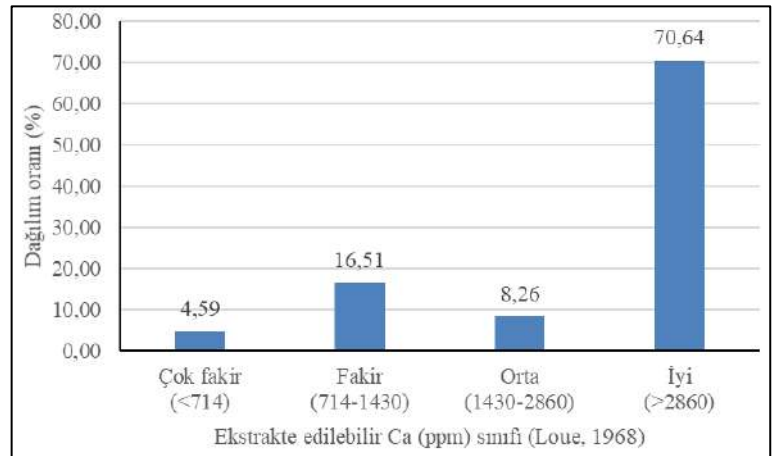
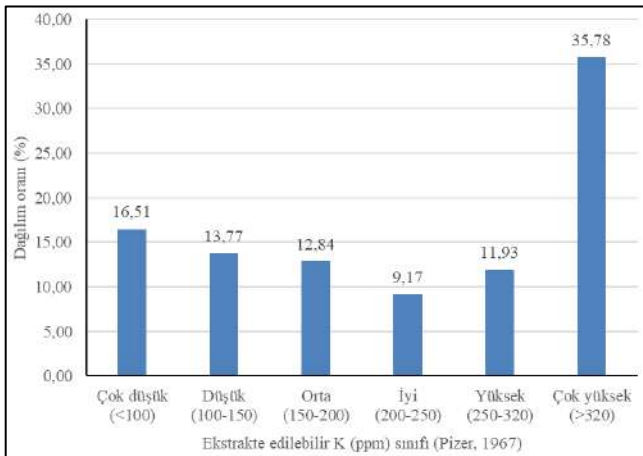


Şekil 5. Patates Tarımı Yapılan Topraklarda Toplam N ve Alınabilir P Miktarlarının Dağılımı (n= 109)

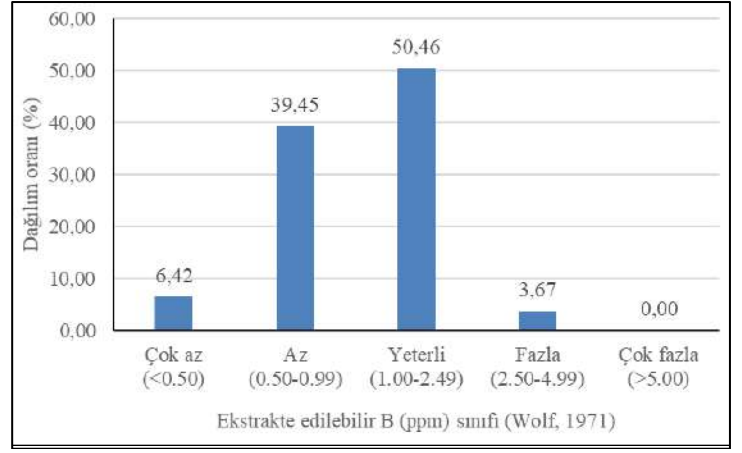
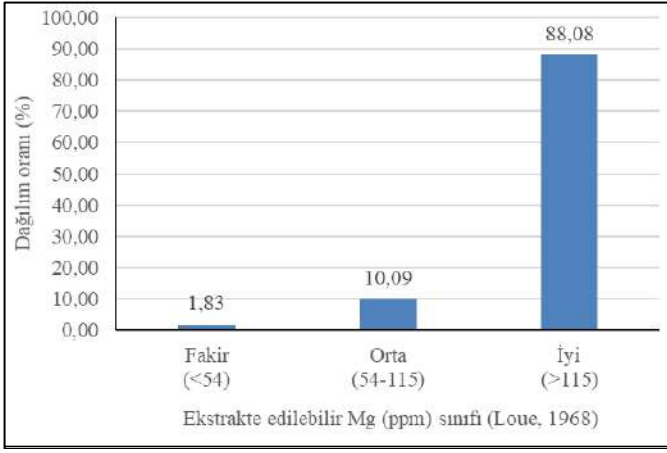
Analizi yapılan toprak örneklerinin ekstrakte edilebilir K kapsamının 42-832 ppm arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 2). Toprak örneklerinin % 30.28'inin çok düşük ve düşük, % 12.84'ünün orta, % 56.88'inin ise iyi, yüksek ve çok yüksek düzeyde K içerdiği saptanmıştır (Şekil 6). Potasyum, patates bitkisinde genellikle yumru verimi ve kalitesinde etkili olan ve patates tarafından topraktan en fazla sömürülen bir besin elementidir (Esendal, 1990; Abd El-Latif ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2018; Anonymous, 2020c). Orta düzeydeki K miktarı da dikkate alındığında Ordu ve Trabzon yöresi patates tarımı yapılan toprakların yaklaşık % 43'lük bir bölümünde potasyumun düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Bu nedenle istenilen kalitede patates yumrusu elde etmek için toprak analizine göre potasyum gübrelemesi yapılmalıdır. Afyonkarahisar ilinde yapılan araştırmada, patates topraklarının değişebilir K içeriklerinin 107.5-602.6 ppm arasında değiştiği ve toprakların % 54.29'unda potasyumun yeterli, % 42.86'sında fazla düzeyde olduğu (Çetin ve Eraslan, 2015); İzmir ilinde

yapılan araştırmada ise toprakların alınabilir K kapsamının 30.29 ppm ile 177.79 ppm arasında değiştiği ve incelenen toprakların % 87.18'inde potasyumun yeterli düzeyde olduğu (Parlak, 2016) rapor edilmiştir. Bagherzadeh ve ark. (2018), İran'ın kuzey doğusunda yer alan patates üretim alanlarında yaptıkları araştırmada, toprakların alınabilir K kapsamının 92.24-450.15 ppm arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Tablo 2'den de görüleceği üzere patates tarımı yapılan toprakların ekstrakte edilebilir Ca ve Mg miktarları sırasıyla 435-10740 ppm ve 41-2681 ppm arasında değişkenlik göstermiştir. Loue (1968) tarafından bildirilen sınıflandırmaya göre incelenen tarım alanlarının ekstrakte edilebilir Ca ve Mg yönünden büyük çoğunluğunun iyi düzeyde olduğu belirlenmiştir (Şekil 6 ve 7). Afyonkarahisar (Çetin ve Eraslan, 2015) ve İzmir ili (Parlak, 2016) patates tarımı yapılan topraklarda da araştırmamız bulgularına benzer şekilde, toprakta alınabilir Ca ve Mg miktarlarının incelenen toprak örneklerinin önemli bir kısmında yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. Patates Tarımı Yapılan Topraklarda Ekstrakte Edilebilir K ve Ca Miktarlarının Dağılımı (n= 109)

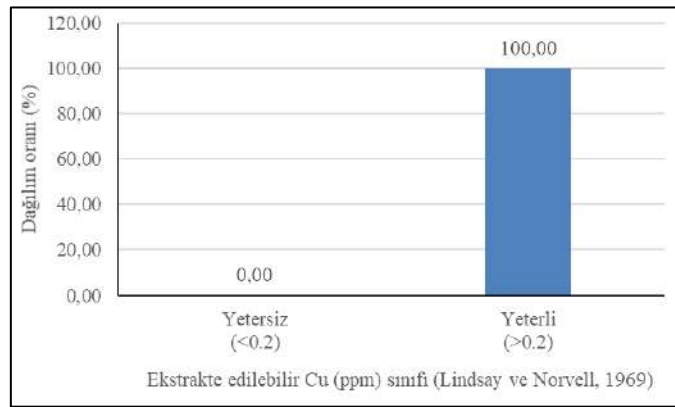
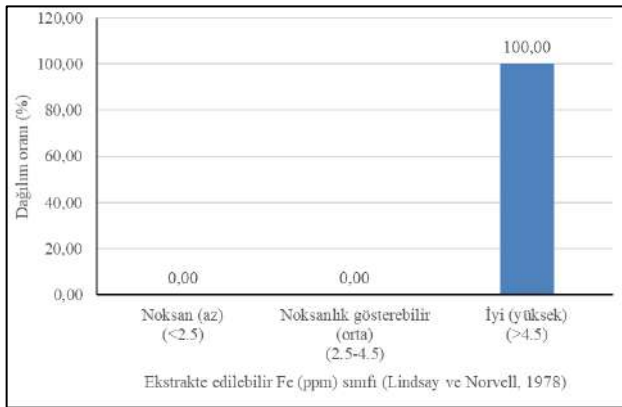


Şekil 7. Patates Tarımı Yapılan Topraklarda Ekstrakte Edilebilir Mg ve B Miktarlarının Dağılımı (n= 109)

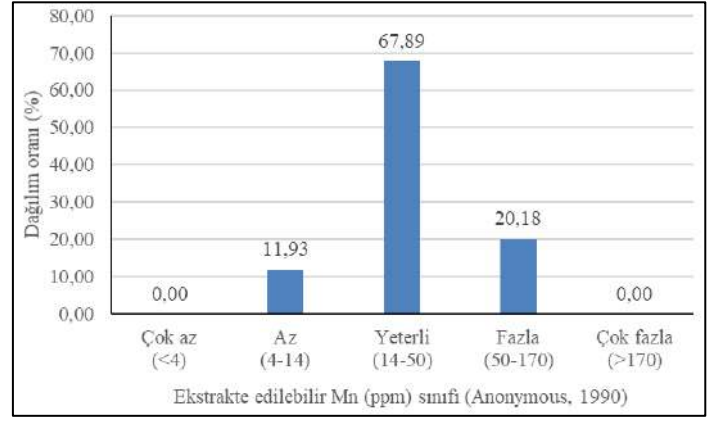
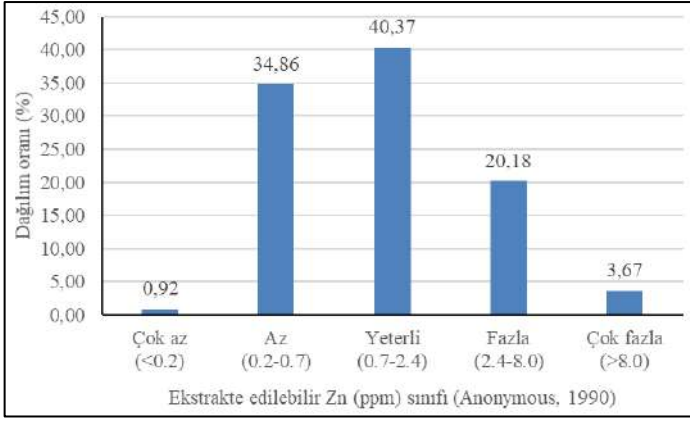
Patates tarımı yapılan toprakların ekstrakte edilebilir B içerikleri 0.33-3.67 ppm arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 2). Wolf (1971)'a göre yapılan sınıflandırmada; toprak örneklerinin % 45.87'si çok az ve az düzeyde bor içerirken, % 50.46'sının yeterli, % 3.67'sinin ise fazla düzeyde ekstrakte edilebilir B kapsadığı belirlenmiştir (Şekil 7). Toprakta borun alınabilirliğinde toprak pH'sı önemli ölçüde etkilidir. Düşük pH'da bor bileşiklerinin çoğu çözünür halde bulunmaktadır. Ancak, düşük pH değerine sahip kum oranı yüksek hafif topraklarda B, yüksek yağış şartlarına bağlı olarak toprak profilinden süzülerek kaybolur (Sarkar ve ark., 2007; Muthanna ve ark., 2017). Yağış miktarı yüksek Ordu ve Trabzon ili tarım topraklarında B noksanlığının muhtemel sebepleri arasında bu durumun etkili olduğu söylenebilir. Borun patatesteki filizlenme, bitki büyümesi ve yumru gelişiminde rol oynadığı (Trehan ve Grewal, 1981; Muthanna ve ark., 2017; Lenka ve ark., 2020) düşünülürse, B noksanlığının görüldüğü patates alanlarında, gübreleme programlarına borun dahil edilmesi önemli bir kazanım olacaktır. Kenya'nın Meru ve Nyandarua bölgelerindeki patates tarımının yapıldığı topraklarda incelenen toprak örneklerinin % 80'den fazlasında B kritik seviyenin altında bulunmuştur (Mugo ve ark., 2020).

Toprakların ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn ve Mn kapsamının sırasıyla; 5.41-209.87 ppm, 0.21-22.27 ppm, 0.11-9.28 ppm ve 4.61-130.96 ppm arasında değişkenlik göstermiştir (Tablo 2). İncelenen toprakların ekstrakte edilebilir Fe ve Cu içeriklerinin tamamı yüksek/yeterli düzeyde olduğu saptanmıştır

(Şekil 8). Ekstrakte edilebilir Zn bakımından örneklerin % 35.78'inin çok az ve az, % 40.37'sinin yeterli ve % 23.85'inin ise fazla ve çok fazla; ekstrakte edilebilir Mn yönünden ise % 11.93'ünün az, % 67.89'unun yeterli ve % 20.18'inin ise fazla düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9). Çinko ve Mn noksanlıklarının görüldüğü alanlarda, gübreleme programlarına Zn ve manganın dâhil edilmesinde yarar bulunmaktadır. Çünkü patates tarımında üzerinde durulması gereken öncelikli besin maddeleri makro elementler olmasına rağmen, Fe, Cu, Zn, Mn ve B gibi mikro besin elementleri de verim ve kalite üzerinde önemli etkilere sahiptir (Demir ve Çalışkan, 2017; Moinuddin ve ark., 2017). Nitekim Al-Fadhly (2016) Zn+Mn uygulamasının patatesteki yumru ağırlığını, ortalama bitki başına yumru verimini ve toplam yumru verimini; Al Fadly ve ark. (2020), Zn+Mn uygulamasının patatesteki gövde sayısını, bitki boyunu ve kuru ağırlığını arttırdığını bildirmişlerdir. Afyonkarahisar ili patates topraklarında ise, incelenen örneklerin % 70'inde Fe orta ve Zn çok az/az, % 97.15'inde Mn, tamamında da Cu yeterli düzeyde olduğu saptanmıştır (Çetin ve Eraslan, 2015). İzmir ili Ödemiş ilçesi patates topraklarında alınabilir demirin incelenen toprak örneklerinin % 76.92'sinde, Cu örneklerin tamamında, Zn % 61.54'ünde ve Mn ise % 43.59'unda yeterli düzeyde olduğu rapor edilmiştir (Parlak, 2016). Bagherzadeh ve ark. (2018), İran'ın kuzey doğusunda yer alan patates üretim alanlarında yaptıkları araştırmada, toprakların alınabilir Fe ve Mn içeriklerinin sırasıyla 2.68-5.90 ppm ve 4.02-12.10 ppm arasında değiştiğini bildirmişlerdir.



Şekil 8. Patates Tarımı Yapılan Topraklarda Ekstrakte Edilebilir Fe ve Cu Miktarlarının Dağılımı (n= 109)



Şekil 9. Patates Tarımı Yapılan Topraklarda Ekstrakte Edilebilir Zn ve Mn Miktarlarının Dağılımı (n= 109)

4. Sonuç

Ordu ve Trabzon illerinde patates yetiştirilen toprakların çok büyük bir çoğunluğunu (% 95.42) bitki gelişimi yönünden iyi özelliklere sahip tınlı (orta bünyeli) bünyeli topraklar oluşturmaktadır. Tuzluluk yönünden sorunu bulunmayan ve kireç kapsamları büyük çoğunluğunda az kireçli düzeyde olan topraklarda, toprak reaksiyonu yönünden patates verim ve kalitesini sınırlandıran alanlarda mutlaka kireç ve/veya gerektiğinde kükürt uygulaması yerinde olacaktır. Araştırma yapılan patates topraklarında organik madde içerikleri incelenen toprak örneklerinin % 48.63'ünde çok az-orta düzeyleri arasında yer almaktadır. Bu alanlarda organik madde seviyesini artıracak toprak düzenleyicilerin kullanımı, yeşil gübre ve ekim nöbeti uygulamalarının yaygınlaştırılması şeklinde bir dizi önlemlerin alınması gereklidir. Temel bitki besin maddeleri olan N, P, K yönünden mutlaka dikim öncesi toprak analizlerinin yapılması ve patates tarımında son derece önemli olan bu elementler yönünden eksikliği görülen alanlarda gübreleme programlarının toprakların diğer özellikleri de dikkate alınarak düzenlenmesi, bitki verim ve kalitesi açısından önemli olduğu kadar çevre kirliliği oluşmaması açısından da önem taşımaktadır. İncelenen toprakların ekstrakte edilebilir Ca, Mg, Fe ve Cu yönünden bir olumsuzluk bulunmamaktadır. Ekstrakte edilebilir B, Zn ve Mn noksanlığı söz konusu olan alanlarda adı geçen bu mikro elementler yönünden toprak ve/veya yaprak gübrelemesinin yapılması yerinde olacaktır. Ordu ve Trabzon illerinde patates tarımı yapılan alanlarda mutlaka toprak analizlerine gübreleme programları düzenlenmeli ve yaprak analizleri de dikkate alınarak gübreleme önerilerinde bulunulmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışmanın bir kısmı (Trabzon verileri) 21-22 Nisan 2018 tarihlerinde Mardin'de düzenlenen "EJONS International Congress on Mathematic, Engineering and Natural Sciences-III" kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuş olup, adı geçen kongre bildiriler kitabında özet metni yayınlanmıştır.

Kaynakça

Abd El-Latif, K. M., Osman, E. A. M., Abdullah, R., & Abd El Kader, N. (2011). Response of potato plants to potassium fertilizer rates and soil moisture deficit. *Advances in Applied Science Research*, 2(2), 388-397.

- Akça, H., Taban, N., Turan, M. A., Taban, S., Ouedraogo, A. R., & Türkmen, N. (2017). Türkiye'de sarımsak tarımı yapılan toprakların verimlilik durumu. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(2), 93-100.
- Akpınar, M., Şahin, C. B., & İşler, N. (2019). Çukurova koşullarında turfanda patates yetiştiriciliğinde farklı azot dozlarının verim ve tarımsal özelliklere etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(1), 37-42.
- Al Fadly, J. T. M., Khudhair, M. F., Wheib, K. A., & Abd, W. M. (2020). Response of some vegetative growth characteristics of organically fertilized potatoes to zinc and manganese foliar application. *Plant Archives*, 20(Supplement 1), 1263-1266.
- Al-Fadhly, J. T. M. (2016). Response of potato (*Solanum tuberosum*) to foliar application of zinc and manganese which fertilized by organic fertilizer. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 9(4), I, 87-91.
- Allison, M. F., Fowler, J. H., & Allen, E. J. (2001). Effects of soil-and foliar-applied phosphorus fertilizers on the potato (*Solanum tuberosum*) crop. *The Journal of Agricultural Science*, 137(4), 379-395.
- Anonymous. (1951). Soil Survey Staff, Soil Survey Manual, Agricultural Research Administration U.S. Department of Agriculture Handbook No.18, Gount Point Office, Washington, pp. 340-377.
- Anonymous. (1990). Micronutrient, Assessment at the Country Level: An International Study. FAO, Soils Bulletin by Mikko Sillanpaa, Rome.
- Anonymous. (1992). Soil Survey Staff, Procedures for Collecting Soil Samples and Methods of Analysis for Soil Survey. Soil Survey Invest. Rep. I. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.
- Anonymous. (2020a). International Year of the Potato, Cultivation. (<http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/cultivation.html>), (Erişim tarihi: 01.05.2020).
- Anonymous. (2020b). Crop Guide: Potato Nutritional Requirements. (<https://www.haifa-group.com/crop-guide/field-crops/crop-guide-potato/nutrients-growing-potatoes>), (Erişim tarihi: 03.05.2020).
- Anonymous. (2020c). Role of Phosphate in Potato Production. (<http://www.yara.us/agriculture/crops/potato/key-facts/role-of-phosphate/>), (Erişim tarihi: 25.06.2020).
- Bagherzadeh, A., Gholizadeh, A., & Keshavarzi, A. (2018). Assessment of soil fertility index for potato production using integrated Fuzzy and AHP approaches, Northeast of Iran.

- Eurasian Journal of Soil Science*, 7(3), 203-212.
- Başaran, M., & Okant, M. (2005). Bazı toprak özelliklerinin eldivan yöresinde yetiştirilen kirazların beslenme durumu üzerine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(2), 115-119.
- Belachew, B. (2016). Effect of nitrogen and phosphorus rates on growth, yield, yield components and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) at dedo, South West Ethiopia. (M. Sc Thesis), Presented to School of Graduate Study of Jimma University, Ethiopia.
- Bilen, S., & Sezen, Y. (1993). Toprak reaksiyonunun bitki besin elementleri elverişliliği üzerine etkisi, I. Azot, fosfor ve potasyum. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 156-166.
- Bouyoucos, G. J. (1951). A Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, 43, 434-438.
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59, 39-45.
- Burton, W. G. (1989). The Potato (Third edition). Longman Scientific & Technical, London, UK, p.742.
- Çağlar, K. Ö. (1949). Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 10, Ankara.
- Çelik, H., & Urhan, G. (2020). Keles yöresi kiraz bahçelerinin beslenme durumlarının toprak, yaprak ve meyve analizleri ile değerlendirilmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(1), 185-200.
- Çetin, E., & Eraslan, F. (2015). Afyonkarahisar ili Dinar ilçesi patates ekim alanlarında toprakların verimliliği ve bitkilerin beslenme durumlarının belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2), 135-145.
- Demir, M., & Çalışkan, S. (2017). Patateste (*Solanum tuberosum* L.) demir gübrelemesinin bitki gelişimi ve yumru verimi üzerine etkileri. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 20(Özel Sayı), 241-245.
- Doğan, A., & Erdal, İ. (2018). Burdur ili tahıl yetiştirilen toprakların verimlilik durumlarının belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(1), 39-45.
- Eren, A. (2019). Kızıltepe yöresinde buğday tarımı yapılan toprakların bazı verimlilik durumlarının belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)*, 8(1), 1-9.
- Esendal, E. (1990). Nişasta Şeker Bitkileri ve Islahı, Cilt: 1, Patates. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 49, Samsun, 221s.
- Everest, T., Sungur, A., & Özcan, H. (2020). Gelibolu Namaztepe bölgesindeki farklı fizyografyalar üzerindeki toprakların bazı fiziko-kimyasal özellikleri ve sınıflandırılması. *ÇOMÜ LJAR*, 1(1), 1-12.
- Fernandes, A. M., Soratto, R. P., Moreno, L. D. A., & Evangelista, R. M. (2015). Effect of phosphorus nutrition on quality of fresh tuber of potato cultivars. *Bragantia*, 74(1), 102-109.
- İncekara, F. (1973). Endüstri Bitkileri ve Islahı. Cilt 3, Nişasta-Şeker Bitkileri ve Islahı (2. Baskı). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 101, Ege Üniversitesi Matbaası, Bornova.
- Jackson, M. L. (1958). Soil Chemical Analysis. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Jane, M. (2016). Soil fertility situation in potato producing Kenyan Highlands—Case of KALRO-Tigoni. *International Journal of Horticulture*, 6(24), 1-11.
- Janssens, S. R. M., Wiersma, S. G., Goos, H., & Wiersma, W. (2013). The Value Chain for Seed and Ware Potatoes in Kenya; Opportunities for Development. LEI Wageningen UR, Den Haag, The Netherlands.
- Kanyanjua, S. M., & Agaya, G. O. (2006). A Guide to Choice of Mineral Fertilizers in Kenya. KARI Technical Note No. 17, KARI, Nairobi, Kenya.
- Kars, N., & Ekberli, İ. (2019). Çarşamba Ovası'nda işlenen tarım alanlarının bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin incelenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34, 210-219.
- Kars, N., & Ekberli, İ. (2020). Çarşamba Ovası'nda soya yetiştirilen tarım alanlarının verimlilik durumlarının belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(1), 14-25.
- Kavurmacı, Z. (2008). Değişik azot ve fosfor dozları ile pir öldürme ve hasat zamanlarının patatesin (*Solanum tuberosum* L.) verim ve verim unsurları üzerine etkisi. (Doktora tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Khan, A. A., Jilani, M. S., Khan, M. Q., & Zubair, M. (2011). Effect of seasonal variation on tuber bulking rate of potato. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(1), 31-37.
- Kiiya, W. W., Mureithi, J. G., & Kiama, J. M. (2006). Improving production of irish potato (*Solanum tuberosum* L.) in Kenya: The use of green manure legumes for soil fertility Improvement. In J. G. Mureithi et al. (Eds.), Development and up scaling of green manure legumes technologies in Kenya, KARI, Nairobi, Kenya.
- Koch, M., Naumann, M., Pawelzik, E., Gransee, A., & Thiel, H. (2020). The importance of nutrient management for potato production part I: Plant nutrition and yield. *Potato Research*, 63, 97-119.
- Lenka, B., Divya, R. K., & Das, S. K. (2020). Nutrient use efficiency, yield attributes and comparative economics of potato crop (*Solanum tuberosum* L.) in response to zinc and boron nutrition in entisols of India. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3), 10-17.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1969). Development of a DTPA Micronutrient Soil Test. *Soil Sci. Am. Proc.*, 35, 600-602.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42(3), 421-428.
- Loue, A. T. (1968). Diagnostic Petiolaire des Prospection Etudes sur la Nutrition at la Fertilization Potassiques de la Vigne. Societe Commerciale des Potasses d'Alsace. Services Agronomiques, pp. 31-41.
- Metcalf, D. S., & Elkins, D. M. (1980). Crop Production, Principles and Practices. Macmillian Publishing Co., Inc. New York.
- Moinuddin, S. J., Sarkar, A., & Dasgupta, S. (2017). Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to foliar application of macro and micronutrients in the Red and Lateritic Zone of West Bengal. *Journal of Crop and Weed.*, 13(1), 185-188.
- Mugo, J. N., Karanja, N. N., Gachene, C. K., Dittert, K., Nyawade, S. O., & Schulte-Geldermann, E. (2020). Assessment of soil fertility and potato crop nutrient status in central and eastern highlands of Kenya. *Nature Research Scientific Reports*, 10, 7779.
- Muleta, H. D., & Aga, M. C. (2019). Role of nitrogen on potato production: A review. *Journal of Plant Sciences*, 7(2), 36-42.
- Muthanna, M. A., Singh, A. K., Tiwari, A., Jain, V. K., & Padhi, M. (2017). Effect of boron and sulphur application on plant

- growth and yield attributes of potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 399-404.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: A.L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 9.2.2, Second Edition, Wisconsin, American Society of Agronomy Inc., USA, pp. 539-579.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. USDA Circular No. 939, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Ordu, D. (2020). Bursa ili Karacabey ilçesi mısır tarımı yapılan toprakların (Yolağzı bölgesi) verimlilik durumunun belirlenmesi. (Yüksek lisans tezi), Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- Özkutlu, F., Ete Aydemir, Ö., Akgün, M., & Özcan, B. (2019). Ordu ilinde fındık (*Corylus avellana* L.) tarımı yapılan toprakların çinko (Zn) beslenme durumu ve potansiyel beslenme problemlerinin belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8(Özel Sayı), 131-140.
- Özyazıcı, M. A., Dengiz, O., & Sağlam, M., 2013. Artvin ilinde yonca (*Medicago sativa* L.) tarımı yapılan toprakların verimlilik durumu ve potansiyel beslenme problemlerinin ortaya konulması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(2), 225-238.
- Özyazıcı, M. A., Dengiz, O., Aydoğan, M., Bayraklı, B., Kesim, E., Urla, Ö., Yıldız, H., & Ünal, E. (2016). Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının temel verimlilik düzeyleri ve alansal dağılımları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(1), 136-148.
- Parlak, M. (2016). İzmir ili Ödemiş ilçesi'nde patates yetiştirilen toprakların verimlilik durumlarının belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53(3), 325-331.
- Pizer, N. H. (1967). Some Advisory Aspect. Soil Potassium and Magnesium. Tech. Bull. No.14, 184.
- Recke, H., Schnier, H. F., Nabwile, S., & Qureshi, J. N. (1997). Responses of irish potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to mineral and organic fertilizer in various agro-ecological environments in Kenya. *Experimetal Agriculture*, 33, 91-102.
- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. U.S.A: U.S. Department of Agriculture, Handbook 60.
- Rourke, R. V. (1985). Soil solution levels of nitrate in a potato-buckwheat rotation. *American Potato Journal*, 62, 1-8.
- Sağlam, M. T. (1978). Toprak Kimyası Tatbikat Notları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Erzurum.
- Sarkar, D., Mandal, B., & Kundu, M. C. (2007). Increasing use efficiency of boron fertilisers by rescheduling the time and methods of application for crops in India. *Plant Soil*, 301, 77-85.
- Taban, S., Alpaslan, M., Hashemi, A. G., & Eken, D. (1997). Orta Anadolu'da çeltik tarımı yapılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 457-466.
- Tatar, E. (2019). Farklı potasyum ve fosfor dozlarının patates'te (*Solanum tuberosum* L.) verim ve verim unsurları üzerine etkilerinin belirlenmesi. (Yüksek lisans tezi), Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, Türkiye.
- Tindall, T. A., Westermann, D. T., Stark, J. C., Ojala, J. C., & Kleinkopf, G. E. (1993). Phosphorus Nutrition of Potatoes. University of Idaho, College of Agriculture, Cooperative Extension System, Current Information Series No. 903. (<http://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/1166/1/802.pdf>), (Erişim tarihi: 23.06.2020).
- Trehan, S. P., & Grewal, J.S. (1981). Comparitive efficiency of methods of application of Zinc to potato. *Ind. J. Agric. Sci.*, 51, 240-243.
- Tunçtürk, M., Erman, M., & Tunçtürk, R. (2004). Patates (*Solanum tuberosum* L.) çeşitlerinde fosforlu gübre uygulamalarının verim ve bazı verim öğelerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(4), 466-473.
- Ülgen, N., & Yurtsever, N. (1995). Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, Ankara, 230s.
- Westermann, D. T., Kleinkopf, G. E., & Porter, L. K. (1988). Nitrogen fertilizer efficiencies on potatoes. *American Potato Journal*, 65, 377-386.
- Wolf, B. (1971). The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions. *Soil Science and Plant Analysis*, 2(5), 363-374.
- Yağmur, B., & Okur, B. (2011). İzmir kemaipaşa ilçesi kiraz bahçelerinin verimlilik durumları ve ağır metal içerikleri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 28(2), 1-13.
- Zelalem, A., Tekalign, T., & Nigussie, D. (2009). Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to different rates of nitrogen and phosphorus fertilization on vertisols at Debre Berhan, in the central highlands of Ethiopia. *African Journal of Plant Science*, 3(2), 016-024.
- Zhang, W., Liu, X., Wang, Q., Zhang, H., Li, M., Song, B., & Zhao, Z. (2018). Effects of potassium fertilization on potato starch physicochemical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 467-472.



Kronik Böbrek Hastalığının Erken Tanısı için Yeni Bir Klinik Karar Destek Sistemi

Can Eyüpoğlu^{1*}

^{1*} Milli Savunma Üniversitesi, Hava Harp Okulu, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6133-8617), caneyupoglu@gmail.com, ceyupoglu@hho.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 27 Mayıs 2020 ve Kabul Tarihi 25 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.743652)

ATIF/REFERENCE: Eyüpoğlu, C. (2020). Kronik Böbrek Hastalığının Erken Tanısı için Yeni Bir Klinik Karar Destek Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 448-455.

Öz

Kronik böbrek hastalığı dünya çapında bir sağlık sorunudur. Erken tanı ve tedavi sayesinde bu hastalığın ilerlemesini yavaşlatmak veya durdurmak mümkün olmaktadır. Klinik karar destek sistemleri, tıp doktorlarına klinik karar verme görevlerinde yardımcı olmak amacıyla tasarlanan sağlık bilgi teknolojisi sistemleridir. Bu çalışmada kronik böbrek hastalığının erken tanısı için yeni bir klinik karar destek sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemin özellik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarında sırasıyla temel bileşen analizi (principal component analysis-PCA) ve rastgele ormanlar (random forests-RF) teknikleri kullanılmıştır. Önerilen sistemin performansı, altı farklı performans metriği ile klasik makine öğrenmesi algoritmaları ve literatürde daha önce yapılan çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Test sonuçları, önerilen sistemin başarılı olduğunu ve kronik böbrek hastalığının erken tanısı için karar vermede doktorlara destek olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kronik Böbrek Hastalığı, Erken Tanı, Klinik Karar Destek Sistemi, Temel Bileşen Analizi, Rastgele Ormanlar.

A New Clinical Decision Support System for Early Diagnosis of Chronic Kidney Disease

Abstract

Chronic kidney disease is a worldwide health problem. It is possible to slow or stop the progression of this disease thanks to early diagnosis and treatment. Clinical decision support systems are health information technology systems designed to assist medical doctors in clinical decision making tasks. In this study, a new clinical decision support system is proposed for the early diagnosis of chronic kidney disease. Principal component analysis (PCA) and random forests (RF) techniques are used in the feature extraction and classification phases of the proposed system, respectively. The performance of the proposed system has been compared with classical machine learning algorithms and previous studies in the literature using six different performance metrics. The test results show that the proposed system is successful and can assist doctors in making decisions for early diagnosis of chronic kidney disease.

Keywords: Chronic Kidney Disease, Early Diagnosis, Clinical Decision Support System, Principal Component Analysis, Random Forests.

* Sorumlu Yazar: caneyupoglu@gmail.com, ceyupoglu@hho.edu.tr

1. Giriş

Kronik böbrek hastalığı, aylık veya yıllık dönemlerde böbrek fonksiyonlarındaki artan oranlı kayıplar olarak ifade edilebilir (World Kidney Day, 2020). Aynı zamanda kronik böbrek hastalığı, böbreğin yapısını ve işlevini etkileyen heterojen bozukluklar için kullanılan genel bir terimdir (Levey ve Coresh, 2012). Böbreklerin her birinde nefron adı verilen yaklaşık bir milyon küçük filtre vardır ve nefronlar hasar görürse, çalışmayı bırakırlar. Bir süre için sağlıklı nefronlar ekstra işi üstlenebilir. Ancak hasar devam ederse, giderek daha fazla nefron çalışmayı durdurur. Kalan nefronlar belli bir noktadan sonra kanı sağlıklı tutacak kadar iyi filtreleyemezler. Böbrek fonksiyonu belirli bir noktanın altına düştüğünde ise buna böbrek yetmezliği denir. Böbrek yetmezliği tüm vücutta etkiler ve kişinin kendini çok hasta hissetmesini sağlar. Tedavi edilmeyen böbrek yetmezliği hayatı tehdit edici olabilir (World Kidney Day, 2020).

Böbrek hastalığının en yaygın nedenleri yüksek tansiyon ve diyabettir. Yüksek tansiyon, tüm böbrek yetmezliği vakalarının dörtte birinden fazlasına neden olmaktadır. Diyabet ise tüm vakaların yaklaşık üçte birinin nedeni olarak belirlenmiştir ve çoğu gelişmiş ülkede böbrek yetmezliğinin en yaygın sebebidir. Daha az yaygın olan diğer durumlar arasında iltihaplanma veya enfeksiyonlar bulunur. Kronik böbrek hastalığı kalıtsal da olabilir. Bazen de genişlemiş prostat veya böbrek taşları nedeniyle idrar sisteminin uzun süreli tıkanıklığı sonucunda ortaya çıkabilir. Özellikle bazı ağrı kesici ilaçların uzun süre kullanılması da bu hastalığa sebep olabilir. Genellikle doktorlar soruna neyin yol açtığını belirleyemezler (World Kidney Day, 2020).

Dünya Sağlık Örgütü'nün küresel tahminlerine göre 2012 yılında kronik böbrek hastalığı sebebiyle 864.226 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu sayı dünya çapındaki ölümlerin %1,5'ine karşılık gelmektedir. Önde gelen ölüm nedenleri listesinde 14'üncü sırada yer alan kronik böbrek hastalığı, her 100.000 kişide 12,2 kişinin ölümüne sebebiyet vermiştir. Bu hastalığın ölüm oranının 2030 yılına kadar 100.000'de 14 kişiye ulaşacağı tahmin edilmektedir (Webster vd., 2017; World Health Organization, 2020). Dünya çapında böbrek hastalığına dayanan toplam ölüm oranı ve kronik böbrek hastalığının görülme sıklığı Şekil 1'de gösterilmektedir.

Dünya nüfusunun yaklaşık %10'u kronik böbrek hastalığından etkilenmektedir ve her yıl milyonlarca kişi uygun tedaviye erişemedikleri için ölmektedir (National Kidney Foundation, 2020). Dünya çapında 2 milyondan fazla insan hayatta kalmak için diyaliz tedavisi görmektedir ya da böbrek nakli olmaktadır. Fakat bu sayı gerçekten yaşamak için tedaviye ihtiyaç duyan insanların sadece %10'unu temsil etmektedir. Böbrek yetmezliği sebebiyle tedavi gören 2 milyon kişinin çoğunluğu Amerika Birleşik Devletleri, İtalya, Almanya, Brezilya ve Japonya olmak üzere sadece beş ülkededir. Bu beş ülke dünya nüfusunun sadece %12'sini temsil etmektedir. Dünya nüfusunun yarısından fazlasını oluşturan yaklaşık 100 gelişmekte olan ülkede hastaların sadece %20'si tedavi edilmektedir (Couser vd., 2011). Böbrek yetmezliği için tedavi gören tüm hastaların %80'inden fazlası, sağlık hizmetlerine erişebilen ve büyük yaşlı nüfusuna sahip olan zengin ülkelerde yaşamaktadır. Böbrek yetmezliği vakalarının, yaşlı insanların sayısının arttığı Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerde orantısız bir şekilde artacağı tahmin edilmektedir (Jha vd.,

2013). Orta gelirli ülkelerde diyaliz veya böbrek nakli tedavisi, ihtiyacı olan insanların çoğunluğu için büyük bir mali yük oluşturmaktadır. Diğer 112 ülkede ise birçok insan hiçbir tedavi görememektedir. Bu da tedavi edilmeyen böbrek yetmezliği sebebiyle yılda 1 milyondan fazla insanın ölümüne neden olmaktadır (Couser vd., 2011; National Kidney Foundation, 2020).

Kronik böbrek hastalığının erken evrelerinde olan bireylerin büyük çoğunluğunda bu hastalık teşhis edilmez. Böbrek hastalığı genellikle sessizce ilerler ve sıklıkla herhangi bir semptom yaratmadan önce böbrek fonksiyonlarının çoğunu tahrip eder. Azalan böbrek fonksiyonunun erken tanısı çok önemlidir. Çünkü erken tanı sayesinde böbrek hasarı veya bozulması diğer komplikasyonlarla kendini göstermeden önce uygun tedaviye başlanabilir (World Kidney Day, 2020). Bilgisayar bilimleri ve mühendisliği alanlarında kronik böbrek hastalığının erken tanısı için makine öğrenmesi ve veri madenciliği tekniklerine dayanan bazı çalışmalar yapılmıştır. Xun vd. (2010), kronik böbrek hastalığı olan Çinli hastalardaki glomerüler filtrasyon hızını tahmin etmek için radyal tabanlı fonksiyon ağı (radial basis function network-RBFN) kullanmıştır. Çalışmada RBFN, 224'ü erkek ve 103'ü kadın olmak üzere toplam 327 hastaya ait kayıtlardan oluşan veri seti üzerinde test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, RBFN'nin glomerüler filtrasyon hızının tahmin edilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Al-Hyari vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada kronik böbrek yetmezliği olan hastaları teşhis etmek için sınıflandırma tabanlı bir sistem önerilmiştir. Veri seti olarak 11 ile 81 yaş aralığındaki 102 kişiden toplanan ve 15 farklı nitelikten oluşan kayıtlar kullanılmıştır. Sınıflandırma olarak ise karar ağacı (decision tree-DT), Naive Bayes (NB) ve yapay sinir ağı (artificial neural network-ANN) algoritmaları seçilmiştir. Test sonuçlarından DT'nin %92,2'lik sınıflandırma doğruluğu ile diğer iki algoritmadan daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür. Gupta vd. (2016), kronik böbrek hastalığı dahil olmak üzere 11 farklı kronik hastalık için hastalıklar ve ilgili tanı testleri arasındaki ilişkiyi makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak analiz etmiştir. Çalışmanın sonucunda kronik böbrek hastalığının teşhisinde AdaBoost tekniğinden yararlanılarak %98,67'lik eğitim ve %88,66'lik test doğruluğu performansı elde edilmiştir.

Salekin ve Stankovic (2016) tarafından yapılan çalışmada kronik böbrek hastalığının tespitinde kullanılmak üzere makine öğrenmesi tekniklerine dayanan bir yaklaşım ileri sürülmüştür. Bu yaklaşımda ANN, k -en yakın komşu (k -Nearest Neighbours- k -NN) ve C4.5 karar ağacı teknikleri, 250'si kronik böbrek hastası ve 150'si sağlıklı olmak üzere toplam 400 kişinin kayıtlarından oluşan bir veri seti üzerinde test edilmiştir. C4.5 tekniği hastalığın tespitinde ANN ve k -NN tekniklerinden daha iyi performans göstermiştir. Son yıllarda yapılan bir çalışmada ise Ogunleye ve Wang (2018), Salekin ve Stankovic (2016) ile aynı veri setini kullanmış ve XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) tekniğini temel alan bir otomatik teşhis sistemi önermiştir. Bu sistem %97,58'lik sınıflandırma doğruluğu ile kronik böbrek hastalığını teşhis etmiştir. Daha sonra yazarlar önceki çalışmalarında kullandıkları yöntemi geliştirmiş (Ogunleye ve Wang, 2019) ve yine aynı veri seti üzerinde %100'lük sınıflandırma başarısı elde etmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. Küresel Olarak Böbrek Hastalığı: (a) Böbrek Hastalığına Dayanan Toplam Ölüm Oranı, (b) Kronik Böbrek Hastalığının Görülme Sıklığı (Webster vd., 2017; World Health Organization, 2020)

Bu çalışmada ise daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak kronik böbrek hastalığının erken tanısında kullanılmak üzere temel bileşen analizi (principal component analysis-PCA) ve rastgele ormanlar (random forests-RF) tekniklerini temel alan yeni bir klinik karar destek sistemi önerilmiştir. Performans metriği olarak doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F-ölçütü, MCC (Matthews correlation coefficient-Matthews korelasyon katsayısı) ve AUC (area under curve-eğri altında kalan alan) seçilmiştir. Önerilen sistemin performansı bu metrikler kullanılarak klasik makine öğrenmesi algoritmaları ve daha önce yapılan çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen sistemin kronik böbrek hastalığını başarılı bir şekilde teşhis ettiğini göstermektedir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: 2. bölümde önerilen sistemin üzerinde test edildiği veri seti ve önerilen sistem ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. 3. bölümde önerilen sistemin performansının değerlendirilmesi için kullanılan metriklere ve bu metrikler kullanılarak yapılan performans karşılaştırmalarına yer verilmektedir. Son olarak 4. bölümde ise çalışmanın sonuçlarından bahsedilmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada kronik böbrek hastalığı tanısı için Kaliforniya Üniversitesi – Irvine Makine Öğrenmesi Deposunda (University

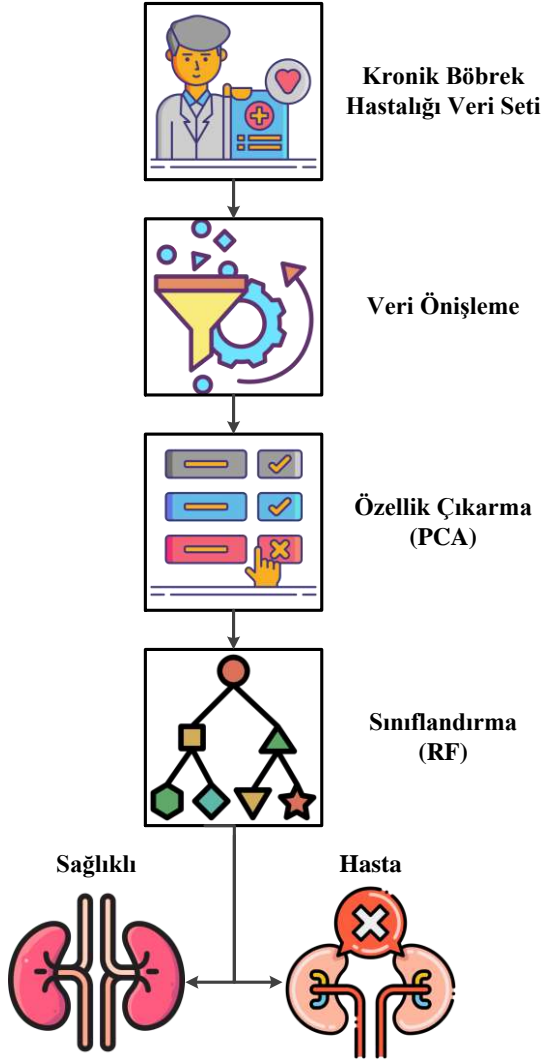
of California – Irvine Machine Learning Repository) bulunan Kronik Böbrek Hastalığı Veri Seti (Chronic Kidney Disease Data Set) (Soundarapandian vd., 2015) kullanılmıştır. Veri setinde toplam 400 kişiye ait kayıtlar vardır. Bu kişilerin 250'si kronik böbrek hastası, 150'si ise sağlıklıdır. Veri setinde biri sınıf niteliği (hasta veya sağlıklı) olmak üzere toplam 25 nitelik vardır. Tablo 1, veri setinde bulunan nitelikleri ve bu niteliklerin özelliklerini özetlemektedir.

2.2. Önerilen Klinik Karar Destek Sistemi

Bu çalışmada kronik böbrek hastalığının erken tanısı için önerilen klinik karar destek sistemi Şekil 2'de gösterilmektedir. Önerilen sistem; veri önileme, özellik çıkarma ve sınıflandırma adımlarından oluşmaktadır. Tablo 1'de görüldüğü üzere önerilen sistemin test edileceği veri setinde eksik değer barındıran kayıtlar vardır. Veri setindeki 400 kayıt incelendiğinde 242 kayıta eksik değer olduğu tespit edilmiştir. Eğer eksik değerlerin olduğu kayıtlar silinirse 43'ü hasta ve 115'i sağlıklı olmak üzere toplam 158 kayıt kalacaktır. Bu da kayıtların çoğunluğunun kaybedileceği ve sınıf etiketlerinin oranının dengesiz olacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı önerilen sistemin veri önileme adımında kayıtları silmek yerine veri setindeki kayıtlarda yer alan eksik değerler yeni değerlerle değiştirilmiştir. Bu değiştirme işlemi, ilgili nümerik veya nominal nitelikteki değerlerin ortalaması alınarak yapılmıştır. Böylece veri seti, bütünlüğü bozulmadan daha iyi hale getirilmiştir.

Tablo 1. Kronik Böbrek Hastalığı Veri Setinin Özeti

Nitelik #	Nitelik Adı	Veri Türü	Değer Aralığı	Eksik Değer Sayısı
1	Yaş	Nümerik	2 – 90	9
2	Kan basıncı	Nümerik	50 – 180	12
3	Özgül ağırlık	Nominal	1,005, 1,010, 1,015, 1,020, 1,025	47
4	Albümin	Nominal	0, 1, 2, 3, 4, 5	46
5	Şeker	Nominal	0, 1, 2, 3, 4, 5	49
6	Kırmızı kan hücreleri	Nominal	Normal, Anormal	152
7	İltihap hücresi	Nominal	Normal, Anormal	65
8	İltihap hücre kümeleri	Nominal	Var, Yok	4
9	Bakteri	Nominal	Var, Yok	4
10	Rastgele kan şekeri	Nümerik	22 – 490	44
11	Kan üre	Nümerik	1,5 – 391	19
12	Serum kreatinin	Nümerik	0,4 – 76	17
13	Sodyum	Nümerik	4,5 – 163	87
14	Potasyum	Nümerik	2,5 – 47	88
15	Hemogloblin	Nümerik	3,1 – 17,8	52
16	Sıkıştırılmış hücre hacmi	Nümerik	9 – 54	71
17	Beyaz kan hücresi sayımı	Nümerik	2200 – 26400	106
18	Kırmızı kan hücresi sayımı	Nümerik	2,1 – 8	131
19	Hipertansiyon	Nominal	Evet, Hayır	2
20	Diyabet (şeker) hastalığı	Nominal	Evet, Hayır	2
21	Koroner arter (kalp) hastalığı	Nominal	Evet, Hayır	2
22	İştah	Nominal	İyi, Kötü	1
23	Ayak ödemi	Nominal	Evet, Hayır	1
24	Anemi	Nominal	Evet, Hayır	1



Şekil 2. Önerilen Klinik Karar Destek Sistemi

Önerilen sistemin özellik çıkarma adımında veri önileme sonucunda elde edilen veriler üzerinde PCA ile özellik çıkarma işlemi yapılmıştır. PCA, özellik çıkarma ve boyut azaltma için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Cottrell ve Munro, 1988; Jolliffe, 1986; Wang ve Paliwal, 2003). Bu teknik, sınıflar hakkındaki bilgilerin çoğunun, varyasyonların en büyük olduğu yönlerde yer aldığı varsayımına dayanmaktadır. PCA'nın en yaygın türevi, öngörülen uzaydaki varyansı en üst düzeye çıkaran standartlaştırılmış doğrusal izdüşüm anlamındadır (Hotelling, 1933; Wang ve Paliwal, 2003). Diğer bir ifadeyle PCA, verilerdeki örüntüleri tanımlamanın ve verileri benzerliklerini ve farklılıklarını vurgulayacak şekilde ifade etmenin bir yoludur. Grafikselsel olarak temsil edilemeyen yüksek boyutlu verilerde örüntülerin bulunması zor olabilir. PCA tekniği bu gibi durumlarda verileri analiz etmek için güçlü bir araçtır (Smith, 2002). PCA ile ilgili daha ayrıntılı bilgi için ilgili kaynaklardan (Cottrell ve Munro, 1988; Hotelling, 1933; Jolliffe, 1986; Smith, 2002; Wang ve Paliwal, 2003) yararlanılabilir.

Önerilen sistemin sınıflandırma adımında ise RF kullanılmıştır. RF, Breiman (2001) tarafından ileri sürülen sınıflandırma ve regresyon problemleri için model bir araya getirme fikirlerine dayanan popüler ve çok etkili bir algoritmadır. RF, sınıflandırma hatasını en aza indiren eşleme olan Bayes sınıflandırıcısının veya regresyon fonksiyonunun

tahmin edicilerini sağlayan bir model oluşturma stratejisidir. RF'nin prensibi, L öğrenme örneğinden gelen ve her bir düğümde X açıklayıcı değişkenlerin bir alt kümesini rastgele seçen çeşitli bootstrap örnekleri kullanılarak inşa edilen birçok ikili karar ağacını birleştirmektir (Genauer vd., 2010). RF tekniği, her bir ağaç bağımsız olarak örneklenen ve ormandaki tüm ağaçlar için aynı dağılıma sahip rastgele bir vektörün değerlerine bağlı olacak şekilde ağaç tahmin edicilerinin bir kombinasyonudur. RF tekniği tahminlemede etkili bir araçtır ve büyük sayılar yasası nedeniyle aşırı uyum göstermez. Doğru türde rastgelelik sağlaması sayesinde iyi bir sınıflandırıcı ve regresördür. Bireysel tahmin edicilerin gücü ve korelasyonları açısından çerçeve, rastgele ormanın tahmin etme yeteneği hakkında bir fikir vermektedir (Breiman, 2001). RF'nin temelleri için (Breiman, 2001) kaynağına başvurulabilir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Performans Metrikleri

Bu çalışmada performans metriği olarak doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F-ölçütü, MCC ve AUC kullanılmıştır. Bu metriklerin formülleri aşağıdaki gibidir (Eyupoglu vd., 2018; Yavuz vd., 2017; Yavuz ve Eyupoglu, 2019):

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$F\text{-ölçütü} = \frac{2 \times \text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

$$MCC = \frac{TP \times TN - FP \times FN}{\sqrt{(TP + FP) \times (TP + FN) \times (TN + FP) \times (TN + FN)}} \quad (5)$$

$$AUC = \frac{1}{2} \left(\frac{TP}{TP + FN} + \frac{TN}{TN + FP} \right) \quad (6)$$

Bu formüllerde yer alan gerçek pozitif (true positive-TP), yanlış pozitif (false positive-FP), gerçek negatif (true negative-TN) ve yanlış negatif (false negative-FN) sayıları karışıklık matrisindeki sınıflandırma sonuçlarıdır (Sokolova ve Lapalme, 2009; Yavuz ve Eyupoglu, 2019, 2020).

3.2. Performans Sonuçları

Bu çalışmada önerilen klinik karar destek sistemi; Windows 10 Pro 64-bit işletim sistemi, Intel Core i7 8565U işlemci (1.80 GHz) ve 8 GB RAM'e sahip kişisel bir bilgisayar üzerinde çalışan Weka 3.8.4'te gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistemin 10-kat çapraz geçerlemede doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F-ölçütü, MCC ve AUC metrikleri kullanılarak elde edilen performans sonuçları ilk olarak klasik makine öğrenmesi algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar şunlardır: k -NN (Aha vd., 1991), destek vektör makinesi (support vector machine-SVM) (Keerthi vd., 2001), voted perceptron (VP) (Freund ve Schapire, 1999), RBFN (Frank, 2014), NB (John ve Langley, 1995), lojistik regresyon (logistic regression-LR) (Le Cessie ve Van Houwelingen, 1992), Bayesian lojistik regresyon (Bayesian logistic regression-BLR) (Genkin vd., 2007), OneR (Holte,

1993), K* (Cleary ve Trigg, 1995), lojistik model ağaçları (logistic model trees-LMT) (Landwehr vd., 2005), stokastik dereceli azalma (stochastic gradient descent-SGD) (Robbins ve Monro, 1951), C4.5 (Quinlan, 1993) ve AdaBoostM1 (Freund ve Schapire, 1996). Önerilen sistemin performans sonuçlarının klasik makine öğrenmesi algoritmaları ile karşılaştırılması Tablo 2’de gösterilmektedir. Önerilen sistemin doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F-ölçütü, MCC ve AUC metrikleri için olan performans sonuçları sırasıyla %99,75, 1, 0,996, 0,998, 0,9947 ve 0,998’dir. Tablodan görüldüğü üzere önerilen sistemin performansı; doğruluk, duyarlılık, F-ölçütü, MCC ve AUC metriklerinde klasik makine öğrenmesi algoritmalarından daha iyidir. Kesinlik metriğindeki performans sonucu ise *k*-NN, SVM, NB, BLR, K*, LMT, SGD ve AdaBoostM1 algoritmaları ile aynıdır ve en iyi performans değeri olan 1’dir.

Önerilen sistemin performansı klasik makine öğrenmesi algoritmaları ile karşılaştırıldıktan sonra literatürde daha önce yapılan ve aynı veri setini kullanan çalışmalarla (Salekin ve Stankovic, 2016; Ogunleye ve Wang, 2018, 2019) kıyaslanmıştır. Tablo 3’te önerilen sistemin duyarlılık, F-ölçütü ve sınıflandırma doğruluğu metrikleri için olan performans sonuçları literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmaktadır. Tablodan görüldüğü üzere önerilen sistemin 0,9980 olan F-

ölçütü performansı Salekin ve Stankovic (2016)’in çalışmasından daha iyidir. Önerilen sistem, duyarlılık açısından Ogunleye ve Wang tarafından 2018 ve 2019 yıllarında yapılan çalışmalarla neredeyse aynı performansı göstermiştir. Sınıflandırma doğruluğu metriğindeki performansı ise Ogunleye ve Wang (2018) çalışmasından daha iyidir ve Ogunleye ve Wang (2018) çalışmasına çok yakındır.

4. Sonuç

Dünya çapında bir sağlık sorunu olan kronik böbrek hastalığının ilerlemesini yavaşlatmak ya da durdurmak için erken tanı ve tedavi çok önemlidir. Doktorlar, hastalıkların teşhisi için karar verirken klinik karar destek sistemlerinden yararlanırlar. Bu çalışmada kronik böbrek hastalığının erken tanısı için PCA ve RF tekniklerine dayanan yeni bir klinik karar destek sistemi ileri sürülmüştür. Önerilen sistemin performansını test ederken doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F-ölçütü, MCC ve AUC metrikleri kullanılmıştır. Test sonuçları klasik makine öğrenmesi algoritmaları ve literatürde daha önce yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarından önerilen sistemin etkili olduğu ve doktorlar tarafından bu hastalığa erken tanı koyarken yardımcı bir araç olarak kullanılabilirliği görülmektedir.

Tablo 2. Önerilen Sistemin Performansının Klasik Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Karşılaştırılması

Algoritma	Doğruluk (%)	Kesinlik	Duyarlılık	F-ölçütü	MCC	AUC
<i>k</i> -NN	98,75	1	0,9800	0,9899	0,9739	0,9900
SVM	97,00	1	0,9520	0,9754	0,9389	0,9760
VP	95,75	0,9957	0,9360	0,9649	0,9139	0,9647
RBFN	98,75	0,9960	0,9840	0,9899	0,9736	0,9887
NB	98,75	1	0,9800	0,9899	0,9739	0,9900
LR	96,25	0,9796	0,9600	0,9697	0,9209	0,9633
BLR	95,75	1	0,9320	0,9648	0,9149	0,9660
OneR	98,75	0,9880	0,9920	0,9900	0,9733	0,9860
K*	72,75	1	0,5640	0,7212	0,5715	0,7820
LMT	99,00	1	0,9840	0,9919	0,9790	0,9920
SGD	98,25	1	0,9720	0,9858	0,9637	0,9860
C4.5	99,00	0,9920	0,9920	0,9920	0,9787	0,9893
AdaBoostM1	99,25	1	0,9880	0,9940	0,9842	0,9940
Önerilen Sistem	99,75	1	0,9960	0,9980	0,9947	0,9980

Tablo 3. Önerilen Sistemin Performansının Literatürde Daha Önce Yapılan Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Çalışmanın Yazarları	Çalışmanın Yılı	Kullanılan Teknikler	Duyarlılık	F-ölçütü	Doğruluk (%)
Salekin ve Stankovic	2016	ANN – <i>k</i> -NN – C4.5	-	0,9930	-
Ogunleye ve Wang	2018	XGBoost	1	-	97,58
Ogunleye ve Wang	2019	XGBoost	1	-	100
Önerilen Sistem	-	PCA – RF	0,9960	0,9980	99,75

Kaynakça

- Aha, D. W., Kibler, D., & Albert, M. K. (1991). Instance-based learning algorithms. *Machine Learning*, 6(1), 37-66.
- Al-Hyari, A. Y., Al-Tae, A. M., & Al-Tae, M. A. (2013, December). Clinical decision support system for diagnosis and management of chronic renal failure. In *2013 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)* (pp. 1-6). IEEE.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Cleary, J. G., & Trigg, L. E. (1995, July). K*: An instance-based learner using an entropic distance measure. In *12th International Conference on Machine Learning* (pp. 108-114).
- Cottrell, G. W., & Munro, P. (1988, October). Principal components analysis of images via back propagation. In *Visual Communications and Image Processing'88: Third in a Series* (pp. 1070-1077). International Society for Optics and Photonics.
- Couser, W. G., Remuzzi, G., Mendis, S., & Tonelli, M. (2011). The contribution of chronic kidney disease to the global burden of major noncommunicable diseases. *Kidney International*, 80(12), 1258-1270.
- Eyupoglu, C., Aydin, M. A., Zaim, A. H., & Sertbas, A. (2018). An efficient big data anonymization algorithm based on chaos and perturbation techniques. *Entropy*, 20(5), 373.
- Frank, E. (2014). Fully supervised training of Gaussian radial basis function networks in WEKA. Department of Computer Science, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- Freund, Y., & Schapire, R. E. (1996, July). Experiments with a new boosting algorithm. In *13th International Conference on Machine Learning* (pp. 148-156).
- Freund, Y., & Schapire, R. E. (1999). Large margin classification using the perceptron algorithm. *Machine Learning*, 37(3), 277-296.
- Genkin, A., Lewis, D. D., & Madigan, D. (2007). Large-scale Bayesian logistic regression for text categorization. *Technometrics*, 49(3), 291-304.
- Genuer, R., Poggi, J. M., & Tuleau-Malot, C. (2010). Variable selection using random forests. *Pattern Recognition Letters*, 31(14), 2225-2236.
- Gupta, D., Khare, S., & Aggarwal, A. (2016, April). A method to predict diagnostic codes for chronic diseases using machine learning techniques. In *2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)* (pp. 281-287). IEEE.
- Holte, R. C. (1993). Very simple classification rules perform well on most commonly used datasets. *Machine Learning*, 11(1), 63-90.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24(6), 417.
- Jha, V., Garcia-Garcia, G., Iseki, K., Li, Z., Naicker, S., Plattner, B., Saran, R., Wang, A. Y. M., & Yang, C. W. (2013). Chronic kidney disease: global dimension and perspectives. *The Lancet*, 382(9888), 260-272.
- John, G. H., & Langley, P. (1995, August). Estimating continuous distributions in Bayesian classifiers. In *10th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI'95)* (pp. 338-345).
- Jolliffe, I. T. (1986). Principal components in regression analysis. In *Principal component analysis* (pp. 129-155). Springer, New York, NY.
- Keerthi, S. S., Shevade, S. K., Bhattacharyya, C., & Murthy, K. R. K. (2001). Improvements to Platt's SMO algorithm for SVM classifier design. *Neural Computation*, 13(3), 637-649.
- Landwehr, N., Hall, M., & Frank, E. (2005). Logistic model trees. *Machine Learning*, 59(1-2), 161-205.
- Le Cessie, S., & Van Houwelingen, J. C. (1992). Ridge estimators in logistic regression. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 41(1), 191-201.
- Levey, A. S., & Coresh, J. (2012). Chronic kidney disease. *The Lancet*, 379(9811), 165-180.
- National Kidney Foundation. (2020). *Global Facts: About Kidney Disease*. Retrieved from <https://www.kidney.org/kidneydisease/global-facts-about-kidney-disease#>
- Ogunleye, A., & Wang, Q. G. (2018, June). Enhanced XGBoost-based automatic diagnosis system for chronic kidney disease. In *2018 IEEE 14th International Conference on Control and Automation (ICCA)* (pp. 805-810). IEEE.
- Ogunleye, A., & Wang, Q. G. (2019). XGBoost model for chronic kidney disease diagnosis. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*.
- Quinlan, J. R. (1993). *C4.5: Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA.
- Robbins, H., & Monro, S. (1951). A stochastic approximation method. *The Annals of Mathematical Statistics*, 22(3), 400-407.
- Salekin, A., & Stankovic, J. (2016, October). Detection of chronic kidney disease and selecting important predictive attributes. In *2016 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)* (pp. 262-270). IEEE.
- Smith, L. I. (2002). *A tutorial on principal components analysis*. Technical Report OUCS-2002-12, Department of Computer Science, University of Otago, New Zealand.
- Sokolova, M., & Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, 45(4), 427-437.
- Soundarapandian, P., Jerlin Rubini, L., & Eswaran, P. (2015). *Chronic Kidney Disease Data Set* [Data file]. Available from https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/chronic_kidney_disease
- Wang, X., & Paliwal, K. K. (2003). Feature extraction and dimensionality reduction algorithms and their applications in vowel recognition. *Pattern Recognition*, 36(10), 2429-2439.

- Webster, A. C., Nagler, E. V., Morton, R. L., & Masson, P. (2017). Chronic kidney disease. *The Lancet*, 389(10075), 1238-1252.
- World Health Organization. (2020). *Mortality and global health estimates: Causes of death; Projections for 2015–2030; Projection of death rates*. Retrieved from <https://apps.who.int/gho/data/node.main>
- World Kidney Day. (2020). *Chronic Kidney Disease*. Retrieved from <https://www.worldkidneyday.org/facts/chronic-kidney-disease/>
- Xun, L., Xiaoming, W., Ningshan, L., & Tanqi, L. (2010, October). Application of radial basis function neural network to estimate glomerular filtration rate in Chinese patients with chronic kidney disease. In *2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCSM 2010)* (pp. 332-335). IEEE.
- Yavuz, E., & Eyupoglu, C. (2019). A cepstrum analysis-based classification method for hand movement surface EMG signals. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 57(10), 2179-2201.
- Yavuz, E., & Eyupoglu, C. (2020). An effective approach for breast cancer diagnosis based on routine blood analysis features. *Medical & Biological Engineering & Computing*.
- Yavuz, E., Eyupoglu, C., Sanver, U., & Yazici, R. (2017). An ensemble of neural networks for breast cancer diagnosis. In *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)* (pp. 538-543). IEEE.
- Yavuz, E., & Eyüpoğlu, C. (2019). Meme Kanseri Teşhisi İçin Yeni Bir Skor Füzyon Yaklaşımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1045-1060.



The Effect of Computer Game on Coding Learning: A Case Study of University Students

Ersin Çağlar^{1*}

^{1*}European University of Lefke, School of Applied Science, Department of Management Information Systems, Lefke, Northern Cyprus, TR-10, Mersin, Turkey
(ORCID: 0000-0002-2175-5141), ecaglar@eul.edu.tr

(First received 12 March 2020 and in final form 29 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.702460)

ATIF/REFERENCE: Çağlar, E. (2020). The Effect of Computer Game on Coding Learning: A Case Study of University Students. *European Journal of Science and Technology*, (20), 456-465.

Abstract

The rapid change of computer and internet technology such as IoT (Internet of Things) or cloud computing have a serious impact on human life. Knowing the coding language is one of the way to keep up with this rapid change in computer and internet technology. This is why coding is seen as the new equivalent of terms such as thinking and producing, as well as being as important as spoken languages in recent times. One of the most important advantages of having coding knowledge is the possibility of finding jobs in almost every business area. Because of these advantages, the importance of having coding knowledge is gradually increasing. For this purpose, coding education has been added to the curriculum and started to be taught in many countries. This study examines the contribution of coding in education using computer games to make coding education more popular and easier. The main argument for the analysis of this study was the unsuccessful results of university students in coding courses. This study was conducted on two different groups in computer laboratory. In the first group, coding lessons and assignments were given by using computer games. However, the second group completed their education using classical educational materials. This study was carried out during a school term (almost 12 weeks) and the participation of the students between two groups, results of the exams, attendance and their interest in coding were compared accordingly. The analyses conducted mid-term and end of term reflected significant differences between two groups. Additionally, same results showed an increase in coding among the students in the group who were given coding training using games, and this interest was reflected in their exam results. Finally, the success rate of coding education through computer game was higher than the previous coding education. Considering that computer games have disadvantages as well as advantages, all analyses determined that the effect on computer games on coding education was significant.

Keywords: Coding, Computer Games, Coding Knowledge, Coding Lessons, Coding With Games

Students Bilgisayar Oyununun Kodlama Öğrenimine Olan Etkisi: Üniversite Öğrencileri Üzerinde Durum Analizi

Öz

IoT (Nesnelerin İnterneti) veya bulut bilişim gibi bilgisayar ve internet teknolojisinin hızlı bir şekilde değişmesi insan yaşamını ciddi şekilde etkiliyor. Kodlama dilini bilmek, bilgisayar ve internet teknolojisindeki bu hızlı değişime ayak uydurma yollarından biridir. Kodlamanın son zamanlarda konuşulan diller kadar önemli olmasının yanı sıra düşünme ve üretme gibi terimlerin yeni eşdeğeri olarak görülmesinin nedeni budur. Kodlama bilgisine sahip olmanın en önemli avantajlarından biri, hemen hemen her alanda iş bulma olasılığıdır. Bu imkanlardan dolayı, kodlama bilgisine sahip olmanın önemi giderek artmaktadır. Bu amaçla birçok ülkede kodlama eğitimi müfredata eklenmiş ve öğretilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada kodlama eğitimini daha popüler ve kolay hale getirmek için bilgisayar oyunları kullanılarak kodlama eğitimine katkısı incelenmiştir. Bu çalışmanın yapılmasında ki temel problem üniversite öğrencilerinin kodlama derslerindeki başarısız sonuçları olmuştur. Bu çalışma laboratuvar ortamında olup iki farklı grup kullanılmıştır. İlk grupta bilgisayar oyunları kullanılarak kodlama eğitimi ve ödevler verilirken, ikinci grupta klasik eğitim materyalleri kullanılarak eğitim tamamlanmıştır. Yapılan bu çalışma bir eğitim dönemi (12 hafta) boyunca uygulanıp, iki grup arasındaki öğrencilerin derse olan katılımı, sınav sonuçları ve kodlamaya olan ilgisi karşılaştırılmıştır. Dönem ortasında ve sonunda yapılan analizlerde iki grup arasında ciddi farklar olduğu göze çarpmıştır. Ayrıca, dönem ortası ve sonu analizlerindeki sonuçlara göre oyun kullanılarak kodlama eğitimi verilen gruptaki öğrenciler arasında da kodlamaya olan ilgi artmış ve bu ilgi notlarına da yansımıştır. Son olarak, bilgisayar oyunu ile verilen kodlama eğitiminin başarı oranı geçmiş dönemki kodlama eğitimine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan tüm analizlerin sonucunda, bilgisayar oyunlarının dezavantajları yanında avantajlarının da olduğu göz önünde bulundurulurken, kodlama eğitimine ciddi oranda bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kodlama, Bilgisayar Oyunları, Kodlama Bilgisi, Kodlama Dersi, Oyun ile Kodlama

* Corresponding Author: ecaglar@eul.edu.tr

1. Introduction

Computer and internet revolution have completely reshaped the relationship between society and technology. While people fulfill their daily needs with conventional media tools, but with the technology revolution, everything started to be done more easily with computers. In fact, a coding technology is used in all business areas for any purposes, such as stock programs, budget programs, online schedules or online documentations and etc... With this revolution in technology, humanity needed coding knowledge such as spoken language (Çavuş, Ayhan and Tuncer, 2016). For this reason, especially in developing countries, learning coding is the most important concept in education all around the world (Aytekin et. al., 2018).

To have the ability to do coding in our age, it was seen as an obligation rather than a necessity to act (Keçeci, Alan and Zengin, 2016). Individuals of 21st century have the characteristics to do research, learn, be creative, career and personal skills as well as coding (Demirer and Nurcan, 2016). Additionally, the literature studies show that coding to be acquired in the 21st century has many skills that facilitates ownership and enables the development of these skills. At any age of life, it is a great investment to learn coding or to have coding knowledge to prepare for the future. Thus, through production or development of IT application, society will be creative rather than consume IT application society. That is why coding has become an important part of the education in many developed countries (Williams and Cernochova, 2013).

1.1. Coding Education

In the past, the significance of coding was not that much important. Therefore, coding was only a great importance for program developers and computer engineers. However, due to the rapidly changing and renewed internet technology, nowadays, coding education has become more of a requirement than a need (Sayın and Seferoğlu, 2016). Although individuals may not develop themselves in the software field, coding logic will contribute to their success in other fields. That is why coding is a new way of thinking and producing as the alphabet of the new age (Dolmaz, 2019).

According to Arıkan and Ünsal (2019), the first step of the software, coding, refers to all the operations that need to be done per certain conditions and order. In other words, coding is defined as the whole or part of the directory of computer or electronic circuit and mechanism commands.

In developing countries, coding is on the agenda as a new type of literacy. Therefore, developed countries think that coding is the 21st century skill that every student should acquire; hence, coding courses were added to the curriculum. Every individual, who receive coding training have a number of skills as finding solutions to problems, seeing the results, correcting mistakes, being happy when successful and targeting better (Başaran, 2017; Yecan, Özçınar and Tanyeri, 2016). Therefore, the ability to do coding also reveals many abilities of individuals. In addition to the effect of such abilities, it is seen that coding knowledge has a serious effect on determining students' careers. Such as Mark Zuckerberg founded Facebook by learning coding at a very young age or Bill Gates, who is one of the creators of Windows Operating System, wrote his first software at the age of 13 (Oluk, Korkmaz and Oluk 2018).

In consideration of recent studies, it is seen that coding knowledge has many contributions to each individual. For example, pursuant to the authors (Resnick and Silverman, 2005; Coravu, Marian and Ganea, 2015), with the coding skill experience, children solve errors easily and their ability to evaluate the consequences increases. Another study conducted with researchers stated that, coding knowledge develop system design and algorithmic thinking ability (Taylor, Harlow and Forret 2010; Wing, 2006).

There are many ways for people of all ages to learn coding.. One of the widely known methods for learning coding are video tutorials, online courses or block websites. Apart from these, many animation, simulation or games are also available on internet (Kaplançali and Demirkol, 2017). Watching online tutorials or courses have many contributions to develop and improve coding knowledge, but these are for some people, who have much enough knowledge to understand the video. For beginners or all ages, online games are the best option to learn and understand the basics of coding and coding structure (Falloon, 2016; Resnick et. al., 2009).

1.2. Computer Games and Education

Playing game has been a part of human life since infancy and is an activity that continues its existence by changing its form. Like playing activity, education defined as a lifelong process. Therefore, game and education intercepts and that started to be a part of human life (İnan Kaya, 2018). However, the intersection of game and education methods has changed over the years because of technology and internet. Nowadays, the traditional education methods are inadequate due to the rapid development of the Internet and technology. In particular, it helped to a certain extent in technological facilities such as online courses provided by internet technology. However, it was not effective to learn with online courses (Martin, Silander and Rutter, 2019). Because of the lack of traditional education methods and online courses, educators have started to search for new ones, and consequently, computer games are thought to help in many areas of learning (Iacovides, 2012; Wu, Hou and Hwang, 2012). The concept of game is even older than culture and contains many features. Ability and intelligence development are one of these features (Huizinga, 2013). Therefore, it is thought that computer games will make a great contribution to learning. According to Barr (Barr, 2017), there is quantitative evidence that PC games can be used to develop a range of useful skills and competences in students such as communication, resourcefulness, and adaptability.

2. Literature Review

According to literature, various studies were performed in the field of education by combining PC games with internet technology. Unlike traditional methods, these studies has been more successful respectively

Adachi and Willoughby (2013) examined playing role-playing games in their 4 years long study . Researchers reported that PC games positively affected the participants' problem solving skills. Similar study by another researchers (Shute, Ventura and Ke, 2015), analyzed the playing of a PC game called portal 2. The researchers concluded that playing this game improved players' problem solving skills. Rozali and Zaid (Rozali and Zaid, 2017) developed a mobile game based on problem-based learning to analysis the effect of learning

programming. Researchers found that, playing mobile games motivate students in learning programming. In a very similar study by Santos and Batista (Dos Santos, 2014), researchers designed and proposed a tool to analyze the effect of learning a programming language with specific game.

Researchers also performed survey studies. Hamari et. al. (2016) used questionnaire tools to measure subjective experience of participation in educational play and Ruggiero (2015) demonstrated similar questionnaire research to measure students' affective learning and attitude after they played a game designed to affect players' attitude towards homelessness. Bourgonjon et al. (2016) designed an online discussion form to analyze player perspectives on the positive impact of video game. On the other hand, there are many interview and observation studies in the literature. Researchers used qualitative interviews to analyze whether the players tend to integrate elements of their game playing experience into social life (Gortari, 2011).

Apart from these researches, PC games are used to improve communication or educational skills. According to Barr's (2018) quantitative research study, playing specific pc games improved communication skills between students. Similar study by Vasalou et. al (2017) analyzed verbal and non-verbal interaction between children according to the game logs and observation on the students' behaviors. According to Campe and Denner (2015), construction-based coding games create a potential increase on the skills of all students such as confidence, motivation and etc.... At the same time, other researchers designed a tool to increase student motivation among higher education students. In the light of statistical analysis, the results of this study shows that games increased students' learning motivation significantly (Arango-López et. al, 2019).

Moreover, researchers conducted an interesting study to analyze the effectiveness of PC games based on safe design thinking. The researchers compared computer-based games, paper based games and a traditional lecture. Traditional lecture education completely failed, and paper-based game failed to motivate the students, while computer-based game accomplished to train and educate the students perfectly (Din and Gibson, 2019).

3. Material and Method

The sample set of this study is comprised of Engineering and Management Information Systems Department students at European University of Lefke during the spring semester of 2018/2019 academic year. Computer Foundation course was chosen with 131 registered students, and study was conducted during all spring semester between March 2019 and June 2019 (10 weeks except mid-term and final weeks). The students selected randomly and divided into 2 different groups. First group used computer lab by games while the second group used computer lab by course documents and exercises during all semester. The importance of conducting this study is that coding knowledge is the basic requirement for the literacy of the 21st century (Baz, 2018). The aim of the study is to analyze the effect of PC games on coding education based on university students and prevent students' failure and absenteeism in coding education. This method and hypothesis have been determined in order to solve this problem through the literature researches as an example.

At the end of the education methodology applied to the students for 3 months, the following research questions were asked to learn the thoughts of the students about the applied education method (Yücel and Rızvanoğlu, 2019; Yang and Teng, 2014).

- RQ1: Do you think these teaching method and material have helped you to develop any coding skills?
- RQ2: Were the factors of applied method affected the desire to learn?
- RQ3: Was the applied method sufficient to increase motivation?

As mentioned above, literature review and experimental study lead to formulate the following hypothesis.

- H1: To change students' thinking on coding with the applied game method,
- H2: To increase students' attendance in coding lesson with the applied game method,
- H3: To increase the motivation of students towards coding lesson with the applied game method,
- H4: To like coding with the applied game method,
- H5: To enable students learning coding easier with the applied game method,
- H6: To provide students to pass the lesson with sound information with the applied game method,
- H7: To ensure that students continue to learn and write code after the 3 months education given to the students with the applied game method.

There are many computer games for teaching purposes in the computer world. Although many of these games aim at teaching reading and writing for students with disability, on the other hand, there are also various PC games that provide coding education in the literature like Code Puzzle (Rozali and Zaid, 2017), Code.org, CodeMonkey, GoogleBlockly, Code Combat (Aytekin et. al, 2018). On the other hand, some researchers used PC games to analyze students' learning behavior, which created for only entertainment rather than educational purpose (Barr, 2018). Additionally, few researchers created their own PC games for various purposes (Rozali and Zaid, 2017; Yang and Teng, 2014; Dos Santos, 2014; Arango-López et. al, 2019).

In this study, CodeCombat game was used for analysis purposes. CodeCombat is an online and open source code learning game with many stages and characters. Characters do not have special powers but the stages have difficulties and different aims. As shown in Figure 1, the game has many stages based on coding topics. The first main stage is related with syntax, methods, parameters, strings, loops and variables; and second main stage is related with if/else, Boolean logic, relational operators, functions, object properties, event handling, input handling; and third main stage is related with arithmetic, counters, while-loops, break, continue, arrays, string comparison, finding min/max; and the stages went up to the advance programming skills. In addition to these main stages, CodeCombat has side stages related with HTML, AI scripting and etc.... After stage and character selection, the chapter selection menu appears on the screen related with stage topic and player starts using in the beginning of stage that he/she selected to play. Figure 2 illustrated the chapter selection menu in stage one.

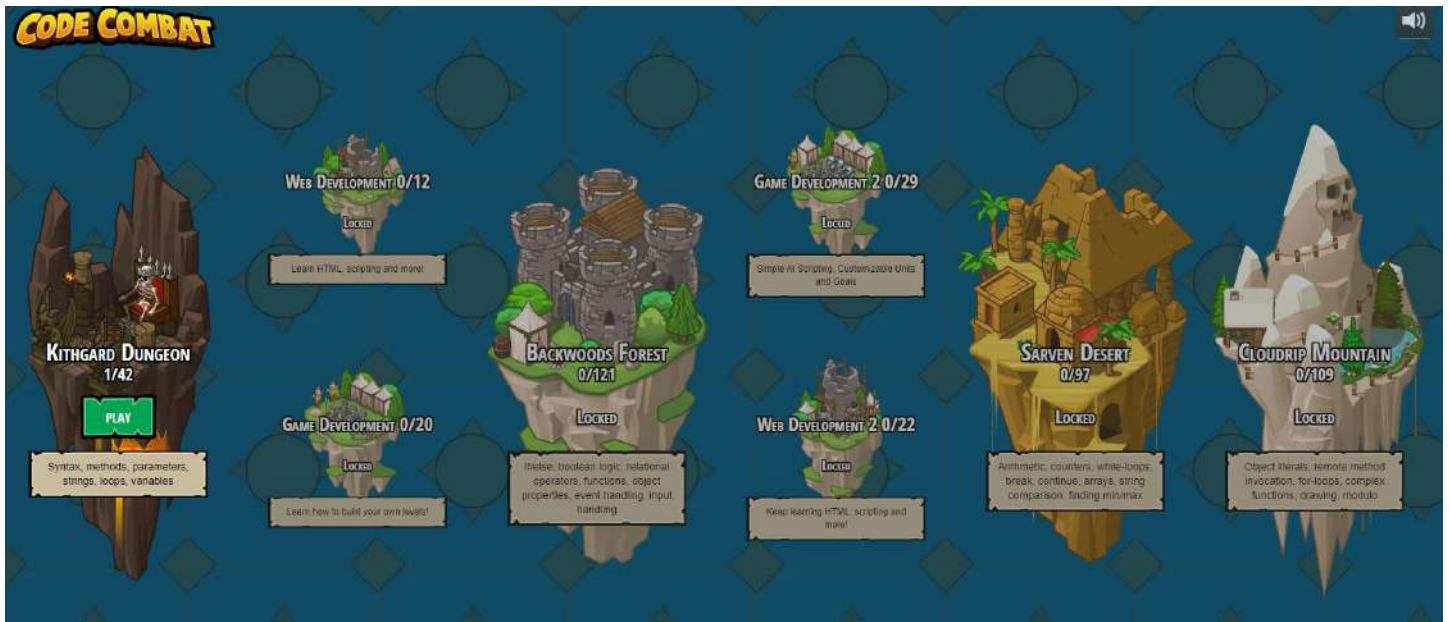


Figure 1: Stage selection screen in CodeCombat game



Figure 2: Chapter selection in stage one

Figure 3 shows the gaming screen of CodeCombat. The play screen is divided by two parts. The first part on the left side, is the gaming screen. Second part is the editor screen. Players typed the codes in editor screen and run. The character starts to move according to the coding that players typed on editor screen. The aim of all chapters is to reach the end of the maze without being stuck in any obstacle based on the codes that

player typed. The game has 59 different language options including Turkish. The aim of whole game is to prepare learning to code, because of this aim, the slogan of the game is "learn to code by playing the game". When the game was available on the internet first time, it was only for 9 year-old kids, but now the creators of the game modified it for all ages. Therefore, CodeCombat is available on the internet for all ages now.



Figure 3: Play screen of CodeCombat

As mentioned above, CodeCombat game was applied on half of the 131 university students. Three different types of data were collected for analysis. The first is related with the attendance, second with exam grades and the last one with research questions. The first data is about the attendance to lab sections for 10 weeks in comparison with 2018/2019 fall semester and 2018/2019 spring semester. With the comparison of attendance, it is possible to find out the interest towards the course after the gaming education method. The second data was on the total exams scores again comparing the exams grades and averages between 2018/2019 fall semester and 2018/2019 spring semester. With the grade comparison, it is possible to see the effect of the gaming method. Lastly, students were asked 3 research questions at end of the all to identify whether the applied method affected students' learning process.

When the application of this method was first introduced, there were no limitations and major difficulties were encountered respectively since game never requires powerful hardware, fast internet speed or huge storage but internet connection and minimum PC requirements to play. Besides these, game does not need any game knowledge, so it has very simple and easy playing infrastructure. CodeCombat used in this research due to its simple requirements and easy to play options.

Following the data collection from all sources, different tests were used on SPSS as normalization test was used to check whether data are parametric or non-parametric. Since if data are parametric, T-test (Student T-test) must be used, but where data are non-parametric, Mann Whitney U test must be used for analysis. In addition to these tests, Independent Sample T test was used to examine the means among the groups.

4. Results and Findings

As given under Table 1, the lab attendance data was used in the first experiment. Two different groups that gaming method and classical materials were compare by 10 weeks. Atotal number of 131 students attended to the experiment during 2018/2019 spring semester.. In game education group, 17 students attended to all sections, 23 students attended 9, 22 students attended 8 and only 3 students attended 7 sections. On the other hand, only 7 students attended 8 sections in classical education

Table 1. Crosstabs analysis based on groups and attendance

Count		Grup		Total
		Game Education	Classical Education	
Attendance	1	0	8	8
	2	0	3	3
	3	0	5	5
	4	0	9	9
	5	0	8	8
	6	0	13	13
	7	3	13	16
	8	22	7	29
	9	23	0	23
	10	17	0	17
Total		65	66	131

Apart from crosstabs analysis, Normalization test was used to find out whether the data are parametric or non-parametric. 5 different aspects were used to identified data, as; Histogram, Variance, Skewness, Detrended Plot and Normality.

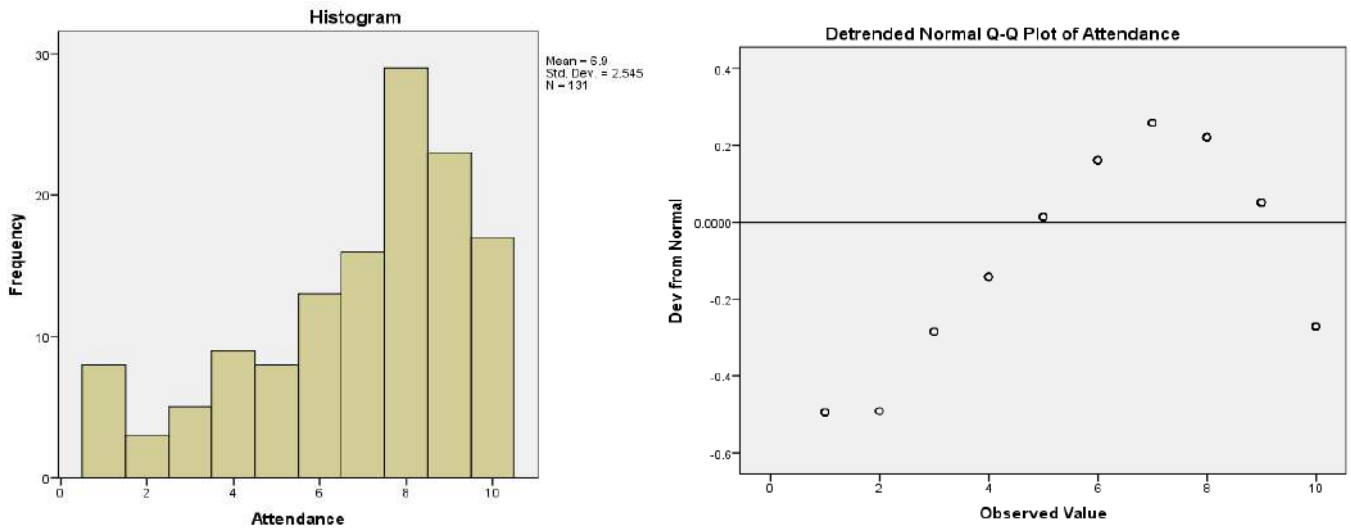


Figure 4: Histogram and Detrended Normal Chart

Table 2. Descriptive and Normality Tests

Descriptives				
		Statistic	Std. Error	
Attendance	Mean	6.90	.222	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	6.46	
		Upper Bound	7.34	
	5% Trimmed Mean	7.06		
	Median	8.00		
	Variance	6.475		
	Std. Deviation	2.545		
	Minimum	1		
	Maximum	10		
	Range	9		
	Interquartile Range	4		
	Skewness	-.863	.212	
	Kurtosis	-.112	.420	

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Attendance	.194	131	.000	.896	131	.000

a. Lilliefors Significance Correction

In order to check whether data are parametric or non-parametric, at least 3 of 5 aspects must provide the normality. Data in histogram chart must be collected frequently, like triangle shape unlike shown in Figure 4. Variance is the standard deviation divided by mean. In Table 2, it is 0,36, but it must be less than 30%, so it is not provided. In the third aspect, if 2 multiplied by standard error data of skewness is bigger than the absolute value of skewness data; it means that data are normal. In Table 2, 0.212 multiplied by 2 is equal to 0.424, so it is still less than skewness data, which is not normal. Where the detrended normal chart has some pattern like “W”, “V” or “S”, it means that data are not normal. In the last aspect, Kolmogorov smirnov data should be used as more than 50 data were used in this research. Where “Sig.” value is less than 0.05, data are not normal. Since normality test was based on attendance data and 5 aspects, none of the aspects provided the normality. In other

words, data are non-parametric, so Mann Whitney U test should be used to examine the data.

As mentioned above, Table 3 shows that Mann Whitney U test. Mean Rank of Game Education value is more than the Classical one in the first part of Table 3 and Asymp. Sig. value is less than 0.05 in part two, so it is easy to say that Game Education method affects the motivation to the course and students want to come more often.

Table 3. Mann Withney U Test

Ranks				
Grup		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Attendance	Game Education	65	97.19	6317.50
	Classical Education	66	35.28	2328.50
Total		131		

Test Statistics^a

	Attendance
Mann-Whitney U	117.500
Wilcoxon W	2328.500
Z	-9.438
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

a. Grouping Variable: Grup

Lastly, considering the attendance in 2018/2019 fall semester and analysis on the gaming education class, it is possible to say that gaming method motivates the students to attend lessons regularly. Table 4 shows that the attendance of

2018/2019 fall semester is based on 10 weeks. In 2018/2019 fall, only 5 students attended 8 times. Unfortunately, no one attended 9 or 10 times.

Table 4. 2018/2019 Fall Semester Attendance

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 1	17	11.2	11.2	11.2
2	24	15.8	15.8	27.0
3	17	11.2	11.2	38.2
4	30	19.7	19.7	57.9
5	28	18.4	18.4	76.3
6	19	12.5	12.5	88.8
7	12	7.9	7.9	96.7
8	5	3.3	3.3	100.0
Total	152	100.0	100.0	

Apart from the attendance analysis, 2018/2019 spring semester game method and classical method grades and

2018/2019 fall with 2018/2019 spring total grades were compared respectively

Table 5. Crosstabs analysis based on groups and exams grade

	Grade	Grup		Total
		Gaming Education	Classical Education	
	23	0	1	1
	26	0	2	2
	29	0	1	1
	31	0	2	2
	33	0	2	2
	34	0	1	1
	35	0	1	1
	36	0	2	2
	37	0	3	3
	38	0	2	2
	40	0	2	2
	41	0	3	3
	42	0	1	1
	43	0	4	4
	44	0	3	3
	46	0	2	2
	47	0	3	3
	48	0	2	2
	49	0	3	3
	50	0	2	2
	51	0	2	2
	52	1	1	2
	53	0	1	1
	54	1	3	4
	55	1	3	4
	56	1	4	5
	57	2	1	3
	58	1	0	1
	59	2	0	2
	60	3	0	3
	61	1	2	3
	62	1	1	2
	63	2	1	3
	64	4	0	4
	65	1	0	1
	66	5	1	6
	67	2	1	3
	68	3	0	3
	69	4	0	4
	70	1	0	1
	71	1	0	1
	72	3	1	4
	73	3	0	3
	74	5	0	5
	75	1	1	2
	76	1	1	2
	77	3	0	3
	80	3	0	3
	81	1	0	1
	84	2	0	2
	85	3	0	3
	90	1	0	1
	95	1	0	1
	100	1	0	1
Total		65	66	131

Table 5 shows the comparison of grades based on 2 groups, which were gaming education group and classical education group. In gaming education group, one student got 100 out of hundred on the other hand, only 76 is the highest mark. Therefore, it is obvious that the grades of gaming education class is much higher than the other group.

Table 5 illustrates the difference between two groups, and gaming group is better than the classical method, and Table 6 shows the differences between spring and fall semester.

Table 6. Comparison between 2018/2019 fall and spring grades

SpringGrade			FallGrade		
N	Valid	131	N	Valid	152
	Missing	21		Missing	0
Mean		58.48	Mean		35.34
Median		59.00	Median		33.00
Range		77	Range		58
Minimum		23	Minimum		16
Maximum		100	Maximum		74

Table 6 shows Mean, Median, Range and Max/Min of 2018/2018 spring and fall full grades shown. As shown, the mean value is 58.48 among 131 students in spring, but it was 35.34 among 152 in fall. At the same time, the highest grade is 100 in spring semester. Therefore, it is easy to say that, gaming education style has a great influence on learning.

Lastly, small questionnaire was used to learn students' idea about gaming style education. As mentioned above, the questions were as follows:

- RQ1: Do you think these teaching method and material have helped you to develop any coding skills?
- RQ2: Were the factors of applied method affected the desire to learn?
- RQ3: Was the applied method sufficient to increase motivation?

In questionnaire, five-point Likert scale ranging from “strongly agree=1” to “strongly disagree=5” was used to measure. The questionnaire was applied on 2018/2019 spring semester students in both group. Table 7 shows the results of questionnaire.

Table 7. Crosstabs analysis of questionnaire

Grup * QS1 Crosstabulation

Count		QS1					Total
		Strongly Agree	Agree	Hesitate	Disagree	Strongly Disagree	
Grup	Game Education	34	22	9	0	0	65
	Classical Education	0	0	13	27	26	66
Total		34	22	22	27	26	131

Grup * QS2 Crosstabulation

Count		QS2					Total
		Strongly Agree	Agree	Hesitate	Disagree	Strongly Disagree	
Grup	Game Education	36	25	4	0	0	65
	Classical Education	0	0	6	22	38	66
Total		36	25	10	22	38	131

Grup * QS3 Crosstabulation

Count		QS3					Total
		Strongly Agree	Agree	Hesitate	Disagree	Strongly Disagree	
Grup	Game Education	28	24	13	0	0	65
	Classical Education	0	0	5	27	34	66
Total		28	24	18	27	34	131

According to the results of Table 7, almost all students, who attended game education class, accept and like the style, while, almost no one can like classical education style.

As mentioned above, 3 different analyses and data were used to analyze 7 different hypotheses. With the results of 3 analyses, gaming education style has been proved success for all the hypotheses.

In this research, gaming education style was applied and in the light of results, it has been determined with 3 different studies that the gaming method is very effective on learning and motivation.

5. Conclusion and Recommendation

Due to the rapid development of internet technology, having coding knowledge has become as important as being able to read and write any language fluently. Because of this significance on coding knowledge, coding lessons are provided even in high school. However, many more students still do not have coding knowledge or at least basic details. So, the aim of this research is to boost up students' motivation and interest to learn and get an idea about coding. Coding game was used to reach the aim of this research and compare data from current semester and past semester to analyze hypothesis.

In European University of Lefke, the student data from 2018/2019 fall and spring semesters were used accordingly. 2 different groups were used in spring semester and one of them was provided education through coding game and other group used the classical materials. Attendance, grades and small survey study data were all used to find out the differences between both

groups. After that, these data were compared with fall semester data based on same parameters.

According to the results of analysis, coding game style helped the students to learn coding and at the same time boost up their motivation. Therefore, game education style affects student-learning motivation positively. However, I personally believe that gaming style education and the number of such games are not enough to teach complex coding technics. Based on the results, the recommendations to instructors or students are as follows:

- Create various kind of games like code combat with an better graphics and story to motivate students and increase the playing time and practice
- Create online multiplayer type of coding game for encouraging students to play more increasing competition.
- Create different type of coding games for specific purpose such as, web coding, database coding, front end or back end coding.
- In the future, sell this kind of games for everyone as game console or may be as a mobile application game.

References

Adachi, P. J. C., & Willoughby, T. (2013). More than just fun and Games: The longitudinal relationships between strategic video games, self-reported problem solving skills, and academic grades. *Journal of Youth and Adolescence*, 42(7), 1041e1052. <https://doi.org/10.1007/s10964-013-9913-9>.

Arango-López, J., Valdívieso, C. C. C., Collazos, C. A., Vela, F. L. G., & Moreira, F. (2019). CREANDO: Tool for creating pervasive games to increase the learning motivation in higher education students. *Telematics and Informatics*, 38, 62-73.

- Arıkan, E. E., & Ünsal, K. (2019) Ortaokul Ve Lise Okul Yöneticilerinin Kodlama Eğitime Yönelik Görüşlerinin İncelenmesi (Bağcılar İlçesi Örneği). *İzmir Eğitim Dergisi*, 1(2), 250-284.
- Aytekin, A., Çakır, F. S., Yücel, Y. B., & Kulaöz, İ. (2018). Geleceğe Yön Veren Kodlama Bilimi Ve Kodlama Öğrenmede Kullanılabilecek Bazı Yöntemler. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5(5), 24-41.
- Barr, M. (2017). Video games can develop graduate skills in higher education students: A randomised trial. *Computers & Education*, 113, 86-97.
- Barr, M. (2018). Student attitudes to games-based skills development: Learning from video games in higher education. *Computers in Human Behavior*, 80, 283-294.
- Başaran, B. A. (2017). *Çocuklar için kodlama*. Antalya, Muratpaşa, Türkiye.
- Baz, F. Ç. (2018). Çocuklar için kodlama yazılımları üzerine karşılaştırmalı bir inceleme. *Current Research in Education*, 4(1), 36-47.
- Bourgonjon, J., Vandermeersche, G., De Wever, B., Soetaert, R., & Valcke, M. (2016). Players' perspectives on the positive impact of video games: A qualitative content analysis of online forum discussions, *new media & society*, 18(8), 1732-1749.
- Campe, S., & Denner, J. (2015). Programming games for learning: A research synthesis. In annual meeting of the American Educational Research Association, Chicago, IL.
- Coravu, L., Marian, M., & Ganea, E. (2015). Scratch and recreational coding for kids. In *2015 14th RoEduNet International Conference-Networking in Education and Research (RoEduNet NER)* (pp. 85-89). IEEE.
- Çavuş, S., Ayhan, B., & Tuncer, M. (2016). Bilgisayar oyunları ve bağımlılık: Üniversite öğrencileri üzerine bir alan araştırması.
- De Gortari, A. B. O., Aronsson, K., & Griffiths, M. (2011). Game Transfer Phenomena in video game playing: A qualitative interview study. *International Journal of Cyber Behavior, Psychology and Learning (IJCBPL)*, 1(3), 15-33.
- Demirer, V., & Nurcan, S. A. K. (2016). Dünyada ve Türkiye'de programlama eğitimi ve yeni yaklaşımlar. *Eğitimde Kuram ve Uygulama*, 12(3), 521-546.
- Din, Z. U., & Gibson Jr, G. E. (2019). Serious games for learning prevention through design concepts: An experimental study. *Safety science*, 115, 176-187.
- Dolmaz, M. (2019). The Views of Social Studies Teacher Candidates on Coding and Production of Educational Materials through Coding. *Universal Journal of Educational Research*, 7(5), 1286-1300.
- Dos Santos, E. C. O., Batista, G. B., de Sousa, V. H. V., & Clua, E. W. (2014). Structural Analysis for Simple Games Source Codes Applied to Programming Learning. In *2014 Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment* (pp. 71-79). IEEE.
- Falloon, G. (2016). An analysis of young students' thinking when completing basic coding tasks using Scratch Jr. On the iPad. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(6), 576-593.
- Hamari, J., Shernoff, D. J., Rowe, E., Coller, B., Asbell-Clarke, J., & Edwards, T. (2016). Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. *Computers in human behavior*, 54, 170-179.
- Huizinga, J. (2013). *Homo Ludens* (4. b.). (M. A. Kılıçbay, Çev.) İstanbul: Ayrıntı Yayınları.
- Iacovides, I., Aczel, J., Scanlon, E., & Woods, W. (2012). Investigating the relationships between informal learning and player involvement in digital games. *Learning, Media and Technology*, 37(3), 321-327.
- İnan Kaya, G. (2018). Oyun, gelişim ve tarihsel olarak oyunun eğitimdeki yeri. *Ulusal Eğitim Akademisi Dergisi*, 2(1), 66-78.
- Kaplançali, U. T., & Demirkol, Z. (2017). Teaching Coding to Children: A Methodology for Kids 5+. *International Journal of Elementary Education*, 6(4), 32-37.
- Keçeci, G., Alan, B., & Zengin, F. K. (2016). Eğitsel Bilgisayar Oyunları Destekli Kodlama Öğrenimine Yönelik Tutum Ölçeği: Geçerlilik Ve Güvenirlik Çalışması. *Education Sciences*, 11(3), 184-194.
- Martin, W., Silander, M., & Rutter, S. (2019). Digital games as sources for science analogies: Learning about energy through play. *Computers & Education*, 130, 1-12.
- Oluk, A., Korkmaz, Ö., & Oluk, H. A. (2018). Scratch'ın 5. Sınıf Öğrencilerinin Algoritma Geliştirme ve Bilgi-İşlemsel Düşünme Becerilerine Etkisi. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 9(1), 54-71.
- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., & Kafai, Y. (2009). Scratch: programming for all. *Communications of the ACM*, 52(11), 60-67.
- Resnick, M., & Silverman, B. (2005). Some reflections on designing construction kits for kids. In *Proceedings of the 2005 conference on Interaction design and children* (pp. 117-122).
- Rozali, N. F., & Zaid, N. M. (2017). Code puzzle: ActionScript 2.0 learning application based on problem based learning approach. In *2017 6th ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)* (pp. 1-4). IEEE.
- Ruggiero, D. (2015). The effect of a persuasive social impact game on affective learning and attitude. *Computers in Human Behavior*, 45, 213-221.
- Sayın, Z., & Seferoğlu, S. S. (2016). Yeni bir 21. yüzyıl becerisi olarak kodlama eğitimi ve kodlamanın eğitim politikalarına etkisi. *Akademik Bilişim Konferansı*, 3-5.
- Shute, V. J., Ventura, M., & Ke, F. (2015). The power of play: The effects of Portal 2 and Lumosity on cognitive and noncognitive skills. *Computers & education*, 80, 58-67.
- Taylor, M., Harlow, A., & Forret, M. (2010). Using a computer programming environment and an interactive whiteboard to investigate some mathematical thinking. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 8, 561-570.
- Vasalou, A., Khaled, R., Holmes, W., & Gooch, D. (2017). Digital games-based learning for children with dyslexia: A social constructivist perspective on engagement and learning during group game-play. *Computers & Education*, 114, 175-192.
- Williams, L., & Cernochova, M. (2013). Literacy from scratch. In *Proceedings of the 10th IFIP World Conference on Computers in Education, WCCE* (pp. 17-27).
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Wu, S. Y., Hou, H. T., & Hwang, W. Y. (2012). Exploring students' cognitive dimensions and behavioral patterns during a synchronous peer assessment discussion activity using instant messaging. *Asia-Pacific Education Researcher (De La Salle University Manila)*, 21(3).
- Yang, J. C., & Teng, S. (2014). How Game Experiences Affect Game Behavioral Patterns in a MMORPG-based Learning Environment?. In *2014 IIAI 3rd International Conference on Advanced Applied Informatics* (pp. 377-381). IEEE.
- Yecan, E., Özçınar, H. & Tanyeri, T. (2017). Bilişim teknolojileri öğretmenlerinin görsel programlama öğretimi deneyimleri. *Elementary Education Online*, 16(1), 377-393.
- Yücel, Y., & Rızvanoğlu, K. (2019). Battling gender stereotypes: A user study of a code-learning game, "Code Combat," with middle school children. *Computers in Human Behavior*, 99, 352-365.



Üzüm Suyunun Isıtılmasında Güncel Elektriksel Isıtma Uygulaması; Ohmik Isıtma

Serdal Sabancı^{1*}

^{1*} Munzur Üniversitesi, Sağlık Bilimler Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Tunceli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1630-0799), serdalsabanci@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 24 Nisan 2020 ve Kabul Tarihi 25 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.726556)

ATIF/REFERENCE: Sabancı, S. (2020). Üzüm Suyunun Isıtılmasında Güncel Elektriksel Isıtma Uygulaması; Ohmik Isıtma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 466-471.

Öz

Gelişen teknoloji ile beraber güncel elektrikselsel ısıtma işlemlerinin uygulaması giderek artmaktadır. Geleneksel ısıtma işlemine alternatif güncel elektrikselsel ısıtma yöntemlerinden birisi de Ohmik ısıtma işlemidir. Ohmik ısıtma işlemi katı/sıvı maddeden alternatif akım geçilmesiyle ürün içerisinde ısı jenerasyonuna bağlı olarak ürünün ısınma prensibine dayanmaktadır. Ohmik ısıtma işlemi özellikle hızlı, homojen ve verimli bir ısıtma olarak kabul edilmektedir. Mevcut çalışmada, ohmik ısıtma işlemi yardımıyla (sabit voltaj gradyanında 13 V/cm) üzüm suyunun 20 °C'den 90 °C'e kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta (90 °C) farklı işlem süresinde (0, 20, 40 ve 60 dk.) tutularak, üzüm suyunun bazı kalite özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca işlem sırasında ohmik ısıtma için önemli özelliklerinden olan elektrikselsel iletkenlik değerinin incelenmesi ve sabit sıcaklıkta (90 °C) farklı tutma sürelerinde toplam harcanan enerji değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Üzüm suyunun 20 °C'den 90 °C'ye ısınma süresi 311±5.01 s olarak belirlenirken, zamana bağlı sıcaklık değişiminin lineer eğilimde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sıcaklık arttıkça elektrikselsel iletkenlik değerinin arttığı belirlenmiştir. Üzüm suyunun ısıtma işlemi sırasında elektrikselsel iletkenlik değerinin 0.144-0.582 S/m arasında değiştiği bulunmuştur. Ayrıca ohmic ısıtma uygulaması sırasında sabit sıcaklıkta tutma süresi arttıkça toplam harcanan enerji değerinin arttığı ancak ortalama güç değerinin ise azaldığı bulunmuştur. Üzüm suyunun ısıtılması ve sabit sıcaklıkta tutma sırasında bazı kalite özelliklerinde değişim incelenmiştir. Özellikle ısı işleme duyarlı olan Toplam Fenolik Madde (TFM) miktarının ısıtma ve sabit sıcaklıkta tutma sürelerindeki üzüm suyundaki miktarının Galik asit eşdeğeri cinsinden 466-367 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra üzüm suyunun farklı sabit sıcaklıkta tutma işlemine bağlı olarak hidroksimetilfurfural (HMF) içeriğinin 0.60-4.71 ppm arasında olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak kalite kriterlerinden olan TFM miktarı ve HMF içeriği üzerine 90°C'de tutma süresi üzerine etkisi olduğu belirlenmiştir (p<0.05).

Anahtar Kelimeler: Ohmik ısıtma, Elektrikselsel iletkenlik, TFM, HMF.

Application of Electrical Heating Method for Grape Juice; Ohmic Heating

Abstract

The application of current electrical heating processes is increasing with the developing technology. One of the current electrical heating methods as an alternative to the traditional heating process is Ohmic heating. Ohmic heating process is based on the heating principle that depends on the heat generation in the product by passing alternating current from the solid / liquid substance. Ohmic heating is regarded as a particularly fast, homogeneous and efficient heating. In the present study, with the help of ohmic heating process (13 V / cm at constant voltage gradient), the grape juice is heated from 20 °C to 90 °C and kept at a constant temperature for 4 different processing times (0, 20, 40 and 60 min.) It was aimed to examine some quality characteristics of grape juice. In addition, it was purposed to examine the electrical conductivity value, which is one of the important properties for ohmic heating during the process, and to determine the total spent energy value for the waiting time at different constant temperature (90 °C). While the heating time of grape juice from 20 °C to 90 °C was determined as 311 ± 5.01 s, it was stated that the temperature change due to time has a linear trend. In addition, it has been determined that as the temperature increases, the electrical conductivity value increases. It has been found that the electrical conductivity value of grape juice during the heating process varies between 0.144-0.582 S / m. In addition, during the ohmic heating application, as the holding time increases, the total consumed energy value increases but the average power value decreases. The changes in some quality characteristics during the heating of grape juice and holding at constant temperature were investigated. It was determined that the amount of Total Phenolic Content (TFC), which is particularly sensitive to heat treatment, in grape juice during the heating and waiting periods was between 466-367 mg/L in terms of Galic acid equivalent. In addition, it was found that the hydroxymethylfurfural (HMF) content of grape juice was between 0.60-4.71 ppm depending on the process of holding at different constant temperature. As a result, it was concluded that it influences the TFC amount and HMF content, which are among the quality criteria, on the waiting time at 90 °C (p <0.05).

Keywords: Ohmic heating, Electrical conductivity, TPC, HMF.

* Sorumlu Yazar: serdalsabanci@hotmail.com

1. Giriş

2017 yılı FAO verilerine göre, üzüm üretimi dünyada 74.276.583 milyon ton olurken, Avrupa'da 25.958.501 ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye ise yaklaşık olarak 4.200.000 milyon ton ile önemli bir üzüm üreticisidir. Bu değer, dünyadaki üzüm üretiminin yaklaşık %6'sına karşılık gelirken, Avrupa'daki üzüm üretiminin ise yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır (FAO, 2019). Bu nedenle de üzüm, Türkiye'de önemli bir tarım ürünüdür. Üzüm özellikle sofralık olarak taze ve kurum üzüm olarak tüketilmesinin yanında Türkiye'de sanayide üzüm suyu, pekmez, pestil, şarap, sirke gibi endüstriyel ürünler için hammadde olarak da kullanılmaktadır (Kiraca et al., 2017).

Gıda maddelerinin (sıvı veya katı) ısıtılması amacıyla genellikle sanayide indirek ısıtma olarak bilinen buhar kaynaklı veya fosil yakıt kaynaklı ısıtma teknikleri kullanılmaktadır. Ancak gıda ürünlerinin ısıtılması sırasında ısıtma yüzeyi ile gıda ürünlerinin temaslı kısımlarında ani ısınmalar meydana gelerek istenmeyen bileşenler (HMF, furfural, karemelizasyon vb.) ve kalite kayıpları (TFM, antioksidant, besin, aroma vb.) meydana gelmektedir. Bu olumsuzlukları gidermek amacıyla araştırmacılar alternatif güncel ısıtma teknikleri ve/veya ısı olmayan teknikleri incelemektedir. Bu bağlamda kullanılan başlıca alternatif, güncel elektriksel ısıtma teknikleri mikrodalga ısıtma, ohmik ısıtma, infraret ısıtma ve radyo frekans ısıtma olarak bilinmektedir (Baysal et al., 2011).

Ohmik ısıtma işlemi gıda maddesinin içerisinden alternatif akım geçilerek, ürünün göstermiş olduğu dirence bağlı olarak ürün içerisinde meydana gelen ısı jenerasyonu sonucu ürünün ısınma prensibine dayanmaktadır. Literatürde ohmik ısıtma, joule ısıtma, elektriksel direnç ısıtma gibi isimler ile ifade edilmektedir. Ohmik ısıtma hızlı, homojen ısıtma ve verimliliği yüksek bir ısıtma tekniği olarak pek çok çalışmada ifade edilmiştir. Ohmik ısıtma işleminin gıda uygulamaları, pastörizasyon, sterilizasyon, haşlama, çözündürme, pişirme, destilasyon, ekstraksiyon, evaporasyon vb proseslerde uygulama alanları bulunmakta ve incelenmektedir. Ayrıca ohmik ısıtmanın ekstraksiyon, osmotik kurutma ve kurutma işleminde ön işlem olarak uygulamaları bulunmaktadır (Baysal et al., 2011; İçier, 2012; İncedayi et al., 2019).

Açık literatür incelendiğinde, meyve ve meyve türevleri için önemli kalite kriteri olarak kabul edilen TFM miktarı ve TFM miktarının değişiminin incelendiği çalışmalar tespit edilmiştir. TFM miktarının incelendiği üvez meyvesi (Bayram et al., 2019), tıbbi ve aromatik bitkiler (Karadağ, 2019), siyah ve yeşil çay (Akarca et al., 2018), soğuk sıkım kiraz çekirdeği (Atik et al., 2019) vb. pek çok geniş gıda ürünleri üzerinde çalışmalara rastlanmaktadır. Ohmik ısıtma uygulamasında (ısıtma, evaporasyon vb.) önemli kalite kriterlerinden birisi olan TFM

miktarı tespitinin sınırlı sayıda olduğu belirlenmiştir (Guida et al., 2013; İçier, 2010; Yıldız et al., 2009). Diğer önemli bir değerlendirme kriteri ise ısı işlem sırasında oluşan hidroksimetilfurfural (HMF) miktarının tespit edilmesidir. Ancak yazarın bilgisi dahilinde ohmik ısıtma işlemi sırasında meydana gelen HMF ile sınırlı sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir (Louarme et al., 2012; Sabancı et al., 2018; Sabancı, 2017).

Bu çalışmanın temel amacı, üzüm suyunun ohmik ısıtma kullanılarak 90 °C'ye kadar ısıtılması ve ısıtma sırasında meydana gelen elektriksel iletkenlik değişiminin incelenmesidir. Ayrıca sabit sıcaklıkta (90°C) farklı tutma sürelerinde (0-60 dakika) tutarak bazı kalite değişimlerinin incelenmesi ve toplam harcanan enerji değişimi belirlenerek ohmik ısıtma işleminin ortalama güç değerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

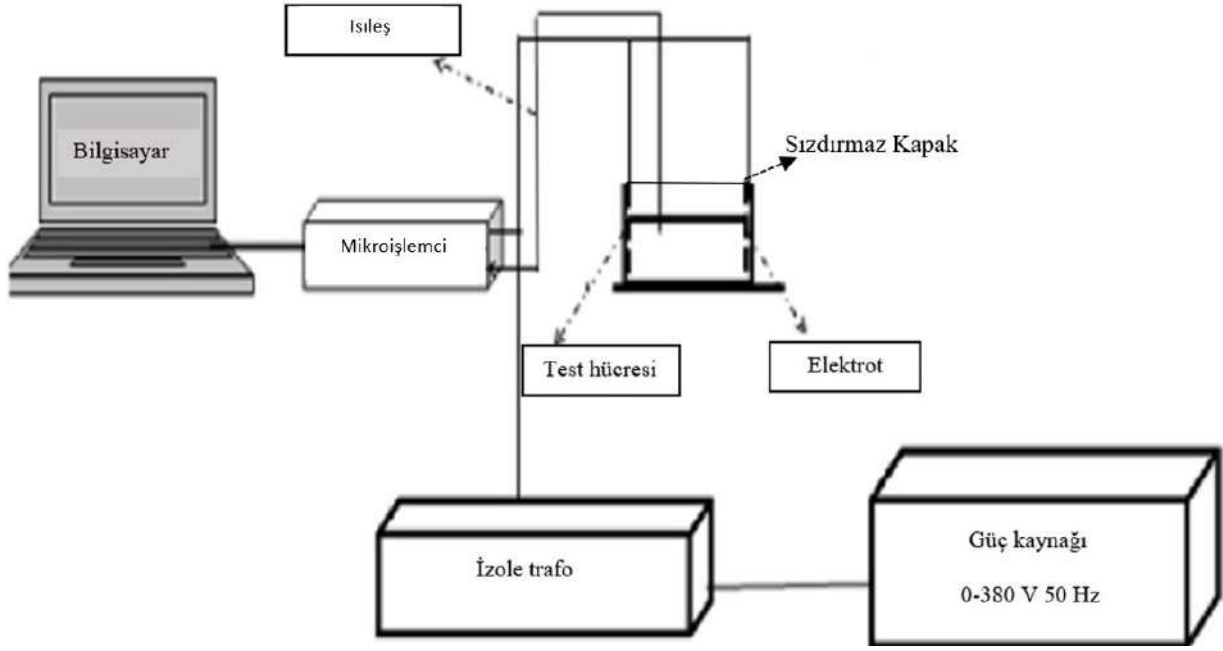
2.1. Materyal

Erzincan'a özgü olan üzümler (Cimin Üzümleri (*Vitis vinifera*)) yerel bir marketten temin edilmiş ve üzüm örnekleri katı meyve sıkacağı kullanılarak üzüm suyu elde edilmiştir. Elde edilen üzüm suyu 6000 rpm değerinde 10 dakika santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Ohmik ısıtma uygulamasına kadar -18 °C'de 500 ml şişelerde depolanmıştır. Ohmik ısıtma uygulamasından bir gün önce +4 °C'ye çıkarılmış ve çözündürme işlemine tabi tutulmuştur.

2.2. Yöntem

2.2.1. Ohmik Isıtma Uygulaması

Üzüm suyunun ısıtılmasında kullanılan ohmik ısıtma işleminin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Ohmik ısıtma sistemi güç kaynağı, izoletrafo, özel tasarım mikroişlemci ve bilgisayardan oluşmaktadır. Ohmik test hücresinin boyutu 7 cm uzunluğunda, 10 cm yüksekliğinde ve 6 cm genişliğinde dörtgen kesitli olarak ayarlanmış ve elektriğe iletkenliğine karşı izole olan polioksümetilenden yapılmıştır. Ohmik ısıtma işleminde kullanılan elektrot 1 mm kalınlığına sahip paslanmaz çelikten oluşmaktadır. İşlem sırasında akım, voltaj ve sıcaklık değerleri özel yapım mikroişlemci ile 1 s aralıklarla kayıt altına alınmış ve sıcaklık ölçümleri için T-tipi izole ısıleş kullanılmıştır. Ohmik ısıtma işlemi sabit voltaj gradyanında (13 V/cm), sabit sıcaklık altında 4 farklı sürede (0-60 dakika) ısı işleme tabi tutulmuştur. Ohmik ısıtma için üzüm suyu örnekleri 20 °C'den 90 °C'ye kadar ısıtılmış, sabit sıcaklıkta tutma açma/kapama yapılarak sağlanmıştır. Üzüm suyunun Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM) miktarı dijital refrakto metre yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 1. Ohmik ısıtma sisteminin şematik gösterimi

2.2.2 Elektriksel İletkenli Değişimi

Ohmik ısıtma işlemi sırasında meydana gelen elektriksel iletkenlik değişimi Eşitlik 1 ile tespit edilmiştir.

$$\sigma, E \cdot I \left(\frac{S}{m} \right) = \frac{I}{V} \times \frac{L}{A} \quad \text{Eş. 1}$$

Burada, E.İ elektriksel iletkenlik (S/m), I akım değerini, V voltaj değerini, L iki elektrot arasındaki mesafeyi (m), A ise elektrot temas alanını ifade (m²) etmektedir.

Ohmik ısıtma işlemi sırasında sıcaklıkla elektriksel iletkenlik değeri arasındaki ilişki Eşitlik 2 ile incelenmiştir.

$$\sigma = a \times T + b \quad \text{Eş. 2}$$

Burada, σ elektriksel iletkenlik (S/m), T (°C) sıcaklık değerini, a (S/m×°C) ve b (S/m) denklem sabitlerini ifade etmektedir.

Ohmik ısıtma süresince toplam harcanan enerji (THE) miktarı mikroişlemci yardımıyla elde edilen akım ve voltaj değerleri kullanılarak Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır.

$$THE (J) = \sum(I \times V \times t) \quad \text{Eş. 3}$$

Burada, I akım değerini, V voltaj değerini, t ise süreyi ifade etmektedir.

Ohmik ısıtma süresince toplam harcanan enerji değerine bağlı olarak ortalama güç (P) değeri Eşitlik 4 ardımıyla belirlenmiştir.

$$P (W) = \frac{\sum(THE)}{t} \quad \text{Eş. 4}$$

2.2.3. Toplam Fenolik Madde (TFM) Miktarının Belirlenmesi

Farklı işlem sürelerinde ohmik ısıtma işlemine tabi tutulan örnekler hızla buz banyosunda ortam sıcaklığına kadar soğutulmuştur. TFM içeriği Cemeroglu (2010)'da belirtilen spektrofotometrik yöntemle göre belirlenmiştir.

2.2.4. Hidroksimetilfurfural (HMF) Miktarının Belirlenmesi

Üzüm suyu örneklerinin HMF (Hidroksimetilfurfural) analizinde Tornuk ve ark. (2013)'nin metodu kullanılmıştır. 1 ml üzüm suyu 1/5 oranında seyreltilmiş ve örnekler 0,45 μm ' lik filtreden geçirildikten sonra viallere alınıp analiz yapılmıştır. HMF analizi için otomatik örnekleme özelliğine sahip Shimadzu marka HPLC (Schimadzu LC 20A, Japonya) cihazı kullanılmıştır. HMF analizinde C-18 (Zorbax Eclipse, XDB-C18) kolon kullanılmıştır. Kolon boyutları 25x0,46 mm ve kolon iç çapı 5 μm 'dir. Kromatogramlar Diode Array Detector (DAD)'da 284 nm dalga boyunda tespit edilmiştir. Enjeksiyon hacmi 10 μL 'dir. Hareketli faz olarak % 1'lik asetik asit içeren ultrasafsu ve asetonitril (95:5) kullanılmıştır. Hareketli fazın akış hızı dakikada 1 mL'dir. Kolon sıcaklığı 25°C olarak ayarlanmıştır. Pik değerinde okunan alan değerleri, standart kalibrasyon eğrisi kullanılarak alana karşılık gelen konsantrasyon değerinin HMF miktarı "ppm" cinsinden hesaplanmıştır.

2.2.5. İstatistiksel Değerlendirme

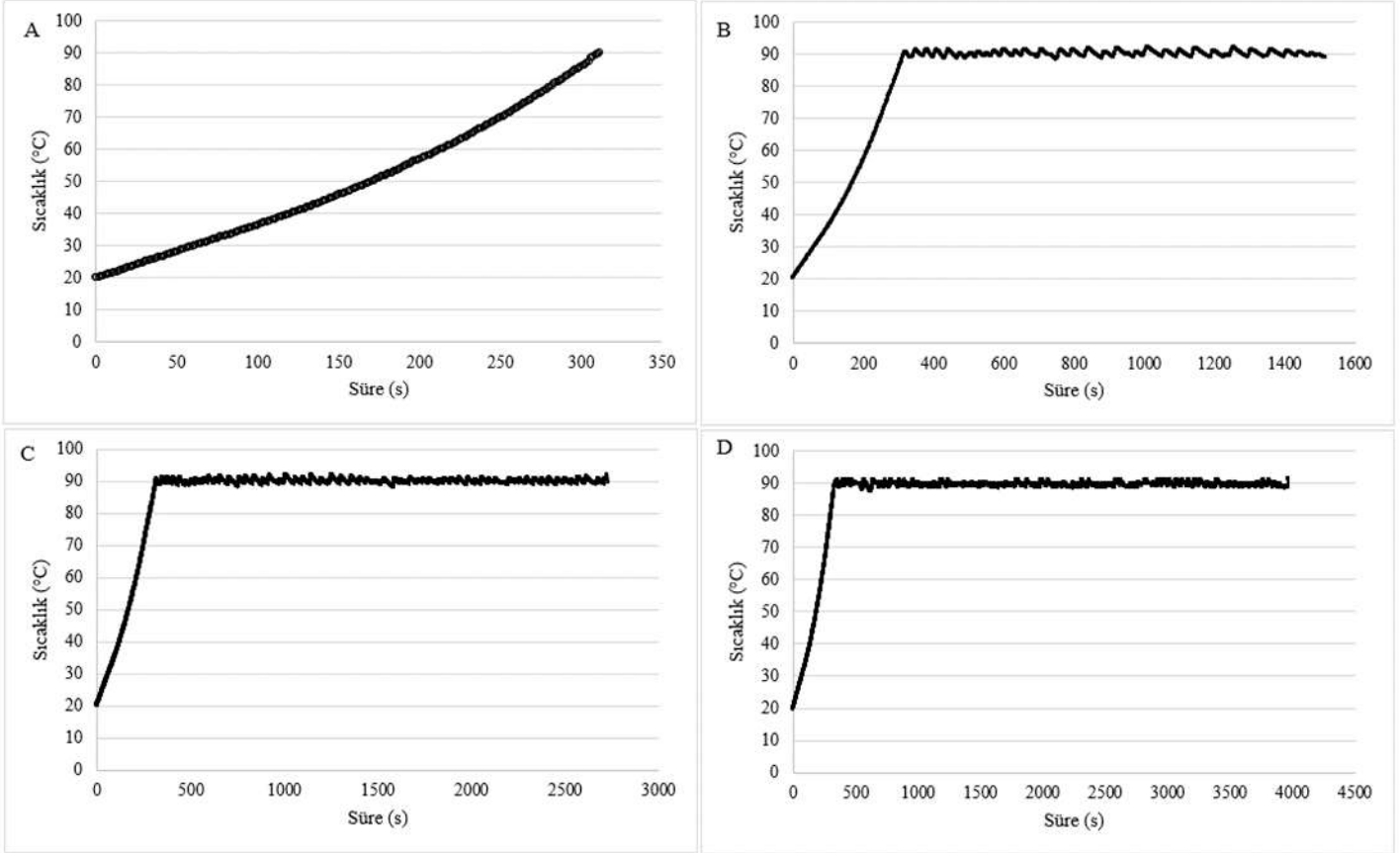
Sonuçların istatistiksel değerlendirmesinde SPSS 16.0 (SPSS, IBM) paket programı kullanılmıştır. İşlemlerin etkileri arasındaki farklılıklar, Tamamen Rastgele Deneme Desenine göre, tek yönlü varyans (Post Hoc- Duncan testi) analizi ile belirlenmiştir. Güven aralığı olarak %95 seçilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Üzüm Suyunun Isıtılması ve Ohmik Isıtma Sırasında Elektriksel İletkenlik Değişimi

20 °C'deki üzüm suyunun (%14.8 SÇKM) 90 °C'ye ulaşması için ısınma süresi 310.7±5.01 s olduğu tespit edilmiştir. İşlem süresi arttıkça ohmik ısıtma tarafından verilen enerjiye bağlı olarak sıcaklık değerinin arttığı ve ayrıca sıcaklık artışının doğrusal olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ohmik ısıtma işlemi sırasında 90 °C'de sabit sıcaklık değerinde tutulması amacıyla ohmik ısıtma işleminin açma/kapa işlemi yapılmıştır.

Buna göre farklı sabit sıcaklık değerinde tutma sırasındaki sıcaklık değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Sabit sıcaklıktaki ortalama sıcaklık değerleri 20 dakika için 89.92± 1.30 °C, 40 dakika için 90.015±0.77 °C ve 60 dakika için 89.95±0.61 °C olduğu tespit edilmiştir. Ohmik ısıtma işleminde sistem kontrolünün kolay olması nedeniyle 90 °C'de sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Isıtma işleminde ohmik ısıtma anahtarı açılınca üründen geçen alternatif akım ile ürün ısınmakta ancak ohmik ısıtma işleminde anahtar yardımıyla elektrik kesilmesi ile üründen elektrik akımı geçmemektedir. Bu işlem oldukça kolay ve uygulanabilir. Bu bağlamda özellikle ohmik ısıtma işleminin en önemli özelliklerinden bir tanesi de sıcaklık kontrolü kolaylıkla sağlanmasıdır.



Şekil 2. Ohmik ısıtma uygulaması sırasında farklı süreler için sıcaklık değişimleri (A: 0 dakika, B: 20 dakika, C: 40 dakika, D:60 dakika)

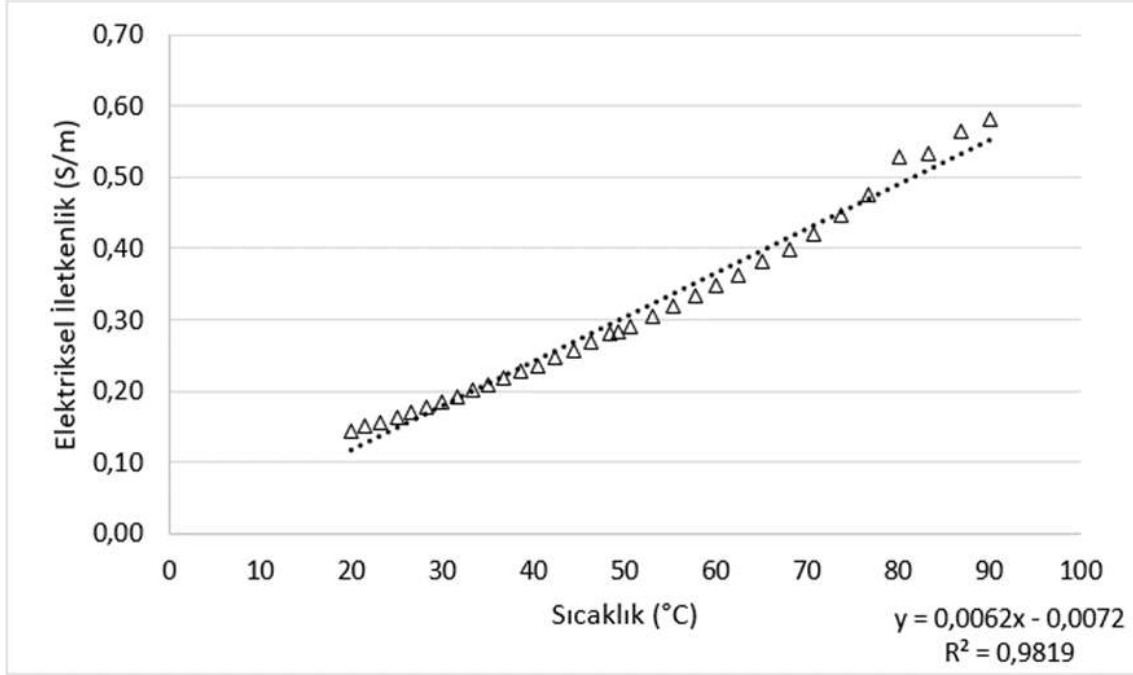
Ohmik ısıtma işleminde en önemli parametrelerin başında elektriksel iletkenlik değeri gelmektedir. Elektriksel iletkenlik değerinin sıcaklık arttıkça arttığı belirlenmiştir. Bunun temel nedeni artan sıcaklık değerine bağlı olarak ürün içerisindeki moleküler hareketliliğin arttığı ve buna bağlı olarak elektriksel iletkenlik değerinin artmasıdır (İcier et al., 2004). Mevcut çalışmada da üzüm suyunun 20 °C'den 90 °C'ye sıcaklık artışı sırasında elektriksel iletkenlik değerinin 0.144-0.582 S/m arasında değiştiği ve Regrasyon katsayısının ise 0.98 değerinin üzerinde olduğu için doğrusal ilişkide olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). Üzüm suyunun 20 °C'den 90 °C'ye kadar ısıtılması sonucunda elektriksel iletkenlik değerinin farklı voltaj gradyanında (20-40 V/cm) 0.38-0.79 S/m arasında değiştiği rapor edilmiştir (İcier et al., 2008). Başka bir yayında ise kırmızı üzüm suyunun (%10.5-14 SÇKM) elektriksel iletkenlik değerinin farklı voltaj gradyanında 25 °C'den 85 °C'ye kadar ısıtılmış ve elektriksel iletkenlik değerinin 0.4-1.0 S/m arasında değiştiği rapor edilmiştir (Assawarachan, 2010). Güncel bir yayında ise

üzüm suyu 30 °C'den 80 °C'ye kadar ohmik ısıtma kullanılarak ısıtılmış ve elektriksel iletkenlik değerinin 0.25-0.81 S/m arasında değiştiği ve voltaj gradyanının elektriksel iletkenlik üzerine etkisi olduğu rapor edilmiştir (Kumar et al., 2018). Farklı çalışmalarda üzüm suyu için farklı elektriksel iletkenlik değerinin elde edilmesi kullanılan üzümün içeriğine, ohmik ısıtmanın özelliklerine (voltaj gradyanı, kullanılan miktar, test hücresi boyutu) bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca literatürde vişne suyu, portakal suyu, limon suyu, çilek vb. meyve suları için elektriksel iletkenlik değerinin sıcaklık arttıkça arttığı ve elektriksel iletkenlik değerinin sıcaklık ile doğrusal ilişkisi olduğu rapor edilmiştir (İcier & İlicali, 2004; İcier & İlicali, 2005; Darvishi, Hosainpour, Nargesi, Khoshtaghaza, & Torang, 2011; Castro, Teixeira, Salengke, Sastry, & Vicente, 2004; Sarang, Sastry, & Knipe, 2008).

Ohmik ısıtma işlemi sırasında toplam harcanan enerji (THE) miktarının 35.73-138.37 kJ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Beklenildiği üzere en düşük THE değeri 0 dakikalık işlem için

35.73±4.62 kJ olduğu belirlenirken işlem süresinin artmasına bağlı olarak açma/kapama işleminin etkisi ile toplam harcanan enerji değerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca artan sabit sıcaklıkta tutma süresinin toplam harcanan enerji değeri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Bunun yanısıra işlem sırasında ohmik ısıtma işleminin ortalama güç değeri ise 114.90-35.38 W arasında değiştiği belirlenmiş ve toplam harcanan enerji değerinin aksine işlem süresi arttıkça güç değeri azalmıştır ($p<0.05$).



Şekil 3. Ohmik ısıtma sırasında sıcaklık değerine bağlı olarak elektriksel iletkenlik değişimi

3.2. Üzüm Suyunun Ohmik Isıtılması Sırasında Toplam Fenolik Madde Miktarı ve Hidroksimetilfurfural Değişimi

Üzüm suyu özellikle içerdiği toplam fenolik maddelerce zengin bir üründür. Mevcut çalışmada 90 °C'de sabit sıcaklıkta bekletilen üzüm suyunun TFM miktarı ve HMF içeriğine bağlı değerler Çizelge 1'de verilmiştir. İşlem süresinin artmasına bağlı olarak SÇKM içeriğinin %15.3 SÇKM içeriğine kadar yükselmiş olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen üzüm suyunun SÇKM içeriği %14.8 'e ayarlanmış ve kalite kriterleri incelenmiştir. Buna göre TFM miktarı Gallik asit eşdeğeri cinsinden 466-367 mg/L olduğu belirlenmiştir. En düşük TFM miktarı 60 dakikalık tutma süresinde elde edilirken, en yüksek TFM miktarı ise 0. dakikada elde edilmiştir. Artan işlem süresi ile TFM miktarı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir. Yıldız, et al. (2009) nar suyunu ohmik ısıtma kullanarak 90 °C'ye kadar ısıtmışlar ve sabit sıcaklıkta (90 °C) farklı tutma sürelerinde 0-12

dak arası ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır. İşlem süresinin TFM miktarı üzerine etkisi olmadığını rapor etmişlerdir. Ancak mevcut çalışmada işlem süresinin uzun olmasının bu azalmaya neden olabileceği düşünülmektedir. Sabancı & İcier, (2019) ohmik ısıtma kullanarak vişne suyunu %65 SÇKM içeriğine kadar konsantre etmiş, artan işlem süresinin TFM miktarı üzerine etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Hidroksimetilfurfural için elde edilen miktarlar ppm cinsinden Çizelge 1'de detaylandırılmıştır. Üzüm suyunun 90 °C'ye kadar ısınmasında elde edilen HMF içeriğinin 0.60 ppm düzeyinde olduğu belirlenirken artan işlem süresinin 60 dakika olması nedeniyle 4.71 ppm olarak belirlenmiştir. 90 °C'de tutma süresinin HMF içeriği üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Sabancı et al. (2017) vişne suyunu 65 °C'de 3 farklı voltaj gradyanında %40 SÇKM içeriğine kadar konsantre etmişler ve HMF içeriğinin 2.70-5.4 mg/L arasında değiştiğini belirtmiş ve artan işlem süresinin HMF oluşumu üzerine etkisi olduğunu rapor etmişlerdir.

Tablo 1. Çizelge 1. Ohmik ısıtma işlemi sırasında farklı sürelerde elde edilen Toplam Fenolik Madde (TFM) miktarı ve Hidroksimetilfurfural (HMF) miktarı

Kalite Kriterleri	İşlem süresi (dak)			
	0	20	40	60
TFM (mg/L)	466.37±33.85 ^c	438.87±69.82 ^c	407.13±8.46 ^b	367.63±24.85 ^a
HMF (ppm)	0.60±0.12 ^a	1.91±0.16 ^b	2.48±0.25 ^c	4.71±1.22 ^d

4. Sonuç

Sonuç olarak, ohmik ısıtma kullanarak sabit voltaj gradyanında (13 V/cm) üzüm suyu 20 °C'den 90 °C'ye kadar ısıtılmış ve kontrollü şekilde 90 °C sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Isıtma için gerekli olan toplam işlem süresinin 311±5.0 s olduğu belirlenmiştir. Artan sıcaklığa bağlı olarak elektriksel iletkenlik değerinin arttığı tespit edilmiştir. Sıcaklık ile elektriksel iletkenlik arasında %95 R² değerinin üstünde doğrusal ilişki olduğu bulunmuştur. Üzüm suyunun ısıtılması için 35.73±4.62 kJ toplam harcanan enerji gereksinimi varken artan sabit sıcaklıkta tutma süresine bağlı olarak toplam harcanan enerji miktarında artış olduğu belirlenmiştir. Ancak ohmik ısıtma işleminin ortalama güç değerinin ise artan sabit sıcaklıkta tutma süresine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Üzüm suyunun TFM içeriğinin yüksek olduğu bilinmektedir. Sabit sıcaklıkta tutma süresinin artmasına bağlı olarak TFM içeriğinin olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Ancak artan sabit sıcaklıkta tutma süresinin HMF üzerinde olumlu etkisi olduğu ve HMF miktarının artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ohmik ısıtma işleminin kalite özellikleri üzerine etkisi olduğu ve artan sabit sıcaklıkta tutma süresinden olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir.

Kaynakça

Akarca, G., & Tomar, O. (2018). Siyah ve Yeşil Çay İle Üretilen Kombucha Çaylarının Antimikrobiyal ve Antioksidatif Özellikleri. *European Journal of Science and Technology*, 14, 96–101. doi: 10.31590/ejosat.478054

Assawarachan, R. (2010). Estimation model for electrical conductivity of red grape juice. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(2), 52–57. doi: 10.25165/ijabe.v3i2.96

Atik, İ., Şevik, R., & Karasu, S. (2019). Soğuk Press Kiraz (*Prunus avium*) Çekirdeği Yayının Fizikokimyasal Özellikleri, Yağ Asidi, Sterol, Tokoferol ve Fenolik Bileşen Karakterizasyonu. *European Journal of Science and Technology*, 17, 959–965. doi: 10.31590/ejosat.656768

Bayram, Y., Torlak, Y., & Sağdıç, O. (2019). Üvez Meyvesinin Antioksidan Aktivitesi. *European Journal of Science and Technology*, 16, 933–939. doi: 10.31590/ejosat.589736

Baysal, T., İçier, F., & Baysal, H. A. (2011). Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri (1. Basım). Sidas Medya Yayınları.

FAO. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Guida, V., Ferrari, G., Pataro, G., Chambery, A., Di Maro, A., & Parente, A. (2013). The effects of ohmic and conventional blanching on the nutritional, bioactive compounds and quality parameters of artichoke heads. *LWT - Food Science and Technology*, 53(2), 569–579. doi: 10.1016/j.lwt.2013.04.006

İcier, F. (2010). Ohmic blanching effects on drying of vegetable byproduct. *Journal of Food Process Engineering*, 33(4), 661–683. doi: 10.1111/j.1745-4530.2008.00295.x

İcier, F. (2012). Ohmic Heating of Fluid Foods. In *Novel Thermal And Non-Thermal Technologies For Fluid Foods* (pp. 305–367). Elsevier Inc. doi: 10.1016/B978-0-12-

381470-8.00011-6

İcier, F., & İlicali, C. (2004). Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 27(3), 159–180.

İcier, F., & İlicali, C. (2004). Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 27(3), 159–180. doi: 10.1111/j.1745-4530.2004.tb00628.x

İcier, F., Yıldız, H., & Baysal, T. (2008). Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 410–417. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.08.002

İncedayi, B., Seyhan, B., & Çopur, Ö. U. (2019). Ohmik Isıtma Destekli İşlemlerin Gıdalarda Kullanımı ve Kalite Üzerine Etkisi Use of Ohmic Heating Assisted Treatments in Foodstuffs and Impact on Quality. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University*, 33(2), 341–354.

Karadağ, A. (2019). Türkiye'deki Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Antioksidan Potansiyelleri ve Fenolik Kompozisyonları. *European Journal of Science and Technology*, 16, 631–637. doi: 10.31590/ejosat.592711

Kiraca, M. A., & Şenol, M. A. (2017). Türkiye Bağcılığında Ekonomik Durum Analizi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 122–131. doi: 10.17100/nevbittek.287811

Kumar, T., Smith, D. D., Kumar, S., & Vimla, B. (2018). Effect of Voltage Gradient and Temperature on Electrical Conductivity of Grape (*Vitis vinifera* L.) Juice during Ohmic Heating. *Article in International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(5), 1914–1921. doi: 10.20546/ijcmas.2018.705.224

Louarme, L., & Billaud, C. (2012). Evaluation of ascorbic acid and sugar degradation products during fruit dessert processing under conventional or ohmic heating treatment. *LWT - Food Science and Technology*, 49(2), 184–187. doi: 10.1016/j.lwt.2011.12.035

Sabancı, S., Cevik, M., Cokgezme, O. F., Yıldız, H., & İcier, F. (2018). Quality characteristics of pomegranate juice concentrates produced by ohmic heating assisted vacuum evaporation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 4. doi: 10.1002/jsfa.9474

Sabancı, S. (2017). Ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon sisteminin kurulumu, performans değerlendirilmesi, işlemin deneysel ve kuramsal incelenmesi/Setting up and performance evaluation of ohmic heating assisted vacuum evaporation system, and experimental investiga [Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi]. Retrieved from <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYe ni.jsp>

Sabancı, S., & İcier, F. (2019). Effects of Vacuum Ohmic Evaporation on Some Quality Properties of Sour Cherry Juice Concentrates. *International Journal of Food Engineering*, 15(9). doi: 10.1515/ijfe-2019-0055

Yıldız, H., Bozkurt, H., & İcier, F. (2009). Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: Effects on rheology, color, and total phenolics. *Food Science and Technology International*, 15(5), 503–512. doi: 10.1177/1082013209350352



2 Boyutlu Platform Oyunların Tarihsel Gelişimi ve Günümüz Platform Oyunlarında Kullanılan Dijital İllüstrasyonların Çözümlemesi

Semih Delil^{1*}

^{1*} Başkent Üniversitesi, İletişim Fakültesi, İletişim ve Tasarım Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0358-2344), semihdelil@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 31.05.2020 ve Kabul Tarihi 30.10.2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.745977)

ATIF/REFERENCE: Delil. S (2020). 2 Boyutlu Platform Oyunların Tarihsel Gelişimi ve Günümüz Platform Oyunlarında Kullanılan Dijital İllüstrasyonların Çözümlemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (2020), 472-478.

Öz

Türün oynanabilirliği ve renkliliği hedef kitlesi video oyunları olan kullanıcılar tarafından çoğu zaman tercih sebebidir. Bu tercihin en önemli aktörlerinden birisi dijital illüstrasyon sanatının kullanılmış olmasıdır. İllüstrasyon sanatı türün arayüzlerinin gelişip halen popüler olmasına sebep olan etkenlerin başında gelmektedir. Bu bağlamda çalışmanın amacı uygulama mağazası üzerinden edinilen satış rakamları üzerinden seçilmiş günümüz platform oyunu örneklerini incelemektir. Çalışma için seçilen Ori, Gris, Cup Head ve Hollow Knight isimli oyunlardaki dijital illüstrasyon örneklerinin platform oyunlarını nasıl etkilediğine yönelik verileri teknik ve göstergebilim açıdan değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: Dijital illüstrasyon, platform oyunları, dijital sanat.

Historical Development of 2D Platform Games and Analysis of Digital Illustrations Used in Today's Platform Games

Abstract

Platform games are one of the most preferred video game types from past to present. The playability and colorfulness of the genre is often preferred by users with video games. One of the most important actors of this choice is the use of digital illustration art. The art of illustration is one of the factors that cause the interfaces of the genre to develop and become popular. In this context, the aim of the study is to examine the examples of platform games that are selected from the sale. To evaluate the data about how the digital illustration examples in the games named Ori, Gris, Cup Head and Hollow Knight, selected for the study, affect the platform games from a technical and semiotic perspective.

Keywords: Digital illustration, platform games, 2D platform games, digital art.

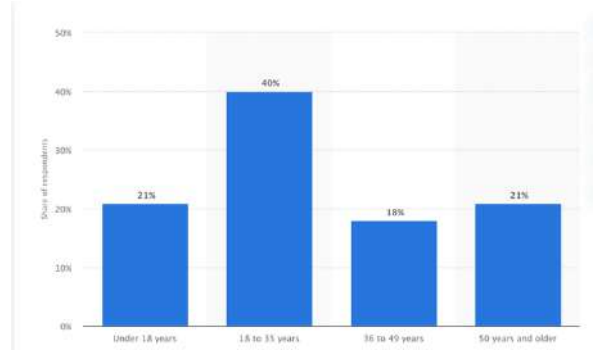
* Sorumlu Yazar: semihdelil@gmail.com, semihd@baskent.edu.tr

1. Giriş

Video oyunları çağımızın vazgeçilmez eğlence araçlarıdır. Bu yazılımlar, özellikle 70'li yılların bireylerinden çağımız gençlerine geniş bir hedef kitleye sahiptir. Teknoloji ilerledikçe oyun yazılımları ve oyun cihazlarının üzerine olan ilgi dramatik bir şekilde artmıştır. Ayrıca bu yazılımlar günümüzde sabit bir ekran başında olma zorunluluğundan uzaklaşıp artık mobil cihazlarda bile karşımıza çıkmaktadır. Mobil teknolojiler denildiğinde, mobil cihazlar, mobil işletim sistemleri ve mobil uygulamalar gibi sistemler de akla gelmektedir. Bir mobil teknoloji olan mobil uygulamalar, yaygın olarak kullanılan akıllı telefon ve tablet bilgisayar gibi cihazlar için geliştirilen yazılımlardır (Gümüş Ç., Tengirşen A. 2020 s:392)

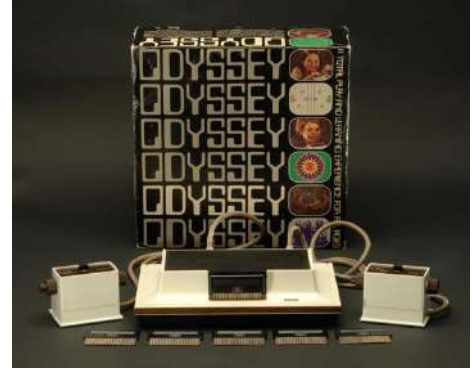
Oyun sektörü söz konusu olduğunda anlaşılması kolay olan oyunlar her zaman daha geniş kitlelere hitap etmiştir. Buna oyunların artık taşınabilir cihazlarda olabilmesi de eklenince oyun sektörü alanındaki büyüme hızla ilerlemiş ve günümüze kadar gelmiştir. Geçmişten bugüne hızlı bir biçimde gelişen oyunlar birçok türünü hayatımıza katsa da hala popülerliğini yitirmeyen ve en çok tüketilen oyun türlerinden biri platform oyunlarıdır. Oynanış şekli ve mantığı yaklaşık 50 yıldır büyük bir değişim göstermeyen bu türün hala popüler olmasının nedenlerinden biri de çok renkli ve sanatsal yaklaşım içeren illüstrasyon uygulamaları barındırmasıdır. Bu fantastik dünyaları daha da renkli kılan dijital illüstrasyonların günümüzde ekran üzerinde oluşturulmuş örneklerini çeşitlendirilmiş ve geliştirmiştir.

Bilgisayar oyunları icadından bu yana büyük kitlelere hitap etmiş ve çeşitli kitleler tarafından benimsenmiştir. Günümüzde oyun sektörü gerek teknoloji gerekse de ekonomik açıdan çoğu sektörün gelişmesine de destek olmuştur. Bilgisayar oyun endüstrisi her geçen gün büyümekte ve genişlemektedir. Sektörün son yıllarda satışa dayalı olarak ABD'deki film ve kayıt endüstrileriyle bile rekabet edebildiği gözlemlenmiştir (Qin H. Rau P. P. ve Salvendy 2009 s:108). Oyunlar dünya üzerinde donanımların ve yazımların gelişmesi ile gelişmiş, buna zıt olarak yazılımların ve donanımların da gelişmesine neden olmuştur. Oyunların aynı zamanda insan gelişimi üzerinde de etkisi vardır. İster eğitim amaçlı tasarlanmış ya da bu amacı gütmeyen tasarlanmış olsun, doğru tasarlanmış ise bir oyunun insan gelişimine olumlu yönde katkısı olduğunu söylemek mümkündür. Kimi video oyunlarının, faydalı olduğu ve birçok alanda önemli etkileri olan güçlü bir öğretici olduğu açıktır (Prot S., ve diğerleri 2012 s: 647). İnsanların dijital oyunlarla tanışma süreci genellikle genç yaşlarda olmuştur. Buna bağlı bir biçimde video oyun dünyası çocukları daha çabuk etkisi altına almaktadır. Bunun başlıca nedeni ise oyunların renkli dünyasıdır. Fakat bu tanışma yaş ilerledikçe azalabilmektedir. Ekteki tabloda ileri Amerika'da 2019 yılındaki yaşlara göre oyun oynama istatistikleri verilmiştir. Tabloya göre 35 ve sonrası yaşlar için bilgisayar oyunu oynama istatistiğinin dramatik şekilde düştüğü görülmektedir.



Şekil 1- 2020'de Amerika Birleşik Devletleri'ndeki video oyunu oyuncularının yaş dağılımı (statista.com)

İster genç ister ileri yaşlarda olsun insanların video oyunlarına olan ilgisi yıllardır yüksek seviyede olmuştur. Video oyunları, 1970'lerin başında basit ping pong ve ilk ev video oyun konsolu Magnavox Odyssey'nin piyasaya sürülmesiyle başlamıştır (americanhistory.si.edu).



Resim 1 - Magnavox Odyssey (americanhistory.si.edu).

Ping Pong oyununun ev versiyonu, en az kollu makine versiyonu kadar başarılı olmuştur. Atari firması sadece 1975'te 150.000 adet Ping Pong oyunu içeren konsol satmıştır (www.si.edu). 70'li yıllarla son kullanıcının evine girmeye başlayan oyunlar siyah bir arka plan üzerinde beyaz piksellerden biraz daha fazlasıydı, ancak bu kadar geri bile olsalar bile birinci şahıs nişancı da dahil olmak üzere gelecekteki çok sayıda oyun türüne ön ayak olmuşlardır. İlgili üzerine geçen 10 yıl boyunca oyunlar ve konsollar hızlı bir şekilde gelişme göstermeye başlamıştır. Fakat bu gelişme içinde gelişmemiş grafikler herhangi bir sanatsal yaratıcılığın ortaya çıkmasına engel olmuş ve özellikle döneminde tüm oyunlar birbirine yakın görünmeye başlamıştır.

1980'lerin başında Nintendo Entertainment System'in piyasaya sürülmesiyle, bu estetik kaygılar yerini biraz sanatsal dokunuşlara bırakmaya başlamıştır. Grafikselsel olarak bir devrimden söz edilemeye de renkler ve çeşitlilik farklı yaklaşımlara izin verebiliyordu. Gelişen cihazlarla birlikte hikâye anlatımı ve müziğin oyunlarda daha önemli roller oynamaya başladığı görüşmüştür. Bu dönemde ilerde kült bir oyun olacak olan Donkey Kong, Nintendo'da çalışan sanatçısı Shigeru Miyamoto'nun elinden çıkmıştır. (nintendo.co.uk).

1990'lara birlikte oyun sanatı çoğu türde gelişmeye çeşitlenmeye başlamıştır. Dönemin ana sistemleri olan Super Nintendo ve Sega Genesis, önceki nesillere göre daha hızlı ve

daha ayrıntılı grafikler sunarken, her iki şirket de dünya çapında yaygınlaşmaya başlamıştır (computinghistory.org.uk). Oyunları depolamak için yeterli alan sorunu CD'ler ile aşılmaya başlanınca daha geniş veri alanı birçok gelişime ön ayak olmuştur. Sesler, müzikler sinematik geçişler bunlardan sadece birkaçıdır. Konsollar ve kişisel bilgisayarlar zamanla gelişmiş depolama hususunda DVD ler ve daha sonra da BlueRay teknolojisi CD'lerin yerini almıştır. Blu-ray, CD ve daha sonrasında DVD'den sonra üçüncü nesil kompakt disk teknolojisini temsil etmektedir (britanica.com). Pikseller ve depolanabilecek sayısal verilerin sınırları aşıldıkça oyunlar da daha yüklü ve daha gelişmiş olmaya devam ettiler. Grand Theft Auto oyunundaki devasa sanal şehir manzaralarını keşfetmekten Half-Life oyunundaki korkutucu anlara kadar, oyuncular artık bir oyunun görsellerine daha çok kapılıp, zamanla kendilerini oyuna daha ait hissetmeye başladılar. Konsolların yanında masaüstü bilgisayarlarda da eş zamanlı gelişen gelişmeler özellikle ekran kartı bileşenlerini işin içine dahil ederek kimi zaman konsoldan iyi kimi zamanda konsol gücünde görüntüleri kullanıcılarına sunabilmişlerdir.

Enformasyon çağı sürecinde bireyler karşılaştıkları her yeniliğe bire bir şahit olmuş ve bundan sonra gelebilecek yeniliklere de adapte olmada zorluk çekmemiştir. Ama bu süreçte özellikle oyun içeriği tüketiminde insanların vazgeçemediği bir tür var ise o da 2 boyutlu düzlemde karakter merkezli ve genelde bir hikâye örgüsüne sahip olan platform oyunlarıdır. "Platform" veya "platform oyunları", çoğunlukla oyuncu tarafından kontrol edilen ve engellerden kaçınmak ve / veya düşmanları yenmek için koşan ve zıplayan bir karakter etrafında dönen oyunlardır. Platform genellikle aksiyon oyunlarının bir alt türü olarak sınıflandırılır ve ilk oyun türlerinden biri olarak kabul edilir (Minkinen T. 2006 S:2).

2. Platform Oyunları Tarihi

2.1. İlk Yıllar

Çağlar boyunca çoğu oyun ya da oyuncu için jenerasyon tanımlaması dönemi anlatmak için belirli bir unsur olmuştur. Paceman jenerasyonu, Super Mario jenerasyonu, Half-Life jenerasyonu, Uncharted jenerasyonu, Wolfenstein jenerasyonu ve hatta PUBG jenerasyonu bile bir jenerasyon olarak tanımlanabilir. Jenerasyonlar arası eskimeyen tek tür platform oyunlarıdır. Günümüze kadar popülaritesini koruyan farklı birçok tür olsa bile, platform oyunları muhtemelen onlarca yıl boyunca en çok sevilen oyun türü olmuştur. İster Mario, ister bu nesilde Gris olsun platform oyunları mekanik oynanış açısından basit olsalar da hala popülerliklerini korumaktadırlar.

Tarihini incelediğimizde Universal firması tarafından geliştirilen 80'lerin arcade oyunu Space Panic, platform türünü popülerleşmesine ön ayak olmuştur. Space Panic oyunundaki karakterlerde zıplama özelliği yoktu ama oyuncular aşağı yukarı inmek için merdivenleri kullanabilmekteydi. Bu dönemdeki platform oyunlarında sağa sola ekran hareketi yoktu ve ekran yani zemin sabitti. Bu alanda devrimi başlatan ise Donkey Kong oyunu olmuştur. 1981'de Nintendo, tüm zamanların ilk gerçek platform oyunu olarak kabul edilen Donkey Kong'u piyasa çıkartmıştır (Rogers 2018). Oyunun başarısı, devam oyunları Donkey Kong Jr., Donkey Kong 3 ve sonunda günümüzde hala birçok oyun cihazında yeni yaklaşımlarını gördüğümüz gördüğümüz Mario Bros ile yeni bir oyun dizisi ile devam etmiştir. Seri sonrası birçok

benzeri oyun çıksa da o dönemki konsolların kapasiteleri çoğu yeniliğe ya da geliştirmeye izin vermemekteydi. Tür için İngilizce 'Hop ve bop' denmekteydi. Bu deyim, düşmanları yenmek için düşmanlara atılmaktan kaynaklanmaktadır. Super Mario Bros ve Sonic the Hedgehog gibi en kült platform oyunlarının birçoğu da bu türe aittir. (Boutros 2006 s:1)

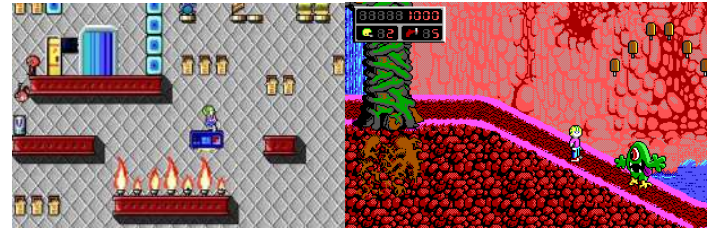
2.2. Yana Kaydırma Dönemi

1981 yılında geliştirilen bir oyun olan Jump Bug tek zeminlik dönemden kaydırmalı döneme geçen ilk oyunlardan olmuştur. Oyun esnasında kullanılan zemin durağan değil ekranın kayması ile daha geniş bir alanda seyrediyordu. Bir diğer yaklaşım da ColecoVision tarafından geliştirilen ve 1983'te piyasaya sürülen, kaydırma seviyelerine sahip oldukça basit bir platform olan Quest for Tire oyunuydu. 1984 yılında geliştirilen Pac-Land oyunu ise arka planın ön planlardan daha yavaş hareket etmesini sağlayarak derinlik etkisi oluşturmayı başarmıştır. Bu paralaks özelliği türün gelişimine katkı sağlamıştır (strategywiki.org).



Jump Bug (archive.org)

1985'te Super Mario Bros sonunda NES sistemlerde oynanabilir hale getirilmiştir. Mario çıktığı dönemde günümüzde bile halen var olan seviye yaklaşımları, düşman yazılımları, bölüm sonu savaşları, gizli bölümler ve güçlendirmeler gibi birçok yeniliği getirmiştir. Dönem sistemlerinin sınırları bu yöndeydi ve Mario bu halde bile çoğu gelişmeye ön ayak olmuştur. Mario oyununun başarısı yanında Mega Man ve Metroid gibi diğer önemli oyunlar da dönemde etkisini göstermiştir. Dönem içerisinde rekabet ve cihazların yapabilirlikleri arttıkça farklı kullanımlar ve platformların sınırları zorlanmaya başlamıştır. Nintendo'un Mario oyunundaki başarısı hızla artarken rakip firma olan Sega Sonic oyununu geliştirmiştir. Dönemde konsollarla birlikte PC'lerin de oyun başarısını artmaktaydı ve bağımsız firmaların ürünlerinden olan ve bir dönem oldukça ses getiren Commander Keen kendinden söz ettirmeye başlamıştı. Platform oyunlarının PC'deki başarısı daha sonra benzeri oyunlar olan Duke Nukem ve Jazz Jackrabbit gibi oyunların önünü açmıştır (Fox 2016).



Commander Keen (dosgames.com)

2.3. Konsollarda 16-Bit Dönemi

16 bit dönemi tarihin en iyi platform oyunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Dönemim cihazlarının kapasitesi Capcom'un Mega Man oyunun, Super NES'de daha geliştirilmiş Mega Man X serisinin ortaya çıkarabilmesine izin vermiştir. Super Metroid, Rayman, Super Mario World 2: Yoshi's Island ve diğer klasikler yine bu dönemde ortaya çıkmıştır. Dönemde platform oyunlarının ön görmediği fakat hızla yayılan 3D furyası birçok oyuncu için moda haline gelmeye başlamıştır. Bu döneme ayak uydurmaya çalışan bir firma, 3D grafikler kullanan ancak eylemi 2D bir düzlemde sunan 2.5D yaklaşımı ile ürünler ortaya çıkartmıştır. Bu dönemin en önemli eserleri Sega'nın Clockwork Knight, Pandemonium ve Klonoa olmuştur.

2.4. 3 Boyutlu Platformlar Çağı

İki boyutlu platform oyunları giderek daha fazla 3D oyunlarla değiştirilse de, bu tür hala birçok insan tarafından sevilmektedir (Wiering M., Achten P. ve Plasmeijer R. 2000 s:1). Gerçek anlamda 3 boyutlu olan ve platform oyunu olarak geliştirilen ilk oyunlardan biri 1996 yılında geliştirilen ve Nintendo 64 cihazları ile ortaya çıkan Super Mario 64 oyunu olmuştur (Stanton 2015). Kullanıcılarına değişik gelse de oynanabilirlik iyi düzeyde olduğu için kullanıcılar tarafından benimsenmesi kolay olmuştur. Super Mario 64'ün başarısını Banjo-Kazooie ve Donkey Kong 64 oyunları izlemiştir ve 3 boyutlu platform oyunu tarzı yavaş yavaş kendini kabul ettirmeye başlamıştır. Dönemin günümüze yansıyan oyunlarından örnek vermek gerekirse en önemli örneği Tomb Rider gibi yaklaşımlardır.

2.5. Yeni Yaklaşımlar

Yıllar geçtikçe üretici tekeli sadece Nintendo-Sega tekeline çıkmış ve pazarda PlayStation ile kişisel bilgisayarlar da boy göstermeye başlamıştır. Özellikle Sony cepesinde PlayStation2 için geliştirilen Sucker Punch, Sly Cooper; Naughty Dog, Jak and Daxter, Ratchet and Clank gibi oyunlar PlayStation'ün ün kazanmasına sebep olmuştur.

Dönem içerisinde Sega, popülerliğini yitirirken son girişimi Sonic 3D Blast, farklı bir 3D platformer girişimi olmuştur. Dönemde Sega'nın geliştirdiği diğer oyunlardan olan Nights Into Dreams akıllıca bir Sega Saturn oyunuydu, ancak ne kadar iyi tasarlanmış olsa da Sega'nın başarısız olmasına engel olamamıştır (Stuart 2015).

Gelişmelere cevap olarak 1999'da Sega, ilk 128-bit ev konsolu olan Dreamcast'i piyasaya sürdü. Konsol ile birlikte gelen Sonic Adventure bir çıkış oyunuydu. Devamında gelen Jet Set Radio, Rayman 2 ve Sonic Adventure 2 gibi oyunlar Sega'nın tekrar pazarda adını duyurabilmesine neden oldu (Werner N. 2018). Fakat devamında gelen Saturn'ün başarısızlığı ve Sony'nin artan ünü Sega'nın büyük kayıplar yaşamasına neden oldu şirket ve şirket konsol geliştirmeyi bırakmıştır. Nintendo ise, yeni GameCube konsolu ile üzerinde çalışıyordu ve 2002'de yenilik olarak sadece Super Mario Sunshine piyasaya çıkmıştır.

2.6. Yüksek Bütçeli Oyunlar Dönemi

İnsanların oyunlar üzerindeki beklentisi beraberinde daha karmaşık konsolları ve yazılımları getiriyordu. Ayrıca bu

konsollar bir yandan daha çok eve girerken bir yandan da artan donanım ve yazılım maliyetlerini beraberinde getiriyordu. Ancak insanlar bu cihazlar benimseyerek birçok yüksek bütçeli oyunun satışına ön ayak olmuşlardır. Nintendo, bu dönemde hareket kontrolleriyle Wii'yi tanıtmıştır ve konsol için çıkan platform oyunlarından olan Super Mario Galaxy serisi seviyeleri ve oynanışı ile adından söz ettirmiştir (britannica.com). PlayStation tarafında özellikle PlayStation3'ün çıkması ile birlikte Future serisi adından söz ettirmeye başlamıştır. Dönemde yüksek bütçeli firmalardan olan Electronic Arts Mirror's Edge'de ilk kişi platform oyununu piyasaya sürmüştür. Bu platform yaklaşımı türe yeni bir soluk getirirse de devamı gelmemiştir (Suttner 2008).

PlayStation 3 yaygınlaştıktan sonra Sony, oyuncuların kendi küçük deneyimlerini yaratmaları için kapsamlı bir araç setine sahip LittleBigPlanet'i piyasaya çıkartmıştır. Ayrıca dönemde popülerliğini geliştiren Lara Croft serisi de bir platformu andıracak özellikleri ile geri dönmüştür. Sega bu dönemde halen kan kaybetmeye devam etmiştir ve yeni nesil Sonic oyunları da buna engel olamamıştır (Stuart 2015).

2.7. Geçmişin Geri Dönüşü

Yüksek bütçeli oyunlar döneminde bir yerlerde, çok sayıda bağımsız geliştirici de eski 2D platformlarına oynanış tarzını yeniden yorumlayarak tasarladıkları oyunları birçok platformda piyasaya sürmüştür. Jonathan Blow'ın Braid oyunu, Phil Fish'in Fez'i, Team Meat'in Super Meat Boy'u ve Playdead'in Limbo, oyunları bağımsız gelişimi bir bütün olarak popüler hale getirmişlerdir. Küçük stüdyolar yaratıcı fikirlerle büyük firmalara rakip olabileceğini göstermiş ve iyi bir oyun için büyük bir stüdyo gereksinimine gerek olmadığını ortaya koymuşlardır.

Dönemde sayısız bağımsız geliştirici unutulmaz eski tarz 2B platform oyunları piyasa çıkartmaktaydı. Owlboy, Hollow Knight, Axiom Verge, Giana Sisters, Inside, Spelunky, Cuphead ve çok daha fazlası, oynanabilirliği ve grafik seviyesi yüksek oyunlar olarak piyasaya çıkmışlardır.

Teknoloji gelişse de bu basit düzlemdeki platform oyunlarına olan ihtiyaç asla bitmeyecek gibi görünmektedir. Platform oyunları yıllar boyunca gelişmiş veya çoğalmış olsa da yine de eskimeyen bir tür olarak başarısını sürdürmektedir. Gelecekte ne yöne gideceği bilinmese de özellikle mobil cihazlar ile popülerliklerini arttırarak varlıklarını sürdürmektedirler.

Oyun gibi dijital üretim için geliştirilen ve profesyonellerin yanı sıra son kullanıcıların evine kadar giren içerik üretebilen bilgisayarlar 2000'li yıllarla birlikte daha kolay edinilebilir hale gelmiştir. Bu cihazlar gerek ergonomi gerekse de taşınabilirlik açısından da çeşitlenmiş ve yaygınlaşmıştır. Bu yaygınlaşma beraberinde çoğu alanda olduğu gibi dijital sanat alanında da etkilerini göstermiştir. Bu dijital sanat alanlarının başında dijital illüstrasyon gelmektedir. Kâğıt ekrana, kurşun kalemde tablet kalemine dönüşen bu süreç beraberinde sanatçılar için yeni olanaklar ve sınırların aşılması yönünde sonuçlar getirmiştir (creativebloq.com).

Teknolojinin gelişmesi ekranların, oyunların ve yazılımların karmaşık hale gelmesine neden olmuştur. Günümüzde teknolojinin gelişmesi, görsel iletişim tasarımı camiasına görüntüleri daha çok işleyebilme imkanı vermiş ve görseller dünyayı kuşatmıştır (Çeken B., Arslan A. A. 2016, s:508) Bu

bağlamda oyun yazılımlarının ve oyunların ilk çıktığı cihazların görüntülerine baktığımızda oldukça yavan ve tatsız görüldüğünü bilmekteyiz. Dönemin oyunlarının bu denli yavan olmasının nedeni dönemin cihazlarının başarımı ile doğru orantılı olabilmekteydi. Sanatçı çok iyi dijital bir illüstrasyon ya da oyun arayüzü geliştirebilecek olsa bile o zamanın teknolojisi buna izin vermemekteydi. Ayrıca dijital çizim aracı olarak girdi birimi bir kalem değil çoğu zaman bir klavye ya da yazılım olmuştur. Fakat günümüze gelindiğinde dijital sanatçılar artık ekranlar üzerinden birebir çizim yapabilmektedirler. Bu gelişim illüstrasyon sanatı alanına da etkisini göstermiş, alanda birçok yeni sanatçı ve türün çıkmasına neden olmuştur. Oyun dünyası 3 boyutlu yaklaşımlar ve ileri düzey gerçekçilik üzerine koşsa da özellikle de günümüzde hala eskimeyen ve varlığı sürdüren platform oyunlarındaki illüstrasyonların gelişimi türün halen ayakta kalmasına en büyük etkenlerden biridir. Bu bağlamda bu araştırma özelinde incelenen Hollow Knight Gris Cuphead, Ori and the Blind Forest oyunlarındaki güçlü illüstrasyon teknikleri değerlendirilmiştir. Araştırma bazında bazı oyunlar 3 boyutlu öğeler barındırır da tam 3 boyutlu oyun olarak geçmemekte ve özellikle mekanların tasarımları 2 boyutludur.

3. Araştırma

3.1. Hollow Knight

Hollow Knight, aksiyon macera dalında geçen bir platform oyunudur. Oyun, platform alt türü olarak Metroidvania türündedir. Metroidvania, Castlevania: Night Symphony of the Night ve Metroid'de bulunan mekaniğin bir kombinasyonunu içeren video oyunlarının tümüne verilmiş isimdir ve platform oyun türünün alt türü olarak tanımlanmıştır (screenrant.com). Hollow Knight Team Cherry tarafından geliştirilip 2017 yılında dönemin birçok oyun platformunda yayınlanmıştır. Hollow Knight oynarken çeşitli böceklerin yaşadığı krallık geçmeli, oyuncu Knight Hollownest ile seyahat edilmeli, bölüm sonu canavarları ile savaşmalı ve krallığın gizemlerini ortaya çıkarırken ilerlemek için yeni yeteneklerin kilitleri açılmalıdır.



Hollow Knight Ekran Görüntüleri

Oyun arayüz tasarımı incelendiğinde 2 boyutlu düzlemde ve karanlık bir evrende geçtiği görülmektedir. Merkezde bulunan karakterin karanlık veya açık ortamlarda belirgin olabilmesi için kendisi beyaz, kontur çizgisi için siyah kullanılmıştır. Bu sayede karakterin önemli hareketler esnasında oyuncunun gözünden kaçmaması sağlanmıştır.



Hollow Knight Ekran Görüntüsü

Oyunun bölüm tasarımları ve zeminleri incelendiğinde zeminde flu görünen alanlar derinlik oluşturabilmek için bulanıklaştırılmış. Paralaks efektini oluşturan ikinci zemin ise her ne kadar net görünse de hareketli karakterler kadar net kullanılmamıştır. Oyunun çok çeşitli gibi görünmeyen renk paleti soğuk bir etki yaratsa da oyunun hikayesine uygun olarak seçilmiştir. Bu tarz bir illüstrasyon yaklaşımı flat (düz) tasarım diline benzetilmiştir.

3.2. Gris

Gris, İspanyol bağımsız geliştirici Nomada Studio tarafından geliştirilen ve Devolver Digital tarafından yayınlanan bir platform-macera oyunudur. 2018 yılında önce konsollara daha sonra da mobil olarak yayınlanmıştır. Oyunun hikayesi yoğun olarak keder ve geçmiş kayıplar üzerinedir. Oyunda oynadığımız Gris adındaki kadın bir karakter. Dünyasını araştırırken karakterin yapabildiği özellikler gelişmekte ve dünya daha renkli bir hal almaktadır. Hikâye hakkındaki yorumu çoğu zaman oyuncuya bırakan oyun çoğu metaforu bünyesinden barındırmaktadır.



Gris Ekran Görüntüleri

Gris oyunu görsel tasarım yönünden çok güçlü bir oyun olarak karşımıza çıkmaktadır. Oyun platform oyunlarına bugüne kadar görülmemiş estetik ve sanatsal çizim yaklaşımlarını içinde barındırmaktadır. İnce çizgiler ve suluboya stilinde naif renk dağılımları vardır. Oyundaki olabildiğince estetik karakter hareketleri bir platform oyununda daha önce görülmemiz bir yaklaşımı gözler önüne sermiştir. Bu yaklaşım birçok oyun sever tarafından beğenilmiştir. Oyun oynanışı çok şeyler vaat etmese de kullanılan sanatsal etki ve illüstrasyonlar oyunun oynanışının önüne geçmiştir.



Gris Ekran Görüntüleri

Gris tasarımı üzerine her zaman daha çok konuşulmayı hak eden bir yaklaşım ortaya koymuştur. Çoklu katman renk dağılımı sergileyen animasyonları ve bu sulu boya dökülme efekti şeklinde yayılan renk geçişleri Gris'i çoğu benzerinin önünde bir yere konumlandırmaktadır. Sergilediği sanatsal yaklaşım bugüne kadar çoğu platform oyununda görülmemiş ve yenilerine ilham kaynağı olmuştur. Dijital sanatın sanat olarak benimsenmesi yönündeki tartışmalara oyun içinde sanat kavramını da ekleyen Gris, dijital illüstrasyon sanatının nerelerde ne şekilde kullanılabileceğine dair önemli bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.3. Cup Head (Don't Deal With the Devil)

Cuphead Studio MDHR tarafından geliştirilen ve yayınlanan bir platform oyunudur. İlk olarak 2017 Xbox'da ve sonrasında birçok platforma çıkmıştır. Koş ve ateş et tarzında bir oynayış stili olan oyunda konu Cuphead ve kardeşi Mugnan'ın macerası üzerine gelişmektedir. Karakterler şeytana olan borçlarını düşmanlarla savaşarak ödemektedir ve kurgu bu şekilde ilerlemektedir. Oyun zor oynanışı ve özgün konsepti o kadar beğenilmiştir ki dizi olarak da Netflix tarafından uyarlanması düşünülmektedir.



Oyun, 1930'lu yılların efsanevi Fleischer ve Walt Disney animasyon stili olan hortum bacak animasyon stiline ve hareketlerinden esinlenerek tasarlanmıştır. Özetle çizgi film diyebileceğimiz tarzda hazırlanmıştır. Düz ve sınırlı sayıda renkle boyanmış hareketli sahneler. Hareketli sahneler üzerinde kontur çizimleri ve detaylı resmedilmiş zemin çizimleri oyunun illüstrasyon karakteri olarak tanımlanabilmektedir. Oyun konseptindeki çizgi film anlayışı zeminleri bir Rönesans tablosu gibi resmederken karakterleri tamamen basit halde görselleştirmiştir.

3.4. Ori and Blind Forest

Ori, Moon Studios tarafından geliştirilen ve Microsoft Studios tarafından yayınlanan bir platform-macera Metroidvania oyunudur. Oyun ilk olarak 2015 yılında piyasaya çıkmıştır. Oyuncular küçük beyaz karakter olan Ormanın Ruhu Ori'yi kontrol etmektedir. Oyuncular Ori'yi kontrol ederek platformlar arasında hareket etmek ve bulmacaları çözmekle görevlidir.



Ori platform oyunu olarak karmaşık animasyonlar ve 3B destekli karakter animasyonları kullanmaktadır. Her ne kadar 3 boyutlu bir yaklaşım gibi görünse de oyunun çok katmanlı ve çok renkli yapısı 2 boyutlu olarak resmedilmiş ve çeşitli tekniklerle 3 boyutlu gibi gösterilmeye çalışılmıştır. Oyunun çoğunluğunda kullanılan bu paralaks efektleri ve derinlik göstergesi olan çizimler oyuncunun kendini oyuna daha iyi şekilde adapte olmasını sağlamaktadır. Ori tasarımı içerisinde güçlü dijital illüstrasyon teknikleri barındırmaktadır. Işık efektleri parlamalar yansımalar dijital illüstrasyon sanatının sınırlarını zorlamakta hatta türe yeni yaklaşımlar katmaktadır.

4. Sonuç

Dijital illüstrasyonlar bir sanatçının bilgisayar desteği ile oluşturduğu çizimler olarak özetlenebilir. Kurşun kalem, boya ve kâğıt gibi fiziksel dünyanın malzemelerinden farklı olarak dijital illüstrasyonlar sayısal veri olarak ekranlarda, fiziksel dünyalarda ise baskı olarak görüntülenebilmektedir. Dijital cihazların kullanımı ve hayatımızdaki yeri arttıkça bu cihazlar içerisindeki içerik ihtiyacı da artmaktadır. Söz konusu dijital dünyadaki

oyunlar olduğunda oyunların renkli dünyasını oluşturmak için çizimlerin ve renklerin kullanılması neredeyse bir zorunluluk haline gelmektedir. Dijital dünyadaki çizim yani dijital illüstrasyon çoğu sanatçısını daha özgür kılmaktadır. Bu özgürlük yapılan hataların geri dönüşlerinin olabilmesi gibi kullanılan tekniklerin, fırça darbelerinin ve karışık medya tekniklerinin oluşturulması hususunda uçsuz bucaksız denklemleri beraberinde getirmektedir. Geleneksel illüstrasyon yöntemleri ile oyun arayüzleri hazırlamak ve bunu dijital dünyaya aktarmak mümkündür. Fakat gelişen hızlı teknoloji ve tüketim, sanat alanının bu yoğun, dikkat isteyen, hata kabul etmeyen ve esnek olmayan tekniğini -her ne kadar daha özgün ve sanatsal olsa da- artık tercih etmemektedir. Yeni illüstrasyon yöntemlerini kullanmak, geleneksel illüstrasyon yapma yönteminden çok daha hızlıdır (Coleman C. O., 2003, s:1). Bu çalışma özelinde yapılan araştırmada amaç geleneksel ya da dijital illüstrasyonu karşılaştırmak değildir. Aksine iki alanında kullanım alanlarının artık ayrıştığını ve iki alanında kendi özelinde yer bulduğunu göstermektedir. Gelişmelerin incelenmesini ise özellikle dijital illüstrasyon alanında sınırlandığını sergilemektedir. İncelenen oyunlar göstermiştir ki her geçen gün gelişen dijital illüstrasyon teknikleri ile sanatçılar, oyun ve eğlence sektöründe yaptıkları işler ile büyük kitleleri etkilemeye başlamıştır. Bu bilgiler ışığında incelendiğinde dijital illüstrasyon günümüz sanat yaklaşımları arasındaki yerini daha özgün yaklaşımlar ve tekniklerle her geçen gün geliştirmektedir.

Kaynakça

- Britannica Nintendo Wii electronic game console
<https://www.britannica.com/topic/Nintendo-Wii> Erişim Tarihi: 20.07.2020
- Blu-Ray Disc Technology
<https://www.britannica.com/technology/Blu-ray> Erişim Tarihi: 11.07.2020
- Magnavox Odyssey Video Game Unit, 1972
https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_1302004 Erişim Tarihi: 13.05.2020
- Boutros, Daniel. 2006. A Detailed cross-examination of yesterday and today's best-selling platform games
http://www.gamasutra.com/view/feature/1851/a_detailed_cross_examination_of_.php Erişim Tarihi: 25.06.2020
- Computer Game Narrative, Intl. Journal Of Human-Computer Interaction, 25(2), 107-133, 2009
- Coleman C. O., 2002 "Digital inking": how to make perfect line drawings on computers, Institut für Systematische Zoologie, Museum für Naturkunde, Berlin, Germany
- Çeken B. ve Arslan A. A. İmgelerin Göstergibilimsel Çözümlemesi "Film Afişi Örneği" Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi, Yıl: 2016 Cilt: 11 Sayı: 2
- Digital illustration <https://www.creativebloq.com/computer-arts/digital-illustration-11069638> Erişim Tarihi: 12.06.2020
- Fox K. 2016 Game Cloud Commander Keen: The Complete Collection Retrospective Review
<https://gamecloud.net.au/featured/commander-keen-the-complete-collection> Erişim Tarihi: 15.06.2020
- Gümüş Ç., Tengirşen A. 2020, Yetişkinlerin Psikolojik Destek Almasına Yönelik Mobil Uygulama Tasarımı, Social Mentality and Researcher Thinkers Journal

- Metroidvania Meaning Screenrant
<https://screenrant.com/metroidvania-meaning-definition-explained/> Erişim Tarihi: 30.07.2020
- Minkinen T. 2016, Basics of Platform Games, Kajaanin Ammattikorke Akoulu University of Applied Sciences National Museum of American History, The Father of the Video Game: The Ralph Baer
- Nintendo History
<https://www.nintendo.co.uk/Corporate/Nintendo-History/Nintendo-History-625945.html#1980> Erişim Tarihi: 25.06.2020
- Prot S., McDonald K. A., Anderson C. A., Gentile D. A. 2012 Video Games: Good, Bad, or Other? Department of Psychology, Iowa State University, W112 Lagomarcino Hall, Ames, IA 50011-3180, USA 647-658
- Pac-Land 2020 Strategy Wiki <https://strategywiki.org/wiki/Pac-Land> Erişim Tarihi: 12.05.2020
- Prototypes and Electronic Games Video Game History
<https://www.si.edu/spotlight/the-father-of-the-video-game-the-ralph-baer-prototypes-and-electronic-games/video-game-history> Erişim Tarihi: 15.05.2020
- Rogers S. 2018 What Nintendo Can Teach Us About Game Design <https://www.nyfa.edu/student-resources/nintendo-can-teach-us-game-design/> Erişim Tarihi: 23.09.2020
- Statista Age of US Video Game Player Since 2010
<https://www.statista.com/statistics/189582/age-of-us-video-game-players-since-2010/> Erişim Tarihi: 20.06.2020
- Sega Mega Drive
<http://www.computinghistory.org.uk/det/2201/Sega-Mega-Drive/>
- Qin H. Rau P. P. ve Salvendy G. 2009 Measuring Player Immersion in the in the Computer Game Narrative, International Journal of Human-Computer Interaction Volume 25, 2009 - Issue 2
- Stanton R. 2015 What made Super Mario 64 so special?
<https://www.eurogamer.net/articles/2015-04-12-what-made-super-mario-64-so-special> Erişim Tarihi: 19.05.2020
- Stuart K. 2015 Sega Saturn: how one decision destroyed PlayStation's greatest rival
<https://www.theguardian.com/technology/2015/may/14/sega-saturn-how-one-decision-destroyed-playstations-greatest-rival> Erişim Tarihi: 04.06.2020
- Suttner N. 2008 Mirror's Edge Review
<https://web.archive.org/web/20160528102047/http://www.1up.com/reviews/mirror-edge> Erişim Tarihi: 08.08.2020
- Werrner N. 2018 The True Story of the Sega Saturn
<https://www.svg.com/111172/history-sega-saturn-flop/> Erişim Tarihi: 12.09.2020
- Wiering M., Achten P., Plasmeijer R. 2000. Using Clean for Platform Games, Computing Science Institute, University of Nijmegen



İki Farklı Polimerin Sondaj Çamuru Özellikleri Üzerine Etkileri

İlker Acar^{1*}, Ercan Doğan², Furkan Urhan³, Ahmet Ömür Ak⁴

^{1*} Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Oltu, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9439-1580),

ilker.acar@atauni.edu.tr

² Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Oltu, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7384-5838),

ercan.dogan@atauni.edu.tr

³ Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Oltu, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2510-129X),

furkanurhan41@hotmail.com

⁴ Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Oltu, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3601-4407),

ak_omur@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 6 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.765132)

ATIF/REFERENCE: Acar, İ., Doğan, E., Urhan, F. & Ak, A.Ö. (2020). İki Farklı Polimerin Sondaj Çamuru Özellikleri Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 479-484.

Öz

Bu çalışmada, iki farklı anyonik polimer katkısının bentonitli bir sondaj çamurunun verimi, su kaybı (filtrasyon) ve reolojik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle katkısız çamur özellikleri ağırlıkça dört farklı bentonit yüzdesi (%4, 6, 8 ve 10) için belirlenmiştir. Sonrasında %4 ve 6 bentonit içerikleri için, sırasıyla polianyonik selülozik (PAC) ve poliakrilamid yapılarına sahip, QUIK-TROL GOLD (QTG) ve POLY-VIS (PV) polimerlerinin etkisi 0,5-3,0 kg/m³ dozaj aralığında incelenmiştir. Elde edilen çamurların özellikleri API Standardı 13A'ya göre değerlendirilmiştir. Katkısız çamur testleri, 17,69 m³/ton olarak hesaplanan çamur veriminin, gerekli alt limit olan 15,8 m³/ton değerini karşıladığını göstermiştir. 15 cp'lik görünür viskozite alt sınırı, %6 ve üzerindeki bentonit içeriklerinde sağlanmıştır. Akma noktası/plastik viskozite oranı için sondaj kalite bentonitten beklenen üst sınır değer olan 3, yalnızca %4'lük çamur için karşılanırken, OCMA kalite için ise %4 ve 6'lük çamurlar üst sınır değer olan 6'yi aşmayan sonuçlar sergilemiştir. Su kaybı değerleri, test edilen tüm katı içeriklerinde OCMA üst limiti olan 16 mL'yi geçmezken, yalnızca %4'lük çamur için elde edilen 15,63 mL'lik kayıp sondaj kalite üst sınırını azda olsa aşmıştır. Genel olarak, %6'lük çamur OCMA standardını karşılamasına rağmen, elde edilen düşük plastik viskozite ve yüksek akma noktası/plastik viskozite oranı, bentonitin katkısız olarak kullanılamayacağını göstermiştir. Katkılı çamur testlerine göre, %4'lük çamur için, sondaj kalite bentonitten beklenen tüm spesifikasyonların sağlandığı minimum polimer dozajları, QTG ve PV'nin her ikisi için de 1,5 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Bu dozaj değeri için, QTG PV'den %7,14 daha düşük su kaybı değeri sağlarken, PV ise QTG'ye oranla görünür viskozite ve çamur verimi değerlerinde sırasıyla %37,04 ve 37,98 artışa neden olmuştur. %6'lük çamurda, her iki polimerin test edilen tüm dozajları için beklendiği gibi çok düşük su kaybı değerleri elde edilmiştir. Ek olarak, aynı bentonit içeriği için QTG'nin 1 kg/m³ dozajında elde edilen 21,5 cp görünür viskozite, 11 cp plastik viskozite, 21 lbf/100 ft² akma noktası ve 1,91 akma noktası/plastik viskozite oranı, sondaj için belirlenen tüm standart değerlerin karşılandığını göstermiştir. Diğer yandan, PV'nin 0,5 kg/m³ dozajında dahi elde edilen 51 lbf/100 ft² akma noktası ve özellikle 5,67 akma noktası/plastik viskozite oranı, bu katı içeriğinde kullanımının mümkün olmadığını işaret etmektedir. Genel sonuçlar, %4'lük çamurun 1,5 kg/m³ QTG ve PV dozajları için sondaj kalite bir bentonitten beklenen tüm standart değerleri karşıladığını göstermiştir. Spesifik olarak, çok düşük su kaybı değerlerine ulaşabilmek için QTG, yüksek viskozite ve çamur verimi elde edebilmek için ise PV kullanılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Sondaj çamuru, Bentonit, Polimer, Çamur verimi, Su kaybı, Reolojik özellikler.

The Effects of Two Different Polymers on the Drilling Mud Properties

Abstract

In this study, the effects of two different anionic polymer additives on the yield, water loss (filtration) and rheological properties of a bentonite-based drilling mud were investigated. Within this scope, the properties of polymer-free mud were first determined using four different bentonite percentages of 4, 6, 8 and 10% by weight. For the bentonite contents of 4 and 6%, the effects of QUIK-TROL GOLD (QTG) and POLY-VIS (PV) polymers with the respective polyanionic cellulosic (PAC) and polyacrylamide structures were then

* Sorumlu Yazar: ilker.acar@atauni.edu.tr

examined for the dosages in the range of 0.5-3.0 kg/m³. The properties of the muds obtained were evaluated with respect to API Standard 13A. The polymer-free mud tests showed that the mud yield calculated as 17.69 m³/ton meets the required lower limit of 15.8 m³/ton. For the apparent viscosity, the lower limit value of 15 cp is provided with bentonite contents of 6% and above. While the upper limit value of 3 expected from the drilling quality bentonite in terms of the ratio of yield point to plastic viscosity was met only for the 4% mud, the muds prepared with both 4 and 6% bentonite exhibited the values which did not exceed the upper limit of 6 for the OCMA quality. While the obtained water loss values stay within the OCMA upper limit of 16 mL for all of the solid contents tested, the loss of 15.63 mL obtained for 4% mud only exceeded the upper limit of drilling quality in low amount. In general, although the 6% mud meets the OCMA standard, the resulting low plastic viscosity and high ratio of yield point to plastic viscosity showed that bentonite sample cannot be used without additives. According to the mud tests with polymer additives, for 4% bentonite, the minimum polymer dosages, which all of the specifications expected from drilling quality bentonite were met, was determined as 1.5 kg/m³ for both QTG and PV. QTG provides 7.14% lower water loss value than PV for this dosage, while PV exhibited 37.04 and 37.98% increases in the respective apparent viscosity and mud yield values compared to QTG. For 6% bentonite, very low water loss values were obtained for all of the tested dosages of both polymers as expected. In addition, for the same bentonite content, the obtained apparent viscosity of 21.5 cp, plastic viscosity of 11 cp, yield point of 21 lbf /100 ft² and ratio of yield point to plastic viscosity of 1.91 for QTG dosage of 1 kg/m³ showed that all of the standart values for the drilling quality were met. On the other hand, the obtained 51 lbf/100 ft² yield point and especially 5.67 yield point to plastic viscosity ratio values at even 0,5 kg/m³ PV dosage point out that it is not possible to use PV with this solid content. Overall results have suggested that 4% mud meets the all standard values expected from a drilling quality bentonite for 1.5 kg/m³ dosages of QTG and PV. Specifically, QTG should be used to achieve very low water loss values while PV should be used to obtain high viscosity and mud yield.

Keywords: Drilling mud, Bentonite, Polymer, Mud yield, Water loss, Rheological properties.

1. Giriş

Sondaj, yeraltında bulunan petrol, doğalgaz ve jeotermal enerji gibi kaynakların aranması ve üretimini sağlayan son derece önemli bir prosestir (Balkaya et al., 2019). Temelde su ve şişme özelliği bulunan kilden meydana gelen sondaj çamuru, günümüzde tek kullanılan yöntem olan döner sondajın ayrılmaz bir parçasıdır ve sondaj esnasında birçok hayati işleve sahiptir. Kırıntıları kuyunun dışına çıkarmak, matkabı soğutmak, kuyudaki çöküntüleri önlemek, formasyon basıncını dengelemek, sondaj dizisini ve kuyunun çeperlerini yağlayarak hareketlerini kolaylaştırmak, sondaj durdurulduğu süre boyunca kırıntı ve kum taneciklerini askıda tutarak kuyu dibinde birikmesini önlemek ve sondaj dizisi ile muhafaza borularının ağırlıklarını hafifletmek sondaj çamurunun başlıca görevleri arasındadır (Asker, Özkan, & Özkan, 2019; Kargı, 2015; Okon, Udoh, & Bassey, 2014; Onat, 1971).

Yüksek çamur verimi (hacimce yüksek oranda şişmesi) ve uygun reolojik özellikleri nedeniyle bentonitler, sondaj sektöründe oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bentonitin bu sektörde efektif bir şekilde kullanılabilmesi için belirli spesifikasyonlara sahip olması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, yoğunluk, viskozite, verim ve su kaybı gibi sondaj çamuru özelliklerinin, standartlarla belirlenmiş olan sınır değerleri karşılaması beklenmektedir (Çinku, 2008). Örnek olarak, sondaj çamurunun viskozitesi arttığında taşınan kırıntı miktarı artarken çamur pompasının verimi düşmektedir. Çamurun su kaybının fazla olması durumunda ise formasyona geçen su, kayacın hacmini büyütür, kek kalınlaşması sonucu kuyu çapı da daralır. Bu durum sondajın zorlaşmasına ve hatta takım sıkışmasına bile neden olabilir (Avcı, 2018). Uygun çamur özelliklerinin elde edilebilmesi için çoğu zaman bentonitin tek başına kullanımı yeterli olmamaktadır. Bilhassa verim, filtrasyon kaybı ve reolojik özelliklerin optimize edilebilmesi için çeşitli kimyasal katkıların kullanılması gerekmektedir (Asker et al., 2019).

Sondaj kimyasalları, sondaj çamurunun hazırlanması, kontrolü ve ıslahı için kullanılırlar. Sondaj çamurunda kullanılan başlıca katkı malzemeleri, ağırlaştırıcılar (barit, hematit, kalsiyum karbonat), tuzlar (NaCl, KCl, CaCl₂), polimerler, pH

düzenleyiciler (pH'ı arttırmak için genellikle kostik soda, düşürmek için ise sitrik asit), çeşitli türdeki kirlilikler için ıslah kimyasalları (sodyum bikarbonat, soda külü ve kireç) ve kaçak önleyicilerdir (LCM). Esasen filtrasyon, viskozite ve jel mukavemeti özelliklerini kontrol etmek için kullanılan polimerler temelde viskozite yapıcı, inceltici ve sıvı kaybı kontrolü sağlayanlar olarak üçe ayrılır. Bu amaçlar için sektörde yaygın olarak nişasta, zantam sakızı (XCD), yüksek ve düşük viskoziteli karboksimetil selüloz (CMC-HV ve CMC-LV), polianyonik selüloz (PAC), kromsuz lignosülfonat (CFL), sodyum asit payrofosfat (SAPP) ve kısmen hidrolize olmuş poliakrilamid (PHPA) benzeri polimerler kullanılır (Balkaya et al., 2019; Erdoğan, Kök, & Tanrıverdi, 2017).

Bu çalışmada, sırasıyla polianyonik selüloz (PAC) ve kısmen hidrolize olmuş poliakrilamid (PHPA) yapılarına sahip QUIK-TROL GOLD (QTG) ve POLY-VIS (PV) polimerlerinin bentonitli bir sondaj çamurunun verimi, filtrasyon ve reolojik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle ağırlıkça %4, 6, 8 ve 10 bentonit içeren çamur özellikleri belirlenmiş ve sonrasında %4 ve 6 bentonit içerikleri için, QTG ve PV'nin etkisi 0,5-3,0 kg polimer/m³ çamur aralığında ilgili API standardı uyarınca incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Deneylerde kullanılan bentonit numunesi, Çanbansan A.Ş.'nin S-1 adlı ürünü olan sarı renkli sondaj bentonitidir. Firma, Türkiye'nin Çankırı bölgesinden çıkardığı ham bentonite öğütme esnasında kütlece %1 oranında soda külü (Na₂CO₃) ilave edip uygun boyuta getirerek OCMA kalite S-1 ürününü elde etmektedir. QTG ve PV polimer katkıları, Kayen Sondaj firmasından temin edilmiştir. Kırık beyaz renge sahip ve granüler toz halde bulunan QTG, su ve sondaj çamuru içerisinde hızlı ve yüksek çözünürlüğe sahip PAC yapısında bir polimerdir. Sondaj çamurunda üst düzeyde su kaybı (filtrasyon) kontrolü özelliği ile karakterize edilir. Parlak beyaz renkli granüler PV ise %90 saflıkta PHPA yapısında olup, kil ve şeyl gibi suya hassas tabakaları dengelemek ve düşük katı oranlı çamurların viskozitesini arttırmak amacıyla kullanılır. Gerçekleştirilen tüm deneyler boyunca saf su kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Bentonit Karakterizasyonu

Kullanılan bentonit numunesinin kimyasal kompozisyonu X-ışını floresans (XRF) metodu ile belirlenmiştir. Mineralojik analiz, PANalytical Empyrean X-ışını kırınım (XRD) cihazı vasıtasıyla 45 kV ve 40 mA koşullarında, 10-80° 2Teta aralığında ve Cu-K α radyasyonu ($\lambda = 1.54051 \text{ \AA}$) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikroyapısal karakterizasyon ise yüksek çözünürlüklü Zeiss Sigma 300 taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla belirlenmiştir.

2.2.2. Çamur Hazırlama

Deneyler, polimer katkısız ve katkılı olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, polimer katkısız çamurlar ağırlıkça %4, 6, 8 ve 10 bentonit kullanılarak hazırlanmış ve çamur verimi, su kaybı (filtrasyon) ve reolojik özellikler yönünden test edilmiştir. Sonrasında, %4 ve 6 bentonit içeren çamurlara QTG ve PV'nin altı farklı dozajı (0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 ve 3,0 kg polimer/m³ çamur) ilave edilerek bahsi geçen çamur özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Çamurlar, 350 ml saf su eklenip Hamilton Beach çoklu mekanik karıştırıcıya yerleştirilen kaplara uygun miktardaki bentonit numunelerinin yavaşça ilave edilip 20 dakika boyunca karıştırılması ile hazırlanmıştır. Katkılı çamurlar için gerekli polimer miktarları ilave edilerek 10 dakika daha karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar, ortam sıcaklığında ve hava almayacak şekilde Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standartlarına göre bentonit çamurları için belirlenen 16 saat süresince bekletilmiştir. Çamur testleri, bekleme süresini takiben numunelerin 5 dakika karıştırılmasından sonra gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan bentonit miktarları aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır (Yenipazar, 2000).

$$x(g) = \frac{350x \text{ Ağırlıkça}\%}{1 - \text{Ağırlıkça}\%} \quad (1)$$

2.2.3. Çamur Testleri

Çamur yoğunlukları, ilgili API standardı uyarınca Fann 140 Çamur Terazisi kullanılarak belirlenmiştir. Görünür viskozite (μ_a), plastik viskozite (μ_p) ve akma noktası (τ_y) gibi reolojik özellikler, Fann 280 Döner Viskozimetre ile 300 ve 600 devir/dakika değerlerinde gerçekleştirilen viskozite ölçümlerinden (θ_{300} ve θ_{600}) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Özkan & Kaplan, 2019).

$$\mu_a(cp) = \frac{\theta_{600}}{2} \quad (2)$$

$$\mu_p(cp) = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (3)$$

$$\tau_y\left(\frac{lbf}{100ft^2}\right) = \theta_{300} - \mu_p \quad (4)$$

Çamur verimi, kullanılan kilin bir tonunun 15 cp görünür viskoziteli çamurdan kaç metreküp üretilebileceğinin ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Bunun için kütlece bentonit yüzdelere karşılık elde edilen görünür viskozite değerleri grafik edilmiş ve 15 cp'a karşılık gelen değerler grafik üzerinden okunarak çamur verimi (m³/ton) hesaplanmıştır. Su kaybı, API standartlarına göre 100±5 psi basınç altında 45 cm² alandan 30 dak boyunca akan filtrasyon miktarı olarak tanımlanmıştır. Su kaybı testleri, ortam sıcaklığında Fann Yarım Alan Filtre Press kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde, süzme işlemi için Whatman No. 50 filtre kağıtları ve basınç kaynağı olarak CO₂ gazı içeren 100±5 psi'lik tüpler kullanılmıştır. Dereceli silindirde 30 dak sonunda toplanan süzüntü hacmi, yarım alan filtre press kullanıldığından 2

ile çarpılmış ve bulunan değer çamur numunesinin su (filtrasyon) kaybı olarak kabul edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Karakterizasyon Sonuçları

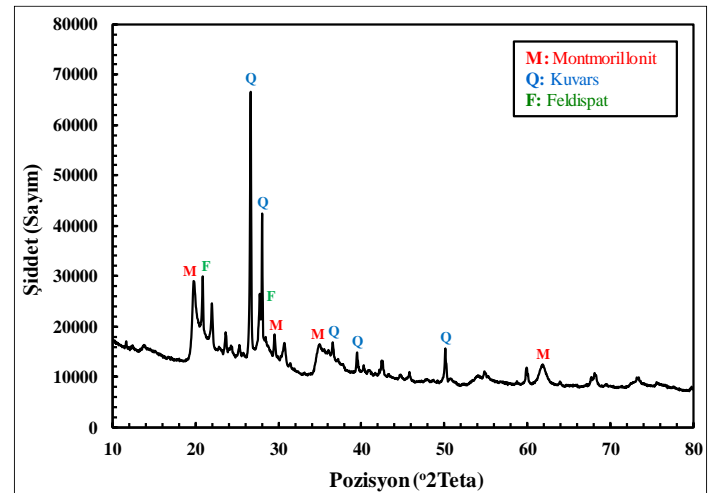
Deneylerde kullanılan bentonitin kimyasal içeriği Tablo 1'de gösterilmektedir. Bentonit numunesi, beklendiği şekilde temelde bir alümina-silikat çerçeveye ve bunun içerisinde sodyum ve kalsiyum gibi değişebilir katyonlara sahiptir (Huang et al., 2016).

Tablo 1. Bentonit Numunesinin Kimyasal Kompozisyonu

Oksit İçeriği (%)	Bentonit Numunesi
SiO ₂	66,01
Al ₂ O ₃	17,00
Fe ₂ O ₃	3,58
CaO	1,09
MgO	2,28
K ₂ O	1,30
Na ₂ O	2,32

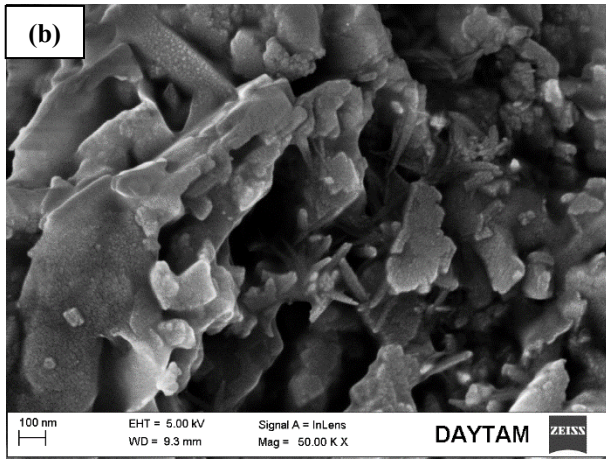
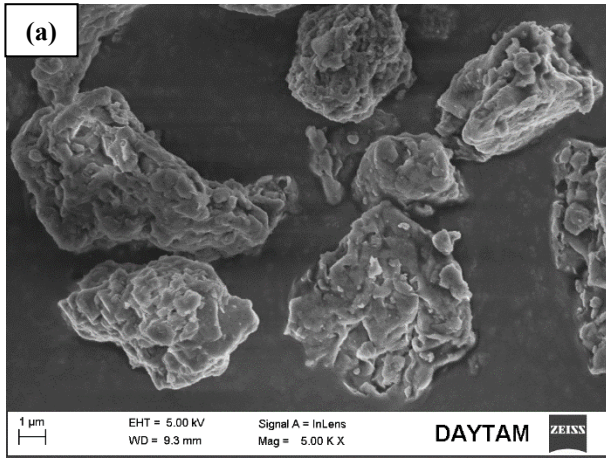
Şekil 1 bentonit numunesi içerisindeki kristal fazları göstermektedir. Şekil 1'den görüldüğü üzere, montmorillonit (Na_{0,2}Ca_{0,1}Al₂Si₄O₁₀(OH)₂(H₂O)₁₀), kuvars (SiO₂) ve feldispat ((Na,K)AlSi₃O₈/CaAl₂Si₂O₈) fazları temel mineralojik kompozisyonu oluşturmaktadır. Gerçekleştirilen kimyasal ve mineralojik analizler literatür verileri ile birlikte ele alındığında, numunenin ara tip (Na-Ca) bir bentonit olduğu söylenebilir (Çinku, 2008; Zhirong, Azhar Uddin, & Zhanxue, 2011).

Bentonit numunesinin iki farklı büyütme oranı için SEM görüntüleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2-(a)'da görüldüğü gibi, numune çoğunlukla 5-10 µm boyutlu tabakalı tanelerden oluşmaktadır. Bu tabakalı yapıyı oluşturan yassı, düzensiz şekilli ve yumrulu nano boyutlu parçacıklar da Şekil 2-(b)'de görülmektedir (Huang et al., 2016).



Şekil 1. Bentonit Numunesinin Mineralojik İçeriği

Şekil 2. Bentonit Numunesinin Morfolojik Yapısı



3.2. Katkısız Çamur Testleri

Ağırlıkça dört farklı bentonit yüzdesine sahip katkısız çamurların reolojik ve filtrasyon özellikleri, ilgili API standart değerler ile birlikte Tablo 2’de detaylı olarak gösterilmektedir. Elde edilen görünür viskozite değerlerini kullanarak oluşturulan eğriden, 15 cp değerine karşılık gelen ağırlıkça bentonit içeriği %5,35 olarak belirlenmiş ve buradan çamur verimi 17,69 m³/ton olarak hesaplanmıştır. API Standardı 13A’ya göre belirlenen alt limit değer 15,8 m³/ton olduğundan, bentonit numunesinin çamur verimi açısından yeterli olduğu söylenebilir. Görünür viskozite için belirtilen alt sınır olan 15 cp, çamur verimi ile uyumlu olarak %6 ve üzeri bentonit içerikleri için karşılanmıştır. Akma noktasının plastik viskoziteye oranı sondaj kalite bentonit için yalnızca %4 katı için sağlanırken, OCMA kalite için ise %4 ve 6 bentonit içerikleri limit değeri aşmayan sonuçlar sergilemiştir. Su kaybı değerleri OCMA kalite bentonit için, test edilen tüm katı içeriklerinde belirtilen sınır içerisinde kalırken, sondaj kalite için ise yalnızca %4’lük çamur, limit değeri aşmıştır. Ek olarak, bentonit numunesinin ağırlıkça %2,5’luk 75 µm elek üstü boyutu, her iki kalite standardını da karşılamıştır (API, 2010).

Tablo 2. Katkısız Çamur Özellikleri ve API Sınır Değerleri

Parametre	Bentonit (% Ağırlık)				API Standardı 13A (API, 2010)	
	4	6	8	10	Sondaj Kalite	OCMA Kalite
Görünür Viskozite (cp)	7	<u>20</u>	<u>37</u>	<u>65</u>	En az 15	
Plastik Viskozite (cp)	4	5	7	10	-	-
Akma Noktası (lbf/100 ft ²)	5	30	63	110	-	-
Akma Noktası/Plastik Viskozite	<u>1,25</u>	<u>6</u>	9	11	En çok 3	<u>En çok 6</u>
Su Kaybı (mL)	<u>15,63</u>	<u>10,84</u>	<u>9,63</u>	<u>8,44</u>	En çok 15	<u>En çok 16</u>
75 µm Yaş Elek Üstü (% Ağırlık)	<u>2,5</u>				En çok 4	<u>En çok 2,5</u>
Çamur Verimi (m ³ /ton)	<u>17,69</u>				<u>En az 15,8</u>	

Katkısız çamurlar için elde edilen genel sonuçlar, kullanılan numunenin ilgili API standardına göre %6 katı içeriği için OCMA kalite bir bentonitte aranan tüm spesifikasyonları sağladığını göstermiştir. Bununla birlikte, plastik viskozite alt limiti için bazı kaynaklarda verilen 7 ve 10 cp değerleri, %6 bentonit içeriği için karşılanamamaktadır (Çinku, 2008; Özkan & Kaplan, 2019). Diğer bir deyişle, numunenin pratikte polimer katkısız olarak kullanımının zor olduğu söylenebilir.

3.3. Polimer Katkılı Çamur Testleri

Bu bölümde, %4 ve 6 bentonit içerikleri için QTG ve PV’nin reolojik özellikler, çamur verimi ve su kaybı üzerine etkisi 0,5-3,0 kg polimer/m³ çamur aralığında incelenmiş ve API 13-A sondaj kalitesindeki bentonit değerleri referans alınarak yorumlanmıştır. Tablo 3 ve Tablo 4 sırasıyla %4 ve 6 bentonit içeriği için elde edilen sonuçları sergilemektedir.

Tablo 3. %4 Bentonit İçeriğinde Polimer Katkılı Çamur Özellikleri

Parametre	QTG Dozajı (kg/m ³)						PV Dozajı (kg/m ³)					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Görünür Viskozite (cp)	10,5	14	<u>17</u>	<u>22</u>	<u>23,5</u>	<u>28</u>	14	<u>18</u>	<u>27</u>	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>32</u>
Plastik Viskozite (cp)	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>15</u>	<u>17</u>	<u>17</u>	8	8	<u>11</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>16</u>
Akma Noktası (lbf/100 ft ²)	<u>1</u>	<u>8</u>	<u>12</u>	<u>14</u>	<u>16</u>	<u>23</u>	<u>12</u>	<u>18</u>	<u>28</u>	<u>32</u>	<u>30</u>	<u>30</u>
τ_y / μ_p	<u>0,1</u>	<u>0,8</u>	<u>1,09</u>	<u>0,93</u>	<u>0,94</u>	<u>1,35</u>	<u>1,5</u>	<u>2,25</u>	<u>2,55</u>	<u>2,46</u>	<u>2,14</u>	<u>1,88</u>
Su Kaybı (mL)	<u>11,04</u>	<u>10,53</u>	<u>9,80</u>	<u>9,64</u>	<u>9,60</u>	<u>9,20</u>	<u>13,54</u>	<u>11,51</u>	<u>10,50</u>	<u>10,39</u>	<u>10,21</u>	<u>9,21</u>

Tablo 3’den görüldüğü gibi, %4 bentonit içeriğinde, QTG 1,5 kg/m³ ve üzerindeki dozajlar için yeterli bir görünür viskozite sağlarken, bu değer PV için 1 kg/m³’dür. Akma noktasının plastik viskoziteye oranı ve su kaybı değerleri, her iki polimerin de test edilen tüm dozajları için karşılanmıştır. Ayrıca plastik viskozite ve

akma noktası için istenilen sırasıyla en az 10 cp ve en çok 50 lbf/100 ft² sınır değerlerinin de sağlanması gerekmektedir (Çinku, 2008; Özkan & Kaplan, 2019). Bu nedenle, tüm sınır değerlerin karşılandığı minimum polimer dozajı her ikisi için de 1,5 kg/m³ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. %6 Bentonit İçeriğinde Polimer Katkılı Çamur Özellikleri

Parametre	QTG Dozajı (kg/m ³)						PV Dozajı (kg/m ³)					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Görünür Viskozite (cp)	19	<u>21,5</u>	<u>27</u>	<u>30</u>	<u>37,5</u>	<u>38</u>	<u>34,5</u>	<u>40,5</u>	<u>43,5</u>	<u>47</u>	<u>48</u>	<u>47</u>
Plastik Viskozite (cp)	9	<u>11</u>	<u>14</u>	<u>14</u>	<u>20</u>	<u>23</u>	9	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>16</u>	<u>22</u>
Akma Noktası (lbf/100 ft ²)	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>26</u>	<u>32</u>	<u>35</u>	<u>35</u>	51	63	66	66	64	60
τ_y / μ_p	<u>2,22</u>	<u>1,91</u>	<u>1,86</u>	<u>2,29</u>	<u>1,75</u>	<u>1,52</u>	5,67	6,3	6	5,5	4	<u>2,73</u>
Su Kaybı (mL)	<u>8,65</u>	<u>7,94</u>	<u>7,80</u>	<u>7,71</u>	<u>7,63</u>	<u>7,55</u>	<u>9,80</u>	<u>8,84</u>	<u>8,30</u>	<u>8,28</u>	<u>8,04</u>	<u>8,0</u>

Tablo 4’den görüldüğü gibi, %6 bentonit içeriğinde her iki polimer için de, görünür viskozite değerleri test edilen tüm dozajlar için karşılanırken, yeterli plastik viskozite değerlerine 1 kg/m³ ve üzerindeki dozajlarda ulaşılmıştır. Akma noktası tüm QTG dozajları için istenilen sınır içerisinde kalırken, PV oldukça yüksek akma noktası değerlerine neden olmuştur. Benzer şekilde, akma noktasının plastik viskoziteye oranı tüm QTG dozajları

tarafından karşılanırken, PV ise yalnızca 3 kg/m³ için uygun bir değer sağlamıştır. Filtrasyon özelliği açısından her iki polimer de standarda uymaktadır. Tablo 4 genel olarak, %6 bentonit içeriğinde 1 kg/m³ QTG dozajının tüm sınır değerleri karşıladığını, PV’nin ise bu katı içeriğinde kullanılmasının mümkün olmadığını göstermektedir.

Tablo 5. Polimer Katkılarının Çamur Verimine Etkisi

Parametre	QTG Dozajı (kg/m ³)						PV Dozajı (kg/m ³)					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Çamur Verimi (m ³ /ton)	18,61	22,26	27,58	<u>36,04</u>	37,47	41,67	23,40	27,55	44,47	<u>49,01</u>	51,70	51,70

QTG ve PV polimer katkılarının çamur verimine etkisi Tablo 5’de gösterilmektedir. Tablo 5’de görüldüğü gibi, çamur verimi açısından her iki polimer de 2 kg/m³ dozajda optimum değerler sağlamıştır. Daha yüksek dozajlar için ise kayda değer bir artış meydana gelmemiştir. Tablo 3-5 birlikte ele alındığında, QTG’nin su kaybı kontrolü, PV’nin ise daha çok kıvamlaştırma amacıyla kullanımının uygun olduğu söylenebilir.

4. Sonuç

Ağırlıkça %4, 6, 8 ve 10 bentonit kullanarak gerçekleştirilen katkısız çamur testleri, numunenin API standardı 13-A’ya göre %6 katı içeriğinde OCMA kalite bir bentonitte aranan tüm spesifikasyonları sağladığını göstermiştir. Ancak bu katı içeriği için elde edilen düşük plastik viskozite (5 cp) ve yüksek akma noktasının plastik viskoziteye oranı (6) değerleri, bentonit

numunesinin sondajda direkt olarak kullanımının mümkün olmadığını göstermiştir. Bu nedenle, %4 ve 6 bentonit içerikleri için farklı yapıdaki iki polimerin çamur özelliklerine etkisi 0,5-3,0 kg/m³ dozaj aralığında incelenmiştir. %4 bentonit içeriğinde, QTG ve PV polimerlerinin her ikisi de 1,5 kg/m³ dozaj değerinde API 13-A sondaj kalite bentonit için aranan tüm sınır değerleri karşılamıştır. %6 bentonit içeriğinde ise test edilen tüm çamur spesifikasyonları 1 kg/m³ QTG için karşılanmıştır. Bununla beraber, elde edilen yüksek akma noktası ve akma noktasının plastik viskoziteye oranı değerleri, PV’nin bu katı içeriğinde kullanımının güç olduğunu göstermiştir. Genel sonuçlar, QTG ve PV’nin sırasıyla filtrasyon ve reolojik özellikler üzerine etkinliğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, ağırlıkça %4 bentonit numunesi içeren çamurlar, QTG ve PV polimerlerinin 1,5 kg/m³ dozajı için sondaj kalite standardını sağlamıştır. Çok düşük su

kaybı istenilen durumda QTG, yüksek viskozite ve çamur verimi istenilen durumda ise PV'nin seçimi uygun olacaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi FLP-2019-7994 nolu Lisans Öğrencisi Katılımlı Araştırma Projesinden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan bentonit numunesinin tedarik edilmesini sağlayan Maden Mühendisi Tansel Akyüz özelinde Çanbensan A.Ş.'ye, polimer katkılarını temin eden Kayen Sondaj firmasına ve projenin gerçekleştirilmesi için maddi destek sağlayan Atatürk Üniversitesi Toplumsal Duyarlılık Projeleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- API. (2010). American Petroleum Institute (API) Specification 13A (9-11). In *Specification for Drilling Fluids*. USA.
- Asker, N., Özkan, V., & Özkan, A. (2019). *Su Bazlı Sondaj Çamurunun Reolojik ve Filtrasyon Özelliklerine ZnO Nanopartikülü ile Fonksiyonelleştirilmiş Çok Duvarlı Karbon Nanotüpün Etkisinin Araştırılması*. Paper presented at the Euro Asia 5th. International Congress on Applied Sciences, Adana, Turkey.
- Avcı, E. (2018). *Jeotermal Sularla Hazırlanmış Çamurların Sondaj Performansına Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay. Retrieved from <http://openaccess.iste.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12508/413/emine-avc%C4%B1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Balkaya, A. T., Gül, S., İlgen, E., Dimez, A. B., Deniz, S., Heke, E., . . . Erşahin, A. (2019). *Sondaj El Kitabı*. Ankara: Petrol Mühendisleri Odası Yayınları.
- Çinku, K. (2008). *Aktivasyon Yöntemleri ile Bentonitten Su Bazlı Kıvamaştırıcı Üretiminin Araştırılması*. (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul. Retrieved from <http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/43360.pdf>
- Erdoğan, Y., Kök, O. E., & Tanrıverdi, İ. (2017). Çanakkale Tuzla Jeotermal Sondaj Sahası Çamur Maliyetinin Araştırılması. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 32(4), 11-20. Retrieved from https://muhendislik.cu.edu.tr/tr/Dergi/32_4_2017/02.pdf
- Huang, W., Leong, Y.-K., Chen, T., Au, P.-I., Liu, X., & Qiu, Z. (2016). Surface chemistry and rheological properties of API bentonite drilling fluid: pH effect, yield stress, zeta potential and ageing behaviour. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 146, 561-569. doi:<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2016.07.016>
- Kargı, E. (2015). *Sondaj Çamuru Uygulamaları İçin Kil-Polimer Etkileşimlerinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11527/13352>
- Okon, A. N., Udoh, F. D., & Bassey, P. G. (2014). *Evaluation of Rice Husk as Fluid Loss Control Additive in Water-Based Drilling Mud*. Paper presented at the SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition, Lagos, Nigeria. <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-172379-MS>
- Onat, N. (1971). Bentonitin Petrol Sondajlarında Kullanılması. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 10(5), 30-36. Retrieved from <http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/634.pdf>
- Özkan, A., & Kaplan, B. M. (2019). Investigation of the Effects on Rheological and Filtration Properties of Water-Based Drilling Mud of Boron Minerals: An Experimental Study. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(7), 884-888. doi:10.5505/pajes.2019.89990
- Yenipazar, Y. (2000). *Büyükçılıklı (Silivri) Bentonitin Döküm ve Sondaj Sanayi Yönünden Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11527/11256>
- Zhirong, L., Azhar Uddin, M., & Zhanxue, S. (2011). FT-IR and XRD analysis of natural Na-bentonite and Cu(II)-loaded Na-bentonite. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79(5), 1013-1016. doi:<https://doi.org/10.1016/j.saa.2011.04.013>



Effects of Cell Free Supernatants of *Lactobacillus reuteri* ATCC55730 and *Lactobacillus plantarum* FI8595 Against Selected Food-Borne Pathogens and Fish Spoilage Microorganisms

Hatice Yazgan *

*¹ Cukurova University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene and Technology, Adana, Turkey (ORCID:0000-0002-7520-3342),
hyazgan@cu.edu.tr

(First received 12 July 2020 and in final form 29 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.768006)

ATIF/REFERENCE: Yazgan, H. (2020). Effects of Cell Free Supernatants of *Lactobacillus reuteri* ATCC55730 and *Lactobacillus plantarum* FI8595 Against Selected Food-Borne Pathogens and Fish Spoilage Microorganisms. *European Journal of Science and Technology*, (20), Xx-Xx.

Abstract

The effects of cell free supernatants of *Lactobacillus reuteri* ATCC55730 and *Lactobacillus plantarum* FI8595 against selected fish spoilage and food-borne pathogen microorganisms were investigated. For detection of the antimicrobial effect of cell free supernatants from two *Lactobacillus* strains, four food-borne pathogens (*Salmonella* Paratyphi A NCTC13, *Staphylococcus aureus* ATCC29213, *Klebsiella pneumoniae* ATCC700603, and *Listeria monocytogenes* ATCC19112) and three fish spoilage bacteria (*Proteus mirabilis*, *Enterococcus faecalis* and *Pseudomonas luteola*) were used. The agar well diffusion method was performed to determine the antimicrobial effects. The cell free supernatants of both *L. reuteri* and *L. plantarum* were effective on fish spoilage bacteria tested. Especially, *E. faecalis* showed high sensitivity against both CFS obtained from *L. plantarum* and *L. reuteri* with 16.75 and 22.75 mm inhibition zone diameter, respectively. The CFS of *L. reuteri* exerted a strong ability to inhibit the growth of all food-borne pathogens. The highest antibacterial effect of CFE of *L. reuteri* was observed on *S. aureus*, with the diameter of 26.50 mm inhibition zone.

Keywords: *Lactobacillus*, food-borne pathogen, fish spoilage bacteria, antimicrobial activity

Lactobacillus reuteri ATCC55730 ve *Lactobacillus plantarum* FI8595 Supernatantlarının Bazı Balık Bozucu ve Gıda Kaynaklı Patojen Bakterilerine Karşı Antimikrobiyal Etkisi

Öz

Bu çalışmada *Lactobacillus reuteri* ATCC55730 ve *Lactobacillus plantarum* FI8595 laktik asit bakterileri tarafından üretilen hücresiz supernatantın seçilen gıda kaynaklı patojen ve balık bozucu bakterilerine karşı antimikrobiyal etkisi araştırıldı. İki *Lactobacillus* suşundan elde edilen supernatantın antimikrobiyal etkisini belirlemek için, dört gıda kaynaklı patojen (*Staphylococcus aureus* ATCC29213, *Salmonella* Paratyphi A NCTC13, *Klebsiella pneumoniae* ATCC700603 ve *Listeria monocytogenes* ATCC19112) ve üç balık bozucu bakterisi (*Proteus mirabilis*, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas luteola*'da) kullanıldı. Supernatantların gıda kaynaklı patojen ve balık bozucu bakterileri üzerindeki antimikrobiyal etkisi agar kuyu difüzyon yöntemine göre belirlenmiştir. *L. plantarum* ve *L. reuteri*'nin supernatantı, test edilen balık bozucu bakterilerine karşı güçlü bir antimikrobiyal etkiye sahip olmuştur. Özellikle *E. faecalis*, *L. plantarum* ve *L. reuteri*'den elde edilen supernatanta karşı sırayla 16.75 ve 22.75 mm inhibisyon zon çapı ile yüksek bir hassasiyet göstermiştir. *L. reuteri*'nin supernatantı, test edilen tüm gıda kaynaklı patojenlerin inhibisyonunda çok güçlü bir yetenek göstermiştir. Özellikle *L. reuteri*'den elde edilen supernatant, 26.50 mm inhibisyon çapı ile *S. aureus*'u inhibe etme kabiliyetinin yüksek olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus plantarum*, antimikrobiyal aktivite, gıda kaynaklı patojen bakteri, balık bozucu bakteri

* Corresponding Author: hyazgan@cu.edu.tr

1. Introduction

Lactic acid bacteria (LAB) have been used in the fermentation process as a preservation strategy since ancient times because they have the ability to produce metabolites which possess antimicrobial properties for instance, bacteriocin, organic acids, and hydrogen peroxide (Leroy & De Vuyst, 2004). These metabolites increase the food safety and shelf life by inhibition undesirable food-borne pathogens and spoilage microorganisms. They also produce several enzymes, exopolysaccharides, and aroma compounds (Jose et al., 2015). It is difficult to elucidate the precise mechanism of antimicrobial effect of different metabolic products due to the combined and synergistic interactions between these metabolic compounds (Niku-Paavola et al., 1999, Corsetti et al., 1998). Among the lactobacilli, *Lactobacillus plantarum* is one of the most adaptable species and common microorganisms found in different environments from food such as dairy, fermented meat and fish, and vegetable to the human gastrointestinal tract (Tremonte et al., 2017; Papadimitriou et al., 2015; Ricciardi et al., 2014; Basso et al., 2004; Kleerebezem et al., 2003). Moreover, *L. plantarum* strains were reported to produce different metabolite with antimicrobial properties such as bacteriocins, hydrogen peroxide, diacetyl, organic acids, and antimicrobial peptides (Cortes-Zavaleta et al., 2014; Arena et al., 2016). Various *Lactobacillus* strains containing *L. plantarum* display antimicrobial activity against spoilage and food-borne pathogen bacteria. Such antimicrobial impact was generally attributed to the production of metabolic products such as organic acids, bacteriocin, etc. (Arena et al., 2016; Rodríguez-Pazo et al., 2013; Tejero-Sariñena et al., 2012; Neal-McKinney et al., 2012; Kos et al., 2011; Tharmaraj and Shah, 2009). On the other hand, *Lactobacillus reuteri* is the most important other probiotic *Lactobacillus* species which has effective antimicrobial properties against fungi, and protozoa, Gram-positive and Gram-negative bacteria, yeast mainly because of their ability to convert glycerol into a broad spectrum antimicrobial agent, called reuterin (3-hydroxypropionaldehyde) (Bain et al., 2011; Zhao and Mutukumi 2012). They also produce lactate, ethanol, and CO₂ as end-products (Axelsson et al., 1998). Recently, researches have focused on understanding the antimicrobial mechanism of action and the usability of these compounds as antimicrobial agents in food industry and studies in this direction have increased. Therefore, there is need for safe alternative method for controlling food-borne pathogenic and spoilage microorganisms, thus reducing the risk of food-related outbreaks.

With the increasing demand for safe and high nutritional value food products, the consumption of fish and seafood has increased. However, they are considerably susceptible to chemical and microbiological spoilage throughout storage or processing (Sampels, 2015). How to control the types and amounts of pathogen and spoilage bacteria is a major issue for seafood industry (Yazgan et al., 2019; Ozogul et al., 2017). Thus, appropriate preservation approaches are required for prolonging the shelf life of such products as well as ensuring the quality, and safety (Hassoun & Karoui, 2016). Thus, the application of cell free supernatant (CFS) obtained from *Lactobacillus reuteri* and *plantarum* can be alternative sufficient method for preservation. Muhsin et al. (2015) evaluated the protective impact of *Lactococcus* cell free supernatant (CFS) and crude bacteriocin against bacterial growth and biofilm formation with the same pathogen. It has been reported that the CFS and neutralized cell free (NCFS) showed an inhibition zone when tested against

related lactic acid bacteria, food-borne pathogens, and food-spoilage microorganisms by the agar well diffusion assay (Hwanhlem et al., 2017). *Enterococcus faecalis*, *Brochothrix thermosphacta*, *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei*, *Carnobacterium maltaromaticum*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria ivanovii* were found to be susceptible to CFS obtained from *L. lactis* subsp. *lactis*, while only *L. sakei* subsp. *sakei*, *B. thermosphacta* and *L. ivanovii* were determined to be susceptible to NCFS obtained from same bacteria.

The purpose of the current study was to evaluate the antimicrobial effect of CFS obtained from *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus reuteri* and their potential use as a biopreservative in fish products.

2. Material and Method

2.1. Bacterial strains

The food-borne pathogen bacteria used to detect the antimicrobial effect of cell free supernatants from two *Lactobacillus* strains were *Staphylococcus aureus* ATCC29213, *Salmonella* Paratyphi A NCTC13, *Klebsiella pneumoniae* ATCC700603, and *Listeria monocytogenes* ATCC19112. All pathogen bacteria were purchased from the American Type Culture Collection (Rockville, MD, USA) and Spanish Type Culture Collection, CECT, Valencia, Spain. In addition, the fish spoilage bacteria were *Proteus mirabilis*, *Enterococcus faecalis* and *Pseudomonas luteola*. These strains were isolated from spoiled sea bass muscles in a previous study by Yazgan et al. (2019). Isolates were identified according to the manufacturer's instructions for the API 20E and API 20 NE strip system (BioMereux). Polymerase chain reaction (PCR) was used for rapid detection and identification of these spoilage bacteria. *Lactobacillus plantarum* FI8595 and *Lactobacillus reuteri* ATCC55730 which was used to obtain cell free supernatant were purchased from Sutcu Imam University, Kahramanmaraş, Turkey as a BGML stock culture and American Type Culture Collection (Rockville, MD, USA) respectively.

2.2. Preparation of Bacterial Cell-Free Supernatant

The cell free supernatants were prepared using the method of Hwanhlem et al. (2017). Briefly, the *L. plantarum* and *L. reuteri* were grown in two separate tubes of 50 ml including MRS broth (Merck 1.10661, Darmstadt, Germany) at 37 °C for 48 h. After that, each bacterial culture was centrifuged (Hettich 32R, Tuttlingen, Germany) at 11200xg for 10 min at 4 °C to obtain cell-free supernatants. The cell-free supernatants were filtered through membranes with pore size 0.45 µm and stored at 4 °C until use.

2.3. Determination of Antimicrobial Effect

The agar well diffusion method was performed to determine the antimicrobial effect of cell free supernatants on food-borne pathogen and fish spoilage bacteria. Briefly, Muller Hinton agar (MHA) was evenly poured into sterile petri dishes. Standardized agar wells with a diameter of 5 mm were made in the agar plate using blunt end of a sterile Pasteur pipette. One hundred µl of each pathogen and spoilage bacterial culture suspension (10⁸ cfu/ml) was spread on the agar plate. After that, each well was filled with 70 µl of two different the cell-free supernatant and MRS broth as

negative control and all plates were incubated at 37 °C for 24 hours. Then, the diameter of the inhibition circular around each well were measured and results were expressed in mm by the arithmetic mean of the diameter.

2.4. Statistical Analysis

All assays were performed in triplicate and the data were recorded as mean \pm standard deviation for measurements. The significance of differences ($p < 0.05$) was determined using one-way ANOVA with the statistical package for Social Sciences (SPSS) software (Version 20, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3. Results and Discussion

The antimicrobial effect of cell free supernatants (CFS) obtained by *L. plantarum* and *L. reuteri* against three fish spoilage bacteria including *P. mirabilis*, *E. faecalis* and *P. luteola* are presented in Table 1. The diameter of the inhibition zone generally refers to the rate of inhibition impact of the antimicrobial agent applied to the sample. It means that the antimicrobial effect is stronger in sample where a high zone diameter is detected. In the current study, significantly different ($p < 0.05$) antimicrobial activities were found in all samples. The cell free supernatants of both *L. plantarum* and *L. reuteri* had a strong antimicrobial activity against fish spoilage bacteria. Especially, *E. faecalis* displayed a high sensitivity for both of CFS obtained from *L. plantarum* and *L. reuteri* with 16.75 and 22.75 mm inhibition zone diameter, respectively. However, the lower antimicrobial activities of CFS from *L. plantarum* against this bacterium was

observed compared to that of CFS from *L. reuteri*. This inhibitory impression is probably due to higher concentration of antimicrobial metabolites produced by *L. reuteri*. Based on the results observed (Table 1), the cell-free supernatant from *L. reuteri* also showed high antimicrobial effect on *P. mirabilis* and *P. luteola* with diameter zones of 21.50 and 21.25 mm, respectively.

MRS used as a negative control did not show any antimicrobial activities as expected (Table 1). The CFS from *L. plantarum* exhibited similar antimicrobial impact against *P. mirabilis* and *E. faecalis* with 16.25 and 16.75 mm inhibition zone diameter, respectively. However, cell-free supernatant from *L. plantarum* showed lower inhibition effect on *P. luteola* with the 14.88 mm inhibition zone diameter.

3.1. Antimicrobial Effect of Fish Spoilage Bacteria

Antimicrobial effect of CFS obtained from two selected *Lactobacillus* species against food-borne pathogen bacteria are showed in Table 2. According to the data obtained from current study, *L. reuteri* displayed a quite strong ability to inhibit the growth of food-borne pathogens tested. Especially, the CFS of *L. reuteri* showed the high ability to inhibit *S. aureus* with the diameter of 26.50 mm inhibition zone. Soleimani et al. (2010) found that CFS from *L. reuteri* ATCC 23272 exhibited lower antimicrobial activity (7 and 10 mm inhibition zones, respectively) on *S. aureus* ATCC25923 and *S. aureus* isolated from bovine mastitis.

Table 1. Antimicrobial activities of cell-free supernatant against fish spoilage bacteria

Fish spoilage bacteria	<i>Lb. plantarum</i>	<i>Lb. reuteri</i>	MRS broth
<i>Proteus mirabilis</i>	16.25 \pm 0.96 ^b	21.50 \pm 0.41 ^a	0.00 ^c
<i>E. faecalis</i>	16.75 \pm 0.65 ^b	22.75 \pm 0.65 ^a	0.00 ^c
<i>Pseudomonas luteola</i>	14.87 \pm 0.85 ^b	21.25 \pm 0.50 ^a	0.00 ^c

Values represents mean \pm standard deviation. The same superscript (^{a-c}) in the same row were not significantly different ($P > 0.05$)

Table 2. Antimicrobial activities of cell-free supernatant against food-borne pathogen bacteria

Food-borne pathogen bacteria	<i>Lb. plantarum</i>	<i>Lb. reuteri</i>	MRS broth
<i>Staphylococcus aureus</i>	20.38 \pm 0.85 ^b	26.50 \pm 0.82 ^a	0.00 ^c
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	15.00 \pm 0.91 ^b	22.63 \pm 0.75 ^a	0.00 ^c
<i>Salmonella Paratyphi A</i>	21.50 \pm 0.41 ^a	18.75 \pm 0.96 ^b	0.00 ^c
<i>Listeria monocytogenes</i>	13.75 \pm 0.96 ^b	17.25 \pm 0.65 ^a	0.00 ^c

Values represents mean \pm standard deviation. The same superscript (^{a-c}) in the same row were not significantly different ($P > 0.05$)

4. Conclusions and Recommendations

The cell free supernatants of both *L. plantarum* and *L. reuteri* had a strong antimicrobial activity on fish spoilage bacteria. Especially, *E. faecalis* exerted a high sensitivity for both of CFS obtained from *L. plantarum* and *L. reuteri*. The CFS of *L. reuteri* displayed a considerably strong ability to inhibit the growth of all food-borne pathogens tested. The highest inhibition effect of CFE from *L. reuteri* was obtained against *S. aureus*. The use of CFS from *Lactobacillus* as antimicrobial agent could be innovative approach in food industry. CFS obtained from selected bacteria could be efficient in inhibiting food-borne pathogen and fish spoilage microorganisms.

5. Acknowledge

This study was supported by Cukurova University for Department of Scientific Research Projects. The author thanks the Department of Scientific Research Projects at Cukurova University for supporting this study.

References

- Arena, M. P., Silvain, A., Normanno, G., Grieco, F., Drider, D., Spano, G., & Fiocco, D. (2016). Use of *Lactobacillus plantarum* strains as a bio-control strategy against food-borne pathogenic microorganisms. *Frontiers in microbiology*, 7, 464.
- Arqués, J. L., Fernández, J., Gaya, P., Nuñez, M., Rodríguez, E., & Medina, M. (2004). Antimicrobial activity of reuterin in combination with nisin against food-borne pathogens. *International Journal of Food Microbiology*, 95(2), 225-229.
- Axelsson LT, Chung TC, Dobrogosz WJ, Lindgren SE (1989) Production of a broad spectrum antimicrobial substance by *Lactobacillus reuteri*. *Microb Ecol Health Dis* 2:131-136
- Basso, A. L., Picariello, G., Coppola, R., Tremonte, P., Musso, S. S., & Luccia, A. D. (2004). Proteolytic activity of *Lactobacillus sakei*, *Lactobacillus farciminis* and *Lactobacillus plantarum* on sarcoplasmic proteins of pork lean. *Journal of food biochemistry*, 28(3), 195-212.
- Bian, L., Molan, A. L., Maddox, I., & Shu, Q. (2011). Antimicrobial activity of *Lactobacillus reuteri* DPC16 supernatants against selected food borne pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(4), 991-998.
- Corsetti, A., Gobetti, M., Rossi, J., & Damiani, P. (1998). Antimould activity of sourdough lactic acid bacteria: identification of a mixture of organic acids produced by *Lactobacillus sanfrancisco* CB1. *Applied microbiology and biotechnology*, 50(2), 253-256.
- Cortés-Zavaleta, O., López-Malo, A., Hernández-Mendoza, A., & García, H. S. (2014). Antifungal activity of lactobacilli and its relationship with 3-phenyllactic acid production. *International journal of food microbiology*, 173, 30-35.
- Forestier, C., De Champs, C., Vatoux, C., & Joly, B. (2001). Probiotic activities of *Lactobacillus casei rhamnosus*: in vitro adherence to intestinal cells and antimicrobial properties. *Research in Microbiology*, 152(2), 167-173.
- Hassoun, A., & Karoui, R. (2016). Monitoring changes in whiting (*Merlangius merlangus*) fillets stored under modified atmosphere packaging by front face fluorescence spectroscopy and instrumental techniques. *Food Chemistry*, 200, 343-353.
- Hwanhlem N, Ivanova T, Haertlé T, Jaffrès E & Dousset X. (2017). Inhibition of food-spoilage and foodborne pathogenic bacteria by a nisin Z-producing *Lactococcus lactis* subsp *lactis* KT2W2L. *Lwt-Food Science and Technolgy*, 82, 170-175
- Jose N, Bunt C & Hussain M (2015) Comparison of microbiological and probiotic characteristics of *Lactobacilli* isolates from dairy food products and animal rumen contents. *Microorganisms*. 3(2), 198-212
- Khiralla, G. M., Mohamed, E. A., Farag, A. G., & Elhariry, H. (2015). Antibiofilm effect of *Lactobacillus pentosus* and *Lactobacillus plantarum* cell-free supernatants against some bacterial pathogens. *Journal of Biotech Research*, 6, 86.
- Kleerebezem, M., Boekhorst, J., van Kranenburg, R., Molenaar, D., Kuipers, O. P., Leer, R., ... & Stiekema, W. (2003). Complete genome sequence of *Lactobacillus plantarum* WCFS1. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(4), 1990-1995.
- Kos, B., Beganović, J., Jurašić, L., Švađumović, M., Leboš Pavunc, A., Uroić, K., & Šušković, J. (2011). Coculture-inducible bacteriocin biosynthesis of different probiotic strains by dairy starter culture *Lactococcus lactis*. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 61(4), 273-282.
- Leroy, F., & De Vuyst, L. (2004). Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), 67-78.
- Marianelli, C., Cifani, N., & Pasquali, P. (2010). Evaluation of antimicrobial activity of probiotic bacteria against *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar *typhimurium* 1344 in a common medium under different environmental conditions. *Research in microbiology*, 161(8), 673-680.
- Muhsin, Y. M., Majeed, H. Z., & Shawkat, D. S. (2015). CFS and crude bacteriocin of *Lactococcus* against growth and biofilm formation for some pathogenic bacteria. *Int. J. Curr. Microbiol*, 4, 35-42.
- Neal-McKinney, J. M., Lu, X., Duong, T., Larson, C. L., Call, D. R., Shah, D. H., & Konkel, M. E. (2012). Production of organic acids by probiotic lactobacilli can be used to reduce pathogen load in poultry. *PLoS one*, 7(9), e43928.
- Niku-Paavola, M.-L., Laitila, A., Mattila-Sandholm, T., & Haikara, A. (1999). New types of antimicrobial compounds produced by *Lactobacillus plantarum*. *Journal of Applied Microbiology*, 86, 29-35.
- Nitisinprasert, S., Nilphai, V., Bunyun, P., Sukyai, P., Doi, K., & Sonomoto, K. (2000). Screening and identification of effective thermotolerant lactic acid bacteria producing antimicrobial activity against *Escherichia coli* and *Salmonella sp.* resistant to antibiotics. *Agriculture and Natural Resources*, 34(3), 387-400.
- Ozogul, Y., Yuvka, İ., Ucar, Y., Durmus, M., Kösker, A. R., Öz, M., & Ozogul, F. (2017). Evaluation of effects of nanoemulsion based on herb essential oils (rosemary, laurel, thyme and sage) on sensory, chemical and microbiological quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during ice storage. *Lwt-Food Science Technology*, 75, 677-684.
- Papadimitriou, K., Pot, B., & Tsakalidou, E. (2015). How microbes adapt to a diversity of food niches. *Current Opinion in Food Science*, 2, 29-35.
- Ricciardi, A., Blaiotta, G., Di Cerbo, A., Succi, M., & Aponte, M. (2014). Behaviour of lactic acid bacteria populations in Pecorino di Carmasciano cheese samples submitted to environmental conditions prevailing in the gastrointestinal tract: evaluation by means of a polyphasic approach. *International journal of food microbiology*, 179, 64-71.
- Rodríguez-Pazo, N., Vázquez-Araújo, L., Pérez-Rodríguez, N., Cortés-Diéguez, S., & Domínguez, J. M. (2013). Cell-free supernatants obtained from fermentation of cheese whey hydrolyzates and phenylpyruvic acid by *Lactobacillus plantarum* as a source of antimicrobial compounds, bacteriocins, and natural aromas. *Applied biochemistry and biotechnology*, 171(4), 1042-1060.
- Sampels, S. (2015). The effects of processing technologies and preparation on the final quality of fish products. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 131-146.
- Shi, S., Qi, Z., Sheng, T., Tu, J., Shao, Y., & Qi, K. (2019). Antagonistic trait of *Lactobacillus reuteri* S5 against *Salmonella enteritidis* and assessment of its potential probiotic characteristics. *Microbial Pathogenesis*, 137, 103773.
- Soleimani, N. A., Kermanshahi, R. K., Yakhchali, B., & Sattari, T. N. (2010). Antagonistic activity of probiotic lactobacilli against *Staphylococcus aureus* isolated from bovine mastitis. *African Journal of Microbiology Research*, 4(20), 2169-2173.

- Tejero-Sariñena, S., Barlow, J., Costabile, A., Gibson, G. R., & Rowland, I. (2012). In vitro evaluation of the antimicrobial activity of a range of probiotics against pathogens: evidence for the effects of organic acids. *Anaerobe*, 18(5), 530-538.
- Tharmaraj, N., & Shah, N. P. (2009). Antimicrobial effects of probiotics against selected pathogenic and spoilage bacteria in cheese-based dips. *International Food Research Journal*, 16(1), 261-276.
- Tremonte, P., Pannella, G., Succi, M., Tipaldi, L., Sturchio, M., Coppola, R., ... & Sorrentino, E. (2017). Antimicrobial activity of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from different environments: a preliminary study.
- Yazgan, H., Ozogul, Y., & Kuley, E. (2019). Antimicrobial influence of nanoemulsified lemon essential oil and pure lemon essential oil on food-borne pathogens and fish spoilage bacteria. *International journal of food microbiology*, 306, 108266.
- Yolmeh, M., Khomeiri, M., & Ahmadi, Z. (2017). Application of mixture design to introduce an optimum cell-free supernatant of multiple-strain mixture (MSM) for *Lactobacillus* against food-borne pathogens. *LWT-Food Science and Technology*, 83, 298-304.
- Zhao, Q., Mutukumira, A., Lee, S. J., Maddox, I., & Shu, Q. (2012). Functional properties of free and encapsulated *Lactobacillus reuteri* DPC16 during and after passage through a simulated gastrointestinal tract. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(1), 61-70.



Killi zeminlerde Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi ile elde edilen kayma dalga hızı ile plastisite indisi ve standart penetrasyon sayısı korelasyonu

Arif Özyankı¹, Hilmi Dindar², Abdullah Ekinci^{3*}

¹ KTMMOB Yer Bilim Mühendisleri Odası, Lefkoşa, KKTC, (ORCID: 0000-0001-4322-6546), arif.ozyanki@neu.edu.tr

² Yakın Doğu Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa, Mersin 10, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5348-0296), hilmi.dindar@neu.edu.tr

³ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, KKK, İnşaat Mühendisliği Programı, Güzelyurt, Mersin 10, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6787-9983), ekincia@metu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 29 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.794260)

ATIF/REFERENCE: Özyankı, A., Dindar, H. & Ekinci, A. (2020). Killi zeminlerde Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi Yöntemi ile elde edilen kayma dalga hızı ile plastisite indisi ve standart penetrasyon sayısı korelasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 490-497.

Öz

Temel zemin mekaniği parametreleri ile karmaşık zemin modeli parametrelerinin elde edilmesi mümkündür. Kayma dalgası hızına dayalı zemin profilini belirlemek için farklı jeofizik arama teknikleri kullanılmaktadır. ÇKYDA tekniği zemin parametrelerini elde etmek için kullanılan jeofizik çalışma yöntemlerinden bir tanesidir. Yerine özgün olarak sıg yüzey altı topografya araştırmalarında hızlıca uygulanabilen doğaya tahribatsız ve çok hızlı değerlendirme imkânı sunan bu yöntem geoteknik çalışmalar için büyük bir öneme sahiptir. Çalışma kapsamında farklı noktalarda gerçekleştirilen ÇKYDA tekniği ile elde edilen kayma dalgası hızları (Vs), yine aynı noktalarda yapılan sondajlardan elde edilen SPT-N ve örselenmiş zemin numuneleri üzerinde yapılan deneylerle bulunan plastisite indisi (PI) değerleri ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen değerlendirmeler neticesinde kayma dalgası hızları ile plastisite indisi ve SPT-N değerleri arasında bir anlamlı bir ilişki gözlenmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda elde edilen bağıntı Plastisite indisi için %93'lük ve SPT-N değerleri için %74'lük bir benzerlik gösterdiği görülmüştür. Elde edilen korelasyon eğrileri göstermiştir ki plastik indisi ile kayma dalgası hızları arasında ters orantı varken, SPT-N değerleri arasında doğru orantı mevcuttur. Zemin mekaniği ile ilişkili her parametre birbiri ile bağlantılı olması gerektiği bilinmekle birlikte, her farklı deneyin birbirlerine göre sağladığı farklılıklar vardır. Sonuç olarak plastisite indisi ve SPT-N gibi doğal zemin üzerinde yapılan deneyler kullanılarak hem yapısal hem de zemin modellerinde kullanımı değerli kayma dalgası hızları arazi çalışmaları öncesinde öngörülebilir. Çalışma kapsamında killi zeminlerin plastisite indisi ile kayma dalgası hızı arasında gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucunda yüksek determinasyon katsayısına sahip olduğu ve bahse konu parametreler arasında güçlü mekaniksel bağ olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ÇKYDA, plastisite indisi, standart penetrasyon, regresyon, kayma dalgası

Correlation for Multichannel Analysis of Surface Waves determined shear wave velocity as a function of plasticity index and standard penetration test resistance for clay soils

Abstract

It is possible to obtain advance soil parameters via basic characteristic tests on soil specimens. Shear wave velocity is an important soil parameter required for advance soil models and can be determined during the field investigation of such weak and problematic soils. Various geophysical techniques have been utilized in past to determine the shear wave velocity. Among those techniques Multichannel analysis of surface waves (MASW) method is the most widely used one. Named shallow depth ground investigation technique has a great importance in geotechnical applications.

In this study, shear wave velocity measurements via MASW technique performed in various sides of North Cyprus have been correlated to the Standard penetration blow number (SPT-N) and plasticity index (PI) value obtained via undisturbed samples at same locations. Evaluation of results have revealed that there is a good correlation between simple, easy and cheap to obtain soil mechanic parameters such as plasticity index and SPT-N number to more advance and expensive to obtain parameters such as shear wave velocity via MASW. Regression factor of shear wave velocity verses plasticity index found to be as successful as 93% and Shear wave velocity verses SPT-N as 74%. It is also evidential that plasticity index and shear wave velocity has invers correlation where SPT-N verses shear wave velocity is directly correlated.

* Sorumlu Yazar: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kuzey Kıbrıs Kampüsü, İnşaat Mühendisliği Programı, Güzelyurt, Mersin 10, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6787-9983), ekincia@metu.edu.tr

It is essential to know that most of soil parameters are correlated to each other with various ways and it is important to highlight those differences in correlations. Therefore, it is evidential that a parameter which can be used in advance soil modelling, shear wave velocity, can be obtained via simple, fast, and cheap experiments such as characterisation and standard penetration tests. It is evidential from the results that regression analysis of shear wave velocity verses plasticity index has high regression factor where such relationship shows strong mechanical link between those parameters.

Keywords: MASW, plasticity index, standart penetration, regression, shear wave velocity.

1. Giriş

Zemin dinamik özellikleri yerinde sismik çalışmalar sonucunda elde edilen kayma dalgası hızı ile doğrudan hesaplanabilir. Kayma dalgası hızlarını (V_s) ölçmek için birçok sismik test tekniği geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri, Park ve diğ (1999) tarafından geliştirilen Çok Kanallı Yüzeysel Dalgası Analizi Yöntemi'dir (ÇKYDA). ÇKYDA yöntemi, Yüzeysel Dalgası'nın Spektral Analizi (SASW) olarak bilinen önceki yöntemden geliştirilmiştir (Nazarian ve Stokoe, 1984). Bunun yanı sıra veri işlem sürecinde tutarlı bir şekilde düzgün bir dağılım (dispersiyon) eğrisi oluşturularak en uygun yer modeli tasarlanabilir (Park et al, 1998, 2001; Ryden et al, 2004).

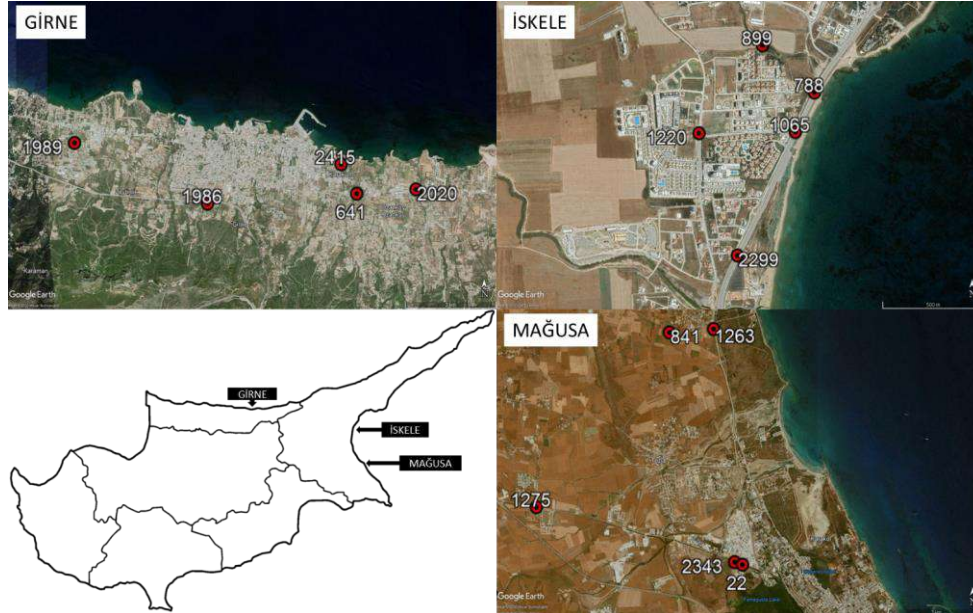
Genel bir ifade ile, yüzey altı yapısını, durumunu düşey ve yanal olarak nitelendirmek için bir boyutlu (1B) ve iki boyutlu (2B) yer modelleri üretilebilir (Xia ve diğ., 2000). Bu teknik tahribatsız ve uygulaması kolay olduğundan jeofizik mühendisleri ile uyum içerisinde geoteknik mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Birçok araştırmacı (Kılıç, 1995; Chrzan 1997; Boadu 2000; Kahraman 2001, Fener ve diğ, 2003) laboratuvarında kaya ve zemin özellikleri ile kayma dalgası hızı arasındaki ilişkileri araştırarak sismik kayma dalgası hızı'nın kaya ve zemin özellikleri ile yakından ilişkili olduğunu belirtmektedir.

Yerinde (in situ) ölçülen kayma dalgası hızı (V_s) değerleri, kesme ve basınç kuvvetleri'ni, boşluk oranı dağılımını, efektif sınırlı gerilmeleri (effective confining stress), gerilme geçmişi ve jeolojik yaş gibi gerçek zemin durumu parametreleri temsil edilebilir ve tam olarak yansıtır (Tezcan, 2006; Tezcan vd. 2006).

Bir diğer çalışmada sismik P dalgası hızı ile likit limit değerleri arasında, plastik limit ve plastisite indeksi ve kütle yoğunluğu arasında oldukça iyi bir korelasyon bulunduğu belirtilmektedir. Ayrıca yine bu çalışmada zeminin fiziksel özelliklerine karşı P dalgası hızının su içeriğine benzer sonuçları da elde edilmiştir. (Kurtulus, vd. 2010). Ampirik ilişkiler kullanılarak SPT-N verilerinden hesaplanan V_{s30} 'daki belirsizlikler, in situ olarak elde edilen V_{s30} ölçümleri ile ilgili belirsizlikten çok daha büyük olarak ifade edilmektedir (Brandenberg, vd. 2010).

Bu çalışmada, Kuzey Kıbrıs'ın farklı noktalarında killi ve siltli zeminlerde yapılan sondajlarda uygulanan standart penetrasyon deneyi (SPT) ile hesaplanan SPT-N değerleri ve bu numuneler üzerinde ölçülen plastisite indisi (I_p) değerleri ile bu sondaj noktalarına yakın ÇKYDA yöntemi sonucunda elde edilen V_s hızları ilişkilendirilmiş ve regresyon analizi kullanılarak tahmin denklemleri geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda I_p değerleri ile V_s değerleri arasında ters orantılı bir ilişki gözlenirken, SPT-N değerleri ile V_s değerleri arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen SPT ve ÇKYDA lokasyonları

Tablo 1. Düzeltilmemiş SPT-N ve Kayma Dalgası Hızı (V_s) arasında önerilen ampirik ilişkiler (Ataee ve diğ., 2018).

No	Yazar	Ülke	Tüm Zemin Türlei	Çakıl	Kum	Kil
1	Ohba ve Toriuma (1970)	Japonya	$V_s = 85.34N_{0.31}$			
2	Shibata (1970)	Japonya			$V_s = 31.7N^{0.5}$	
3	Ohta vd.. (1972)	Japonya			$V_s = 87.2N^{0.36}$	
4	Ohsaki ve Iwasaki (1973)	Japonya	$V_s = 81.38N_{0.39}$		$V_s = 59.4N^{0.47}$	
5	Imai (1977)	Japonya	$V_s = 91N_{0.337}$		$V_s = 80.6N^{0.331}$	$V_s = 80.2N^{0.292}$
6	Ohta ve Goto (1978)	Japonya	$V_s = 85.35N_{0.348}$			
7	Seed ve Idriss (1981)	ABD	$V_s = 61N^{0.5}$			
8	Imai ve Tonouchi (1982)	Japonya	$V_s = 97N^{0.314}$			
9	Seed vd.. (1983)	ABD			$V_s = 56.4N^{0.5}$	
10	Sykora ve Stokoe (1983)	ABD			$V_s = 100.5N^{0.29}$	
11	Lee (1990)	Tayvan			$V_s = 57.4N^{0.49}$	$V_s = 114.43N^{0.31}$
12	Lee (1992)	Tayvan	$V_s = 76.2N_{0.24}$			$V_s = 138.4(N+1)^{0.242}$
13	Pitilakis vd. (1992)	Yunanistan			$V_s = 162N^{0.17}$	
14	Athanasopoulos (1995)	Yunanistan	$V_s = 107.6N_{0.36}$			$V_s = 76.55N^{0.445}$
15	Raptakis vd.(1995)	Yunanistan		$V_s = 192.4 N^{0.130}$		
16	Kanai (1966)	Japonya	$V_s = 19N^{0.6}$			
17	Iyisan (1996)	Türkiye	$V_s = 51.5N_{0.516}$			
18	Jafari et al. (1997)	Iran	$V_s = 22N^{0.85}$			
19	Kiku et al. (2001)	Japonya	$V_s = 68.3N_{0.292}$			
20	Jafari et al. (2002)	Iran				$V_s = 27N^{0.73}$
21	Hasancebi and Ulusay (2007)	Türkiye	$V_s = 90N_{0.309}$		$V_s = 90.82N^{0.319}$	$V_s = 97.89N^{0.269}$
22	Dikmen (2009)	Türkiye	$V_s = 58N^{0.39}$		$V_s = 73N^{0.33}$	$V_s = 44N^{0.48}$
23	Maheshwari et al. (2010)	Hindistan	$V_s = 95.64N_{0.301}$		$V_s = 100.53N^{0.265}$	$V_s = 89.31N^{0.358}$
24	Hafezi Moghaddaset al. (2010)	Iran	$V_s = 99N^{0.53}$		$V_s = 80N^{0.58}$	$V_s = 45N^{0.72}$
25	Chatterjee and Choudhury (2013)	Hindistan	$V_s = 78.21N_{0.38}$		$V_s = 54.82N_{0.53}$	$V_s = 77.11N^{0.39}$

killerin drenajsız kesme dayanımı ve kumların elastisite modülü gibi parametreler de dolaylı olarak belirlenebilmektedir.

Çalışma kapsamında Şekil 1' de görülen KKTC' nin problemlili zeminlere sahip Girne, İskele ve Mağusa bölgelerinde 15 farklı çalışma noktasında 45 sondaj noktası kullanılmıştır. Bahse konu noktalardan jeolojik tanımı ASTM D2487-17e1 standardına göre kil olarak belirlenmiş katmanlarda gözlemlenen ortalama düzeltilmemiş N değerleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde ASTM D1586 / D1586M-18 standartları takip edilmiştir. Darbe sayısı (N- değeri) ile zeminlerin mühendislik özellikleri arasında mühendislik uygulamaları amaçları için ilişki kuran birçok yerel ve yaygın olarak yayınlanan uluslararası korelasyon, mevcuttur (Tablo 1).

2.2. Kıvam Limitleri

Atterberg limitleri olarak bilinen plastik limit (PL) ve likit limit (LL) değerleri zeminlerin davranışlarını tanımlamada kullanılan belli başlı elde edilmesi hızlı ve basit

2. Yöntemler

2.1. Standart penetrasyon deneyi

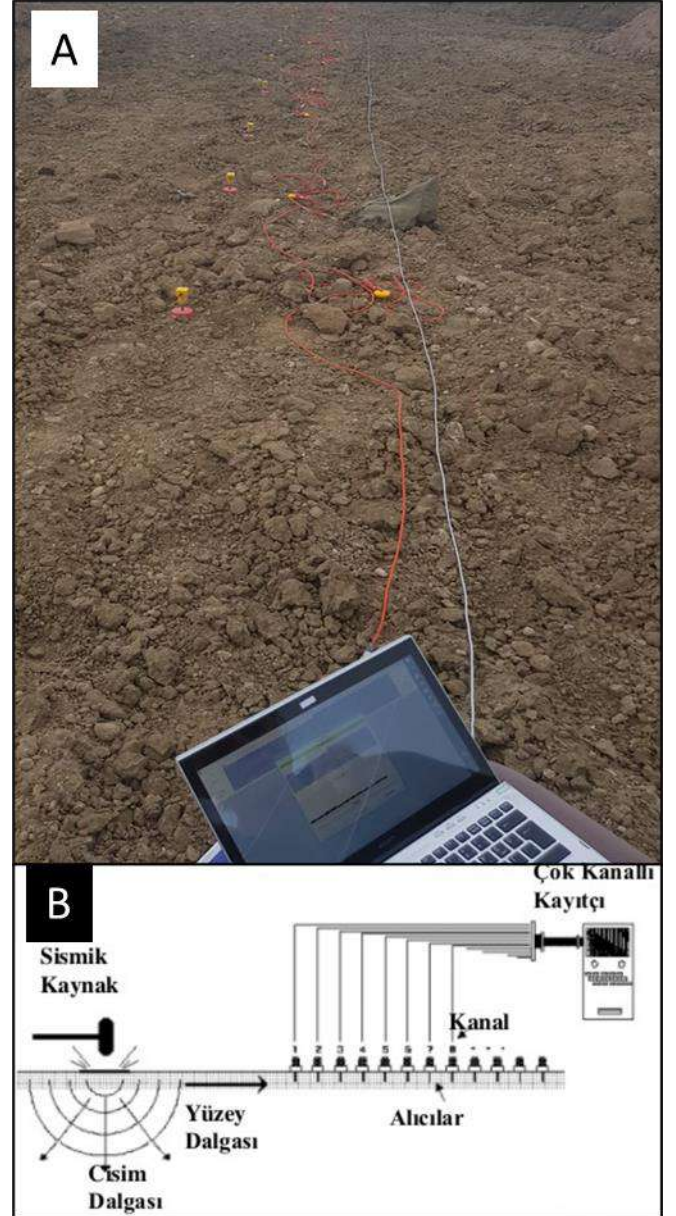
Standart penetrasyon deneyi (SPT), zeminin mühendislik özellikleri hakkında bilgi vermek için tasarlanmış sahada gerçekleştirilen ve dünya genelinde Zemin etüd çalışmalarının %80 inde kullanılan penetrasyon testidir. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde standart ve klasik örnekleyicilerle örselenmemiş örnek almak hemen hemen olanaksız olduğu için, bu tür zeminlerin mühendislik özellikleri laboratuvar deneyleriyle belirlenmemekte, dolayısıyla bu tür zeminlerde arazi deneyleri çoğu kez tercih edilmektedir. Zemin araştırmalarında sondaj kuyusu içinde yapılan zemin mühendislik özellikleri ile ilgili veri elde edilmektedir. Bunun yanı sıra, deneyde örnekleme tüpüyle alınan örselenmiş örnekler üzerinde laboratuvarda yapılan kıvam limit deneylerin sonuçları zemin tanımlaması ve sınıflamasında kullanılmaktadır. Standart Penetrasyon deneyinden elde edilen veriler ile kumların içsel sürtünme açısı,

parametrelerdendir. İnce daneli zeminler su içeriğine göre farklı davranışlar gösterir ve Atterberg limitleri zeminlerin su tutma derecelerine göre tanımlanırlar. PL zeminin plastik gibi davranmaya başladığı sınırı ve LL zemin içerisindeki su içeriğinin artması sonucu plastik durumdan likit duruma geçiş noktasını tanımlar. Ip değeri ise LL ve PL değerlerin farkı olarak tanımlanır. Atterberg limitleri taşıma kapasitesi (Chik ve diğ., 2010) ve kayma mukavemeti (Saikia ve diğ., 2017) gibi inşaat mühendisliğinde kullanılan parametreler için önemli değerlerdir. Çalışma kapsamında ASTM D4318-17e1 standartlarına göre belirlenen Ip değerleri, gerçekleştirilen standart penetrasyon deneyleri esnasında elde edilen örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan Atterberg limit deneyleri vasıtası ile belirlenmiştir.

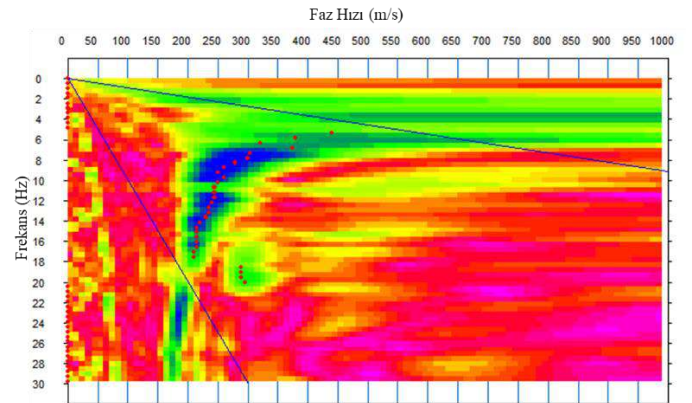
2.3. ÇKYDA Yöntemi

ÇKYDA, yüzey dalgalarından zeminlerin Kayma Dalgası Hızı'nı (V_s) hesaplamak için kullanılan çok kanallı sismik yöntemlerden biridir (Şekil 2). Yeraltı katmanlarını görüntülemek için Rayleigh dalgalarının dağıtıcı (dispersiyon) özelliklerini yani farklı faz hızlarına karşı gelen frekanslardaki temel mod kullanılır. ÇKYDA yönteminde, yüzey dalgaları balyoz gibi bir darbe kaynağı ile oluşturulur (Park ve diğ., 1999). Çalışmada düşey yönlü 4.5 Hz jeofonlu 12 kanallı Sara DOREMİ kayıtçı sistemi kullanılmıştır. Sismik dalgalar bir balyoz ile oluşturulan anlık vuruşlar ile üretilmiştir. Kayıtçı sismograf ile alınan kayıtların veri işlem aşaması üç adımdan oluşmaktadır. Birincisi çok kanallı jeofonlar ile alınan ham verinin hazırlanması, ikincisi dispersiyon eğrisinin analizi ve üçüncüsü en küçük kareler tekniği ile ters çözüm işlemidir. ÇKYDA çalışmaları toplam 17 farklı noktada yapılmıştır. Buna göre jeofon aralıkları 5 metre, offset uzunlukları $-/+15$, $-/+10$ ve $-/+5$ m olacak şekilde baş orta ve son atış dizilimi olarak her noktada toplam 3 yığma yapılarak gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak serim uzunluğu 60 metre ve jeofon sayısı 12 adet olarak belirlenmiştir. Bu çalışmalarda SARA DoReMi cihazı kullanılmıştır. Kayıt süresi 2 sn, örnekleme aralığı 500 Hz (2 ms) olarak ayarlanmıştır.

ÇKYD yöntemi veri değerlendirmesi, bir mühendislik standardı olan SEG-2 formatındaki sismik arazi kaydı dosyası ile başlar. İkinci adımda, tüm kayıtların, kaynak ve alıcı ayarlaması yapılır. Temel İşlem olarak ifade edilen üçüncü adımda; dispersiyon görüntüsü üzerine işaretleme yapılır ve ters çözüm işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında amaçlanan, dispersiyon eğrisinden yararlanılarak 1 Boyutlu (1B) ortama ait tabaka parametrelerini elde etmektir (Şekil 3). Ters çözüm işlemi basit olarak, bir veya daha fazla dispersiyon eğrisinin, bir sonraki aşamadaki teorik dispersiyon eğrisi denklemleri ile ölçülen eğrinin uyumunu sağlamak ve uygun bir katman (kayma hızı, V_s) modeli bulmaktır. Genellikle hesaplanan temel mod eğrisi (M_0) olur. Yüzey dalgaları, yarı-sonsuz, homojen ve tekdüze ortamda, yüzeyden itibaren frekansa bağlı hız değişimi gösterirler. Bu hız değişiminde dalgaların farklı faz hızları ile yayılmasına dispersiyon denir (Richards ve Aki,1980).



Şekil 2. Çok-kanallı Yüzey Dalgası (ÇKYDA) veri toplama düzenekleri A) saha uygulaması, B) şematik anlatımı (Pamuk ve diğ., 2015)



Şekil 3. Arazi kayıtlarından örnek bir dispersiyon eğrisi görüntüsü ve ters çözüm işlemi.

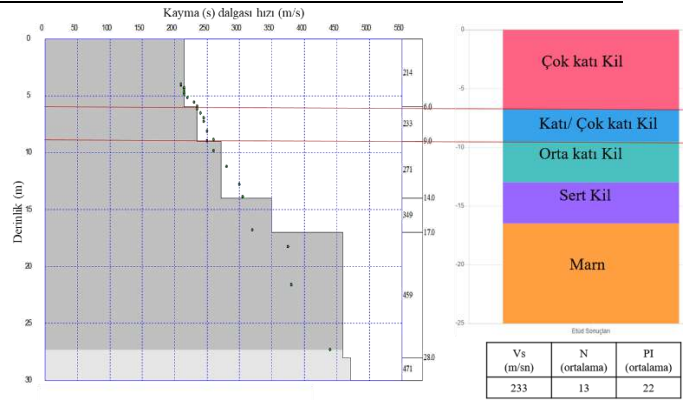
Tablo 2. Bölgelere göre çalışma yapılan noktalarından elde edilen kayma dalga hızı, ortalama darbe sayısı ve ortalama plastisite indisi.

KTMMOB IMO Sondaj No*	Sondaj Adet	Bölge	Yüzey Jeolojisi**	Vs (m/s)	N ortalama	PI ortalama
641	2	Girne	Q4a - Denizel Seki	233	13	22
1989	2	Girne	Q4a - Denizel Seki	257	56	18
2415	4	Girne	Q4a - Denizel Seki	201	19	23
1986	2	Girne	Q4a - Denizel Seki	318	54	19
2020	4	Girne	Q4a - Denizel Seki	297	17	21
2299	3	İskele	Q4b - Karasal Seki	140	12	33
788	4	İskele	Q4b - Karasal Seki	200	15	27
1065	3	İskele	Q4b - Karasal Seki	140	12	33
899	3	İskele	Q4b - Karasal Seki	178	12	33
1220	1	İskele	Q4b - Karasal Seki	147	12	30
22	4	Mağusa	Q4b - Karasal Seki	111	2	46
2343	4	Mağusa	Q4b - Karasal Seki	114	7	37
841	4	Mağusa	Q3b - Karasal Seki	450	58	12
1263	3	Mağusa	Q3b - Karasal Seki	402	43	16
1275	2	Mağusa	Q4b - Karasal Seki	145	13	30
15	45	Toplam				

* Kıbrıs Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği İnşaat Mühendisleri Odası Zemin Katman Veritabanı.

** (Hakyemez ve diğ., 2000).

Dispersiyon analizi, iki adımdan oluşur. İlk adımda, iki boyutlu (zaman ve uzay) bir dalga alanı dönüşüm yöntemi kullanılarak kodlanmış kaynak / alıcı (SR) kurulumuna sahip sismik alan kaydından dispersiyon görüntüsü oluşturulur. İkinci adımda, görüntüden bir temel mod (M0) dispersiyon eğrisi çıkarılır. Bu çıkarılan eğri, bir sonraki veri analizi adımında (ters çözüm) giriş verisi olan "ölçülen" dispersiyon eğrisi olarak adlandırılır. Katmanlı yer modeli, boyuna dalga hızı (Vp), Kayma dalga hızı (Vs) ve tabaka yoğunluğu (ρ) parametrelerini ifade eder. Bu parametreler arasında en çok kullanılan, genellikle yüzey dalgası verilerinin ters çözümünden tahmin edilen Kayma (S) dalgası hızıdır. Bunun nedeni, ters çözüm için kullanılan veri tipinin, şekli çoğunlukla yeryüzünün Vs yapısı tarafından belirlendiği temel mod (M0) dispersiyon eğrisi olmasıdır. Sonuç olarak, yüzey dalgasının veri işlemi, M0 eğrisinin oluşturulması ve daha sonra teorik M0 eğrisi ile oluşturulan (deneysel veya ölçülen) M0 eğrisinin en yakın eşleşme eğrisinden yeryüzü Vs yapısının bulunması işlemidir. Son adım olan dördüncü adımda ise yeraltındaki formasyonları temsil eden en uygun yer yapı kesitleri derinlik ve hıza bağlı olarak 1B ve 2B olarak elde edilir (Şekil 4).



Şekil 4. Hesaplanan yer kesiti ile başlangıç yer modeli örneğinin karşılaştırılması

3. Değerlendirme

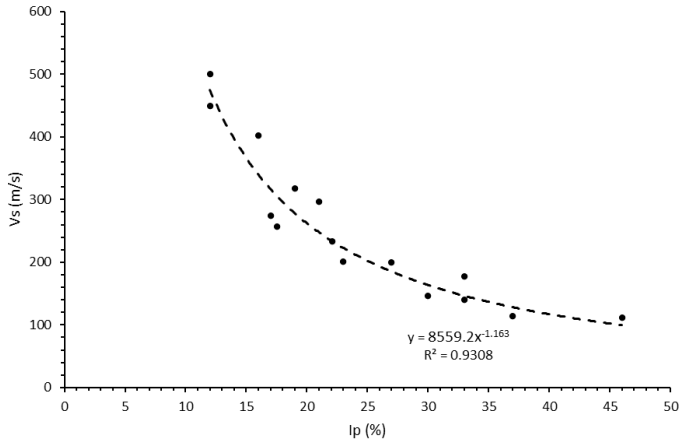
Bu çalışmada, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ile hesaplanan düzeltilmemiş SPT-N değerleri ve örselenmemiş numuneler vasıtası ile belirlenen Plastisite İndisi (Ip) değerleri karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte yine çalışma kapsamında değerlendirilen sondaj noktalarına yakın istasyonlarda ÇKYDA yöntemi çalışmaları sonucunda elde edilen Vs hızları ile SPT- N ve Ip değerleri (Tablo 2) ilişkilendirilmiş ve regresyon analizi kullanılarak tahmin denklemleri geliştirilmiştir (Şekil 5 ve 6).

Şekil 5 de görüleceği üzere çalışılan Kayma dalgası hızları ile plastisite indisi arasında çok iyi yerleşen ve doğrusal olmayan regresyon eğrisi çizilebilmiştir ve bağıntı elde edilmiştir (Denklem 1).

$$V_s = 8559.2I_p^{-1.163} \quad (1)$$

Yüksek determinasyon katsayısına (R=0.93) sahiptir. Böylelikle görülmüştür ki killi zeminlerin plastisite indislerindeki düşüş kayma dalgası hızlarını artırmaktadır. Yine bilinmektedir ki düşük plastisite indisine sahip zemine genellikle silt içeriği yüksek killerden oluşmaktadır. Bu kavramda düşük plastisiteli zeminlerdeki kayma dalgasındaki artışı açıklamaktadır. Yine bilindiği üzere killi zeminlerin enerji emme kapasitelerinin yüksek oluşu gözlemlenen bağıntının doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Geliştirilen denklemlerin doğruluğunun kanıtlanması amacı ile benzer yöntemler ancak farklı jeofizik mühendisi, jeoloji mühendisi ve farklı sahalarda elde edilen değerler kullanılarak denklem teyit edilmiştir. Kuzey Kıbrısın Girne bölgesinde yapılan bir çalışmada gözlemlenen killi katmanın I_p değeri 17.68 iken V_s değeri 327m/s olarak gözlemlenmiştir. Geliştirilen denklem kullanıldığı zaman ve elde edilen I_p değeri denkleme yerleştirildiği zaman V_s değeri 303m/s olarak korele edilmiştir. Bağıntı kurulan değer Şekil 5'e yerleştirildiği zaman geliştirilen denklemin plastisite indisleri vasıtası ile kayma dalga hızlarının korelasyonunda etkili şekilde kullanılabileceği görülmektedir.

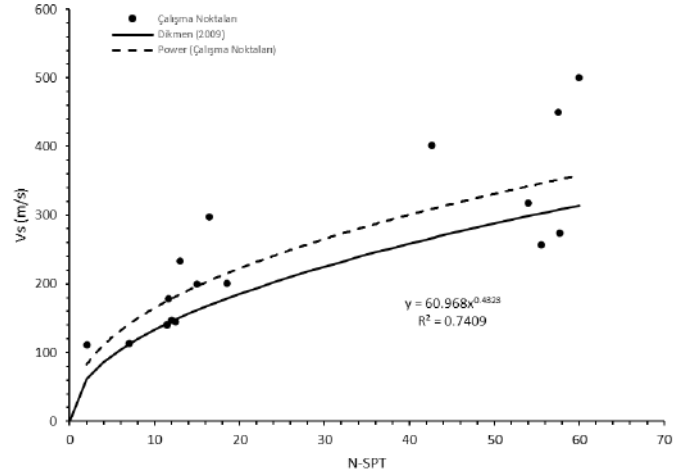


Şekil 5. Kayma Dalgası Hızı (V_s) ve Plastisite İndisi (I_p) İlişkisi

Şekil 6 de görüleceği üzere standart penetrasyon çalışmaları sonucu sahadan N-SPT değerleri ile ÇKYDA çalışmaları sonucunda elde edilen kayma dalga hızları arasında iyi yerleşen ve doğrusal olmayan regresyon eğrisi çizilmiştir ve bağıntı elde edilmiştir (Denklem 2).

$$V_s = 60.97N^{0.432} \quad (2)$$

Orta derecede determinasyon katsayısına (R=0.74) sahiptir. Bahse konu saha çalışmalarındaki koşullar göz önünde bulundurulduğu zaman elde edilen determinasyon kat sayısının elde edilen denklemin uygulanabilir olduğuna işaret etmektedir. Yine Tablo 1 de birçok farklı araştırmacı tarafından killi zeminler için elde edilen denklemler ile kıyaslama yapıldığı zaman özellikle benzer jeolojik yapıya sahip ve yakın coğrafyadan zeminler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen Dikmen (2009) denklemi ile bu çalışmada elde edilen denklemin yakınlık gösterdiği görülmektedir.



Şekil 6. Kayma Dalgası Hızı (V_s) ve SPT-N İlişkisi

4. Sonuç

Killi zeminlerde ÇKYDA ile elde edilen kayma dalgası hızı ile plastisite indisi ve SPT-N korelasyonu çalışmaları neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında değerlendirilen sondaj noktalarına yakın istasyonlarda ÇKYDA yöntemi çalışmaları sonucunda elde edilen kayma dalgası hızları ile plastisite indisi ve standart penetrasyon darbe sayısı değerleri arasında denklem geliştirilmiştir. Bu kapsamda killi zeminlerin plastisite indisi ile kayma dalgası hızı arasında gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucunda yüksek determinasyon katsayısına (R=0.93) sahip olduğu ve bahse konu parametreler arasında güçlü mekaniksel bağ olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bağıntı basit, kolay ve hızlıdney yöntemi olan plastisite indisinin elde edilmesi neticesinde, killi zeminlerin kayma dalga hızlarının kolaylıkla elde edilebileceği görülmüştür. Bahse konu parametrenin kolaylıkla elde edilmesi gerçekleştirilecek olan geoteknik tasarımlarda tasarımcının zemin modelini oluşturmasında son derece önemli veriler elde etmesine yarayacaktır.

Çalışma kapsamında yapılan bir diğer değerlendirmede ise standart penetrasyon darbe sayısı ile kayma dalga hızları arasında iyi yerleşen ve doğrusal olmayan regresyon eğrisi çizilmiştir ve buna bağlı orta derecede determinasyon katsayısına (R=0.74) sahip bağıntı elde edilmiştir.

Geoteknik alanında yapılan tüm çalışmalar disiplinler arası çalışmalar gerektirmektedir. Yapılan korelasyon çalışmaları sırasında bazı noktalarda karşılaşılan sapmalar, plastisite indisi ve SPT-N testleri sırasında yapılmış olabilecek insan kaynaklı hatalar olabileceği gibi, ÇKYDA ölçüsü sırasında yaşanan çevresel gürültülerden de kaynaklanabilir. Benzer karşılaştırmaların artırılması, her meslek disiplininin sağladığı verilerin gözden geçirilmesini ve zemin hakkında daha doğru sonuçlara ulaşılabilesini sağlamaktadır. Benzer çalışmanın kil silt yüzdelere karşılık kayma dalgası hızı arasında yapılması tavsiye edilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi süresince gösterdikleri destek ve yardımlardan dolayı GEOTEAM Mühendislik Ltd ve CERBERUS Geophysics' deki meslektaşlarımıza çok teşekkür ederiz.

Kaynakça

- ASTM D2487-17e1. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System); ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2017.
- ASTM D1586 / D1586M-18, Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org
- ASTM D4318-17e1. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2017.
- Ataee, O., Moghaddas, N. H., & Lashkaripour, G. R. (2019) Estimating shear wave velocity of soil using standard penetration test (SPT) blow counts in Mashhad city. *Journal of Earth System Science*, 128(3). doi: 10.1007/s12040-019-1077-x
- Athanasopoulos, G.A. (1995). Empirical correlations V_s -NSPT for soils of Greece: a comparative study of reliability. In: Cakmak AS, Brebbia CA, editors. *Proceedings of seventh international conference on soil dynamics and earthquake engineering*, Chania, Crete, Greece. South-ampton: Computational Mechanics Publications, 1995, pp. 19-26.
- Boadu, F.K. (2000). Predicting the transport properties of fractured rocks from seismic information: numerical experiments. *Journal of Applied Geophysics*, 44: 103–113.
- Brandenberg, S. J., Bellana, N., & Shantz, T. (2010). Shear wave velocity as function of standard penetration test resistance and vertical effective stress at California bridge sites. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(10), 1026-1035.
- Chatterjee, K., & Choudhury, D. (2013). Variations in shear wave velocity and soil site class in Kolkata city using regression and sensitivity analysis. *Natural hazards*, 69(3), 2057-2082.
- Chik, Z., Ariestianty, S. K., Rosyidi, S. A. P., Nayan, K. A. M., & Taha, M. (2010). Field Measurement of Dynamic Soil Properties of Tropical Meta-Sediment Residual Soils.
- Chrzan, T. (1997). The determination of rocks' mechanical properties with the use of ultrasounds. In *Mine Planning and Equipment Selection 1997: Proceedings of the 6th International Symposium*, Ostrava, Czech Republic, 3–9 September 1997. Edited by V. Strakos, V. Kebo, R. Farana, and L. Smutny. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands. pp. 315–318.
- Dikmen, Ü. (2009). Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6(1), 61-72.
- Fener, M., Kahraman, S., Bay, Y., & Gunaydin, O. (2005). Correlations between P-wave velocity and Atterberg limits of cohesive soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(2), 673–677. doi: 10.1139/t04-102.
- Hafezi Moghaddas N, Azadi A and Amanian M 2010 Assessment of shear wave velocity based on standard penetration and accuracy of the results in the range of

- Mashhad City; In: Fourteenth Conference of Iran Geophysics, Geophysical Institute (in Persian).
- Hakyemez, Y. H. (2014). Kuzey Kıbrıs'ın Temel Jeolojik Özellikleri. *TPJD Bülteni*, Cilt 26, Sayı 2, Sayfa 7-46, 2014.
- Hakyemez, Y.; Turhan, N.; Sönmez, İ.; Sümengen, M. (2000). Kuzey Kıbrıs'ın Jeolojik Özellikleri; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü: Ankara, Türkiye; yayınlanmamış rapor.
- Hasancebi, N., Ulusay, R. (2007) Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments. *Bull Eng Geol Environ* 66(2):203–213.
- Imai, T. (1977). P- and S-wave velocities of the ground in Japan; *Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. and Foundn. Engg.*, Tokyo, 257–260.
- Imai, T. (1982). Correlation of N value with S-wave velocity and shear modulus.
- Iyisan R (1996). Correlations between shear wave velocity and in situ penetration test results. *Chamber of civil engineers of Turkey. Teknik Dergi* 7(2):1187–1199.
- Jafari M. K., Asghari A. and Rahmani I. (1997). Empirical correlation between shear wave velocity (V_s) and SPT-N value for south of Tehran soils *Proc. 4th Int. Conf. on Civil Engineering (Tehran, Iran)* (in Persian).
- Jafari M.K., Shafiee A., Ramzkhah A. (2002). Dynamic properties of the fine grained soils in South of Tehran. *J Seismol. Earthq Eng* 4(1):25–35.
- Kanai K (1966). Conference on cone penetrometer. The Ministry of Public Works and Settlement, Ankara, Turkey.
- Kahraman, S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38: 981–994.
- Kıbrıs Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği İnşaat Mühendisleri Odası (Zemin Katman Veritabanı). Online: <https://www.ktimo.org/Zemin> (ziyaret tarihi 12 Eylül 2020).
- Kiku H, Yoshida N, Yasuda S, Irisawa T, Nakazawa H, Shimizu Y, Ansal A, Erkan A (2001). In situ penetration tests and soil profiling in Adapazari, Turkey. *Proceedings of the ICSMGE/TC4 satellite conference on lessons learned from recent strong earthquakes*, pp 259–265.
- Kilic, R. (1995). Geomechanical properties of the ophiolites (Cankiri/Turkey) and alteration degree of diabase. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 51: 64–69.
- Kurtulus, C., Sertcelik, F., Canbay, M. M., & Sertcelik, I. (2010). Estimation of Atterberg limits and bulk mass density of an expansive soil from P-wave velocity measurements. *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, 69(1), 153-154.
- Lee, S. H. H. (1990). Regression models of shear wave velocities in Taipei basin. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 13(5), 519-532.
- Lee, S. H. H. (1992). Analysis of the multicollinearity of regression equations of shear wave velocities. *Soils and foundations*, 32(1), 205-214.
- Madun, A., Ahmad Supa'at, M. E., Ahmad Tajuddin, S. A., Zainalabidin, M. H., Sani, S., & Yusof, M. F. (2016). Soil investigation using multichannel analysis of surface wave (MASW) and borehole. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(6), 3759-3763.
- Maheswari, R. U., Boominathan, A., & Dodagoudar, G. R. (2010). Seismic site classification and site period mapping

- of Chennai City using geophysical and geotechnical data. *Journal of Applied Geophysics*, 72(3), 152-168.
- Martínez-Pagán, P., Navarro, M., Pérez-Cuevas, J., Alcalá, F. J., García-Jerez, A., & Rancisco Vidal, F. (2018). Shear-wave velocity structure from MASW and SPAC methods: The case of Adra town, SE Spain. *Near Surface Geophysics*, 16(3), 356-371.
- Nazarian, S., & Stokoe, K. H. (1989). Nondestructive evaluation of pavements by surface wave method. In *Nondestructive testing of pavements and backcalculation of moduli*. ASTM International.
- Nazarian, S. And Stokoe Ii, K. H. (1984). In-situ shear wave velocity from spectral analysis of surface waves. *Proc. 8th World Conf On Earthquake Engineering*, 3, pp 31-38.
- Ohba, S., & Toriuma, I. (1970). Research on vibrational characteristics of soil deposits in Osaka, Part 2, on velocities of wave propagation and predominant periods of soil deposits. In technical meeting of Architectural Institute of Japan.
- Ohsaki, Y., & Iwasaki, R. (1973). On dynamic shear moduli and Poisson's ratios of soil deposits. *Soils and Foundations*, 13(4), 61-73.
- Ohta, H. (1972). Analysis of deformations of soils based on the theory of plasticity and its application to settlement of embankments.
- Ohta, Y., & Goto, N. (1978). Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 6(2), 167-187.
- Pamuk E., Doğru, F., and Dindar, H. (2015). Yüzey Dalgası Dispersiyon Verisinin Ardışık Ters Çözümü. *Yerbilimleri Dergisi*, 36(1), 1-18.
- Pamuk, E., Özdağ, Ö. C., & Akgün, M. (2019). Soil characterization of Bornova Plain (Izmir, Turkey) and its surroundings using a combined survey of MASW and ReMi methods and Nakamura's (HVSr) technique. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(4), 3023-3035.
- Pamuk, E., Özdağ, Ö. C., Tunçel, A., Özyalın, Ş., & Akgün, M. (2018). Local site effects evaluation for Aliğa/Izmir using HVSr (Nakamura technique) and MASW methods. *Natural Hazards*, 90(2), 887-899.
- Park, C.B., R.D. Miller and J. Xia (1998), "Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record": [Expanded Abstract]: *Soc. Explor. Geophys.*, pp. 1377-1380.
- Park, C.B., R.D. Miller and J. Xia (1999), "Multi-channel analysis of surface waves (MASW)", *Geophysics*, Vol.64, 3, pp. 800-808.
- Park, C.B., R.D. Miller and J. Xia (2001), "Offset and resolution of dispersion curve in multichannel analysis of surface waves (MSW)", *Proceedings of the SAGEEP 2001*, Denver, Colorado, SSM-4.
- Pitilakis, K. D., Anastasiadis, A., & Raptakis, D. (1992). Field and laboratory determination of dynamic properties of natural soil deposits. In *Proceedings of the 10th world conference on earthquake engineering* (Vol. 5, pp. 1275-1280).
- Rahman, M. Z., Kamal, A. M., & Siddiqua, S. (2018). Near-surface shear wave velocity estimation and V s 30 mapping for Dhaka City, Bangladesh. *Natural Hazards*, 92(3), 1687-1715.
- Raptakis, D. (1995). Contribution to the determination of the geometry and the dynamic properties of soil formations and their seismic response (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis (in Greek), Dept. of Civil Eng., Aristotle Univ. of Thessaloniki).
- Richards, P. G., & Aki, K. (1980). *Quantitative Seismology: Theory and Methods* (p. 13). Freeman.
- Ryden, N., Park, C. B., Ulriksen, P., & Miller, R. D. (2004). Multimodal Approach to Seismic Pavement Testing. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(6), 636-645. doi: 10.1061/(asce)1090-0241(2004)130:6(636)
- Saikia, A., Baruah, D., Das, K., Rabha, H. J., Dutta, A., Saharia, A. (2017). Predicting Compaction Characteristics of Fine-Grained Soils in Terms of Atterberg Limits. *Int. J. of Geosynth. and Ground Eng.* 3, 18. <https://doi.org/10.1007/s40891-017-0096-4>
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1981). Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes. In *ASCE national convention (MO)* (pp. 481-544).
- Seed, H. B., Idriss, I. M. and Arango, I. (1983). Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 109, No. GT3, pp 458-482
- Shibata, T. (1970). The relationship between the N-value and S-wave velocity in the soil layer. *Disaster Prevention Research Laboratory, Kyoto University, Kyoto, Japan*.
- Tezcan, S., Keçeli, A., Özdemir, Z. (2006). Kayma Dalgası Hızı Yardımı ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayini. *Şantiye (İnşaat, Makine ve Mimarlık Dergisi)*, 214, 102-105.
- Tezcan, S., Özdemir, Z. (2006). Sismik Yöntem ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayininde Temel Boyutları. *Şantiye (İnşaat, Makine ve Mimarlık Dergisi)*, 217,106-108
- Xia, J., Miller, R.D., Park C.B. & Ivanov, J. (2000). "Construction of 2-D vertical shear-wave velocity field by the multichannel analysis of surface wave technique",



Birliktelik Kural Analizi Tabanlı İzleme ve Bayes Ağları ile Operasyonel Teknoloji Sistemlerinde Siber Güvenlik Analizi

Volkan Altuntaş^{1*}

^{1*} Bursa Teknik Üniversitesi, Rektörlük, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3144-8724), volkan.altuntas@btu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 15 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.800954)

ATIF/REFERENCE: Altuntas, V. (2020). Birliktelik Kural Analizi Tabanlı İzleme ve Bayes Ağları ile Operasyonel Teknoloji Sistemlerinde Siber Güvenlik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 498-505.

Öz

Artan teknoloji kullanımı ve sistemler arası entegrasyonun getirdiği kullanım kolaylığına ek olarak oluşan güvenlik açıkları günümüzde siber güvenliğin önemini artırmaktadır. Hükümetler, askeri, kurumsal, finans veya tıbbi kuruluşlar güvenlik tehdidi altında bulunmaktadır. Yaygınlaşan teknolojiyle beraber güvenli olmayan bilgisayar sistemleri, yıkıcı kesintilere, hassas bilgilerin ifşasına ve sahtekârlıklara yol açabilir. Endüstriyel varlıkların izlendiği ve kontrol edildiği sistemler Operasyonel Teknoloji (OT) olarak adlandırılır. Denetleyici Kontrol (PLC) ve Veri Toplama (SCADA) sistemleri OT sistem örneklerindedir. Bu sistemlere yapılan saldırılar, hayati önem taşıyan temel hizmetlerin sunulmasını engelleyebilir, ciddi ekonomik veya sosyal sonuçlara yol açabilir. Yapılarına güvenlik mekanizmalarının uygulanamayışı veya sahip oldukları eski bilişim teknolojilerinin yenilememesi sebepleri ile OT sistemler siber saldırılara karşı en savunmasız sistemlerdir. Bu çalışma kapsamında OT sistemleri için saldırı tespit ve uyarı sistemi geliştirilmiştir. OT sistemlerin mevcut durumu göz önüne alınarak tasarlanan sistem, veri erişimini OPC sunucu üzerinden yapmakta ve bu sayede tüm OT sistemlerine minimum değişiklik ile bağlantı sağlayabilecek yapıdadır. OT sistemde meydana gelen işlemlerin algılanması ve analiz edilebilmesi için birliktelik analizi tabanlı aktivite kayıt oluşturma algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma ile OT süreç bilgisi olmadan tüm aktivitelerin yorumlanabilmesine olanak sağlanmıştır. Oluşan aktivite bilgilerinin analizi için Bayes ağ tabanlı bir öğrenme sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem sayesinde elde edilen kayıtlardan Bayes ağları oluşturulmakta, sistem çalışma anında oluşan tüm aktiviteler değerlendirilerek olasılıklarına göre “Güvenli”, “Riskli” ve “Siber Saldırı” olarak gruplandırılmakta ve OT yetkililerine sunulmaktadır. Önerilen sistem her tür OT aktivitesine adapte olabilecek yapıdadır. Sistem mimari yapısı gereği sadece siber saldırı kategorisindeki işlemleri tespit etmekte kalmayıp sistemde yetkili kişilerin hatalı yada kasıtlı müdahale veya program değişimlerini de algılayabilmektedir. Deneysel çalışmalarımız OT sisteme yapılan her türlü saldırının tespit edilebildiğini göstermektedir. Bu çalışma OT davranışlarının modellenerek öğrenildiği ve anormal davranışların tespit edilerek siber saldırıların tespit edildiği ilk çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: Siber Güvenlik, Operasyonel Teknolojiler, Akıllı Sistemler, Makine Öğrenmesi.

Cyber Security Analysis at Operational Technology Systems with Association Rule-Based Monitoring and Bayesian Networks

Abstract

In addition to the ease of use brought by the increasing use of technology and integration between systems, the resulting security vulnerabilities increase the importance of cybersecurity today. Governments, military, corporate, financial, or medical organizations are under security threats. With the spread of technology, unsafe computing systems can lead to devastating interruptions, sensitive information disclosure, and fraud. Systems in which industrial assets are monitored and controlled are called Operational Technology (OT). Supervisory Control (PLC) and Data Acquisition (SCADA) systems are examples of OT systems. Attacks on these systems can hinder the delivery of vital essential services and have serious economic or social consequences. OT systems are the most vulnerable systems against cyber-attacks since security mechanisms cannot be applied to their structures or the old information technologies they have are not renewed. Within the scope of this study, an intrusion detection and warning system has been developed for OT systems. The system, which is designed considering the current situation of OT systems, makes data access through the OPC server and thus, it

* Sorumlu Yazar: volkan.altuntas@btu.edu.tr

is in a structure that can provide a connection to all OT systems with minimum changes. To detect and analyze the transactions occurring in the OT system, an association analysis based activity record creation algorithm has been developed. With this developed algorithm, it is possible to interpret all activities without OT process knowledge. A Bayes network-based learning system was designed to analyze the activity information. Bayes networks are created from the records obtained through this system and all activities that occur during the system operation are evaluated, grouped as "Safe", "Risky" and "Cyber Attack" according to their probabilities and presented to OT officials. The proposed system is capable of adapting to all types of OT activities. Due to the architecture of the system, it not only detects transactions in the cyberattack category but also detects faulty or deliberate intervention or program changes by authorized persons in the system. Our experimental studies show that any attack on the OT system can be detected. This study is the first study in which OT behaviors are modeled and learned, and cyberattacks are detected by detecting abnormal behaviors.

Keywords: Cyber Security, Operational Technologies, Intelligent Systems, Machine Learning.

1. Giriş

Güvenli olmayan bilgisayar sistemleri, yıkıcı kesintilere, hassas bilgilerin ifşasına ve sahtekârlıklara yol açabilir. Bilgisayarları, ağları, programları ve verileri saldırılardan, yetkisiz erişim veya değişimlerden veya kullanım dışı kalmasından korumak için tasarlanmış teknolojiler ve süreçler kümesi Siber güvenlik olarak tanımlanır. Siber güvenlik sistemleri, ağ güvenlik sistemleri ve bilgisayar güvenlik sistemlerinden oluşur. Bu sistemler güvenlik duvarı, anti virüs yazılımı ve saldırı tespit sistemi içerebilir. Saldırı tespit sistemleri, bilgi sistemlerinin yetkisiz kullanımının, çoğaltılmasının, değiştirilmesinin ve imhasının tespit edilmesine, belirlenmesine ve tanımlanmasına yardımcı olur [1]. Güvenlik ihlalleri, kuruluş dışından gelen saldırılar ve kuruluş içinden saldırılar olarak ikiye ayrılabilir. Kötüye kullanım tabanlı, anormallik tabanlı ve karma olmak üzere saldırı tespit sistemlerinin kullandığı üç ana siber analiz türü vardır. Kötüye kullanıma dayalı teknikler, bu saldırıların imzalarını kullanarak bilinen saldırıları tespit etmek için tasarlanmıştır. Çok fazla sayıda yanlış alarm oluşturmadan bilinen saldırı türlerini tespit etmek için etkilidirler. Veri tabanının kurallar ve imzalarla sık sık manuel olarak güncellenmesini gerektirirler. Kötüye kullanıma dayalı teknikler sıfıncı gün saldırıları tespit edemez. Anormalliğe dayalı teknikler, normal ağ ve sistem davranışını modeller ve anormallikleri normal davranıştan sapmalar olarak tanımlar. Sıfıncı gün saldırılarını tespit etme kabiliyetleri nedeniyle önemlidir. Diğer bir avantaj, normal etkinlik profillerinin her sistem, uygulama veya ağ için özelleştirilmesidir. Bu nedenle saldırganların tespit edilmeden hangi etkinlikleri gerçekleştirebileceklerini bilmelerini zorlaştırır. Anormallik temelli tekniklerin oluşturduğu uyarılar yeni saldırı imzalarının oluşturulması için kullanılabilir. Anormalliğe dayalı tekniklerin temel dezavantajı, yüksek yanlış alarm oranlarıdır. Önceden görülmemiş tüm sistem davranışları anormallik olarak kategorize edilebilir. Hibrit teknikler, kötüye kullanım ve anormallik tespitini birleştirir. Bilinen izinsiz girişlerin tespit oranlarını artırmak ve bilinmeyen saldırılarında tespit edilmesine olanak tanımak için kullanılırlar [2].

Operasyonel Teknoloji (OT), endüstriyel proses varlıklarını ve endüstriyel ekipmanları izler ve yönetir. OT sistemleri bina, ulaşım, endüstri gibi sektörlerde elektrikle çalışan ekipmanlar kullanılmaya başlandığından buya yana var olduğu için Bilgi Teknolojisinden (BT) eskiye dayanmaktadır. Denetleyici Kontrol (PLC) ve Veri Toplama (SCADA) sistemleri OT sistem örneklerindedir. OT sistemler endüstriyel sektörlerdeki süreçleri kontrol eder [3]. Bu sektörler her ülke için kritik önemde olup, bu sistemlere yapılacak olası olası saldırılar, temel

hizmetlerin aksamasına, ciddi ekonomik veya sosyal sonuçlara yol açacak altyapı varlık kayıtlarına ya da can kayıplarına neden olur [4]. Günümüzde PLC ve SCADA sistemlerinin kullanılmadığı sektör yok denecek kadar az sayıdadır [5]. OT sistemlerin sorunsuz ve güvenilir çalışması, hem veri toplama hem de kontrolün kritik öneme sahip olduğu sektörler için hayati öneme sahiptir. OT sistemlerde yaşanan yaygın veya uzun süreli kesintiler sonuç olarak devlet ve toplumda ciddi rahatsızlıklara neden olabilir [6]. Bir SCADA sisteminin arızalanmasının sonuçları zararlı olabilir ve bir ekipmandan kaynaklanan mali kayıptan insan hayatının kaybına kadar çevresel hasara kadar değişebilir. Genel olarak güvenlik ve özellikle siber güvenlik OT sistemlerinin temel hedeflerinden değildir [7]. Güvenlik fiziksel yalıtım ve ürüne özel iletişim protokolleri ile sağlanmaktaydı. Yıllar boyunca OT sistem güvenliği kullanım şartları kaynaklı erişim kısıtları sebebi ile doğal olarak bulunmaktaydı. Son on yılda sanayinin dijital dönüşümü ile gerçekleşen yenilikler ile OT sistemler izole kullanım ortamlarını kaybetti ve siber güvenliğiyle ilgili bir dizi standart ve direktif ortaya çıktı. Günümüzde OT sistemler ileri teknoloji sistemlerine sahip olmasına karşın artan karmaşıklık, modernizasyon, gerçek zamanlı sürekli çalışma gereksinimi, dağıtılmış ve çok bileşenli mimari gibi sebepler ile OT sistemlere yönelik siber tehditler artmaya devam etmektedir.

İnternetin sürekli artan gücü, birden çok yerden eşzamanlı saldırıları kolaylaştırır. Bir saldırının en yüksek etkisi, bir saldırganın bir OT sisteminin denetleyici kontrol erişimine erişim kazanması ve felaketle sonuçlanabilecek hasarlara neden olabilecek kontrol eylemlerini başlatmasıdır [8]. Son zamanlarda standartlaştırılmış protokolleri kullanma eğilimi ile daha fazla yardımcı program, geniş alan iletişimi için İnternet protokolü IP tabanlı sisteme doğru ilerliyor. Bunun sonucu oluşan entegrasyon, beraberinde yeni güvenlik açıklarını getirmektedir. OT sistemlerinin internete bağlanmasıyla ilgili güvenlik açığı riskleri bilinmektedir [9]. İnternet üzerindeki iletişime artan bağımlılık, sorunun öneme ve büyüklüğüne katkıda bulunmuştur. OT sistemlerine ilişkin güvenlik bilinci ve personel eğitimi çok önemlidir [10]. Son araştırmalar, kasıtlı sabotajda içeren güvenlikte karşılıklı bağımlılık modellemesini, bilgi mimarisi ve iletişim etkileşimindeki iyileştirme gereksinimlerini ortaya koymaktadır [11].

Yaygın olan kapalı endüstriyel ortamda, teknolojinin gelişmesiyle ilgili önemli bilgiler ve patentler ticari markalar için gizli bilgi kategorisindedir. PLC ve SCADA'ların kullanılmaya başlanmasından bu yana satıcılar endüstriyel ortama hedefleyen kendi tescilli donanım ve yazılım çözümlerini geliştirmektedir [12]. Son zamanlarda, iletişim ağlarının ve İnternetin gelişmesiyle bu sistemler çok çeşitli siber saldırılara karşı savunmasız hale gelmiştir. Bununla birlikte, PLC ve

SCADA cihazlarının donanımı ve donanım yazılımı hakkında bilgilere erişim kısıtlıdır. Bu sebepler, PLC ve SCADA'lar için siber güvenlik araştırması yapmayı zorlaştırır ve güvenliği sağlanması için mevcut sistemlere güvenmek zorunda bırakır.

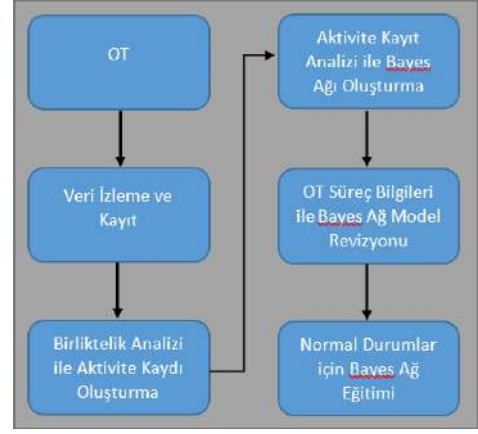
Davis ve arkadaşları [13] yaptıkları çalışma ile iletişim için genel ağların kullanımının güç sistemleri üzerinde oluşturduğu güvelik açıklarını incelemişlerdir. Akıllı şebeke sistemlerinin güç dağıtım sistemleri üzerine olan siber güvenlik unsurları Ericsson ve arkadaşları [14] tarafından araştırılmıştır. Simo ve arkadaşları yapmış oldukları çalışma ile PRIME standardında bulunan siber güvenlik açıklarını ortaya çıkarmışlardır [15]. BCIT Endüstriyel Güvenlik Olay Veri tabanında (ISID) toplanan olay bilgileri Byres ve arkadaşları [16] tarafından özetlenerek operasyonel teknoloji sistemlerini doğrudan etkileyen olaylar açıklanmıştır. Xie ve arkadaşları [17] yaptıkları çalışma ile siber güvenlikteki belirsiz yönlerin modellenmesini ve kurumsal ağlarda güvenlik analizi için kullanılmasını sağlamışlardır.

Mevcut durum göz önüne alındığında, tüm OT sistemlere uygulanabilecek, mevcut çalışma ortamlarını etkilemeyecek, hedef OT sistem hakkında minimum bilgi ve minimum değişiklik ile siber güvenlik tehlikelerine karşı savunma, tespit ve önlem sağlayabilecek tekniğin anormallik tespit yöntemi olduğu görülmektedir. Anormallik tespiti, veri madenciliği çalışmalarının önemli tekniklerinden biridir, dolandırıcılık, siber güvenlik ve arıza tespitinde kullanılmaktadır [18]. Veri analizi çalışmalarına sisteme ait log verileri etkin bir şekilde kullanılabilir [19]. Günlük verileri, kaynaklarının güvenlik ve karar mekanizmalarına ait temel referans bilgileri içerdikleri için erken tespit ve erken uyarı sistemleri için vazgeçilmez kabul edilir [20].

OT sistemlerinin mevcut durumu ve siber güvenlik risklerinin göz önüne alındığı bu çalışmada, mevcut literatürden farklı olarak, OT sistemleri için birliktelik analizi tabanlı aktivite kayıt oluşturma algoritması geliştirilmiş, aktivite log verilerinin sistematik olarak Bayes ağı ile analiz edilerek anormal durumların tespit edilmesi ve OT sistem yöneticilerinin uyarılması için yeni sistem önerilmiştir. Önerilen sistem her tür OT sistem aktivitesine adapte olabilecek yapıdadır. Entegrasyon için OT sistem müdahalesi gerektirmemekte, OT sistem verilerine erişim sağlayacak bir OPC (Ole for Process Control) sunucu yâda PLC veya SCADA sistem verilerine okuma erişimi yeterli olmaktadır.

2. Materyal ve Metot

OT sistem güvenliği için geliştirdiğimiz sisteme ait normal durum eğitim süreçleri Şekil 1 özetlenmiştir. Eğitim için OT sistemin saldırılara karşı izole bir ortamda çalışması gerekmektedir. Eğitim süreci OT sistem çalışması, verilere erişim ve kayıt, birliktelik analizi ile aktiviteler için önemli olan verilerin tespiti ve aktivite kayıtlarının oluşturulması, aktivite kayıtlarının analizi ile Bayes ağı oluşturulması, OT sistem süreç bilgileri kullanılarak ağ modelinin revizyonu ve son olarak nihai ağ modelinin aktivite kayıtları kullanılarak normal durum senaryoları için eğitimi adımlarından oluşmaktadır. Siber saldırılara açık durumda çalışan OT sistemine ait tehdit analiz safhaları Şekil 2 de yer almaktadır. Aktivite kayıtlarına uygun şekilde veriler OT sisteminden çalışma anında okunur ve aktivite kaydedilir. Oluşturulan her yeni aktivite eğitilmiş Bayes ağına değerlendirilerek normal oluşma olasılığı hesaplanır. Hesaplanan olasılık eşik değerinin altında ise OT sistem yöneticisi uyarılır. Tüm sistemin çalışma mimarisi Şekil 1 ve 2 de özetlenmektedir.



Şekil 1 Sistem Eğitimi



Şekil 2 OT Aktivite Değerlendirme

2.1. OPC Veri İzleme

OPC, endüstriyel otomasyon alanında ve diğer endüstrilerde güvenli ve güvenilir veri alışverişi için birlikte çalışabilirlik standardıdır. Platformdan bağımsızdır ve birden çok tedarikçinin cihazları arasında kesintisiz bilgi akışını sağlar. OPC Vakfı, bu standardın geliştirilmesi ve sürdürülmesinden sorumludur [21]. OPC standardı, endüstri satıcıları, son kullanıcılar ve yazılım geliştiricileri tarafından geliştirilen bir dizi spesifikasyondur. Bu özellikler, gerçek zamanlı verilere erişim, alarmların ve olayların izlenmesi, geçmiş verilere ve diğer uygulamalara erişim dâhil olmak üzere istemciler ve sunucular ile sunucular ve sunucular arasındaki arabirimi tanımlar [22]. Standart 1996'da ilk kez piyasaya sürüldüğünde, amacı PLC'ye özgü protokolleri (Modbus, Profibus, vb.) standartlaştırılmış bir ara yüze soyutlamaktır. Sonuç olarak, son kullanıcıların, tümü OPC aracılığıyla sorunsuz bir şekilde etkileşime giren, türünün en iyisi ürünleri kullanabilme imkânı tanıyan bir ürün endüstrisi ortaya çıktı. Bugün OPC kısaltması Açık Platform İletişimi anlamına gelmektedir [23]. Bu çalışma kapsamında OT sistemleri ile haberleşme için, fabrika çapında iletişimden tekil IoT cihaz bağlantısına kadar geniş yelpazede ürün bağlantı desteği sağlayan ve API kütüphaneleri ile yazılımsal kontrole olanak tanıyan Kepware OPC [24] çözümü kullanılmıştır. Kepware OPC sunucunun genel mimarisi Şekil 3 de özetlenmektedir.



Şekil 3 Kepware OPC Mimari

2.2. Birliktelik Kural Analizi

Birliktelik kural analizi değişkenler arasındaki ilişkileri keşfetmek için kural tabanlı bir makine öğrenimi yöntemidir. Değişkenler arası ilişkileri belirlemeyi amaçlamaktadır [25]. Bunun en yaygın örneği piyasa sepeti analizidir. Sepet analizinde yer alan kayıtlar benzersiz bir tanımlayıcı id ve belirli bir müşteri tarafından satın alınan bir dizi öğeyi içeren işlemlere karşılık gelir. Bu analiz müşterilerinin satın alma davranışları hakkında bilgi edinmek için yaygın kullanılmaktadır. Analizin temel amacı ilişkili ürünlerin tespit edilmesidir. Örneğin soğan ve patates alan müşterilerin bu ürünler ile birlikte ekmek aldığı bir veri setinden beklenen sonuç soğan ve patates ile ekmek satışı arasında güçlü bir ilişki olduğunu yönünde olmasıdır [26]. Birliktelik analizi biyoinformatik, tıbbi teşhis, web madenciliği ve bilimsel veri analizi gibi diğer uygulama alanlarına da uygulanabilir.

$I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ n adet ikili nitelik içeren öğe kümesi ve $D = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ öğelerin durumlarını içeren işlemler listesi olarak tanımlanmıştır. D'deki her işlemin benzersiz bir işlem kimliği vardır ve I'deki öğelerin bir alt kümesini içerir. Bir kural $X \Rightarrow Y$, $X, Y \subseteq I$ olarak tanımlanır. Her kural, X ve Y olarak da bilinen iki farklı öğe setinden oluşur; burada X, öncül veya sol taraf ve Y ardışıl veya sağ taraf olarak adlandırılır. Tanımlanan kümelerden birliktelik analiz için birçok algoritma bulunmakla beraber literatürde yaygın kullanılan algoritma Apriori Algoritmasıdır [27]. Algoritma iteratif bir algoritmadır ve veri tabanında sık geçen öğelerin tespit edilmesi için kullanılır. Algoritmada ilk olarak tüm sık geçen öğeler bulunur daha sonra bu öğeler kullanılarak birliktelik kuralları üretilir. Algoritma minimum Destek ve minimum Güven parametre değerlerine göre filtreleme yaparak çalışır. Destek değeri, bir ilişkinin tüm işlemler içinde hangi oranda tekrar ettiğini temsil eder. Güven değeri, X öğesi geçen bir işlemde Y öğesi geçme olasılığını belirtir. Destek ve Güven değerleri aşağıdaki formülasyon ile hesaplanır.

$$\text{Destek}(X \rightarrow Y) = \frac{\text{Frekans}(X, Y)}{N}$$

$$\text{Güven}(X \rightarrow Y) = \frac{\text{Frekans}(X, Y)}{\text{Frekans}(X)}$$

Algoritmanın işlem basamakları aşağıda yer almaktadır:

- Minimum Destek ve Minimum Güven parametre değerlerini oku.
- Tüm veri setini tara, her bir öğe için tekil, ikişerli, üçerli, vb. olarak grupla, Destek değerlerini hesapla, Minimum Destek parametre değerinden küçük değerlere sahip olan öğeleri çözümden çıkar.
- Kalan d adet öğeyi kullanarak 2^d adet aday Nitelik kümesini oluştur.
- Her aday için Güven değerini hesapla, Güven parametre değerinin üzerinde olan öğeler ile kuralları oluştur.

2.3. Aktivite Tespit Algoritması

OT sistemlerinde birçok giriş-çıkış ve iletişim sinyali bulunmaktadır. Tüm verilerin filtrelenmeden veya ilişkilendirilmeden kullanılması bazı boyuttaki OT sistemler için mümkün olmayacağı gibi ilişkisiz verilerin analizi anormal aktivite tahminin olumsuz yönde etkileyecektir. Verilerin ilişkilendirilmesi ve tanımlanması hedef OT sistem süreçlerine hâkim kullanıcılar tarafından yapılabilir. Bu işlem hem gerektirdiği iş yükü, eğitimli personel hem de insan kaynaklı olası hataların tahminlemeyi direk etkileyeceği sebebi ile tercih edilmemiştir. Ayrıca manuel ilişkilendirme yapılma zorunluluğu beraberinde her OT sistemi için özel tanımlamayı da getirmekte ve sistemin kullanımı zorlaşmaktadır.

Otomatik aktivite analizi için geliştirdiğimiz algoritmamız birliktelik kural analizine dayanmaktadır ve Apriori algoritmasını kullanmaktadır. OPC sunucu tarafından sağlanan tüm ikili OT sistem verileri nitelik olarak kullanılır. OT sisteminden erişilecek olan öğeler kullanıcı tarafından ayarlanmaktadır. $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ n adet ikili nitelik içeren öğe kümesini temsil etmek üzere I kümesinde yer alan her i öğesi OT sistemindeki hedef ikili veriyi (vana açık/kapalı, motor çalışıyor/çalışmıyor, sinyal aktif/pasif vb.) göstermektedir.

Algoritmanın yaygın kullanıldığı sepet analizi vb. alanlardan farklı olarak OT sistemlerde olaylar zaman kaymalı şekilde gerçekleşebilmektedir. Yani bir sinyal aktif olup pasife düştükten belirli bir süre sonra bir motor devreye girebilir. Bu durum olayların gerçekleştiği anda bazı öğelerin durumlarının yanlış olmasına ve ilişkilerin kaçırılmasına sebep olur. Bu sonunu çözmek için tanımlanan her öğenin aktiflik gecikme ve pasiflik gecikme tabloları oluşturulur. Tablo her öğenin ne kadar süredir açık, ne kadar süredir kapalı olduğunu gösteren ve i_n -od, i_n -fd olarak adlandırılan ilave değerler içerir. Tabloda yer alan i_n -od, i_n -fd değerlerindeki 0'dan pozitif süreye ve pozitif süreden 0 a geçişler 1 olarak işaretlenerek geçişleri temsil eden ikili veri oluşturulur. Pozitif ve negatif durumları temsil eden ve i_n -od-pt, i_n -od-nt, i_n -fd-pt, i_n -fd-nt öğeri I öğe kümesine eklenir. Örnek öğeye ait geçiş veri hesaplaması Tablo 1 de gösterilmiştir. Tabloda yer alan T sütunu kaydın alındığı zamanı temsil etmektedir.

$D = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ öğelerin durumlarını içeren işlemler listesi olmak üzere her işleme benzersiz bir işlem numarası atanır. D kümesinde yer alan her işlem OT sisteminin belirli bir zamanında kayıtlı tüm öğelerin durumu okunarak oluşturulur. Bir işlem kaydının oluşması için koşul bir önceki işlem kaydından farklı olmasıdır. Algoritma OT sistem verilerini OPC üzerinden periyodik olarak okur, okunan işlem kaydını son kaydedilen kayıt ile karşılaştırır ve değişiklik mevcut ise okunan kaydı yeni kayıt olarak saklar aksi durumda kayıt saklanmaz. Siber saldırıdan izole ortamda çalıştırılan OT sistemi

kullanılarak veriler toplanır ve işlem kayıt veri tabanı oluşturulur. Oluşturulan veri tabanı üzerinde Apriori algoritması kullanılarak ilişkili öğeler tespit edilir gerçek zamanlı okuma için hedef öge listesi oluşturulur. Anomali tespit sistemlerinin temel dezavantajı yüksek yanlış pozitif oranıdır. OT sistemlerinin sahip olduğu öge sayısı sebebi ile bu oran daha fazla artmaktadır. OT sistemlerinin sahip olduğu avantaj ise yüksek tekrarlı, periyodik iş akışlarıdır. Her kontrol belirli ve kısıtlı şartlar altında çalıştığı için koşulların farklı kombinasyon ile oluşma olasılığı düşüktür. Bu özelliği yanlış pozitif oranlarını düşürmede kullanmak için algoritmamız minimum güven oranı %95 olarak çalıştırılmıştır. OT sistemler üretim süreçlerine bağımlı olarak verilerini kontrol eder bu sebep ile bazı işlem kayıtlarına nadir rastlanabilir. Nadir rastlanan işlem kaydının siber saldırı olma olasılığı ile normal çalışma rutini olma olasılığı aynıdır. İşlem kayıtlarındaki kaybın önlenmesi için minimum destek değeri %5 olarak kullanılmıştır. Aktivite tespit algoritmasının işlem basamakları aşağıda yer almaktadır.

- OPC den veri oku.

- Yeni veriyi bir önceki ile karşılaştır; değişim yok ise bir sonraki okumayı bekle, değişim var ise yeni veri kaydını oluştur.
- Yeni veri için pozitif/negatif geçişleri hesapla.
- Belirlenen süre veya adet okumaya ulaşılmadı ise okumaya devam et, ulaşıldı ise işlem veri tabanını oluştur.
- Tüm veri tabanı için destek değerlerini hesapla, %5 destek değerinden küçük değerlere sahip olan öğeleri sil.
- Tüm öğeler için güven değerini hesapla, %95 güven değerinden küçük olan kayıtları sil.
- Kural kümesini oluştur ve sakla.
- Gerçek zamanlı kontrol için OPC hedef öge listesi I_{RT} oluştur.

Tablo 1. Pozitif Ve Negatif Geçiş Veri Hesaplama Örneği

i_n	T	i_n_{od}	i_n_{fd}	$i_n_{od}_{pt}$	$i_n_{od}_{nt}$	$i_n_{fd}_{pt}$	$i_n_{fd}_{nt}$
0	0	0	0	0	0	0	0
0	3	0	3	0	0	1	0
0	5	0	5	0	0	1	0
1	10	0	10	0	0	1	0
0	20	10	0	1	0	0	1
0	50	0	30	0	1	1	0
0	52	0	32	0	0	1	0
1	57	0	37	0	0	1	0
0	67	10	0	1	0	0	1

2.3. Bayes Ağı

Bayes ağları, verilerden veya uzman görüşlerinden modeller oluşturmak için kullanılan bir Olasılıksal Grafik Modelleme türüdür [28]. Oluşturulan model ile yapılabilecek tahminler, anormallik tespiti, teşhis, belirsizlik altında karar verme gibi çok alanda kullanılabilir. OT sistem için Bayes ağı, bir problem alanı içindeki neden-sonuç ilişkilerinin yönlü çevrimsiz çizgiler ile grafiksel gösterimidir. Düğümler ilgili öğeleri ve yönlü bağlantılarda öğeler arasındaki ilişkiyi temsil eder. Olasılık hesaplamaları için Bayes çıkarımını kullanılır. Bayes ağı, $G = (V, E)$ ile gösterilmiştir. Buradaki V düğümleri yani OT sistemdeki öğeleri ve E kenarları yani öğeler arasındaki ilişkileri temsil eder. Her $v_i \in V$ aynı zamanda birliktelik kural analizi ile oluşturulan öge listesinin elemanıdır $v_i \in I_{RT}$. G ağının içerdiği kenar kümesi E Bayes ağı oluşturma safhasında belirlenmektedir. Bayes ağı, bir dizi öğeye (v_1, \dots, v_n) ait ortak olasılık yoğunluğunun özel bir temsildir ve zincir kuralı olarak adlandırılır [29].

$$P(v_1, \dots, v_n) = \prod_{i=1}^n P(v_i | Pa(v_i))$$

Burada $Pa(v_i)$, v_i düğümünün tüm bağımlılıklarını yani ebeveynlerini temsil eder. Bayes ağını oluşturma adımları aşağıda listelenmiştir:

- Tüm öğelerin listesi belirlenir $I_{RT} = (v_1, \dots, v_n)$.
- Zincir kuralı uygulanır
- Her v_i için koşullu bağımsızlıklar değerlendirilerek minimum $Pa(v_i)$ oluşturulur

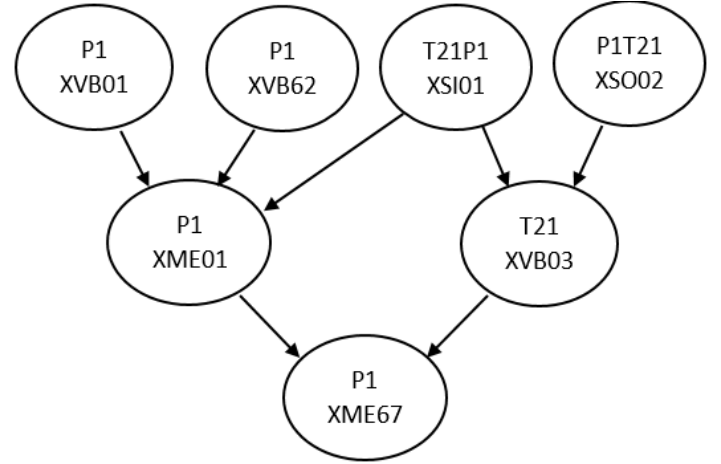
- Belirlenen ebeveyn düğümler ile zincir kuralı tekrar hesaplanır ve Bayes ağı oluşturulur

Bayes ağının oluşturulması, değiştirilmesi ve değerlendirilmesi için grafiksel ara birim ve harici program geliştirme araçları ile programlama olanağı sağlayan açık kaynaklı Weka [30] veri madenciliği aracı kullanılmıştır. Aktivite tespit algoritmamız tarafından oluşturulan hedef öge listesi I_{RT} içerisinde yer alan ve OT sistemde gerçek bir veriyi temsil eden (sistem tarafında üretilen gecikme değerleri hariç) tüm öğeler için Weka Java api'leri kullanılarak Bayes ağları oluşturulmuştur. Ağların oluşturulması aşamasında weka.classifiers.bayes.BayesNet algoritmasında "estimator" parametresi için "SimpleEstimator -A 0,5", "searchAlgorithm" parametresi için "K2 -P 1 -S BAYES" değerleri kullanılmıştır. Bu parametre değerleri Weka tarafından önerilen ön tanımlı değerlerdir. Her öge için oluşturulan ağaçlar öge adları ile XML BIF formatında saklanmakta ve Weka ortamı ile açılarak değiştirilebilmektedir. Ağaçlar üzerinde değişiklik işlemi için OT sistem ve ilgili süreç hakkında ön bilgi gereklidir. Bu şekilde oluşturulan ağaçlardan olası bağlantı ve öge bilgileri silinerek tahminleme performansı iyileştirilmektedir. Oluşturulan Bayes ağlarına müdahale sistem performansını direk etkileyeceği için değişikliği gerçek zamanlı çalışma sırasında oluşan yanlış pozitif değerlerinin incelenmesi ardından yapılmasını öneriyoruz. Bu çalışma kapsamındaki ağ değişikliklerinin tamamı yanlış pozitif değerlerini iyileştirme amacı ile yapılmıştır. Oluşturulan örnek Bayes ağı Şekil 4 de yer almaktadır. Öge isimleri kullanılan

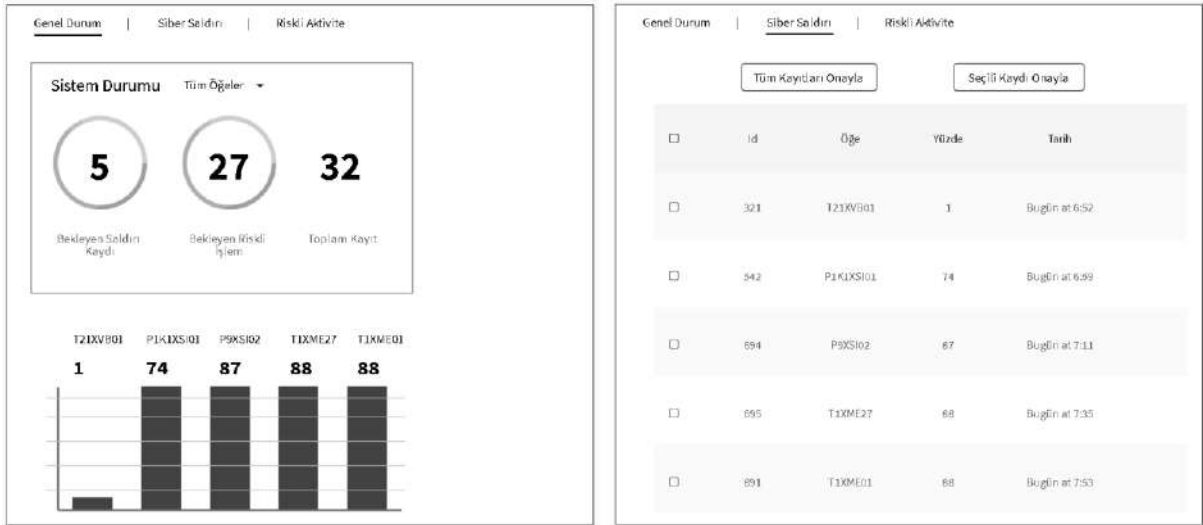
sisteme özgü olup PIXME67 ürün basma motorunu temsil etmektedir.

Sistemin gerçek zamanlı takibi ve anormal durumların tespiti için Java tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulama oluşturulan öge takip listesini OPC sunucu bağlantısı ile periyodik olarak okumaktadır. Okunan değerler ile bir öncekiler karşılaştırılmakta ve sistemde değişiklik olup olmadığı değerlendirilmektedir. Değişiklik olması durumunda ilgili okuma aktivite kaydına dönüştürülmektedir. Aktivite kaydına dönüşün kayıta yer alan tüm öğeler incelenir ve hangi öğelerin durum değiştirdiği tespit edilir. Durum değiştiren öğelere ait Bayes ağlarına erişilir ve ilgili aktivite kaydı için öge durumunun oluşma olasılığı hesaplanır. Hesaplanan olasılık değerleri için 3 farklı kategori tanımlanmıştır. Bu kategoriler; güvenilir: %95-%100, riskli: %90-%95 ve saldırı: < %90 değerlerinden oluşur. Program her aktivite kaydını değerlendirerek veri tabanında saklar ve ara biriminde yer alan iki farklı pencerede görüntüler, bunlar saldırı ve riskli uyarı pencereleridir. Oluşan kayıtlar periyodik tarama ile veya canlı olarak incelenir ve yanlış pozitif kayıtlar tespit edilir. Yanlış pozitif kayıtların iyileştirilmesi için iki yol bulunmaktadır. Bunlar yanlış kayıtların eğitim veri setine ilave edilerek mevcut ağların tekrar eğitilmesi ve otomatik oluşturulan ağların revize edilmesidir. İşlemlerin tamamı Weka ortamı kullanılarak yapılabilmekte ve sistem performansı iyileştirilebilmektedir.

Geliştirilen uygulamaya ait ekran görüntüsü Şekil 5 de yer almaktadır.



Şekil 4 Örnek OT Bayes Ağı



Şekil 5 Geliştirilen Programa Ait Ekran Görüntüleri, Genel Durum Ve Siber Saldırı Saygıları

Tablo 2. PIXME67 Ögesine Ait Bayes Ağ Weka Performans Sonuçları

Sınıfa Göre Ayrıntılı Doğruluk									Karışıklık Matrisi	
Gerçek Pozitif	Yanlış Pozitif	Kesinlik	Duyarlılık	F-Ölçümü	MCC	ROC Alan	PRC Alan	Sınıf	A=1	B=0
0,888	0,083	0,944	0,888	0,915	0,793	0,970	0,983	1	237	30
0,917	0,112	0,837	0,917	0,875	0,793	0,970	0,952	0	14	154
0,899	0,095	0,903	0,899	0,900	0,793	0,970	0,971			

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Geliştirilen sistemin performans testleri için OT sistem 1 gün boyunca çalıştırılıp kayıtlar toplanarak Bayes ağ eğitimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4 de yer alan "PIXME67" ögesine ait eğitim performans sonuçları ve karmaşıklık matrisini gösteren Weka sonuç tablosu Tablo 2 de yer almaktadır.

Sistemin başlangıç koşullarındaki genel eğitim performansının hesaplanması için OT sistemde yer alan tüm öğelerin performans sonuçlarının ortalaması hesaplanmıştır. Sistemin ortalama eğitim performans sonuçları Tablo 3 de sunulmuştur. Performans değerlerinden görüleceği üzere tüm öğeler göz önüne alındığında sistemin yanlış pozitif oranları artış göstermektedir.

Tablo 3 Sistemin İlk Eğitim Sonrası Ortalama Eğitim Performansı

Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	F-Ölçümü
0,9091	0,7778	0,7143	0,8000

Sistem eğitiminde OT sistemde manuel operatör işlemleri yapılmamıştır. Bu durum OT sisteme manuel müdahalelerin anormal sayılmasına ve saldırı olarak işaretlenmesini sağlayacaktır. Bu şekilde normal saldırılara ilave olarak operatörlerin hatalı veya kasıtlı olarak yaptıkları işlemlerde tespit edilebilir. Sistem, OT sisteminde yer alan tüm öğelerin işlevsel hareketlerini öğrenmektedir ve işlevsel davranışlar OT sistem kontrol programları tarafından düzenlenmektedir. Bu sebep ile OT sistem üzerinden yapılacak her türlü program değişikliğinin oluşturacağı farklı öge davranışları da sistem tarafından anormal aktivite olarak algılanacaktır. Bu yaklaşım sayesinde OT sisteme program kodu düzeyinde yapılacak saldırılarda tespit edilebilmektedir. Bu durumun dezavantaja dönüşmemesi için OT sistemde yapılan kontrollü kod değişimlerinin ardından sistemin ilgili ağları tekrar eğitilmelidir. Sistemin tespit performansının ölçülmesi için OT sisteme 3 farklı saldırı düzenlenmiştir. Bunlar yetkisiz manuel müdahale, yetkisiz kod değişimi ve OPC ağ trafiği üzerinden modbus haberleşme kanalına yapılan paket değişim saldırılarıdır. Her saldırı türünde 50 farklı ögenin durumuna müdahale edilmiş olup tüm saldırılar sistem tarafından "siber saldırı" kategorisinde kayıt altına alınmıştır. Sistemin yanlış pozitif oranlarının düşürülmesi için OT sistem ilave 1 gün daha çalıştırılarak veri seti genişletilmiş ve Bayes ağları yeni veri seti ile eğitime tabi tutulmuştur. Yapılan çalışma veri setindeki artışın sistemin ortalama performansına pozitif yansıdığı, OT süreç uzmanları tarafından yapılacak sistem eğitimleri ile sistemin yanlış doğru oranının azaltılabileceği gösterilmiştir. İkinci eğitim sonrası sistemin ortalama eğitim performans sonuçları Tablo 4 de sunulmuştur.

Tablo 4. Sistemin İkinci Eğitim Sonrası Ortalama Eğitim Performansı

Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	F-Ölçümü
0.8750	0.8182	0.7778	0.8235

4. Sonuç

OT sistemlerinin mevcut durumu ve siber güvenlik risklerinin göz önüne alındığı bu çalışmada OT sistemleri için saldırı tespit ve uyarı sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem OT sisteme bağlanarak gerekli verileri okumak için OPC sunucu bağlantı modülü içermektedir. Bu sayede OT sistemde kullanılan teknolojik yazılım ve donanım bağımsız olarak tüm OT sistemlere bağlanabilmektedir. OT sistemlerde meydana gelen işlemlerin algılanması ve analiz edilebilmesi için birliktelik analizi tabanlı aktivite kayıt oluşturma algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma ile OT süreç bilgisi olmadan tüm aktivitelerin yorumlanabilmesine olanak sağlanmıştır. Süreç bilgileri kullanılarak algoritmanın okuma yapacağı öğeler değiştirilerek iyileştirilebilmektedir. Oluşan aktivite bilgilerinin analizi için Bayes ağ tabanlı bir öğrenme sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem sayesinde elde edilen kayıtlardan Bayes ağları oluşturulmakta, sistem çalışma anında oluşan tüm aktiviteler değerlendirilerek olasılıklarına göre "Güvenli", "Riskli" veya "Siber Saldırı" olarak gruplandırılmakta ve OT yetkililerine sunulmaktadır. Önerilen sistem her tür OT aktivitesine adapte olabilecek yapıdadır. Entegrasyon için OT müdahalesi gerektirmemekte, OT verilerine erişim sağlayacak bir OPC sunucu yada PLC veya SCADA sistem verilerine okuma erişimi yeterli olmaktadır. Sistem mimari yapısı gereği sadece siber saldırı kategorisindeki işlemleri tespit etmekte kalmayıp sistemde yetkili kişilerin hatalı yada kasıtlı müdahale veya program değişimlerini de algılayabilmektedir. Bu avantajın oluşturduğu dezavantajda saldırı olmayan ve normal koşullar altında gerçekleşen müdahale ve program değişikliklerinin eğitim ile sisteme öğretilme gereksinimidir.

DeneySEL çalışmalarımız OT sisteme yapılan her türlü saldırının tespit edilebildiğini göstermektedir. Yüksek doğru pozitif oranlarına karşın tüm anormal durum tespit sistemlerinde olduğu gibi sistemimizde yüksek yanlış pozitif oranlarına sahiptir. Yapılan deneySEL çalışmalar eğitim sürecinin artırılmasının ve OT süreç bilgileri ile toplanan veri ve oluşan Bayes ağlarına yapılan müdahalelerin sistem performansını artırarak yanlış pozitif oranlarını düşürdüğünü ispatlamaktadır.

Her tür bilgisayar sistemi siber saldırılara karşı savunmasızdır. OT sistemler icra ettikleri fonksiyon ve çalışma şartları gereği günümüzde siber saldırılara karşı en savunmasız sistemler haline dönüşmektedir. Bu çalışma ile mevcut OT sistemlerine minimum değişiklik ile eklenebilen ve her tür saldırıya karşı önleyici tedbir sağlayan bir sistem önerilmiştir. Yapılan deneySEL çalışmalar ile tasarlanan sistemin her tür OT sisteme uygulanabilecek yapıda olduğu ve saldırı tespitinde başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Bu çalışma OT davranışlarının modellenerek öğrenildiği ve anormal davranışların tespit edilerek siber saldırıların tespit edildiği ilk çalışmadır. Birliktelik Analizi ve Bayes ağları ile elde edilen başarılı sonuçlar, bu yöntemlerin siber güvenlik alanına uygunluğunu göstermesi sebebi ile yapmış olduğumuz çalışma gelecekte bu alanda yapılacak araştırmalara öncülük edebilir.

Kaynakça

- Mukkamala, S., Sung, A., & Abraham, A. (2005). Cyber security challenges: Designing efficient intrusion detection systems and antivirus tools. Vemuri, V. Rao, Enhancing Computer Security with Smart Technology.(Auerbach, 2006), 125-163.

2. Bhuyan, M. H., Bhattacharyya, D. K., & Kalita, J. K. (2013). Network anomaly detection: methods, systems and tools. *Ieee communications surveys & tutorials*, 16(1), 303-336.
3. Stouffer, K., Falco, J., & Scarfone, K. (2011). Guide to industrial control systems (ICS) security. NIST special publication, 800(82), 16-16.
4. Framework, S. (2010). Policy Statement on Improving the Resilience of Critical Infrastructure to Disruption from Natural Hazards. London: Cabinet Office.
5. Henrie, M. (2013). Cyber security risk management in the SCADA critical infrastructure environment. *Engineering Management Journal*, 25(2), 38-45.
6. Guan, J., Graham, J. H., & Hieb, J. L. (2011, July). A digraph model for risk identification and mangement in SCADA systems. In *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics* (pp. 150-155). IEEE.
7. Patel, S., Tantalean, R., Ralston, P., & Graham, J. (2005). Supervisory control and data acquisition remote terminal unit testbed. Intelligent Systems Research Laboratory technical report TR-ISRL-05-01, Department of Computer Engineering and Computer Science. Louisville, Kentucky: University of Louisville, 24, 26.
8. Yan, J., Liu, C. C., & Govindarasu, M. (2011, March). Cyber intrusion of wind farm SCADA system and its impact analysis. In *2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition* (pp. 1-6). IEEE.
9. Ericsson, G. N. (2007). Toward a framework for managing information security for an electric power utility—CIGRÉ experiences. *IEEE transactions on power delivery*, 22(3), 1461-1469.
10. Amin, M. (2002). Security challenges for the electricity infrastructure. *Computer*, 35(4), supl8-supl10.
11. Schneider, K., Liu, C. C., & Paul, J. P. (2006). Assessment of interactions between power and telecommunications infrastructures. *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(3), 1123-1130.
12. Alves, T., & Morris, T. (2018). OpenPLC: An IEC 61,131–3 compliant open source industrial controller for cyber security research. *Computers & Security*, 78, 364-379.
13. Davis, C. M., Tate, J. E., Okhravi, H., Grier, C., Overbye, T. J., & Nicol, D. (2006, September). SCADA cyber security testbed development. In *2006 38th North American Power Symposium* (pp. 483-488). IEEE.
14. Ericsson, G. N. (2010). Cyber security and power system communication—essential parts of a smart grid infrastructure. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(3), 1501-1507.
15. Seijo Simó, M., López López, G., & Moreno Novella, J. I. (2017). Cybersecurity vulnerability analysis of the plc prime standard. *Security and Communication Networks*, 2017.
16. Byres, E., & Lowe, J. (2004, October). The myths and facts behind cyber security risks for industrial control systems. In *Proceedings of the VDE Kongress* (Vol. 116, pp. 213-218).
17. Xie, P., Li, J. H., Ou, X., Liu, P., & Levy, R. (2010, June). Using Bayesian networks for cyber security analysis. In *2010 IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems & Networks (DSN)* (pp. 211-220). IEEE.
18. Coluccia, A., D'Alconzo, A., & Ricciato, F. (2013). Distribution-based anomaly detection via generalized likelihood ratio test: A general maximum entropy approach. *Computer Networks*, 57(17), 3446-3462.
19. Fronza, I., Sillitti, A., Succi, G., Terho, M., & Vlasenko, J. (2013). Failure prediction based on log files using random indexing and support vector machines. *Journal of Systems and Software*, 86(1), 2-11.
20. Vickers, N. J. (2017). Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?. *Current biology*, 27(14), R713-R715.
21. Mahnke, W., Leitner, S. H., & Damm, M. (2009). OPC unified architecture. Springer Science & Business Media.
22. Lieping, Z., Aiqun, Z., & Yunsheng, Z. (2007, July). On remote real-time communication between MATLAB and PLC based on OPC technology. In *2007 Chinese Control Conference* (pp. 545-548). IEEE.
23. Zheng, L., & Nakagawa, H. (2002, August). OPC (OLE for process control) specification and its developments. In *Proceedings of the 41st SICE Annual Conference. SICE 2002*. (Vol. 2, pp. 917-920). IEEE.
24. Resnick, C. (2012). Kepware Communication Solutions Help Optimize OPC Connectivity. ARC View.
25. Piatetsky-Shapiro, G. (1991). Discovery, analysis, and presentation of strong rules. *Knowledge discovery in databases*, 229-238.
26. Agrawal, R., Imieliński, T., & Swami, A. (1993, June). Mining association rules between sets of items in large databases. In *Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD international conference on Management of data* (pp. 207-216).
27. Agrawal, R., & Srikant, R. (1994, September). Fast algorithms for mining association rules. In *Proc. 20th int. conf. very large data bases, VLDB* (Vol. 1215, pp. 487-499).
28. Guo, Y., Bai, G., & Hu, Y. (2012, December). Using bayes network for prediction of type-2 diabetes. In *2012 International Conference for Internet Technology and Secured Transactions* (pp. 471-472). IEEE.
29. He, J., Bai, S., & Wang, X. (2017). An unobtrusive fall detection and alerting system based on Kalman filter and Bayes network classifier. *Sensors*, 17(6), 1393.
30. Eibe, F., Hall, M. A., & Witten, I. H. (2016). The WEKA workbench. Online appendix for data mining: practical machine learning tools and techniques. In *Morgan Kaufmann*.



Electric Train Application Study For Catenary-Pantograph Interaction

Şakir. Parlakyıldız¹, Muhsin Tunay Gençoğlu², Mehmet Sait Cengiz^{3*}

¹ Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0885-023X), sp_yildiz@hotmail.com

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1774-1986), mtgencoglu@firat.edu.tr

^{3*} Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis, Türkiye, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3029-3388), msaitcengiz@gmail.com

(First received 28 June 2020 and in final form 21 September 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.759407)

ATIF/REFERENCE: Parlakyıldız, Ş., Gençoğlu, M.T., Cengiz, M.S. (2020). Electric Train Application Study for Catenary-Pantograph Interaction, *European Journal of Science and Technology*, (20), 506-515.

Abstract

Today, electric rail systems that use clean energy and are a fast and reliable means of transportation are used more because of their efficiency. The main purpose of new studies investigating pantograph catenary interaction in Electric Rail Systems is to detect malfunctions. With the spread of high-speed trains in electric rail systems, malfunctions occur in pantograph and catenary systems operating under high current and high voltage. The contact force of the pantograph-catenary system erodes the pantograph surface and arcs occur. For this reason, periodic control is mandatory in pantograph-catenary systems. In this study, new, effective, sensitive, stable, real-time applicable and contactless condition monitoring, analysis, control, and diagnostic methods were investigated for pantograph-catenary systems that provide energy transmission from the electric line to the locomotive in electric trains. A literature search and study application after has been carried out for modeling a pantograph-catenary system and analysis of system parameters, instantaneous control of the contact force between the pantograph and catenary to diagnose malfunctions in the pantograph-catenary system. It has been observed that pantograph-catenary interaction is negatively affected and the quality of energy transmission decreases if the system parameters change for any reason. In pantograph-catenary systems, the importance of periodic pantograph control, which will ensure the stable and efficient operation of the system, is understood if the parameters change. Because changes in parameters cause malfunctions. Therefore, periodic control and continuous monitoring of the system is required.

Keywords: Electric rail systems, Pantograph-Catenary interaction, Pantograph, Catenary.

Katener-Pantograf Etkileşimi İçin Elektrikli Tren Uygulama Çalışması

Öz

Günümüzde temiz enerji kullanan, hızlı ve güvenilir bir ulaşım aracı olan elektrikli raylı sistemler verimlilikleri nedeniyle daha fazla kullanılmaktadır. Elektrikli Raylı Sistemlerde pantograf katener etkileşimini araştıran yeni çalışmaların temel amacı arızaları tespit etmektir. Elektrikli raylı sistemlerde yüksek hızlı trenlerin yayılmasıyla pantograf ve yüksek akım-yüksek gerilim altında çalışan katener sistemlerinde arızalar meydana gelir. Pantograf -Katener sisteminin temas gücü pantograf yüzeyini aşındırır ve ark'lar oluşur. Bu nedenle pantograf-katener sistemlerinde periyodik kontrol zorunludur. Bu çalışmada, elektrik hatlarından elektrikli trenlerde lokomotif enerji iletimi sağlayan pantograf-katener sistemleri için yeni, etkili, duyarlı, stabil, gerçek zamanlı uygulanabilir ve temassız durum izleme, analiz, kontrol ve tanı yöntemleri araştırılmıştır. Bir pantograf-katener sisteminin modellenmesi ve sistem parametrelerinin analizi, pantograf-katener sistemindeki arızaları teşhis etmek için pantograf ve katener arasındaki temas kuvvetinin anlık kontrolü için bir literatür ve uygulama çalışması yapılmıştır. Pantograf -Katener etkileşiminin olumsuz etkilendiği ve sistem parametrelerinin herhangi bir nedenle değişmesi durumunda enerji iletiminin kalitesinin düştüğü gözlenmiştir. Pantograf -Katener sistemlerinde, sistemin istikrarlı ve verimli çalışmasını sağlayacak periyodik pantograf kontrolünün önemi, parametrelerin değişmesi durumunda anlaşılmaktadır. Çünkü parametrelerdeki değişiklikler arızalara neden olur. Bu nedenle sistemin periyodik kontrolü ve sürekli izlenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli raylı sistemler, Pantograf- Katener etkileşimi, Pantograf, Katener.

1. Introduction

As in all areas, the biggest need for transportation is energy. Energy consumption is increasing day by day due to reasons such as requirements of modern life, increasing competition environment, cultural and social developments. The area where electric energy is used in transportation systems is Electric Rail Systems (ERS). Electric rail systems have been used in transportation for many years [1-6].

The most important elements in ERS are pantograph and catenary. Compatibility between pantograph and catenary is one of the most important issues in these systems. A pantograph is mobile and catenary is a fixed element. These two elements touch each other and move in ERS is provided. Therefore, having contact between them makes the system more complicated.

The current in pantograph is the most important source of failure in ERS. The pantograph is above the roof of the train and collects current from the overhead catenary line. The Catenary line is fixed to poles with support points at regular intervals along the railway line [7-9]. When the train moves, the pantograph moves along the catenary line and delivers electrical energy to the ERS. The contact between the catenary and the pantograph should be optimal. When the ERS speed increases, vibrations occur in the catenary line. This disrupts the interaction between the pantograph and the catenary. These vibrations negatively affect the contact between the pantograph and the catenary. Since the contact between the pantograph and the catenary is interrupted in electrical contact, wear and arc occur [8-10]. Rail systems are generally advantageous means of maintenance in terms of maintenance factors other than pantograph-catenary systems. So maintenance factor multipliers are high. Mechanical parts of ERS require very little maintenance for a long time [9, 10].

2. Catenary-Pantograph Interaction

The pantograph is modeled in a basic motion with a numerical formula. The finite element method is used for the catenary model. With this method, the catenary dynamic response was successfully estimated [11]. Ide et al. examined a nonlinear situation so that the contact force can be controlled at a constant value. He estimated the situation using a feedback control approach. State estimation was made by using a nonlinear observer. The predicted situations are linearized according to their knowledge with feedback [12]. Mahajan et al. examined the relationship between contact force and contact wire displacement in the pantograph catenary system, creating a second order-independent system model. The sensitivity analysis of pantograph parameters on the system was observed [13]. Carmine et al. in this study, it was made for the optimum design of a nonlinear controller of the pantograph-catenary system. The purpose of the nonlinear controller is to reduce the contact force caused by the pantograph-catenary interaction, as well as to suppress the mechanical vibrations of the pantograph mechanism. In this study, a method based on the Lagrange approach and Udwadia-Kalaba equations are taken into consideration. Numerical simulations, the nonlinear controller obtained in this research for the pantograph-catenary system, showed successful results [14].

In his study, Yifeng et al. created the dynamic model of the Pantograph-Catenary system. To conduct contact analysis, he used the nonlinear three-mass equivalent of a pantograph and the finite element method for the contact wire of the catenary. By

changing the design parameters of the contact wire at different speeds, the effects on the contact force were investigated [15]. Zhang et al. tried to determine the current collection quality in pantograph and catenary systems. Adjusts pantograph parameters for flow. By keeping the other parameters constant and changing the pantograph peak mass, the effects on simulation were examined. When the weight is between 8-10 kg, a better performance was measured in terms of contact force [16]. Farhangdoust et al. made stability analysis using the second order-independent mathematical model and finite element method. He examined the effects of external forces on pantograph and catenary interaction. He analyzed the effect of change of mass, tension, velocity, and damping parameters on stability. Contact force values of two different speed values (50 and 100 m/s) were calculated. He analyzed static and dynamic behaviors and compared them with theoretical data [17].

Ambrosio et al. tried to optimize the interaction between pantograph and catenary. By optimizing the contact force by working on the pantograph's top suspension and trying to improve it. In this study, the standard deviation of the contact force is tried to be reduced. The optimization process is used the finite element method for the genetic algorithm catenary and the bulk mass approach for the pantograph. However, it was understood that trying to optimize only pantograph parameters would not be sufficient in terms of system performance [18]. Zhou et al. examined the effects of changing parameters determined for the Pantograph-catenary system on the dynamic performance of the system. In this study, the finite element method for the catenary, and the mass model for the pantograph was used. When the simulation results are examined, the model works well up to 250 km / h speed. These results were compared with the test data obtained from a hybrid test method consisting of a real pantograph and a mathematical model of the catenary, and the results were found to be compatible [19]. In his study, Rachid used linear matrix inequalities to improve current collection quality in high-speed trains. The simulation results were successful for a fixed speed value. However, this success was not achieved at variable speeds [20].

Chu et al. separation of the pantograph head from the contact wire is an arc source. Euler-Bernoulli model was proposed to measure the amount of contact loss with simulation. Lagrange multiplier method, Lagrange multiplier is used to define the contact between the pantograph head and the contact wire. Also, with the simulation, contact wire rise and contact strength were evaluated with the effect of reconnection. As a result of the analysis, it has shown that the contact force increases very much at the time of reconnection. These increases wear. Pantograph mass and hardness have been found to affect the rate of wear [21].

Kia et al. made comparisons between them by researching different catenary and pantograph models to examine the interaction and contact strength between pantograph and catenary. He used a multi-mass model for the pantograph. In this model, successful results were obtained for low speeds [22]. Huang, a separate fuzzy variable study was carried out for ERS to be stable and pantograph position control. In this way, the stability of the system was achieved [23]. Benet et al. proposed a mathematical model for pantograph-catenary systems where different contact wires exist. It is aimed to ensure perfect contact while the pantograph slides from these lines. With this study, the most suitable form of assembly has been determined [24]. In the study by Arias et al., a static balance equation for pantograph-catenary systems was created as a mathematical model. He tried to solve

the static equation of the equation with a high-performance calculation algorithm. With this algorithm, both memory usage and processing time are shortened [25].

In Zhou et al. study, if two pantographs are present in the system, he examined the effects of the distance between these two pantographs. He analyzed the effects of single pantograph and double pantograph conditions on system behavior and the effects of two pantographs on each other. If the phases of the waveforms formed in the anterior and posterior pantographs are the same, it is understood that the contact quality deteriorates because this further increases the vibration [26]. There are many studies in the literature that use different techniques such as bulk mass, finite elements, or smart methods to model pantograph-catenary systems [27-32]. Studies are investigating the variables of contact force and vibration control [33-38]. Active control of the pantograph is more reliable for electric rail systems. Therefore, fewer system failures occur. With active pantographs, changes in the system are detected. According to these changes, the stability of the system is rearranged. Especially at high speeds, active-controlled pantographs are needed more. Because as speed increases, stability decreases for constant contact force [2, 3, 39, 40].

Mokrani et al. have developed an active system for contact force control by proposing a fuzzy floating mode controller logic based on the PID control rule. A third-degree independent model was created for the pantograph-catenary system [41]. Tan et al., in this study, pulses were detected with fiber optic sensors for real-time monitoring of the catenary system. This process provided the opportunity to view, measure, and record the data and make an analysis. A new method that combines mobile standard deviation and mobile Pauta criteria has been proposed. This method simplifies the sensing system over the conventional position method. He predicted the detection of wear and other mechanical effects in the pantograph-catenary system with high accuracy [42].

In his study, Garg et al. created a mathematical model of the pantograph-catenary system. This model includes an active control with PID control. It obtained the open-loop and closed-loop transfer functions of the pantograph-catenary system and examined the effects of the controller parameters using sensitivity analysis. Calculations were made taking into account the train speed. It has been observed that as the frequency of vibration in the contact wire increases, its sensitivity increases [43]. Yamashita et al. have provided a modern active control technique to reduce contact force variation in high-speed trains. He used two types of active control technology for the pantograph. These are PID active control and impedance control. Measurement results are given for both control techniques and it is stated that impedance control is more advantageous than PID control in terms of frequency response. As a result, it was concluded that both methods are complementary [44].

Rusu et al. proposed a numerical simulation method to analyze the dynamic behavior of the pantograph-catenary system and control the contact force. In the model created, the speed, instantaneous position of the pantograph, and the dynamic models of the catenary with pantograph were used. The aim is to reduce the contact force change [45]. Song et al. are combined with stimulating control, high gain observer, and PI control to actively control contact force. A smooth and quality contact has been confirmed by theoretical data [46]. Rebollo et al. proposed a model that synthesizes both the genetic algorithm and the PID

controller. He compared the PID control and finite element method. As a result, using the PI controller instead of the PID controller, more successful results have been obtained [47].

Abdullah et al. modeled the catenary using the method of mass dynamics analysis. It has developed active pantograph control to reduce the effects of vertical vibrations of the pantograph body on contact force [48]. Abdullah et al., in the simulation results, the change of contact force at different speed values were analyzed. Situations with and without active controllers are compared. In these studies, the active pantograph was used to dampen vibrations and positive results were obtained [49-51]. Abdullah et al., in his side study, he created a fourth-order independent pantograph mathematical model as an active control system to reduce contact force variation. To achieve this goal, an active suspension system, skyhook shock absorber, and track tracking springs were used. It has been determined that the passive controlled situation is unstable. This affects the contact quality negatively [52].

Walter has created a flexible active control system using fuzzy logic for the pantograph-catenary system in Matlab. The system explained with a simplified mechanical model [53]. Bandi has created an active control system with closed-loop feedback to regulate contact force. It has achieved successful results to reduce vibrations. However, it has been seen that an integral receiver is required to eliminate the steady-state error [54]. Pisano et al. did not prefer the method of measuring a contact force in his study. He measured the displacement of the lower and upper frame by a different method. Thus, he estimated the contact force. According to these estimates, the upper frame controller was found to be more efficient in terms of the control approach [55]. Matvejevs et al. considered the development of special pantographs to reduce contact force effects. He modeled in Matlab-Simulink the results of active and passive control systems on simulation [56]. Xiaodong et al. have applied the self-adaptive active control method to the suspension of the pantograph-catenary system to reduce vibrations [57]. Taran et al. proposed an active predictive control model with closed-loop and horizontal motion estimation approaches. This model is used to determine the time-varying characteristic of catenary stiffness. The model gave good results for constant speed values [58].

Catenary-pantograph interaction studies for fault detection;

Active control of the pantograph is important for electric rail systems. Therefore, if the pantograph is actively controlled, less malfunction occurs. With active pantographs, changes in the system are detected. According to these changes, in ERS

- Stability of the system
- Movement of the pantograph in the horizontal direction,
- Pantograph-catenary balance,
- Change of pantograph-catenary force,
- Pantograph-catenary vibrations,
- Pantograph-catenary arc and abrasions

are the most important sources of failure. As in all other areas, periodic monitoring, fault detection, and prediction of maintenance time in ERS are important for sustainability. Basically, the controls focus on two important points. These are the monitoring of the rail profile and the catenary line. Wear, breaking, bending, the catenary line stretching, contact status, compatibility of the catenary line, and pantograph axis are

examined. In this way, unexpected failures are foreseen. Increased speed in ERS increases electrical failures. For this reason, it is very important to detect faults in railroad systems and to determine appropriate inspection techniques [2, 3, 59, 60].

Bryja et al., the effect of vibrations on the pantograph-catenary system were analyzed by mathematical calculation. Vibrations in the rail system increase non-contact in the pantograph-catenary system. The vibration that occurs is a big problem, especially in high-speed rail systems. Pantograph vibrations calculated for two trains with a speed of 60 km/h and 100 km/h were calculated. Pantograph vibrations increased contact loss in the catenary-pantograph system when single-stage train suspension was used. In two-stage suspension, contact loss was reduced in pantograph-catenary systems. Efficiency has been directly proportional to the increase in train speed. The two-stage suspension was successful. Therefore, high-speed sudden shocks did not affect the pantograph-catenary system [61].

In his study, Wang et al. emphasized that the pantograph contact strip and contact wire form a friction pair and analyzed wear. It used a high performance sliding contact test machine to obtain experimental data. He tried to create a mathematical model. He investigated the effects of electrical and mechanical wear depending on the change value of the contact pressure. It has been observed that electrical wear occurs for small values of contact pressure and mechanical wear occurs for large values. When the speed increased, the contact points were passed faster and the heat generated was lower. When speed decreased, temperature, and wear increased due to friction [62]. Ding et al. examined the carbon contact strip of the pantograph with the copper contact wire of the catenary. Arc and wear of the pantograph-catenary system were analyzed. It evaluated the rate of wear according to the electric current. Accordingly, it was observed that the wear rate increased during the arc [63, 64].

Östlund et al. explain that an arc occurs between the contact wire and the contact strip due to icing in the winter. It measured DC components on train sets. It observed arc-induced wear. Current information, voltage, speed, arc signals were recorded [65]. Ocoleanu et al. examined the temperature coefficient values against the different current values obtained from the experimental data. He evaluated the overheating and friction failures caused by the friction of the pantograph and the catenary. Calculated error values for overheating and friction failures [66]. Nituca is the model for the contact pair, where the pantograph is made of graphite and the contact wire is made of copper. The highest contact temperature and heat distribution were determined for these two components. The model created provides an explanation of thermal events for different materials under different conditions [67].

The intensification of the electric arc and related electrochemical corrosion on the pantograph-catenary system creates mechanical and thermal damage. Therefore, excessive wear occurs. The pantograph-catenary system has been compared in terms of electrical and mechanical properties as carbon wire and conventional wire. For this purpose, a physical experiment platform was designed. In this study, the traditional Pantograph-catenary and the new circular pantograph system were compared. The new Circular pantograph-catenary system has shown superior performance both electromagnetically and thermally. The new system provided less friction heat, better heat dissipation, and improved catenary tracking performance [68-70].

Bucca et al., tests have been carried out in the laboratory for wear analysis at different speeds, different contact forces, and different current values on the contact strip made of different materials. According to this information, a simulation was created. With the simulation studies, the rate of wear was determined according to the current change. Wear the amount increased when the copper strip was used [71]. Midya et al. examined current and voltage values for arc faults in pantograph-catenary systems. It has created a model structure that represents the pantograph and catenary system. He examined current and voltage signals in order to determine the arc types in the model with current and voltage values [72].

A hybrid model that provides contact between the Facchinetti et al., pantograph and catenary was used. An application has been proposed to solve the arc, heating, and wear problems that occur with this developed model [73]. In his study, Yaman et al. have developed the arc detection approach using a pantograph model determined for fuzzy logic-based for pantograph-catenary systems [74]. Wei et al. abnormal wear in pantograph-catenary systems increase maintenance costs. Abrasion adversely affects the stability and safety of pantograph-catenary systems. In this study, models of calculating the wear rate in pantograph-catenary systems are proposed. These models have been used to approximate the wear of the contact wire and pantograph strip. According to this study, according to the wear estimation method proposed in pantograph-catenary systems, contact wire made of suitable material should be used to reduce the formation of deep grooves in the contact wire [75].

In his study, Tu examined the Cf/Cu-C contact strip under the electric current for pantograph-catenary systems and the wear behavior of the material [76]. In his study, Er made catenary line icing prevention applications for urban light rail transportation systems in pantograph-catenary systems. He repeated his practice in the laboratory environment with field experiments in the outside area [77]. Guiming et al. in the study carried out, the carbon wire wear of a pantograph on trains at 250 km / h is very high. The sliding wire has been found to be severely worn under electric current. For this purpose, applied tests were carried out. Experiments on the high-speed railway were carried out at electric currents of 200, 300, 400, and 500 A and at speeds of 100, 150, 200, and 250 km/h. Friction coefficient, wear volume, arc electric current, arc electric voltage drop and carbon friction temperature increase were recorded. The test results show that the friction wears volume increases in direct proportion to the electric current. Accordingly, arc melting has been found to increase wear [78]. Er, in his study, the friction and wear behavior of carbon strip/copper contact wire in electric rail transportation vehicles pantograph-catenary systems were investigated [79]. By measuring the distance between the locomotive peak and the pantograph, Jian-Ping has developed a dynamic measurement method based on laser phase spacing technology. In addition, arc, vibration, wear, friction, and thermal analyzes were made. [80-84].

3. Solution Methods Used in Pantograph-Catenary Systems According to The Type of Fault

Many et al. studies have been carried out for fault diagnosis in pantograph catenary systems. In these studies, different solutions for malfunctions have been provided by many different methods [2, 3, 85-87]. Gregori et al., in this study, it is proposed

to use an offline/online coordinate approach together to create a very efficient simulation strategy. Instant real data was used for hardware-in-the-Loop (HIL) simulation. This new approach produced higher accuracy results compared to results obtained with conventional finite element strategies. Simulation results showed that the proposed method can be used to perform pantograph HIL tests [88]. In his study, Koyoma investigated faults caused by the wear of the pantograph contact strip and the upward movement of the pantograph. Using accelerometers, he analyzed deviations from the contact force and axial force in the transmission wire [89].

Zhenghua et al., stable and accurate contact point in pantograph-catenary systems is an important factor for measuring geometric parameters. In this study, a method is used to detect contact points from infrared images. Horizontal-vertical enhancement (HVE), horizontal image layer (HIL), and vertical image layer (VIL) were used. Successful results with 99.6% accuracy were obtained for contact point detection [90]. In independent studies, Barmada et al. and Midya et al. investigated DC current change and arc faults caused by pantograph arc in their studies. Using current and voltage measuring sensors, he experimentally analyzed the relevant parameters, analyzed using support vector machines and fuzzy logic [91, 92]. Zhu et al., in this article, a nonlinear partial state feedback control are designed for the 3-DOF pantograph-catenary system using the loopback approach so that the contact force of the closed-loop system can follow the reference profile. In the control design, the pantograph-catenary model has been converted into a triangular form. This facilitates feedback. According to the calculation made, the proposed nonlinear feedback has achieved successful results. With nonlinear feedback control, the amount of error of the contact force was seen in the simulation [93].

Also being independent studies, Liu (2010), Li (2009), O'Donnell (2006), Baguslavskii (2006), Landi (2006), Barmada (2003), Ding (2011), respectively;

- Determination of the position of the contact wire with the pantograph and the interaction between the two
- Monitoring the condition of the pantograph strip
- Contact performance of the contact wire
- Evaluation of contact performance
- Determination of the height of the contact wire
- Excessive friction, incorrect static contact force

They tried to find solutions to the types of malfunctions. They used methods such as edge extraction and structural geometric modeling, analysis of pantograph contact force, determination of the contact wire height with an artificial neural network, various segmentation methods, hough transformation, line segment detection and mean shift object tracking algorithm [94-101].

Huang et al., the occurrence of arcs in pantograph-catenary systems damage rail operations. A CNN-based model has been proposed to prevent arc-induced failures. Pantograph videos recorded by a camera fixed on the High-Speed Train were recorded. CNN model is trained with sample failures. 95% correct information has been reached. The formation and size of arcs are determined correctly. It has been found that the CNN model can be applied to other EMU models or environments with adjusted parameters [102]. In his study, Hallgrímsson examined the malfunction of the pantograph contact wire overheating and wear.

He analyzed the pantograph-catenary system using a wavelet analysis method using phototubes [103].

Being et al. independent studies, Zhang and Midya investigated pantograph contact wire performance problems in their studies. They created arc models and examined arc current and arc voltage [104, 105]. Farhan et al. this study used the Safe Experiment Dynamics method to adjust fuzzy logic controller parameters. A single input fuzzy logic controller is proposed to control the contact force between pantograph and catenary. In this way, the controller is designed with fewer variables than other existing models. The performance of the fuzzy logic controller was analyzed for pantograph time response and contact force. A simplified model of the three degrees of freedom (3-DOF) pantograph-catenary system was used. Successful results were achieved with a rapid response within 5.27 sec, with a deviation of 2% from the real force [106]. In his study, Jie investigated malfunctions caused by pantograph-catenary interaction and catenary vibration. It provided solutions for changes in the pantograph-catenary system with signal processing using optical fiber [107].

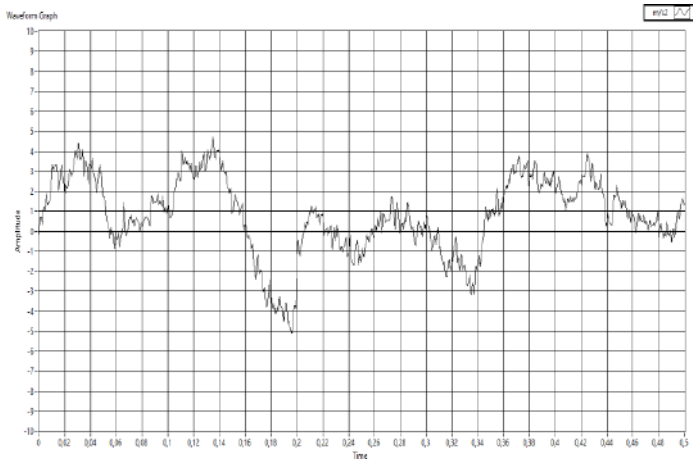
Tan et al., fiber Bragg grating sensor system is an important sensing element for strain measurements. In this study, a fiber Bragg grating sensor system was mounted on the pantograph catenary system. In the test conducted, it was observed that the temperature of the pantograph strip reached about 80 °C while the vehicle was running. Time-domain and frequency-domain analyzes of the contact force compensated by the proposed method were performed. With the designed filter, the effect of temperature on strain signals is eliminated. This method is more effective in predicting the actual tension of the pantograph strip compared to the traditional temperature compensation technique [108]. In his study, Babillet et al. tried to find solutions to the failures arising from the upper contact wire and the transmission wires in the pantograph-catenary system. He analyzed the causes of malfunctions using signal processing and wavelet analysis using video image recording [109]. In addition, in many studies, mathematical models have been created to find solutions to malfunctions caused by pantograph-catenary interaction. Analyzes were carried out on electric rail systems using hardware simulation techniques [110-113]. All simulation studies in rail systems and other energy systems aim efficiency optimization [114-121].

4. Material and Method

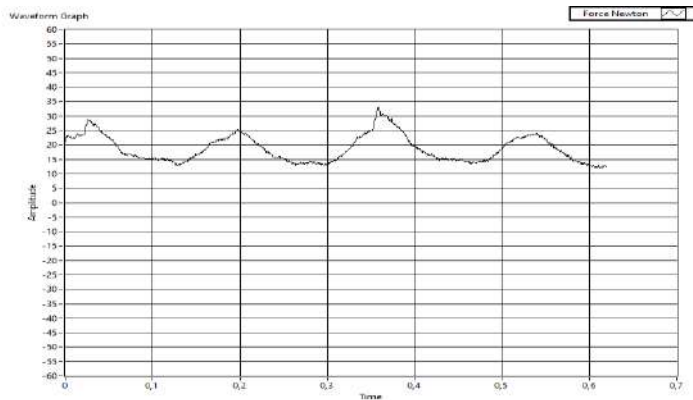
In this study, sensors were added to the pir pantograph to examine the failures of the components that make up the railway line. With these sensors, the fault locations were determined by looking at the signals from the accelerometer and force meter. Fault detection and fault point are detected very quickly. Error information was detected from signal change. In this way, the spring formed in the interaction between the catenary and the pantograph was seen.

As a result of the measurements carried out physically in the test environment, the signals received from the electric train are shown in Fig. 1, and Fig. 2. In Fig. 1, the electric train is in motion (no malfunction), (a) signals from the accelerometer (b) signals from the force sensor. In Fig. 2, the electric train is in motion (at the time of failure), (a) signals from the accelerometer (b) signals from the force sensor [113].

Figure 1.a and Figure 1.b shows the normal operation of the electric train in motion. In normal operation, the signals received from the accelerometer and force sensor are seen. While there is no breakdown in the electric train, the lower and upper ends of the signals in the system are close to each other. Figure 2.a and Figure 2.b show the operation of the electric train in motion at the time of failure. While the electric train is in motion, the signal change from the accelerometer at the time of failure is seen with an abnormal signal change up and down. In the signals coming from the force sensor, the signal change at the time of failure is abnormally downward.

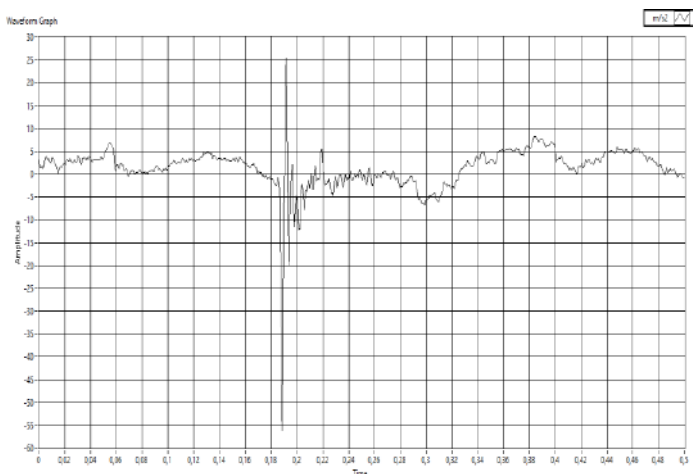


a) Electric train in motion (no fault), signals from accelerometer

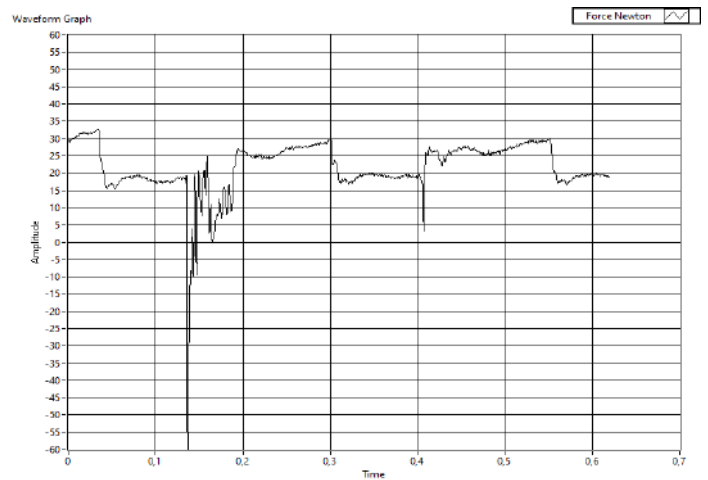


b) Electric train in motion (no fault), signals from force sensor

Figure 1. Electric train in motion (no fault), (a) signals from the accelerometer (b) signals from the force sensor



a) Electric train in motion (at the time of failure), signals from accelerometer



b) Electric train in motion (at the time of failure), signals from the force sensor

Figure 2. Electric train in motion (at the time of failure), (a) signals from the accelerometer (b) signals from the force sensor

5. Conclusions

Generally, the parameters of the contact wire or the pantograph parameters are emphasized. When the contact wire and pantograph parameters were evaluated together, more successful results were obtained. Studies for modeling the pantograph-catenary system generally yielded successful results for the constant train speed value. However, it was seen that erroneous results were produced with the change of speed.

The materials from which the pantograph catenary system is manufactured, the characteristics of these materials, their parameter effects, their behavior according to the seasonal conditions, the current draw values, the speed values of the system, and the changes in the contact force are different. Many factors such as wear, friction, arc, temperature, and vibration that cause malfunction should be analyzed in order to examine the failures that occur in the studies. Because when one of the negative parameters emerges, it is exposed to other negative conditions. Therefore, many parameters should be evaluated in modeling instead of just one negative parameter. Instead of a negative variable, an analysis should be made by considering more than one variable.

Studies have shown that pantograph-catenary interaction is negatively affected if the system parameters change for any reason. Accordingly, it is seen that the quality of energy transmission decreases. In pantograph-catenary systems, the stability of the system decreases if the parameters change. The necessity of periodic pantograph control, which will ensure the efficient operation of the system, is revealed.

5. Acknowledge

This work has been supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under Grant EEEAG-118E322.

References

- [1] Zhang W., Zou D., Tan M., Zhou N., Li R., Mei G. (2018) Review of pantograph and catenary interaction, *Front. Mech. Eng.*, 13(2):311-322.
- [2] Yaman O., (2014) Pantograf-Katener Sistemlerinde Görüntü İşleme Tabanlı Temassız İzleme Yöntemlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Firat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 122 s.
- [3] Karaköse E. (2014) Raylı Sistemlerde Pantograf-Katener Sisteminin Modellenmesi, Simülasyonu ve Arıza Teşhis Yöntemlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Firat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 190 s.
- [4] Parlakyıldız S., Gençoğlu M.T., Cengiz M.S. (2018). Development of Rail Systems from Past to Present. *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (2018 Dubai, BAE) Oct 25-27, 2018, 147-155 Oct 25-27, 2018, Dubai*
- [5] Anonim, Türkiye demiryolları sektörünü kalite ve ileri teknoloji düzeyi ile geliştirmek istiyor, www.ePHY-mess.de/uploads/media/InterviewVDB_Vicepresident_Mr._Becker.Pdf Erişim tarihi: Ocak 2020.
- [6] Cengiz Ç., Yapıcı, İ., Cengiz M.S. (2018). Fourier Analysis in Rail Systems. *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (2018 Dubai, BAE)*,
- [7] Cengiz M. S., Cengiz Ç. (2018). Numerical analysis of tunnel L lighting maintenance factor. *International Islamic University Malaysia Journal*, 19(2):154-163.
- [8] Karaköse E., Gençoğlu M.T., Karaköse M., Aydın I., Akin E. (2016), A new experimental approach using image processing-based tracking for an efficient fault diagnosis in pantograph-catenary systems, *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 13(2):635-643.
- [9] Wu G., Wei W., Gao G., Wu J., Zhou Y. (2016) Evolution of the electrical contact of dynamic pantograph-catenary system, *J. Mod. Transport*, 24(2):132-138.
- [10] Cengiz Ç. Eren, M., Kaynaklı, M., Yapıcı, I., Gencer, G., Yurci, Y. (2017). Numerical Analysis of Maintenance Factor for Tunnel and Road In Solid State Lighting, *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology*, October 27-29, 2017. Bitlis.
- [11] Antunes P., Ambrósio J., Pombo J., Facchinetti A. (2020) A new methodology to study the pantograph-catenary dynamics in curved railway tracks, *Vehicle System Dynamics*, 58(3):425-452.
- [12] Ide C. K., Olaru S., Ayerbe P. R., Rachid A. (2013) A Nonlinear State Feedback Control Approach for a Pantograph-Catenary System, *System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, 2013 17th International Conference, Sinaia Romania, 268-273.
- [13] Mahajan P., Garg R., Kumar P. (2012) Sensitivity Analysis of Pantograph-Catenary System Model, *Power Electronics(IICPE)*, 2012 IEEE 5th India International Conference, Delhi, 1-4.
- [14] Carmine M.P., Marco C.D.S., Domenico G. (2019) Multibody modeling and nonlinear control of the pantograph/catenary system, *Archive of Applied Mechanics*, 89(1):589-1626.
- [15] Yifeng B., Jian Z., Wenzheng L., Xiankai L. (2013) Study on Influence of Contact Wire Design Parameters on Contact Characteristics of Pantograph-Catenary, *Intelligent Rail Transportation (ICIRT)*, IEEE International Conference on, Aug. 30 -Sept. 1, 268 – 273.
- [16] Zhang J., Yang J., Song R. (2012) Impact of Parameters of Pantograph on the Dynamics of Pantograph-catenary and Optimization of Parameters, *Power Engineering and Automation Conference, PEAM 2012 IEEE*, 18-20 Sept, 1-4.
- [17] Farhangdoust S., Farahbakhsh M., Shahravi M. (2013) Modeling of Pantograph-Catenary Dynamic Stability, *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(14):1486-1491.
- [18] Ambrosio J., Pombo J., Pereira M. (2013) Optimization of High-Speed Railway Pantographs for Improving Pantograph-Catenary Contact, *Theoretical & Applied Mechanics Letters*, 3, 013006.
- [19] Zhou N., Zhang W. (2011) Investigation on Dynamic Performance and Parameter Optimization Design of Pantograph and Catenary System, *Finite Elements in Analysis and Design*, 288-295.
- [20] Rachid A. (2011) Pantograph Catenary Control and Observation Using the LMI Approach, *50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC)*, Orlando, USA, December 12-15, 2287-2292.
- [21] Chu W., Song Y. (2020) Study on Dynamic Interaction of Railway Pantograph-Catenary Including Reattachment Momentum Impact, *Journal of Vibration*, 1-16.
- [22] Kia S.H., Bartolini F., Mpanda-Mabwe A., Ceschi R. (2010) Pantograph-Catenary Interaction Model Comparison, *IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 1584-1589.
- [23] Huang Y. J. (2004) Discrete Fuzzy Variable Structure Control for Pantograph Position Control, *Electrical Engineering*, 86:171-177.
- [24] Benet J., Alberto A., Arias E., Rojo T. (2007) A Mathematical Model of the Pantograph-Catenary Dynamic Interaction with Several Contact Wires, *IAENG International Journal of Applied Mathematics*, 37:2.
- [25] Arias E., Alberto A., Montesinos J., Rojo T., Cuartero F., Benet J. (2009) A Mathematical Model of the Static Pantograph/Catenary Interaction, *International Journal of Computer Mathematics*, 86(2):333-340.
- [26] Zhou N., Li R., Zhang W. (2009) Investigation of The Influence of The Space Between Two Pantographs on The Dynamic Performance of Pantograph and Catenary System, *3rd International Conference on Integrity, Reliability and Failure*, Porto/Portugal, 20-24 July.
- [27] Laurent C., Massat J-P., N-Tajan T. M. L., Bianchi J-P., Balmes E. (2013) Pantograph Catenary Dynamic Optimization Based on Multibody and Finite Element Co-simulation Tolls, *The International Association for Vehicle System Dynamics IAVSD*, 1-10.
- [28] Song D., Zhang W., He P., Jiang Y., Zhou N. (2013) Reliability Analysis of TSG19-type Pantograph Based on Time-Dependent Parameters, *Engineering Failure Analysis*, 35:153-163.
- [29] Schröder K., Ecke W., Kautz M., Willett S., Unterwaditzer, H., Bosselmann, T., Rothhardt, M. (2013) Smart Current Collector-Fibre Optic Hit Detection System for Improved Security on Railway Tracks, *Meas. Sci. Technol.*, 24:1-9.

- [30] Huan R.H., Zhu W.Q., Ma F., Ying Z.G. (2013) Vertical Dynamics of a Pantograph Carbon-Strip Suspension under Stochastic Contact-Force Excitation, Springer Science-Business Media Dordrecht *Nonlinear Dyn.*
- [31] Tur M., Garcia E., Baezaa L., Fuenmayor F.J. (2014) A 3D Absolute Nodal Coordinate Finite Element Model to Compute the Initial Configuration of a Railway Catenary, *Engineering Structures*, 71:234–243.
- [32] Sicre C., Cucala A.P., Fernandez-Cardador A. (2014) Real Time Regulation of Efficient Driving of High Speed Trains Based on A Genetic Algorithm and A Fuzzy Model of Manual Driving, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 29:79–92.
- [33] Huan R. H., Zhu W. Q., Ma F., Liu Z. H. (2014) The Effect of High-Frequency Parametric Excitation on a Stochastically Driven Pantograph-Catenary System, Hindawi Publishing Corporation *Shock and Vibration*, 2014:1-8.
- [34] Kim J. S., Han J. H. (2011) A Test Study on Interface Dynamics of Current Collection System in High Speed Trains, *IJR International Journal of Railway*, 4-2, June, 34-41.
- [35] Benet J., Rojo T., Tendero P., Montesinos J., Gil M.A., Estevez F. (2011) INDICA: An Efficient Tool to Study the Dynamical Pantograph-Catenary Interaction, 9th World Congress on Railway Research, May 22-26, 1-10.
- [36] Alic C., Miklos C., Miklos I. (2009) Upon The Actual Tendencies in Modeling and Simulating The Behavior of The Pantograph - Catenary Pairing, 49th Anniversary of The Faculty of Technical Sciences, Machine Design, May, 85-90.
- [37] Massat J. P., Laine J. P., Bobillot A. (2006) Pantograph-Catenary Dynamics Simulation, *Vehicle System Dynamics*, 44:551–559.
- [38] Rauter F. G., Pombo J., Ambrosio J., Chalansonnet J., Bobillot A., Pereira M. S. (2007) Contact Model for the Pantograph-Catenary Interaction, *Journal of System Design and Dynamics*, 1-3.
- [39] Aydın I., Karaköse E., Karaköse M., Gençoğlu M.T., Akin E. (2013) A new computer vision approach for active pantograph control, 2013 International Conference on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 1-5.
- [40] Karaköse E., Gençoğlu M.T., Karaköse M., Aydın I., Akin E. (2016), A new experimental approach using image processing-based tracking for an efficient fault diagnosis in pantograph-catenary systems, *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 13(2):635-643.
- [41] Mokrani N., Rachid A. (2013) A Robust Control of Contact Force of Pantograph-Catenary for the High-Speed Train, *European Control Conference (ECC)*, July 17-19, Zurich, Switzerland, 4568-4573.
- [42] Tan M., Zhou N., Wang J., Zou D., Zhang W., Mei G. (2019) A real-time impact detection and diagnosis system of catenary using measured strains by fibre bragg grating sensors, *Vehicle System Dynamics*, 57(12):1924–1946.
- [43] Garg R., Mahajan P., Kumar P. (2013) Effect of Controller Parameters on Pantograph-Catenary System, *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics*, 233-239.
- [44] Yamashita Y., Ikeda M. (2012) Advanced Active Control of Contact Force between Pantograph and Catenary for High-Speed Trains, *QR of RTRI*, 53(1):28-33.
- [45] Rusu-Anghel S., Miklos C., Averseng J., Tirian G.O. (2010) Control System for Catenary – Pantograph Dynamic Interaction Force, *Computational Cybernetics and Technical Informatics (ICCC-CONTI)*, 2010 International Joint Conference on, 181-186.
- [46] Song Y., Li, C., Fan L. (2012) Model-independent Solution for Active Contact Force Control of Pantographs in High-Speed Trains, 31. *Chinese Control Conference*, 7250-7255.
- [47] Sanchez-Rebollo C., Jimenez-Octavio J.R., Carnicero A. (2013) Active Control Strategy on A Catenary–Pantograph Validated Model, *Vehicle System Dynamics*, 51(4):554–569.
- [48] Abdullah M. A., Ibrahim A., Michitsuji Y., Nagai M. (2013) Active Control of High-Speed Railway Vehicle Pantograph Considering Vertical Body Vibration, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 4(6):263-274.
- [49] Abdullah M. A., Michitsuji Y., Nagai M., Miyajima N. (2010) Integrated Simulation Between Flexible Body of Catenary and Active Control Pantograph for Contact Force Variation Control, *Journal of Mechanical Systems*, 3(1):166-177.
- [50] Abdullah M.A., Michitsuji Y., Nagai M., Venture G. (2011) System Identification of Railway Trains Pantograph for Active Pantograph Simulation, *Journal of System Design and Dynamics*, 5(5):1141-1154.
- [51] Abdullah M.A., Michitsuji Y., Nagai M., Miyajima N. (2010) Simulation between Flexible Body of Catenary and Active Control Pantograph for Contact Force Variation Control, *Journal of Mechanical Systems*, 3(1):166-177.
- [52] Yan W., Hao Z. J., Q.Zheng T. (2009) Optimizing Active Control Scheme of Highspeed Pantograph, *Power Electronics and Motion Control Conference, IPEMC, IEEE 6th International*, 2622-2626.
- [53] Walters S. (2010) Simulation of Fuzzy Control Applied to a Railway Pantograph- Catenary System, *KES Proceedings of the 14th International Conference on Knowledge-based and Intelligent Information and Engineering Systems: Part II*, 322-330.
- [54] Bandi P. (2009) High-Speed Rail Pantograph Control System Design, Project Report.
- [55] Pisano A., Usai E. (2007) Contact Force Estimation and Regulation in Active Pantographs: An Algebraic Observability Approach, 46th IEEE Conference On Decision And Control New Orleans, LA, USA, Dec. 12-14, 4341-4346.
- [56] Matvejevs A., Matvejevs A. (2010) Pantograph-Catenary System Modeling Using Matlab-Simulink Algorithms, *Scientific Journal of Riga Technical University Computer Science. Information Technology and Management Science*, 38-44.
- [57] Xiaodong, Z., Yu, F. (2011) Active Self-Adaptive Control of High-Speed Train Pantograph, *Power Engineering and Automation Conference (PEAM)*, 3:152 – 156.
- [58] Taran M. F., Rayerbe P., Olaru S., Ticlea A. (2013) Moving Horizon Control and Estimation of a Pantograph-Catenary System, 17th International Conference System Theory Control and Computing, 527-532.
- [59] Aydın I., Karaköse E., Karaköse M., Gençoğlu M.T., Akin E. (2013) A new computer vision approach for active pantograph control, 2013 International Conference on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 1-5.
- [60] Karakose E., Gençoğlu M.T., Karakose M., Yaman O., Aydın, I., Akin E. (2018) A new arc detection method based on fuzzy logic using S-transform for pantograph-catenary systems, *Journal of Intelligent Manufacturing* 29(4):839-856.
- [61] Bryja D., Hylński A. (2019). An influence of track stiffness discontinuity on pantograph base vibrations and catenary-

- pantograph dynamic interaction, *Studia Geotechnica et Mechanica*, 1–14.
- [62] Wang Z., Guo F., Chen Z., Tang A., Ren Z. (2013) Research on Current-carrying Wear Characteristics of Friction Pair in Pantograph Catenary System, 59th Holm Conference on Electrical Contacts, 1-5.
- [63] Ding T., Chen G.X., Li Y.M., Yang H.J., He Q.D. (2014) Arc Erosive Characteristics of A Carbon Strip Sliding Against A Copper Contact Wire in A High-Speed Electrified Railway, *Tribology International*, 79:8–15.
- [64] Ding T., Chen G., Li Y., He Q., Xiaodong W. X. (2012) Friction and Wear Behavior of Pantograph Strips Sliding Against Copper Contact Wire with Electric Current, *AASRI Procedia* 2:288-292.
- [65] Östlund S., Gustafsson A., Buhrkall L., Skoglund M. (2008) Condition Monitoring of Pantograph Contact Strip, *Railway Condition Monitoring*, 4th IET International Conference on, 1-6.
- [66] Ocoleanu C. F., Popa I., Manolea G. (2013) Iterative Experimental Procedure for Determining of Heat Transfer Coefficient of Catenary's Contact Line Wire, *Advances in Production, Automation and Transportation Systems*, 385-388.
- [67] Nituca C. (2013) Thermal Analysis of Electrical Contacts from Pantograph–Catenary System for Power Supply of Electric Vehicles, *Electric Power Systems Research*, 96:211–217.
- [68] Zhang, J., Zhang, H., Song, B., Xie, S. and Liu, Z. (2019) A new active control strategy for pantograph in high-speed electrified railways based on Multi-Objective robust control, *IEEE Access*, 7, 173719-173730.
- [69] Zhang, J., Liu, W. and Zhang, Z. (2019), Study on characteristics location of pantograph–catenary contact force signal based on wavelet transform, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 68(2):402-411.
- [70] Song X., Yuanpei L., Jingchi W., Can Z., Yang R., Guangning W. (2020) Multi-physics analysis of a novel circular pantograph catenary system for high-speed trains, *COMPEL - The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*
- [71] Bucca G., Collina A. (2009) A Procedure for the Wear Prediction of Collector Strip and Contact Wire in Pantograph–Catenary System, *Wear*, 266:46–59.
- [72] Midya, S., Bormann, D., Schütte, T., Thottappillil, R. (2009) Pantograph Arcing in Electrified Railways—Mechanism and Influence of Various Parameters-Part I: With DC Traction Power Supply, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24:1931-1939.
- [73] Facchinetti A., Bruni S. (2012) Hardware-in-the-loop Hybrid Simulation of Pantograph–Catenary Interaction, *Journal of Sound and Vibration*, June, 2783-2797.
- [74] Yaman O., Karaköse E., Aydın I., Karaköse M., Akın E. (2017) Pantograf-katener sistemler için bulanık mantık tabanlı belirlenen pantograf modeli kullanılarak ark tespiti yaklaşımı, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(4):724-739.
- [75] Wei X.K., Meng H.F., He J.H., Jia L.M., Li Z.G. (2020) Wear analysis and prediction of rigid catenary contact wire and pantograph strip for railway system, *Wear*, 442-443.
- [76] Tu C.J., Deng L.P., Chen D., Xiong X.Z., Wang Y.F., Zhu Y. (2017) Preparation of Cf/Cu-C contact strip and wear behaviour under electric current, *Materials Science and Tech.*, 33(1):98-103.
- [77] Er Ü., Çakır F.H. (2018) Urban light rail transportation systems catenary line anti-icing applications; laboratory and field experiments, *Anadolu University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 19(2):433-442.
- [78] Guiming M., Wenming F., Guangxiong C., Weihua Z. (2020). Effect of high-density current on the wear of carbon sliders against Cu–Ag wires, *Wear*, 452–453.
- [79] Er Ü. (2018) Elektrikli Raylı Ulaşım Araçları Pantograf-Katener Sistemlerinde Karbon Şerit/Bakır Temas Telinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, 4. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'18), 10-12 Ekim 2018, Karabük, Türkiye
- [80] Jian-Ping P., Yu Z., Li W., Xiao-Rong G., Ze-Yong W., Quan-Ke Z., Chao-Yong P., Kai Y. (2009) Dynamic Detection for the Contact Line Gradient in Electrified Railway, *High-Power Diode Laser Technology and Applications*, San Jose, CA.
- [81] Midya S., (2009) Conducted and Radiated Electromagnetic Interference in Modern Electrified Railways with Emphasis on Pantograph Arcing, PhD Thesis, Electrical Systems, Stockholm, Sweden.
- [82] Van O. V., Massat J-P., Laurent C., Balmes E. (2013) Introduction of Variability in Pantograph-Catenary Dynamic Simulations, *The International Association for Vehicle System Dynamics (IAVSD)*, 1-8.
- [83] Plesca A., (2014) Electric Arc Power Collection System for Electric Traction Vehicles, *Electrical Power and Energy Systems*, 57:212–221.
- [84] Plesca A. (2014) Thermal Analysis of Sliding Electrical Contacts with Mechanical Friction in Steady State Conditions, *International Journal of Thermal Sciences*, 84:125-133.
- [85] Karaköse M., Gençoğlu M.T. (2012) Adaptive fuzzy control approach for dynamic pantograph-catenary interaction, *Proceedings of 15th International Conference MECHATRONIKA*, 1-5.
- [86] Karaköse E., Gençoğlu M.T. (2013) An analysis approach for condition monitoring and fault diagnosis in pantograph-catenary system, 2013-IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1963-1968.
- [87] Karaköse E., Gençoğlu M.T. (2014) An investigation of pantograph parameter effects for pantograph-catenary systems, 2014-IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) Proceedings, 338-343.
- [88] Gregori S., Tur M., Pedrosa A. Tarancón J.E., Fuenmayor F.J. (2019). A modal coordinate catenary model for the real-time simulation of the pantograph-catenary dynamic interaction, *Finite Elements in Analysis and Design* 162(1):1–12.
- [89] Koyama T. (2012) Detection of Pantograph Failures Using Sensor Fixed to Catenary System, *Railway Technology Avalanche*, 246, Dec. 2012.
- [90] Zhenghua H., Liang C., Yaozong Z., Zexi Y., Hao F., Tianxu Z. (2019) Robust contact-point detection from pantograph-catenary infrared images by employing horizontal-vertical enhancement operator, *Infrared Physics and Technology*. 101:146–155.
- [91] Midya S., Bormann D., Schütte T., Thottappillil R. (2011) Pantograph Arcing in Electrified Railways—Mechanism and Influence of Various Parameters-Part I: With DC Traction Power Supply, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1931-1939.

- [92] Barmada B., Raugi M., Tucci M., Romano F. (2013) Arc detection in pantographcatenary systems by the use of support vector machines-based classification, *Institution of Engineering and Technology*, 1–8.
- [93] Zhu B., Ren Z., Xie W., Guo F., Xia X. (2019). Active nonlinear partial-state feedback control of contacting force for a pantograph–catenary system, *ISA Transactions*, 91(1):78–89.
- [94] Liu Y., Chang G. W., Huang H. M. (2010) Mayr's Equation-Based Model for Pantograph Arc of High-Speed Railway Traction System, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(3):2025–2027.
- [95] Li M., Ze-yong W., Xiao-rong G., Li W., Kai Y. (2009) Edge Detection on Pantograph Slide Image| *International Congress on Image and Signal Processing*, s: 1-3, 2009.
- [96] ODonnell C., Palacin R., Rosinski J. (2006) Pantograph Damage and Wear Monitoring System, *IEEE Conference on Railway Condition Monitoring*, London, England, 178-181.
- [97] Boguslavskii A. A., Sokolov S. M., (2006) Detecting Objects in Images in Real-Time Computer Vision Systems Using Structured Geometric Models|, *Pleiades Publishing*, 32(2006):177-187.
- [98] Landi A., Menconi L., Sani L. (2006) Hough transform and thermo-vision for monitoring pantograph-catenary system, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part FJ. Rail Rapid Transit*, 220(4):435-447
- [99] Barmada S., Landi A., Sani L. (2003) Wavelet Multiresolution Analysis for Monitoring the Occurrence of Arcing on Overhead Electrified Railways, *Journal of Rail and Rapid Transit*, 217:177-187.
- [100] Ding T., Chen G.X., Bu J., Zhang W.H. (2011) Effect of temperature and arc discharge on friction and wear behaviours of carbon strip/copper contact wire in pantograph–catenary systems, *Wear*, 1629-1636.
- [101] Yueping L., Wei Q., Ning Z., Dong Z., Yuchen P., Sizhen H., Ye W., Xuemin L., Jim X. C. (2019) A Coarse-to-Fine Detection Method of Pantograph-Catenary Contact Points Using DCNNs, *International Federation of Automatic Control Conference-2019*, 71–75.
- [102] Huang S., Zhai Y., Zhang M., Hou X. (2019). Arc detection and recognition in pantograph–catenary system based on convolutional neural network, *Information Sciences*, 501:363–376.
- [103] Hallgrímsson A. K. (2013) Dynamic behavior of contact lines for railways with laboratorial model setup according to Norwegian conditions, *Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Structural Engineering*, Master thesis, pp. 129.
- [104] Midya S., Bormann D., Schütte T., Thottappillil R. (2011) DC Component From Pantograph Arcing in AC Traction System—Influencing Parameters, Impact, and Mitigation Techniques, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 53:18-27.
- [105] Zhang W., Zhou N., Li R., Mei G., Song D. (2011) Pantograph and Catenary System with Double Pantographs for High-Speed Trains at 350 Km/H or Higher, *Journal of Modern Transportation*, 7-11.
- [106] Farhan M.F., Shukor N.S.A., Ahmad M.A., Suid M.H., Ghazali M.R., Jusof M.F.M. (2019) A simplify fuzzy logic controller design based safe experimentation dynamics for Pantograph-Cateary system, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 14(2): 903-911.
- [107] Jie Y., Mingli W. (2011) Development of a Detection System for the Catenary Vibration Monitoring, *International Conference of Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences*, 76-79.
- [108] Tan M., Zhou N., Cheng Y., Wang J., Zhang W., Zou D. (2019) A temperature-compensated fiber bragg grating sensor system based on digital filtering for monitoring the pantograph-catenary contact force, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 233(2):187–200.
- [109] Bobillot A., Delcourt V., Damanche P., Massat J. P. (2006) Pantograph-Catenary: three paths to knowledge, *7th congress on Railway Research*, 4-8 June, Montreal, Canada, 2006.
- [110] Schroder K., Ecke W., Kautz M., Willett S., Jenzer M., Bosselmann T. (2013) An approach to continuous on-site monitoring of contact forces in current collectors by a fiber optic sensing system, *Optics and Lasers in Engineering*, 51(2):172-179.
- [111] Pombo J., Ambrosio J. (2012) Influence of pantograph suspension characteristics on the contact quality with the catenary for high speed trains, *Computers and Structures*, 110-111:32–42, November 2012.
- [112] Yaxing Y., Xuemei Y., Zhongke L., Kaiduan Y. (2008) Non-contact measurement of contact wire, *International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Measurement Technology and Applications*, 2008.
- [113] Parlakyıldız S., Gençoğlu M.T., Cengiz M.S. (2020). Analysis of Failure Detection and Criteria in Pantograph-Catenary Interaction, *Light and Engineering*, 28(6) (in press).
- [114] Çıbuk, M., Cengiz, M.S. (2020) Determination of Energy Consumption According to Wireless Network Topologies in Grid-Free Lighting Systems. *Light & Engineering*, 28(2):67–76.
- [115] Cengiz, M.S., (2020) Effects of Luminaire Angle and Illumination Topology on Illumination Parameters in Road Lighting. *Light & Engineering*, 28(4):47–56.
- [116] Efe, S. B. (2018) UPFC Based Real-Time Optimization of Power Systems for Dynamic Voltage Regulation. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 116(3):391–406.
- [117] Efe, S. B., Cebeci, M. (2013) Power Flow Analysis by Artificial Neural Network. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 2(6):204–208.
- [118] Cengiz, M.S., (2013) Smart meter and cost experiment. *Przeglad Elektrotechniczny*, 89(11):206–209.
- [119] Arı, D., Çıbuk, M., Ağgün, F. (2018) A New Proxy-Based Network Joining Method for Linear Wireless Sensor Networks. *International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2018)*, 2018:715-723.
- [120] Çıbuk, M. (2020) Reducing Energy Consumption in Single-Hop and Multi-Hop Topologies of Road Lighting Communication Network, *Light & Engineering*, 28(4):91–102.
- [121] Yıldırım S., Yapıcı İ., Atış S., Eren M., Palta O., Cengiz Ç., Cengiz M.S., Yurci Y. (2017) Numerical Analysis of Productivity and Redemption Periods in LED Illumination. *Imeset Book of Abstracts, Int. Conf. Mult. Sci. Eng. Tech.*, 12–14 July 2017, Baku.



Investigation of the Physical and Chemical Properties of Traditional Homemade Yogurt with Different Rates of Pollen Additions

Mehmet Musa Özcan¹, Selin Fındık^{2*}, Vildan Uylaşer³, Duygu İpek Çoban⁴

¹Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5024-9512)

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0673-5270)

³Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5532-5203)

⁴Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2422-9339)

(First received 14 May 2020 and in final form 30 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.736476)

ATIF/REFERENCE: Özcan, M. M., Fındık, S., Uylaşer, V. & İpek Çoban, D. (2020). Investigation of the Physical and Chemical Properties of Traditional Homemade Yogurt with Different Rates of Pollen Additions. *European Journal of Science and Technology*, (20), 516-521.

Abstract

Fermented milk products are widely consumed as healthy foods worldwide (Matumoto-Pintro et al., 2011). Due to the widespread consumption in our country the production amount of yogurt, which is the most processed product of cow milk after drinking milk, increases every year. Yoghurt production increased by 2.2% from 2018 and reached 1.19 million tons (TÜİK, 2018). In addition to its nutritional properties and the presence of living microorganisms, it has some quality flaws such as low viscosity, stickiness, loose structure, serum separation (water release), as well as its benefits for human health. In this study, physical and chemical properties of yoghurt produced using conventional home-made yeast-milled bee pollen-added yeast in which 1 control and 6 different concentrations (%0.5, %1, %1.5, %2, %2.5, %3) were investigated. The acidity, titratable acidity, mineral matter content and color analysis of the use of pollen at different rates in yoghurt samples were evaluated. In the yoghurt samples evaluated within the scope of the study, it was concluded that the acidity, titration acidity, mineral substance content and color change of the addition of pollen in different rates were statistically significant ($p < 0.01$).

Keywords: Bee pollen, yoghurt, minerals, color, pH, SH.

Farklı Oranlarda Polen İlaveli Geleneksel Ev Yoğurdunun Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

Öz

Dünya genelinde fermente süt ürünleri sağlıklı besinler olarak yaygın şekilde tüketilmektedir (Matumoto-Pintro ve ark., 2011). Ülkemizde de tüketiminin yaygın olmasından dolayı sanayiye aktarılan inek sütünün, içme sütünden sonra en çok işlendiği ürün olan yoğurdun üretim miktarı her yıl artış göstermektedir. Yoğurt üretimi 2018 yılından % 2,2 oranında artarak 1.19 milyon tona ulaşmıştır (TÜİK, 2018). Besleyici özellikleri ve canlı mikroorganizmaların varlığı ile insan sağlığına olan yararlarının yanı sıra, fermente bir süt ürünü olan yoğurdun düşük viskozite, yapışkanlık, gevşek yapı, serum ayrılması (su salma) gibi bazı kalite kusurları bulunmaktadır (Domagała ve ark., 2013). Bu çalışmada 1 kontrol ve 6 farklı oranda (% 0.5, %1, %1.5, %2, %2.5, %3) öğütülmüş polen ilaveli geleneksel ev yoğurdu mayası kullanılarak üretilen yoğurtların fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Yoğurt örneklerinde farklı oranlarda polen kullanımının asitlik, titrasyon asitliği, mineral madde içeriği ve renk değerleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında değerlendirilen yoğurt örneklerinde farklı oranlarda polen ilavesinin asitlik, titrasyon asitliği, mineral madde içerik ve renk değişimi istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır ($p < 0.01$).

Anahtar Kelimeler: Polen, yoğurt, mineraller, renk, pH, SH.

* Selin Fındık: Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0673-5270, selinfndk@gmail.com.

1. Introduction

According to Fermented Dairy Products Communiqué No. 2009/25 of the Turkish Food Codex, yogurt is a fermented milk product using the symbiotic cultures of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. Additionally, according to TS 1330 the yogurt standard, yogurt defined as a “product obtained pasteurization of cow milk, sheep milk, buffalo milk, goat milk or their mixtures or homogenising the pasteurized milk with the addition of milk powder, or without homogenisation adding the yogurt culture consisting of *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* after proper processing”. Yogurt is a milk product produced by adding starter culture or wild yeast after pasteurization process (78 °C, 15 minutes).

Since yogurt is a fermented dairy product, digestion is easier than milk (Emirdağı, 2014) and the dry matter components are richer than milk (Eren Karahan, 2016). Yogurt is widely consumed nutritious food because of consisting high rate of calcium, riboflavin, protein, phosphorus, vitamin A, vitamin B1 (Thiamine), vitamin B12 (Riboflavin) and Vitamin B6. In addition, in yogurt folic acid, niacin, magnesium and zinc values are also higher than milk. Therefore, with a regular consumption of yogurt, especially for children and youngsters most of the daily required proportion of vitamin A, folic acid, vitamin B12, calcium and magnesium can be taken (Peker, 2012: 4). Another food that has an important role in the growth of children and youngsters is pollen. It is medically known that pollen is used in the treatment of many diseases such as infectious diseases and gastric bleeding. Using pollen in children contributes to child development (Karataş and Şerbetçi, 2008). Although pollen composition varies according to plant resources and production methods (Şahinler, 2000), in general, it consists protein (25-30%), carbohydrate (30-55%), lipid (4.8%), vitamins and minerals (12.13%) (Sandıkçı Altunatmaz and Yılmaz Aksu, 2016), and starch (15%, 50) (Erdoğan and Dodoloğlu, 2005). It is a natural antioxidant due to phenolic substances (gallium, caffeic, ferulic, chlorogenic, coumaric acid) and flavonoids (myricetin, camferol, galangin) found in pollen structure (Sandıkçı Altunatmaz and Yılmaz Aksu, 2016).

Additionally in pollen, the basic amino acids (arginine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, threonine, tryptophan, valine) (Erdogan and Dodoloğlu, 2005), different minerals, in addition to all of the B group vitamins C, D, E vitamins, natural hormones, enzymes, coenzymes, pigments, and carbohydrates have been reported (Karagözoğlu et al., 2012). There are many researches on physical, chemical, sensory characteristics and microbiological quality of yogurt produced in Turkey (Koçhisarlı and Ergül, 1987; Öz, 1990; Özdemir and Bodur, 1994; Tunçtürk et al., 2000; Herdem, 2006; Duraket et al., 2008; Coşkun and Şenoğlu, 2011; Koçak, 2013; Demirkaya and Ceylan, 2013; Biberöğlu and Ceylan, 2013; Köse and Ocak, 2014; Bakırcı et al, 2015; Eren Karahan, 2016). In addition to this, studies are continuing to improve the quality of yogurt and produce yogurt with different characteristics (Peker, 2012). Although studies on the physical, chemical and sensory properties of yogurt were conducted, limited number of studies was found in the literature regarding pollen-added yogurt (Yerlikaya, 2014; Lomova et al., 2014; Glušac et al., 2015; Atallah, 2016; Zlatev et al., 2018). At this point, especially in terms of new product development, the aim of this study is to examine the physical and chemical properties of traditional homemade yogurt with different rates of pollen additions.

2. Material and Method

The yoghurt samples that constitute the material of the study were obtained by applying the traditional fermentation method of milk supplied from the different villages of Konya. After the fat-free dry matter ratio of milk to be used in making yoghurt was adjusted to 12%, it was heated at 90 °C for 10 minutes, then it was allowed to cool down to 43 °C, and 3% of the traditional yoghurt culture was added. The samples with yoghurt culture were incubated for 3 hours at 43 °C and the results were kept in the refrigerator at 4 °C for 1 day, and the analysis was started the other day. Pollen were added to traditional yogurt samples other than the control sample of the yoghurt samples using the traditional method before incubation at the rates of 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% and 3%.

2.1. Physical and Chemical Analysis

Physical and chemical measurements were conducted in duplicate. Viscosity measurement and color determination analyses were performed within the scope of physical analyses. The viscosity measurement was determined using the Poulten RY-8 model viscometer at 50 rpm with the cap 6 (sample temperature 3 ± 1 °C) and the results were read directly in centipoise (cP) on the digital display of the device. Color values were measured using the Minolta Meter CR 400 (Konica Minolta, Inc. Osaka, Japan). Before the measurement, the device was calibrated against the white surface calibration plate and the L^* , a^* and b^* values were determined according to the CIE lab color scale.

After taking yogurt samples on a white background, color of the samples were measured from 4 different points (Pagliarini and Rastelli, 1994). As chemical analyses, the pH and titratable acidity and minerals were evaluated separately for each sample. For pH analysis, 10g sample was taken and 100 ml of pure water was added and mixed until homogenous. The pH value was determined by immersing NEL brand 821 model pH meter glass electrode to the samples at 20 °C. For the titratable acidity analysis, pH of yogurt samples was transferred to the 250 ml flask and transferred to the line with pure water. The well stirred samples were then filtered through a filter paper and taken up 25 ml of the filtrate. The glass electrode of the pH meter used in the pH determination was immersed into this sample and with continuous stirring with a magnetic stirrer; the sample was titrated with 0.1 N NaOH until the pH reached 8.1. The result is indicated in terms of lactic acid (Batu et al., 2007). After weighing samples for the determination of the mineral substances 0.15-0.20 grams on the precision scale, mixture of 5 ml of 65% nitric acid (HNO₃) and 2 ml hydrogen peroxide (H₂O₂) burned in closed system microwave oven 180 °C for 30 minutes and pure water added to this mixture up to 20 ml. The samples were filtered through filter papers and reading was done by ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) (Varian-Vista Model) device. Results obtained (values read on device) were multiplied by the 'volume/initial weight' coefficient determined for each sample and the mineral substances of the samples were calculated in mg/kg (Skujins, 1998).

$$\text{Mineral Concentration} = \frac{\text{Volume}}{\text{Amount of Sample}} \times \text{Value read}$$

2.2. Statistical Evaluation

The effect of different proportion of pollen addition on the physical and chemical parameters of yogurts was determined by ANOVA using the MINITAB package program and the

differences between the groups were determined by Tukey Multiple Comparison Test. p values <0.05 were considered statistically significant and all analyses were performed twice.

3. Results and Discussion

During the viscosity analysis, 7 different cp values (1, 2,5, 5, 10, 20, 50, 100) were measured. Each application was applied to 7 different yogurt samples separately. The viscosity of yogurt samples was evaluated statistically and the results of the analysis are shown in Table 1. When the viscosity values given in Table 1 are examined, it is determined that the lowest value (50±70,7) belongs to the sample F (50cP) and sample D (100 cP). It was determined that the highest value belongs to the C sample (40250

cP) at 1cP. There was no statistically significant difference between yogurt samples according to viscosity value of 1, 2,5, 20 and 50 cp (p> 0.05). When reading at 5, 10, 100 cP values, two statistically different groups were found. When reading at 5 cP, the highest viscosity was found in yogurt that has 1% pollen added at a score of 3550±70,7. When the results of 10 cp were examined, the highest viscosity was found in yogurt that has 1% pollen added at a score of 3000. It was determined that the addition of pollen and different viscosity measurement had an effect on the viscosity values. When these results are taken into consideration, having the higher viscosity in pollen-added yogurt than the control group can be attributed to the higher protein content of pollen (Yerlikaya, 2014: 273).

Table 1. Viscosity Values of Yogurt Samples

Samples	Viscosity (cP)						
	1	2,5	5	10	20	50	100
A	5650±1909 ^a	1750±1344 ^a	1750±212,1 ^{ab}	1100±141,4 ^b	1800±707,1 ^a	3100±2121,3 ^a	4900±0,0 ^a
B	100±0,0 ^a	4550±6010 ^a	2450±919,2 ^{ab}	2150±495,0 ^{ab}	2500±989,9 ^a	1000±0,0 ^a	900±1131,4 ^b
C	40250±35002 ^a	4300±566 ^a	3550±70,7 ^a	3000±282,8 ^a	1900±1272,8 ^a	1150±212,1 ^a	1500±1414,2 ^{ab}
D	5550±4172 ^a	100±0,0 ^a	1250±353,6 ^b	950±70,7 ^b	700±282,8 ^a	500±0,0 ^a	50±70,7 ^b
E	15600±16829 ^a	1650±2333 ^a	2250±636,4 ^{ab}	1800±424,3 ^{ab}	1300±141,4 ^a	900±141,4 ^a	200±282,8 ^b
F	9450±13223 ^a	100±0,0 ^a	950±212,1 ^b	1100±282,8 ^b	850±70,7 ^a	600±141,4 ^a	50±70,7 ^b
G	8250±4596 ^a	1550±2192 ^a	1700±848,5 ^b	1350±212,1 ^{ab}	1100±282,8 ^a	700±141,4 ^a	100±0,0 ^b

Note: A: Control Group (Pollen-Free Yogurt), B: 0.5% pollen-added yogurt, C: 1% pollen-added yogurt, D: 1.5% pollen-added yogurt, E: 2% pollen-added yogurt, F: 2.5% pollen added yogurt, G: 3% pollen added yogurt.

a, b, c, d, e, f, g: For each analysis, the values given in lower case in the same column show statistically significant differences (p <0.05).

Color determination in foods is one of the most important parameters of physical analysis. L*, a*, b* values are examined in yogurt samples. The results of the color determination analysis of yogurt samples examined are given in Table 2. Significant statistical differences are found (p <0.05). L* value indicates whiteness and two different groups were determined when samples were analysed statistically. The highest L* value was determined as 88.37 in control sample. It was determined that L* value decreases when pollen concentration is increased. a* represents redness or greenness. When the results of pollen added

yogurt samples were examined, three different statistical groups were emerged. The highest a* value was determined in G sample. b* means yellowness or blueness. Six different groups were emerged when the result of the analysis was evaluated statistically. The highest b* value was evaluated in G sample. Similar to L*, it was identified that a* and b* values of samples were decreased as pollen addition increased. Similar to the results of Tarakçı (2010), the pollen addition to yogurt causes color change in the yogurt samples.

Table 2. Colour Determination of Yogurt Samples

Samples	L*	a*	b*
A	88,37±0,5374 ^a	-4,235±0,1061 ^c	9,14±0,2828 ^f
B	84,34±3,4648 ^{ab}	-3,435±0,5586 ^{bc}	11,55±0,0283 ^{ef}
C	85,61±0,2192 ^{ab}	-3,555±0,1061 ^c	14,10±0,2970 ^{de}
D	86,43±0,9405 ^{ab}	-3,885±0,5869 ^c	15,44±0,7495 ^{cd}
E	82,97±0,7425 ^{ab}	-2,735±0,1626 ^{bc}	17,40±0,8485 ^{bc}
F	78,89±1,2799 ^{ab}	-1,695±0,0354 ^{ab}	20,38±0,8980 ^{ab}
G	79,98±1,8597 ^b	-0,885±0,3041 ^a	22,56±0,3253 ^a

Note: A: Control Group (Pollen-Free Yogurt), B: 0.5% pollen-added yogurt, C: 1% pollen-added yogurt, D: 1.5% pollen-added yogurt, E: 2% pollen-added yogurt, F: 2.5% pollen-added yogurt, G: 3% pollen-added yogurt.

a, b, c, d, e, f, g: For each analysis, the values given in lower case in the same column show statistically significant differences (p <0.05).

The titratable acidity and pH values of the samples are shown in Table 3. When the pH of the yogurt samples were analyzed statistically, two different groups were formed. These groups

were divided into two groups as pollen-free yogurt and pollen-added yogurts. The highest pH value was determined in the control sample. Significant differences were found between these

two groups ($p < 0.05$). The addition of pollen in samples resulted in a decrease in pH level. Küçükçetin (2008), Yerlikaya (2014) and Glušac et al. (2015) suggested that the addition of pollen to yogurt and dairy products would decrease the pH level. The findings of the research have reached similar results with the studies conducted in the literature. When the results of titration analysis in yogurt samples were evaluated statistically, three different groups were obtained. Titratable acidity levels ranged from 1,780 to 1,080, and the highest titratable acidity was

determined in the control sample. On the other hand, the lowest value was determined in the D sample. It was observed that the titratable acidity level decreased in pollen-added yogurt. The reason for this is thought due to the inhibitory effect of pollen on the vital activity of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* and thus the proper implementation of lactic acid fermentation (Zlatev et al., 2018: 135). These results regarding titratable acidity are supported by studies in the literature (Lomova et al., 2014; Zlatev et al., 2018).

Table 3. Titratable Acidity and pH Values of Yogurt Samples

Samples	pH	Titratable Acidity (SH)
A	4,465±0,06364 ^a	1,780±0,02828 ^a
B	4,170±0,01414 ^b	1,180±0,05657 ^{bc}
C	4,180±0,00000 ^b	1,130±0,04243 ^{bc}
D	4,085±0,00707 ^b	1,080±0,02828 ^c
E	4,095±0,00707 ^b	1,230±0,04243 ^{bc}
F	4,130±0,02828 ^b	1,280±0,07071 ^{bc}
G	4,125±0,00707 ^b	1,330±0,01414 ^b

Note: A: Control Group (Pollen-Free Yogurt), B: 0.5% pollen-added yogurt, C: 1% pollen-added yogurt, D: 1.5% pollen-added yogurt, E: 2% pollen-added yogurt, F: 2.5% pollen added yogurt, G: 3% pollen added yogurt.

a, b, c: The values given in lower case in the same column for each analysis show statistically significant differences ($p < 0.05$).

The analysis of minerals for yogurt samples and their results are given in Table 4. When the amount of mineral substances was taken into consideration, statistically significant differences were observed ($p < 0.05$). Differences occurred depending on the amount of pollen added. It was determined that pollen addition had a significant effect on yogurt samples and presents in statistical groups. When the mineral results were analyzed statistically, the highest value of Mo, Cu, Mn, Zn, Fe, S was

determined in the G sample which had 3% pollen supplemented. When the Mg, Ca, K, P values were examined, the highest value was observed in the control group which was pollen-free yogurt. When mineral B was evaluated, the highest value was determined in the F sample with 2.5% pollen supplemented. Similar to Atallah (2016), study was concluded as the amount of pollen added in the yogurt increases significantly, the minerals of the yogurt also increase ($p < 0.05$).

Table 4. Minerals Values of Yogurt Samples

Samples	Macro Nutrients (mg kg ⁻¹)					
	Mo	Cu	B	Mn	Zn	Fe
A	0,3350±0,007071 ^c	2,955±0,007071 ^f	0,000±0,00000 ^e	0,000±0,000000 ^g	28,41±0,00707 ^c	25,81±0,007071 ^f
B	0,3450±0,007071 ^c	3,155±0,007071 ^e	0,000±0,00000 ^e	0,285±0,007071 ^f	27,03±0,00000 ^e	28,02±0,007071 ^e
C	0,3250±0,007071 ^c	1,935±0,007071 ^g	0,000±0,00000 ^e	0,645±0,007071 ^e	23,29±0,00707 ^g	23,76±0,007071 ^g
D	0,3350±0,007071 ^c	4,255±0,007071 ^d	2,115±0,00707 ^d	1,235±0,007071 ^d	25,66±0,00707 ^f	34,14±0,007071 ^d
E	0,0800±0,000000 ^d	4,875±0,007071 ^b	2,345±0,00707 ^c	1,535±0,007071 ^c	28,14±0,00000 ^d	41,50±0,007071 ^b
F	0,3850±0,007071 ^b	4,715±0,007071 ^c	5,855±0,00707 ^a	2,415±0,007071 ^b	32,34±0,00707 ^b	39,16±0,007071 ^c
G	0,7250±0,007071 ^a	7,595±0,007071 ^a	5,505±0,00707 ^b	2,840±0,000000 ^a	40,57±0,00000 ^a	42,52±0,007071 ^a
	S	Mg	Ca	K	P	
A	2143±0,00707 ^f	1081,7±0,00000 ^a	11443±0,00707 ^a	9429±0,00707 ^a	7177±0,00707 ^a	
B	2162±0,00000 ^e	973,9±0,00707 ^c	10233±0,00707 ^b	8516±0,00707 ^d	6591±0,00707 ^c	
C	1980±0,00707 ^g	793,3±0,00707 ^g	8411±0,00000 ^g	7598±0,00707 ^g	5889±0,00707 ^g	
D	2177±0,00000 ^d	1008,9±0,00000 ^d	9531±0,00707 ^c	8782±0,00707 ^b	6719±0,00707 ⁿ	
E	2189±0,00707 ^c	867,1±0,00707 ^f	8986±0,00000 ^f	8154±0,00707 ^f	6267±0,00707 ^f	
F	2199±0,00000 ^b	1067,2±0,00000 ^b	9498±0,00707 ^d	8322±0,00707 ^e	6415±0,00707 ^d	
G	2337±0,00707 ^a	1024,5±0,00707 ^c	9085±0,00707 ^e	8547±0,00707 ^c	6320±0,00707 ^e	

Note: A: Control Group (Pollen-Free Yogurt), B: 0.5% pollen-added yogurt, C: 1% pollen-added yogurt, D: 1.5% pollen-added yogurt, E: 2% pollen-added yogurt, F: 2.5% pollen added yogurt, G: 3% pollen added yogurt.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, physical and chemical analysis of the functional product obtained from traditional yogurt with various amounts of pollen were investigated. It was determined that as the level of pollen addition increased, the viscosity of the product increased and significant changes occurs on L*, a*, b* values (p <0.05). When looking at the results of physical analysis of pollen-added yogurt samples, this study shows similar results with some studies in literature (Tarakçı, 2010; Yerlikaya, 2014). In addition, when chemical analyses were evaluated, it was found that the addition of pollen caused a decrease in pH and titratable acidity and caused an increase in some minerals (Mo, Cu, Mn, B, Zn, Fe, S, Mg, Ca, K, P). These results confirm the results of the studies in the literature (Küçükçetin, 2008; Yerlikaya, 2014; Lomova et al., 2014; Glušac et al., 2015; Atallah, 2016; Zlatev et al., 2018). On the other hand, considering this study, physicochemical and sensory properties can be compared by adding pollen to yoghurt samples before and after incubation, and by increasing the concentration ratio, sensory properties can be examined at high rates. Microbiological effects of pollen supplementation can be studied extensively and its effect on shelf life can be investigated. The product range can be developed by developing a new functional product by adding another food substance instead of pollen. The same and additional analyzes can be applied by producing two different options as fat-free yogurt and fatty yogurt. By examining the fatty acid profile and organic acid profile, the effect of pollen addition can be examined and the effects of yogurt with pollen can be examined from one side. Additionally, *in vitro* bioavailability can be examined and post-consumption mineral and antioxidant usefulness can be examined in a wide range.

References

- Atallah, A. A. (2016). The Production of Bio-yoghurt with probiotic bacteria, royal jelly and bee pollen grains. *Journal of Nutrition & Food Science*, 6 (3), 1-7.
- Bakırcı, İ., G.Ş. Tohma & A.K. Yüksel, (2015). Erzurum Piyasasında Satışa Sunulan Yoğurtların Fiziksel, Kimyasal, Mikrobiyolojik ve Duyusal Özelliklerinin İncelenmesi. *Academic Food Journal/Akademik GIDA*, 13(2), 127-134.
- Batu, A., D. Karagöz, C. Kaya, & M. Yıldız (2007). Dut ve harnup pekmezlerinin depolanması süresince bazı kalite değerlerinde oluşan değişimler. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 7-16.
- Ceylan, Z. & Ö. Biberoglu (2013). Geleneksel olarak üretilen yoğurtların bazı kimyasal özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 8(1), 43-51.
- Coşkun, F., & C. Şenoğlu (2011). The effect of using different levels of calcium carbonate on the physical, chemical and sensory properties of yoghurt. *GIDA-Journal of Food*, 36 (3), 129-135.
- Demirkaya, A., & Z. Ceylan (2013). Bilecik'te tüketime sunulan yoğurtların kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesinin araştırılması. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 8 (3), 202-209.
- Durak, Y., F. Keleş, A. Uysal & M.O. Aladağ (2008). Konya yöresi taze ev yapımı yoğurtların mikrobiyolojik özelliklerinin araştırılması. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 22 (44), 113-117.

- Emirdağı, H. (2014). *Resveratrolün Yoğurtta Tekstürel Nitelikleri Geliştirme Olanakları*. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Erdoğan, Y. & A. Dodoloğlu (2005). Bal sırsı (*Apis mellifera L.*) kolonilerinin yaşamında polenin önemi. *Uludağ Bee Journal*, 5, 79-84.
- Eren Karahan, L. (2016). Batman'da Tüketime Sunulan Yoğurtların Bazı Kimyasal ve Tekstürel Özellikleri. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, Cilt 6, Sayı 2/2, 59-65.
- Glušac, J.R., M.J. Stijepić, S.D. Milanović, & D.M. Đurđević-Milošević (2015). Physicochemical properties of honeybee pollen enriched acidophilus milk and probiotic yoghurt. *Acta Periodica Technologica*, (46), 45-54.
- Herdem, A. (2006). *Farklı yörelerden toplanan geleneksel yöntemle üretilen yoğurt örneklerinin bazı niteliklerinin belirlenmesi*. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Karagözoğlu, Y., A.E. Parlak & N.Ö. Alayunt (2005). Bingöl Yöresinden Toplanan Arı Polenlerinin Yağ Asidi Miktarlarının İncelenmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26 (3), 36-41.
- Karataş, F., & Z. Şerbetçi (2008). Arı polenlerindeki adrenalin ve noradrenalin miktarlarının HPLC ile belirlenmesi. *FÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3), 419-422.
- Koçak, K. (2013). *Tüketime sunulan yoğurtlarda bazı katkı maddelerinin (nişasta, jelatin, natamisin) kullanımı ve mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesine yönelik piyasa araştırması*. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.
- Koçhisarlı, İ., & E. Ergül (1987). Ankara piyasasında satılan yoğurt örneklerinin bazı kalite özellikleri üzerinde araştırmalar. *Gıda Dergisi*, 12(3), 175-177.
- Köse, Ş., & E. Ocak (2014). Yoğurtta lezzet bileşenlerinin oluşumu ve bu oluşum üzerine etki eden faktörler. *Akademik Gıda*, 12(2), 101-107.
- Küçükçetin, A. (2008). Effect of heat treatment of skim milk and final fermentation pH on graininess and roughness of stirred yogurt. *International Journal of Dairy Technology*. 61(4), 385-390.
- Lomova, N., S. Narizhnyi & O. Snizhko (2014). Yoghurt enrichment with natural bee farming products. *Ukrainian Food Journal*, 3 (3): 415-421.
- Matumoto-Pintor, P. T., Rabiey, L., Robitaille, G., & Britten, M. (2011). Use of modified whey protein in yoghurt formulations. *International Dairy Journal*, 21(1), 21-26.
- Öz, K. (1990). *Konya'da tüketime sunulan yoğurtların kalitesi*. Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Özdemir, S. & A.E. Bodur (1994). Yoğurt üretimi sırasında oluşan fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal olaylar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(3), 479-487.
- Pagliarini, E., & C. Rastelli (1994). Sensory and instrumental assessment of olive oil appearance. *Grasas y Aceites*, 45 (1-2), 62-64.
- Peker, H. (2012). *Keçiboynuzu gamı kullanılarak az yağlı yoğurt ve zeytin yaprağı ekstraktı kullanılarak fonksiyonel meyveli yoğurt üretimlerinin araştırılması*. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.

- Sandıkçı Altunatmaz, S. & F. Yılmaz Aksu (2016). Arı polenin mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesi. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 13(3), 182-187.
- Skujins, S. (1998). *Handbook for ICP-AES (Varian-Vista). A short guide to vista series ICP-AES operation*. Varian Int. AG, Zug, Version, 1(0).
- Şahinler, N. (2000). Arı ürünleri ve insan sağlığı açısından önemi. *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5 (1-2), 139-148.
- Tarakci, Z. (2010). Influence of kiwi marmalade on the rheology characteristics, color values and sensorial acceptability of fruit yogurt. *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 16(2), 173-178.
- TS 1330 TU Yürürlükteki Türk Yoğurt Standardı (18.04.2006).
- Tunçtürk, Y., Ö. Zorba, & E. Özrenk (2000). Farklı homojenizasyon basıncı derecelerinin set yoğurtların bazı fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özelliklerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 10 (1), 45-52.
- Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği (TEBLİĞ NO: 2009/25).
- Türkiye İstatistik Kurumu (2018). <https://ulusalsutkonseyi.org.tr/istatistikler>. Erişim Tarihi: 24.11.2019.
- Yerlikaya, O., 2014. Effect of bee pollen supplement on antimicrobial, chemical, rheological, sensorial properties and probiotic viability of fermented milk beverages. *Mljekarstvo*, 64 (4), 268-279.
- Zlatev, Z., I. Taneva, S. Baycheva, & M. Petev, (2018). A comparative analysis of physico-chemical indicators and sensory characteristics of yogurt with added honey and bee pollen. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24 (1), 132-144.



Detection of Credit Card Fraud in E-Commerce Using Data Mining

Yasin Kirelli^{1*}, Seher Arslankaya², Muhammed Taha Zeren³

¹ Sakarya University, Industrial Engineering Department, Sakarya, Turkey (ORCID: 0000-0002-3605-8621)

² Sakarya University, Industrial Engineering Department, Sakarya, Turkey (ORCID: 0000-0001-6023-2901)

³ Turkish Aerospace Industries (TAI - TUSAŞ), Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0001-5615-0751)

(First received 3 June 2020 and in final form 2 November 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.747399)

ATIF/REFERENCE: Kirelli, Y., Arslankaya, S. & Zeren, M. T. (2020). Detection of Credit Card Fraud in E-Commerce Using Data Mining. *European Journal of Science and Technology*, (20), 522-529.

Abstract

Credit card payment is one of the most preferred methods of e-commerce sites. Fraud orders are the biggest concerns for online shopping sites. Fraud operations affect not only customers but also companies and banks. Hence, companies should be able to classify orders and take measures against suspicious transactions. Classification is easier on the banking side because of more information about customers, but it is more difficult to determine this process on e-commerce sites. In this study, the actual order data of a private e-commerce enterprise has been examined and suspicious transactions are determined. First of all, all order data is analyzed and filtered. The best variables for classification are determined by variable selection algorithms. Afterwards, classification algorithms are applied and suspicious orders are determined with 92% success rate. Naïve Bayesian, Decision Trees and Artificial Neural Network have been used as comparative data mining methods.

Keywords: Credit Card Fraud detection, classification, data mining.

Veri Madenciliği ile E-Ticarette Kredi Kartı Dolandırıcılığının Tespiti

Öz

Kredi kartı ile ödeme, e-ticaret sitelerinin en çok tercih edilen yöntemlerinden biridir. Dolandırıcılık şüphesi olan siparişler, alışveriş siteleri için en büyük endişe kaynağıdır. Sahtekarlık işlemleri sadece müşterileri değil, aynı zamanda şirketleri ve bankaları da etkiler. Bu nedenle, şirketler siparişleri sınıflandırabilmeli ve şüpheli işlemlere karşı önlemler alabilmelidir. Bankacılık tarafında, müşteriler hakkında daha fazla bilgi olması nedeniyle sınıflandırma daha kolaydır, ancak bu süreci e-ticaret sitelerinde belirlemek daha zordur. Bu çalışmada, özel bir e-ticaret girişiminin gerçek sipariş verileri incelenmiş ve şüpheli işlemler belirlenmiştir. Öncelikle, tüm sipariş verileri analiz edilir ve filtrelenir. Sınıflandırma için en iyi değişkenler değişken seçim algoritmaları ile belirlenmiştir. Daha sonra sınıflandırma algoritmaları uygulanır ve %92 başarı oranı ile şüpheli siparişler belirlenir. Karşılaştırmalı veri madenciliği yöntemleri olarak Naive Bayesian, Karar Ağaçları ve Yapay Sinir Ağı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kredi Kartı Dolandırıcılığı Tespiti, Sınıflandırma, Veri Madenciliği.

* Sorumlu Yazar: Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3605-8621), yasin.kirelli@ogr.sakarya.edu.tr

1. Introduction

According to 14th annual report of CyberSource, which is a Visa Company, companies reported losing an average of 0.9% of total online revenue to fraud [1], based on this information it is estimated \$3.5 billions loss just for North America. According to the study in [2] using nontraditional payment channels (mobile, internet, etc.) increased the fraud transaction by 14% compared to the year 2008 which makes identification process more challenging. Furthermore, it is also an indication that fraudsters are changing their strategies and new fraud patterns are emerging as now. Therefore, all identification and classifying strategies needs to be reengineered for each new data set.

In case of this study it is aimed to develop a tool to discover the fraud transaction for an e-commerce site out of actual transaction. This classification and identification were carried out in rule base and mainly manual. In section 2 related works is going to be given, in section 3 online shopping data is going to be presented, In the section 4 classification and identification methods and results is going to be presented, in the conclusion section the results are going to be discussed. All the calculation and analysis in this study are carried out using WEKA data analysis software (Version 3.8.4) [3].

2. Related Works

Since it is widely used there has been many attempts to detect and classify fraudulent usage of credit cards by banking systems. It is a relatively easy task for banking systems than an e-commerce venture since they are in reach of much more information. Lack of relatively abundant information makes analyzing difficult for online shopping ventures and challenging. In the work of Raj and Portia, the diversity of the fraud detection methods has been analyzed and categorized in according the name of the algorithm which is generalized as Bayesian Learning, Hidden Markov models, Artificial Neural networks and their hybrid derivatives (Edwin Raj, et al., 2011).

In the study of Chan [5] a brief survey has been given about the credit card fraud detection and a cost model is proposed. Models consist of a combination of multiple learned fraud detectors. In this article, empirical studies are found to be promising.

In another study support vector machines SVM and random forest are combined and used together with well-known logistic regression to detect credit card fraud transactions [6].

Adepoju et al. (2019) inspect the execution of, supervised machine learning methods on too corrupt data on credit card fraud [19]. Vidanelage et al. (2019) discussed various machine learning techniques using "Scikit-learn Package in Python" to find the fraudulent transactions in dataset related payment [20]. Raghavan et al. (2019) use the European (EU) Australian and German dataset and aim to benchmark deep learning and supervised machine learning methods [21]. Seemakurthi et al. (2015) describe a new approach using texts classifiers to detect fraudulent texts on text-based financial documents [22].

2. Data and Implementation of Classification Methodologies

In this section first the data set unto which study is carried on is going to be presented later then the used methodologies are going to be described briefly. The relational database schema is as specified on Figure 1 and the attribute list has been created from the order table. The attribute names and what they describe in each table has been explained in Table 1.

In the field of data mining, feature subset selection is of great importance. High-dimensional data makes it difficult to test and train data mining models. Feature selection is a question of selecting a small subset of features that are necessary and sufficient. One goal of feature selection is to avoid selecting too much or too little features than necessary. If too few features are selected, the meaningful information content to be extracted from this feature group will be low. On the other hand, if too many irrelevant features are selected, the effects due to noise will make it challenging to access available information. Feature selection is the process of removing unnecessary or unrelated features from the original data set. Therefore, the execution time of the classifier that processes the data is reduced, as well as the accuracy. Because irrelevant features may contain noisy data that negatively affect classification accuracy. With feature selection, meaningful information acquisition can be improved and data processing costs are reduced. Consequently, the number of features can be simplified with feature selection methods [23].

In this study, gain ratio, ChiSquared and InfoGain statistical feature selection methods are used as filter feature to simplify and sort the features. The WEKA data mining tool has been used to compare the performance of classification algorithms with feature selection methods. Default parameters have been used for each classification algorithm.

Information gain Ratio

It is one of the standard methods for feature selection. The purpose of these techniques is to eliminate irrelevant ones and the entropy value is calculated for all data. The data obtained can be obtained by using the information in a text for information acquisition, class prediction. Creating a subgroup on the class attribute selects the required attributes according to the information value obtained [24].

Chi-square MapReduce

This method is used to analyze whether the class tag or target is independent of an attribute and select the predictor variable [24].

Gain Ratio Feature Selection

The Gain Ratio has been chosen using the subset entropy value and the knowledge gain value. It is a controlled, univariate, asymmetric and entropy-based measure to eliminate the bias of knowledge gain [24].

Product *	OrderHeader *	OrderItem *	Customer *
order_product_id	order_id	order_detail_id	customer_id
brand_id	status	order_id	company_id
model	company_id	order_product_id	status
market_price	customer_id	product_sku_id	name
price	order_date	amount	lastname
category_id	total	price	ledger
	payment_type	indirim_para	birthday
	billing_address_id	coupon_discount	city_id
	shipping_address_id	shipment_amount	sex
	show_order	coupon_id	education
	logistic_id	order_id1	married
	logistic_path	status	occupation_type
	logistic_city	company_id	occupation_id
	logistic_branch	customer_id	occupation_sector
	logistic_note	order_date	income_id
	bank_commission	total	mobile
	bank_commission_paid	payment_type	email
	installment	billing_address_id	nick
	pos_id	shipping_address_id	referenced_by
	payment_name	show_order	password
	payment_lastname	logistic_id	newsletter
	payment_ref_code	logistic_path	registration_date
	invoice_status	logistic_city	tax_id
	payment_status	logistic_branch	tax_district
	company_status	logistic_note	default_address
	shipment_status	bank_commission	customer_image
	confirmation_email_date	bank_commission_paid	identity_id
	order_detail_id	installment	order_id
	order_id1	pos_id	
	order_product_id	payment_name	
	product_sku_id	payment_lastname	

Figure 1. Relational Tables and Fields of E-Commerce Site

Table 1. Name of the attributes after pruning and order of

Name of the attributes after pruning	Meaning	Order of Attributes after Statistical Selection		
		GainRatio	ChiSquared	InfoGain
Total	Total shopping amount	2	1	1
Payment_ref_code	Special code given to order by company	3	5	4
Amount	Amount of the product	9	12	13
OrderHour	Hour of order:	13	9	9
OrderDayOfWeek	Normalized between 1 Day of the Order:	14	10	11
NameSurnameLen	Normalized between 1 Name and Surname length of the customer	1	2	2
Discount_money	Discount amount	15	15	15
Coupon_Discount	Coupon Discount amount	16	16	16
Shipped_Amount	Amount of Shipment	8	11	10
CouponID	ID of the coupon	17	17	17
EmailConfirmTime	Hour of conformation: Normalized between 1	11	14	14
CustomerCityID	ID of the city	5	4	6
CustomerEmailFormat	Format of the email related customer	7	7	7
OrderBrandID	Brand ID of the ordered product	6	6	5
CategoryID	Category ID of the product	4	3	3
CustomerAge	Age of the customer	10	8	8
Sex	Gender of the customer	12	12	12
isFraud	Class Attribute: Normalized to 1 or 0	Class Attribute	Class Attribute	Class Attribute

3.1. Data Sets

The raw data given by the e-commerce company consist of 38 columns for 1615 order records. The last column is entitled as is fraud which is supplied by the IT department of the e-commerce company, according to banking system declaration. After attribute selection algorithm is applied to the dataset namely GainRatio, some of the columns are discarded due to the high rate of missing values. After initial pruning the field 17 attributes out of 38 are selected for analysis, which are depicted in Table 1.

Selecting most appropriate attributes has an immense effect in performance especially for neural network classifiers [8], since the number of attributes are reduced required amount of calculation will also decrease which will result in a performance increase. In order to obtain such performance, increase the selection attribute utility of WEKA software is utilized using Gain Ratio, Info Gain and Chi-Squared algorithms. Attributes are reordered according to importance for classification as shown in Figure 2.

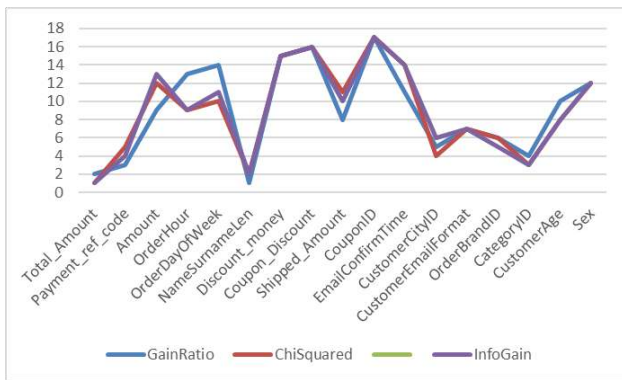


Figure 2. Importance for classification

Methodologies: Generally, classifiers can be categorized in many ways namely with being supervised or unsupervised. With unsupervised methods it is generally aimed to cluster the certain data set in unforeseen categories or groups. With supervised methods main goal is generally to determine if an instance is belonging to a certain class is given. In order to test different methodologies, different classifiers belonging relatively different realm of classification are chosen namely Naïve Bayesian, k-NN (nearest neighbour), J 48 Decision tree, ANN (artificial Neural network).

Classification algorithms have been selected by considering the cases specified respectively in the selection. Selection criteria are accuracy in general, speed of classification, tolerance to missing values, tolerance to irrelevant values, tolerance to interdependent values. Accordingly, the algorithms in the most suitable criteria for the model have been selected as: "Naïve Bayes, RBF Network, KNN Ratio, J48 Ratio".

3.1.1. Naive Bayesian

The Bayes's theorem is conditional probability calculation formula which was found by Thomas Bayes in 1812. This formula is one of the most important formula of probability theory. Naïve Bayesian theory defines the probability of an event, according to prior knowledge of conditions that could be related to the event [7].

Naïve Bayes classifier based on The Bayes's theorem. Naïve Bayes has been used and studied since the beginning of 1960. This theorem is kind of learning algorithm that can be able to work on

unstable data sets. The algorithm calculates probability of each elements and classifies according to most probability rate. Naive Bayesian classifiers has assumption that the value of a specific attribute is independent of the value of any other attribute. It is not possible to make correlations between attributes [7].

As mentioned in previous chapters Weka Software is used in ai analyses. Naïve Bayes classifier in Weka uses probabilistic Naïve Bayes classifier [8][9] which is used as descriptive and complementary classifier algorithm. Mainly make use of Bayes Rule as shown in Eq. 1:

$$\arg \max_Y = P(Y | X_1, X_2 \dots X_n) \tag{1}$$

$$P(Y | X_1, X_2 \dots X_n) = \frac{P(X_1, X_2 \dots X_n | Y) \cdot P(Y)}{P(X_1, X_2 \dots X_n)} \tag{2}$$

Naïve Bayes is based on learning from data, it means in order to learn model occurrence of every output calculated, it is named as prior (second term of nominator in Eq. 2). Likelihood probability (first term of nominator in Eq. 2) is then calculated and multiplied and divided by normalization constant (denominator term in Eq. 2).

3.1.2. Decision Tree J48

Decision tree is one of the most known nonparametric machine learning methods and this method is widely used in data mining, machine learning, expert systems and multivariate analysis. Its function is dividing and conquer approach to split the input space to sub-regions as shown Figure 3. Then it creates a model depending on these regions.

A decision tree is kind of a hierarchical structure. It implicates a root node, internal decision nodes, leaf nodes, and branches. Internal decision nodes la-bel the branches according to their test function. Leaf nodes correspond to labeled instances.

Decision tree is an easy method to apprehend. Its representation can be ex-ported to if/then rules. Decision tree algorithms run faster regarding other learning algorithms because their hierarchical structure lets elimination of some decision nodes. Instead of learning error-free model from decision tree, it is important to find the model with the simplest tree so that performance on test data can be improved [11].

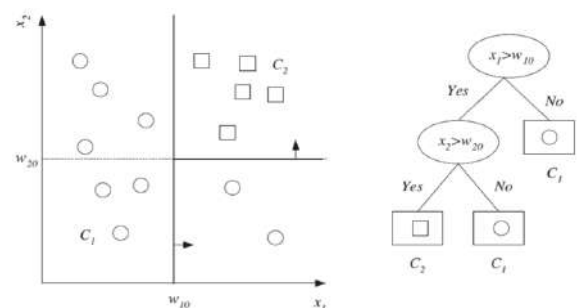


Figure 3. Decision Tree Classification [11]

In this study another classifier named J48 is also used. It is java reimplementation of well-known decision tree C4.5. A full definition of C4.5 appears as an excellent and readable book [12], along with the full source code. C5.0 is available commercially with negligible improvements.

3.1.3 Naive Bayes Tree

NBTree is a mixed implementation of decision trees and Naïve Bayes. It creates the tree so that leaves are Naïve Bayes classifiers for the instances that reach the leaf. Cross validation is utilized when constructing the tree to decide if a node should be split further or a Naïve Bayes model should be used instead [9].

3.1.4. k-NN (Nearest Neighbor)

K Nearest Neighbors (kNN) algorithms' basic aim is to utilize a dataset or database in which the data points are isolated into a few separate classes to predict the classification of a characterization of another new sample point as shown Figure 4. kNN is one of the popular data mining algorithms, applied for regression and classification in the two instances [14].

kNN algorithm is a nonparametric method. And this way, mostly used for regression [15]. It is based on the idea that instance must be in a close distance when compared to its closet neighbors. k is total number of the neighbors which are going to be considering.

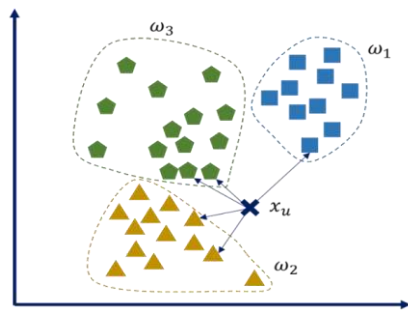


Figure 4. kNN Algorithm Classification

3.1.5. ANN Artificial Neural Network- Multi Layer Perceptron

Appearance of Artificial Neural Networks based on modelling of Neural Cell of Human Brain. ANN basically mathematical mimic of Biological Neural Cell.

A neuron perceptron receives multiple inputs, outputs are calculated by weighted summation. Each weight of perceptron is determined during training and calculated in relation to training data. Each output of the perceptron can be passed through an activation function or transfer function, which will be explained in the next section.

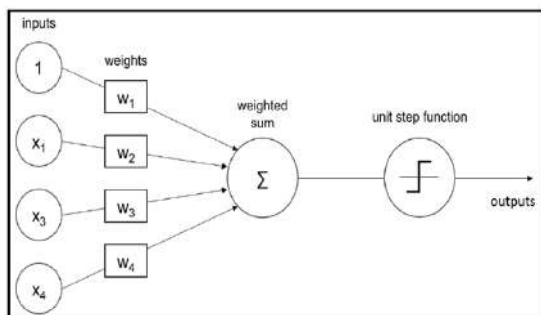


Figure 5. Diagram of Perceptron [17]

Artificial Neural Network is a combination of perceptrons and activation functions. The perceptrons are connected directly to each layer, as shown in Figure 5. Hidden layer units create a nonlinear structure. Also, this layer maps input layers to output layers in a smaller size area. This map is created with the weights of the inputs and it forms a model with match states. This map is created with the weights of the inputs, and this result pattern is called the model as shown in Eq. 3 [17].

$$Z = b + \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (3)$$

ANNs have been widely used to model systems which are not easy modeled mathematically. They are therefore good choice of classification. Multi-Layer Perceptron is one of them that uses back propagation to classify in-stances [9].

3.1.6. RBF Network

RBF Network uses Gaussian radial basis function network [9]. This method basically derives the properties of hidden layers using the K-Means algorithm. This methodology has two layers and contains that not counting the input layer (i = 1 to N). It also differs from a multilayer perceptron called the hidden units as L nodes (k = 1 to L) to perform computations as shown Figure 6.

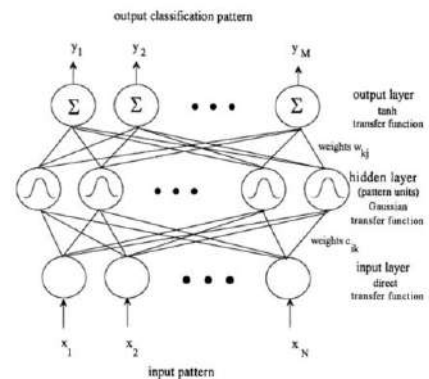


Figure 6. The architecture of a radial-basis-function network

4. Model for Classification

The basic chosen strategy is depicted in Figure 7. According to the figure first of all, raw data and attributes are converted to a suitable nominal form. Then some attributes are trimmed manually since they contain high rate of missing value and inconsistent data. Classification Experiment A is carried out. After the further reduction in attribute is obtained by applying the attribute selection attribute of the WEKA software. Only top 2 or 3 attributes are selected, and Experiment B, Experiment C and Experiment D is carried out.

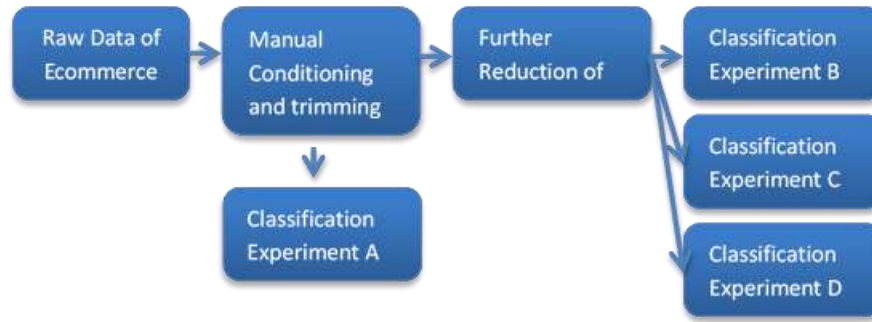


Figure 7. Classification Experiment roadmap

For Experiment set A all 17 attributes are used for six different classifiers and result of the TP accuracy is obtained. For Experiment set B only attributes total, payment_ref_code and NameSurnameLen is used, For Experiment set C, only attributes total NameSurnameLen and coupon_discount is used, For Experiment set D only attributes total, and NameSurnameLen is used. Last experiment set is established just for MultiLayer Perceptron classifier since the number of the unique variable are

relatively less than other experiment sets. Results of F-Measure metric all 24 experiment are shown in Table 2.

Split tests are quick and great when you have many data or when it is expensive (resources or time) to train a model. A split test large dataset can produce an accurate estimate of the algorithm's actual performance. In this study test option has been selected %70 percent split of these data are used as training set and rest are used.

Table 2. Comparative results (F-Measure) of the classification experiments.

	Naïve Bayes Ratio	RBF Network	KNN Ratio	NBTree Ratio	J48 Ratio	Multilayer Perception Ratio
Experiment A	92.5 %	92.5 %	93.9 %	93.9 %	93.1 %	NA
Experiment B	91.1 %	93.2 %	95.5 %	93.1 %	87.8 %	NA
Experiment C	94.0 %	94.7 %	94.5 %	94.0 %	87.8 %	NA
Experiment D	94.4 %	94.4 %	95.0 %	94.4 %	91.7 %	94.4 %

In Table 3 TP (true positive) rate, FP (false positive) rate, precision, recall and F-measure values for the Experiment set A,

B and C are represented. KNN classifier has the highest value of F-measure for experiment.

Table 3. Results for various metrics

Classifier	Experiment Set	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	ROC Area
Naïve Bayesian	Experiment A	0.921	0.326	0.931	0.921	0.925	0.956
	Experiment C	0.948	0.528	0.946	0.948	0.94	0.963
	Experiment B	0.919	0.621	0.906	0.919	0.911	0.926
RBF Network	Experiment A	0.928	0.461	0.924	0.928	0.925	0.926
	Experiment C	0.948	0.323	0.947	0.948	0.947	0.954
	Experiment B	0.934	0.415	0.931	0.934	0.932	0.932
KNN	Experiment A	0.94	0.369	0.938	0.94	0.939	0.841
	Experiment C	0.95	0.459	0.946	0.95	0.945	0.912
	Experiment B	0.959	0.39	0.956	0.959	0.955	0.943
NBTree	Experiment A	0.948	0.551	0.948	0.959	0.939	0.828
	Experiment C	0.948	0.528	0.946	0.948	0.94	0.963
	Experiment B	0.944	0.619	0.944	0.948	0.931	0.794
J48	Experiment A	0.944	0.619	0.947	0.944	0.931	0.755
	Experiment C	0.917	0.917	0.842	0.917	0.878	0.5
	Experiment B	0.917	0.917	0.842	0.917	0.878	0.5

5. Results and Discussions

In this article, the order data of an e-commerce site consist of 1615 orders have been analyzed. %70 percent of these data are used as the training set and rest are used as test data for our models. For four different attribute sets the classification of fraud transaction is performed by the help of 6 different classifiers shown as Figure 8.

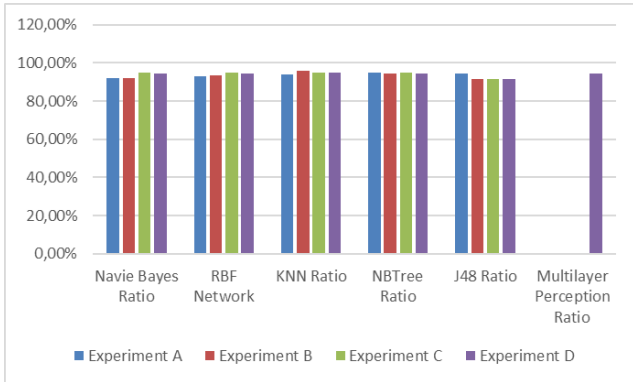


Figure 8. Comparative classifiers results

The highest percent of accuracy 95.8678% for prediction is obtained in Experiment Set B and of the KNN according to five closest neighbours as shown Figure 9.

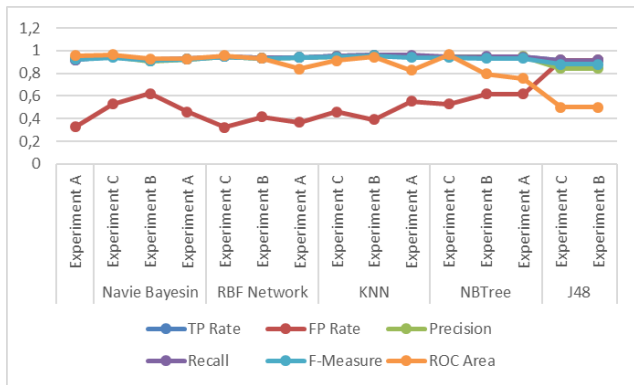


Figure 9 Values of Experiments with various metrics.

Machine learning classification requires fine tuning of parameters and a reasonably large number of samples for the dataset. Precision and correct classification takes time as well as building a model for the algorithm. Therefore, the best learning algorithm for a data set does not guarantee the precision and accuracy of another data set whose properties are logically different from the other and may not produce the same result. Therefore, it is not whether one classification algorithm is superior to others, but under what conditions a method can perform significantly better than others in each application problem. After a better understanding of the strengths and limitations of each method, performance values are compared as a solution to the problem. The goal is to identify the strengths and weaknesses of a method. The kNN, SVM, NB and RF machine learning algorithms used in the study can provide high precision and accuracy regardless of their attributes and the number of data samples. They are quick and easy procedures to implement and

their results allow us to compare the performance of the methods for the predictive modelling problem [25].

This high accuracy is attributed to the nature of the data set and attribute selection procedure. Process of classification of fraud transactions has been carried out manually for the e-commerce site. Therefore, our work is going to improve their business process drastically. For future study it is intended to develop a classification software for the company.

References

- [1] CyberSource a Visa Company. (2013, January) 2013 Online Fraud Report. Document.
- [2] Djamila Aouada, Aleksandar Stojanovic, Björn Ottersten Alejandro Correa Bahnsen, "Feature engineering strategies for credit card fraud detection," *Expert Systems with Applications*, vol. 51, no. 1, pp. 134-142, June 2016.
- [3] Eibe Frank, Geoffrey Holmes, Bernhard Pfahringer, Peter Reutemann, Ian H. Witten Mark Hall, "The WEKA Data Mining Software: An Update," *SIGKDD Explorations*, vol. 11, no. 1, 2009.
- [4] S. Benson Edwin Raj and A. Annie Portia, "Analysis on credit card fraud detection methods," in *International Conference on Computer, Communication and Electrical Technology (ICCCET)*, 2011, pp. 152-156.
- [5] P. K. Chan W. Fan A. L. Prodromidis and S. J. Stolfo, "Distributed data mining in credit card fraud detection," *IEEE Intelligent Systems and their Applications*, vol. 14, no. 6, pp. 67-74.
- [6] Siddhartha Bhattacharyya, Sanjeev Jha, Tharakunnel Kurian, and J. Christopher Westland, "Data mining for credit card fraud: A comparative study," *Decision Support Systems*, vol. 50, no. 3, pp. 602-613, February 2011.
- [7] Joyce, James (2003), "Bayes' Theorem", in Zalta, Edward N. (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2019 ed.), Metaphysics Research Lab, Stanford University, retrieved 2020-01-17
- [8] Ian H. Witten and Eibe Frank, *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Jim Gray, Ed.: Elsevier Morgan Kaufman Publishers, 2005.
- [9] N. Kwak and Chong-Ho Choi, "Input feature selection for classification problems," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 13, no. 1, pp. 143-159, 2002.
- [10] Akbulut S., *Veri Madenciligi Teknikleri ile Bir Kozmetik Markanın Ayrilan Müşteri Analizi ve Müşteri Segmentasyonu.: Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [11] Alpaydın, E., *Introduction to Machine Learning*, The MIT Press, Massachusetts, 2nd edition, 2010
- [12] J. R. Quinlan, *C4.5: Programs for machine learning.*: San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.
- [13] Kohavi, "Scaling up the accuracy of Naïve Bayes classifiers: A decision tree hybrid.," in *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Portland, 1996, pp. 202-207.
- [14] O. Sutton, "Introduction to k Nearest Neighbour Classification and Condensed Nearest Neighbour Data Reduction The k Nearest Neighbours Algorithm," pp. 1-10, 2012
- [15] Wikipedia. [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm

- [16]Zhang, A., Lipton, Z. C., Li, M. and Smola, A. J., «Dive into Deep Learning. » <http://en.diveintodeeplearning.org>, 2018, [Reach Date: 21.12.2019].
- [17]Shanmugamani, R. «Deep Learning for Computer Vision» Pacts. 2018. ss 6-7
- [18]Baughman, D.R., Liu, Y.A., in *Neural Networks in Bioprocessing and Chemical Engineering*, 1995
- [19]O. Adepoju, J. Wosowei, S. lawte and H. Jaiman, "Comparative Evaluation of Credit Card Fraud Detection Using Machine Learning Techniques," 2019 Global Conference for Advancement in Technology (GCAT), BANGALURU, India, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/GCAT47503.2019.8978372.
- [20]H. M. M. H. Vidanelage, T. Tasnavijitvong, P. Suwimonsatein and P. Meesad, "Study on Machine Learning Techniques with Conventional Tools for Payment Fraud Detection," 2019 11th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Pattaya, Thailand, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICITEED.2019.8929952.
- [21]Raghavan, Pradheepan, and Neamat El Gayar. "Fraud Detection using Machine Learning and Deep Learning." 2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE). IEEE, 2019.
- [22]P. Seemakurthi, S. Zhang and Y. Qi, "Detection of fraudulent financial reports with machine learning techniques," 2015 Systems and Information Engineering Design Symposium, Charlottesville, VA, 2015, pp. 358-361, doi: 10.1109/SIEDS.2015.7117005.
- [23]S., Rajeswari & Kannan, Suthendran. (2019). Feature Selection Method based on Fisher's Exact Test for Agricultural Data. 10.35940/ijrte.D1104.1284S219.
- [24]R., Praveena & ml, Valarmathi & S., Sivakumari. (2011). Gain Ratio Based Feature Selection Method For Privacy Preservation. ICTACT Journal on Soft Computing. 01. 201-205. 10.21917/ijsc.2011.0031.
- [25]Osisanwo F.Y., Akinsola J.E.T., Awodele O., Hinmikaiye J. O., Olakanmi O., Akinjobi J. "Supervised Machine Learning Algorithms: Classification and Comparison". International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT) V48(3):128-138, June 2017. ISSN:2231-2803. www.ijcttjournal.org. Published by Seventh Sense Research Group.



Mikroplastikler: Gıdalarda Bulunuşu ve Sağlık Üzerine Etkileri

Selen Akçay¹, Fatih Törnük^{2*}, Hasan Yetim³

¹ Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Programı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3123-3010)

^{2*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7313-0207)

³ Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5388-5856)

(İlk Geliş Tarihi 22 Nisan 2020 ve Kabul Tarihi 1 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.725259)

ATIF/REFERENCE: Akçay, S., Törnük, F. & Yetim, H. (2020). Mikroplastikler: Gıdalarda Bulunuşu ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 530-538.

Öz

Plastik malzemeler günlük hayatımızın hemen hemen her alanında yer almaktadır. Yaygın kullanımını nedeniyle hayatın vazgeçilmez unsurlarından biri olan plastikler, çevre açısından da günümüzün en büyük kirleticilerinden birisi olarak görülmektedir. Her geçen gün daha da artan plastik kullanımının özellikle okyanuslar ve denizlerde çok ciddi bir kirlilik oluşturduğu bilinmektedir. Plastik kirliliğini oluşturan en önemli iki unsur, endüstriyel faaliyetler ve antropojenik etkilerdir. Çevreye bırakılan tonlarca plastik atık, çevresel koşulların etkisiyle fiziksel olarak küçük parçalara ayrılrsa da yüzyıllarca doğada bozunmadan kalmaktadır. Plastiklerin parçalanmaları ile oluşan mikron ve mikron altı boyuttaki bu parçacıklara, mikroplastik adı verilmektedir. Mikroplastikler güncel bir konu olmasının yanı sıra çevre kirliliği oluşturması ve doğal yaşama etkileri nedeniyle son yıllarda giderek daha da büyük bir önem kazanmaktadır. Mikroplastikler günümüzde hem suda yaşayan canlılar ve hem de insan sağlığı için büyük bir tehdit unsuru olmuştur. Mikroplastiklerin insan vücuduna geçişi, cilt teması, solunum ve oral yolla gerçekleşmektedir. Farklı yollarla insan vücuduna giren mikroplastiklerin sağlık üzerine oluşturduğu riskler, hala tam olarak bir netlik kazanamamıştır. Özellikle insanların mikroplastiklerle kontamine olmuş su kaynakları ve gıdaları tüketmeleri sonucu vücuda çoklu mikroplastik alımının gerçekleşmesi muhtemeldir. Su kaynakları ve suda yaşayan canlılarda mikroplastik varlığının belirlenmesi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Gıda maddelerinde yapılan sınırlı sayıdaki çalışma ise gıdaların da mikroplastikler içerebileceğini göstermiştir. Gıda maddelerinde mikroplastiklerin bulunuşu; hammadde, gıda üretim aşamaları, ambalajlamada kullanılan plastikler veya havadan kaynaklanabilmektedir. Bu derlemede, mikroplastiklerin oluşumu, yiyecek ve içecekler yoluyla insanlara geçişi ve çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri üzerine yapılmış çalışmaların irdelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastikler, ekosistem, sağlık, gıda zinciri

Microplastics: Effects on Health and Occurrence in Foods

Abstract

Plastic materials are found in almost every place of the daily life. Plastics, which have become an indispensable item of the human life due to their widespread use, are considered as one of the biggest pollutants of today. It is known that plastic use, which increases day by day, creates a serious pollution problem especially in the oceans and seas. The two most important factors which causes plastic pollution are the industrial activities and anthropogenic effects. Although tons of waste plastic released to the environment are physically crashed by the effect of environmental conditions, they can still remain without degraded in the nature for decades even hundreds of years. These micronic and submicronic particles formed by the decomposition of the plastics are called microplastics. In addition to being a current subject, microplastics have gained great attention or importance in recent years in terms of creating environmental pollution. Microplastics have become a serious threat to both aquatic life and human health. The transition of microplastics to the human body takes place through skin contact, inhalation and oral route. The risks and health effects of the microplastics when taken into the human body by different routes has not been well-clarified yet. It is likely that multiple microplastic uptake into the body would take place as a result of consumption of the contaminated water sources and the foods. Numerous studies have been conducted on the determination of the presence of microplastics in water resources and the aquatic life. However, a limited number of studies on foodstuffs have shown that our foods may also contain microplastics. Microplastic formation in foodstuffs may be resulted from the raw materials,

* Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7313-0207), ftornuk@yildiz.edu.tr

food production or processing steps and the plastics used in packaging or air. The purpose of this review was to evaluate the effects of microplastics on the environmental pollution and human health, and their presence in the food chain were scrutinized.

Keywords: Microplastic, Ecosystem, Health, Food chain.

1. Giriş

Plastikler, tekrar eden çok sayıda monomer zincirinden oluşan ve polimerlerden üretilen malzemelerdir. Plastik üretiminde hammadde olarak çoğunlukla petrol ve doğalgaz kullanılmakta iken henüz küçük bir kısmını teşkil etse bile son yıllarda mısır ve şeker kamışı gibi bitkisel hammaddelerden de plastik üretimi söz konusudur (Tsiropoulos ve ark., 2015). Ayrıca, dünyada üretilen ham petrolün yalnızca %4'ü plastik üretimi amacıyla kullanılmaktadır (Öztürk, 2005; Yıldıztekin ve ark., 2017).

Farklı hammaddeler kullanılarak elde edilen plastik malzemeler kendilerine özgü özelliklere sahiptirler. Sahip olduğu değişik özellikleri sayesinde tüketici kullanımına pek çok plastik malzeme sunulmaktadır. Bu plastik türleri; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC) ve poliamid (PA) olarak sıralanabilir (Waring ve ark., 2018). Plastiklerin özellikleri; üretiminde kullanılan polimerlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, molekül ağırlıkları, kristalinite düzeyleri ve kimyasal kompozisyonları gibi birçok faktörden etkilenebilir. Bu yolla gıda ambalajlamada farklı ürünlerin paketlenmesinde kullanılan ve pek çok amaçta hizmet eden plastik malzemeler geliştirilmiştir.

Plastik çağını yaşadığımız bu yüzyılda kimya, malzeme bilimi ve gıda zinciri dâhil olmak üzere her alanda plastikler kullanılırken, çağımızın en büyük kirleticileri de plastikler olarak görülmektedir. Basit gıda ambalajlarından sentetik lifler, araba lastikleri, plastik içeren kıyafetler gibi hayatımıza çeşitli şekilde dâhil olmuş plastik malzemeler hava, su, toprak kalitesinde geri dönüşümsüz çevresel problemlere neden olmaktadır (Fonseca ve ark., 2017; Aslan, 2018). Deniz ortamları plastik kirlenmesinden en çok etkilenen yerlerin başında gelmektedir. Çevreye farklı yollarla geçen plastiklerin yağışlar ve akışlar aracılığıyla okyanus yüzeylerinde plastik çöplüğü oluşturduğu bilinmektedir (Yurtsever, 2018; Botterell ve ark., 2019). 1950'li yıllarda 1,7 milyon ton plastik tüketiminden 2015 yılında 322 milyon ton plastik tüketiminin gerçekleştiği dikkate alındığında, rakamların her geçen gün arttığı açık bir şekilde görülmektedir (Fonseca ve ark., 2017).

Türk Gıda Kodeksi gıda ile temas eden plastik malzemeler tebliğinde, özellikle renklendiriciler, yapıştırıcılar, plastikleştirici katkı maddeleri ve bunların gıdaya migrasyonu ile çok katmanlı plastik malzemeler, yapıştırıcılar, kapatma elemanı olarak kullanılan plastik contalar üzerinde durulmuştur. Özellikle küçük çocuk ve bebek gıdaları ile temas halindeki plastik malzemelerde migrasyon limitininin 60 mg/kg olması yönünde açık bir ibare bulunmaktadır (Türk Gıda Kodeksi, 2019).

Plastiklerin çevre üzerine zararlı etkileri yapılan araştırmalarla ortaya koyulurken, her yıl yaklaşık 4,8-12,7 milyon ton plastiğin deniz ortamına girdiği bildirilmiştir. Bu duruma petrol türevi plastiklerin biyobozunur olmamaları ve uzun süreli dayanıklılıkları da eklendiğinde insan faaliyetleri sonucunda

oluşan plastik kirliliğinin yüzyıllar boyunca devam edeceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle plastik; küresel, çevresel ve ekonomik kirleticilerden biri olarak kabul edilmektedir (Botterell ve ark., 2019).

Plastikler malzemelerin zamanla farklı bozunma mekanizmalarıyla kendini oluşturan monomere parçalanması ile mikroplastik kavramı ortaya çıkmıştır. Partikül boyutu 1 µm'den 5 mm'ye kadar değişen ve farklı çeşit ve oranlarda polimer ve katkı maddelerinden oluşan küçük plastik parçacıklarına "mikroplastik" adı verilmektedir (Fonseca ve ark., 2017; Aslan, 2018; Welle ve Franz, 2018). Mikroplastikler, kaynaklarına göre primer ve sekonder mikroplastikler olarak 2'ye ayrılmaktadır. Primer mikroplastikler, değişik boyutlarda endüstriyel olarak mikroboncuklara verilen isim olup üretim ve taşıma gibi aşamalarda çevreye kontaminant olarak yayılmaktadır (Andrady, 2017). Okyanus ve denizlerdeki asıl mikroplastik kaynağı ise sekonder mikroplastiklerdir (Barnes ve ark., 2009). Bunlar; kullanılmakta olan plastik malzemelerin ve çöplerin çevre koşullarının etkisiyle parçalanması sonucu havaya, toprağa ve denizlere karışırlar (Andrady, 2017). Mikroplastiklerin kara ve denizlerdeki varlığı, son yıllarda güncel hale gelmiş ve yoğun araştırmaların konusu olmuştur (Welle ve Franz, 2018). Bununla birlikte, mikroplastiklerin gıdalardaki varlığı henüz yeni bir araştırma konusu olup bu konuda yapılmış araştırmaların çok sınırlı olduğu görülmektedir. Bu araştırmada, mikroplastiklerin özellikleri, çevre ve sağlık üzerindeki olumsuz etkileri ve gıdalarda bulunuşu hakkında yapılmış olan çalışmalar derlenmiştir.

2. Mikroplastiklerin Özellikleri, Çevre ve Sağlık Üzerindeki Etkileri

Mikroplastikler, plastik kaynaklı kirleticiler arasında son yıllarda en fazla dikkati çeken konu olmuştur. Mikroplastikler morfolojik olarak amorf, küresel ve uzun lif formu gibi pek çok şekilde bulunabilirler (Yurtsever, 2015). Mikroplastikler ayrıca, boyut, kompozisyon, ağırlık, fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi pek çok açıdan da farklılık göstermektedir. Literatüre bakıldığında mikroplastiklerin boyutları ile ilgili bir fikir birliği görülmemektedir. Saha çalışmalarında, yüzey suyundan örnek alınırken kullanılan ve plaj kumunu örneklemede kullanılan elekler, alt partikül boyutunu belirlemektedir (Law ve ark., 2010; Hidalgo-Ruz ve ark., 2012). Genellikle 330 µm delik çapına sahip ağlarla küçük çaplı mikroplastiklerin tutulmaması, örneklenen mikroplastiklerin partikül boyutunun yüksek çıkmasına neden olmaktadır (Song ve ark., 2014). Deniz ortamındaki mikroplastikler tipik olarak topraklar, fragmanlar veya lifler halinde bulunmaktadır (Smith ve ark., 2018).

Mikroplastiklerin boyutları konusunda 2016 yılında GESAMP (The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), Tablo 1'de görüldüğü gibi bir boyut sınıflandırması yayınlamıştır (GESAMP, 2015).

Tablo 1. Çevrede yer alan plastik atıkların boyut dağılımları (GESAMP, 2016).

Sınıf	Boyut dağılımı	Görülebilirlik	Teknik
Makroplastik	100 - 2,5 cm	Çıplak gözle	Görsel sayım
Mezoplastik	2,5 - 0,1 cm (1000 µm)	Çıplak gözle veya optik mikroskopla	Neuston ağları ve elekler
Mikroplastik	0,1 cm – 1 µm	Optik mikroskopla	< 1 µm ayırabilen mikrofiltreler
Nanoplastik	< 1 µm	Elektron mikroskopla	Nanofiltreler

Tablo 1’de görüldüğü gibi, farklı boyutsal özelliklere sahip olan plastiklerden büyük boyutlu olanları çıplak gözle görülebilmekte iken, boyut küçüldükçe tespiti için mikroskoplara ihtiyaç duyulmaktadır.

2.1. Mikroplastiklerin Çevreye Dağılımı ve Etkileri

1960’lı yıllardan beri, plastik üretimi her yıl % 8,7 oranında büyüme göstererek küresel bir endüstri halini almıştır. Her yıl yaklaşık 8 milyon ton plastiğin okyanuslara karıştığı tahmin edilmektedir. Ayrıca şu anda 5,25 trilyon plastik partikülün okyanus yüzey sularında bulunduğu ifade edilmektedir (Smith ve ark., 2018). Yapılan araştırmalar, plastiklerin farklı yollarla aşınması sonucu oluşan gözle görülemeyen boyutlardaki kirlilik unsuru mikroplastiklerin su ekosisteminde gitgide daha fazla yoğunlaştığı ve sucul biyota için ciddi bir toksikolojik risk faktörü olduğu gerçeğini ortaya koymuştur (Alimba ve Faggio, 2019).

Karasal ve sucul ekosistemlere dahil olan plastik polimerler güneş ışığı, dalga gibi doğal etkiler ile mikroplastiklere parçalanmaktadır. Plastiklerin bozunma derecesi; polimer tipi, sıcaklık, ışınlama ve pH gibi çevresel faktörlerden etkilenmektedir (Akay ve Özdemir, 2016; Smith ve ark., 2018). Pek çok deniz memelisi, omurgasızlar, balık yiyen kuşlar ve balıklar bu mikroplastikleri yutmaktadır. Bu plastik parçacıklar karkas diseksiyonu ve özellikle sindirim sisteminde görülmektedir. Mikro- ve nano plastik parçacıkların ayrıca dolaşım sistemi yoluyla çevre doku ve organlara geçiş yapabildiği de belirlenmiştir (Lusher ve ark., 2017; Smith ve ark., 2018).

Tablo 2. Mikroplastik ve nanoplastik partikül boyutunun memeli canlılarda absorpsiyon durumu (Lusher ve ark., 2017)

Mikroplastik (0,1 -5000 µm)	Nanoplastik (1-100 nm)
>150 µm- Absorpsiyon bulunmamaktadır.	≤ 100 nm –Tüm organlara erişim bulunmak ile birlikte kan-beyin hücrelerine translokasyon ve plasental bariyerden geçiş
<150 µm- ≤ %0,3 oranında lenf dokuda emilim	Absorpsiyon oranı %7’nin üzerinde
= 110 µm-Portal damarda emilim	
≤ 20 µm Organlara erişim (≤20000 nm)	

İnsanlar için mikroplastiklere maruz kalma durumu çok yönlüdür. Bunlar genel olarak; inhalasyon (solunan havadaki mikroplastik varlığı; şehir tozu, toz sentetik kauçuk materyaller vb.), oral yol ve cilt teması (sentetik tekstil ürünleri) olarak sınıflandırılabilir. Bunun yanı sıra kirlenmiş deniz ürünleri tüketimi, diğer yiyecek türleri ve mikroplastik ile kirlenmiş içme sularının tüketimi, gastrointestinal sisteme partiküllerin direk geçiş yolunu oluşturmaktadır. İnsan derisi mikroplastik ve diğer kirlenmelerin bu süreçte vücuda girişini engelleme yeteneğine sahipse de açık yaralar, ter bezleri, saç derisi gibi olası yollarından mikroplastik geçişi ortaya çıkmaktadır (Torre, 2019). Mikroplastikler pek çok canlıda farklı boyutlarda dolaşım sistemine dâhil olabilmektedirler. Yapılan çalışmalarda mikroplastiklerin insanlar (parçacık boyutu 0,2-150 µm),

Mevcut koşullarda mikroplastiklerin çevrede kalıcı bir kirlenici olma potansiyeli ve sürekli ekosistemde birikim gösterdiği bilinmektedir. İnsanlar için oldukça endişe verici olan bu durum özellikle belirli olmayan verilerle birlikte daha da karmaşık bir hal almıştır (Esmeray ve Armutçu, 2020).

2.2. Mikroplastiklerin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerine etkileri incelendiğinde, yapılan çalışmalar günümüzde maruz kaldığımız pek çok kimyasal maddeye dair olsa da, mikroplastiklerin çevreyi kirlenme potansiyeli ve besin zincirine dahil olması ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun yanı sıra mikroplastikler ve bunlarla ilişkili kimyasal bileşenlerin deniz ürünleri aracılığıyla insanlara geçişi ve tüketici sağlığına olan etkileri üzerine henüz yeterli çalışma bulunmamaktadır (Carbery ve ark., 2018).

Plastik materyallerin farklı koşullarda parçalanması sonucu insan vücuduna etki mekanizması ve potansiyeli partikül boyutu ve maruz kalma konsantrasyonu ile ilişkilidir. Tablo 2’de mikro- ve nano plastik partiküllerinin memeli canlılarda epitel boyunca translokasyon durumu gösterilmiştir. Partikül boyutunun 150 µm ve daha küçük olması oluşan partikülün mukozal bariyerden geçebileceğini gösterirken, 1,5 µm’den daha küçük partikül boyutları daha derin dokulara ulaşabilmektedir (Lusher ve ark., 2017).

kemirgenler (30-40 µm), tavşanlar (0,1-10 µm) ve köpeklerde (3-100 µm) lenf ve dolaşım sistemine translokasyon kapasitesine sahip olduğu bildirilmektedir (Peixoto ve ark., 2019).

Stock ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, polistiren (PS) mikroplastik parçacıklarının *in vitro* olarak insan hücrelerine ve *in vivo* olarak kemirgenlere geçişi incelenmiş ve PS partiküllerinin immun sistem üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda *in vitro* koşullarda 1 µm, 4 µm ve 10 µm büyüklüğündeki mikroplastik parçacıklar seçilen deneysel koşullarda oral yolla maruz kalmanın memeliler için akut sağlık riskleri oluşturmadığı ifade edilmiştir. Hesler ve ark. (2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise 50 nm ve 0,5 µm büyüklüğündeki karboksile PS partiküllerinin insan intestinal ve plasental hücrelerinden geçişi incelenmiştir. *In vitro* modellerde

hem nanoplastik hem de mikroplastiklere maruz kalındığı ve hücre içine geçişin gerçekleştiği, bununla birlikte bu geçişin sitotoksositeye veya translokasyona yol açmadığı sonucuna varılmıştır.

20. yüzyılın ortalarında kullanımına başlandığından beri plastik malzemeler sağlıktan gıda güvenliğine, elektronikten otomotiv sektörüne kadar hemen her alanda kullanılmaktadır. Bu süreçte hayata bu kadar dahil olan plastik malzemelerin tehlike oluşturması ve dolaylı yollardan insan sağlığına olan etkileri büyük bir tartışma konusu olmuştur. Plastik malzemeler içerisinde

3. Mikroplastiklerin Ekosistemde ve Gıdalarda Bulunuşu

3.1. Kara ve Deniz Canlılarında Mikroplastiklerin Varlığı

Mikroplastiklerin yaygın dağılım gösterdiği ortamlar su ve karasal ekosistemlerdir. Bu maddelerin karasal ortama salınması; dış macunu, temizlik maddeleri ve tekstil elyafları gibi kişisel bakım ürünleri ve boyalar ile lastik gibi malzemeler yoluyla meydana gelmektedir. Okyanuslardaki mikroplastik kirliliğinin yanı sıra deniz ürünlerinde, bira, bal, sofraya tuzu, şişelenmiş maden suları gibi yiyecek ve içeceklerde mikroplastik varlığına rastlanmıştır (EFSA, 2016); Welle ve Franz, 2018). Tek bir plastik malzemenin zamanla parçalanarak milyonlarca mikroplastığa dönüştüğü dünyamızda 1990'lı yıllardan beri 140.000'den fazla deniz hayvanının mikroplastikleri yutarak öldükleri raporlanmıştır (Yurtsever, 2015). Özellikle bu plastiklerin parçalanmasıyla oluşan mikroplastiklerin çevreyi, okyanusları ve gıdalarımızı kirletmesinin yanı sıra gözle görülemeyen plastik partiküllere maruz kalma durumu bireylerde bir farkındalık oluşturmuştur. (Aydın ve ark., 2019).

Oluşan farkındalık durumu ile birlikte tüketiciler plastik tüketimine dikkat etseler de plastiğin gıda sistemlerinde kullanımının kısa ve uzun vadeli etkilere sahip olacağı düşünülmektedir. Örneğin, tarımda kullanılan malç kısa vadede verimliliği arttırsa da uzun vadede toprak mikrobiyotasını ve bitki büyümesini olumsuz etkileyebilmektedir (Rustagi ve ark., 2011;

Yates ve ark., 2019). Bu süreçte farklı plastik materyallerin biyolojik bozunma süreleri için tahmini süre örnekleri vermek

Tablo 3. Deniz canlılarında mikroplastik varlığı üzerine çalışmalar

Örnek	Ortalama Mikroplastik İçeriği	Mikroplastik boyutu	Hâkim Mikroplastik Türü	Analiz Metodu	Referans
193 balık ve 136 kabuklu deniz hayvanına ait solunum ve gastrointestinal sistem	Solunum sistemi (0,77±1,25) adet/sistem; gastrointestinal sistem (0,52±0,90) adet/sistem	Solunum sistemi (655,39±753,77 µm); gastrointestinal sistem (727,03±1148,22 µm)	PE, PET, PP, PS, PVC, Naylon, Tripolimer, Akriklik, Kopolimer	FT-IR spektroskopisi	Zhang ve ark., 2019
212 balık türü (72 köpek balığı, 12 barlam balığı, 128 kırmızı kefal)	1,56±0,5 adet/balık	0,38-3,1 mm	-	Spektroskopik görüntüleme	Bellas ve ark., 2016
26 türe ait 178 balık örneğinin gastrointestinal bölgesi	Örneklerin %26'sında mikroplastik varlığı	2,39±0,28 mm	PP, PE PS, PVC, PAN poliakrilonitril	Binoküler stereomikroskopik/FTIR ile görüntüleme	Baalkhuyur ve ark., 2019
15 türe ait 4389 adet balık midesi	0,01-0,17 lif grubu/adet balık	-	PE, PMMA, PP, PS, PET, PVC, SA ve diğer bilinmeyen plastik türleri	Mikroskop altında gözlemlene/FT-IR spektroskopisi ile görüntüleme	Kühn ve ark., 2019

PE: Polietilen; PS: Polistiren; PP: Polipropilen; PET: Polietilen tereftalat; PVC: Polivinilklorür, PMMA: Polimetilmetakrilat; PAN: Poliakrilonitril; SA: Stiren akrilat

bulunan farklı kimyasal maddelerin pek çoğunun insan kanı, idrarı ve anne sütünde bulunduğu ve insan sağlığı üzerinde potansiyel bir sağlık tehlikesi oluşturduğu belirtilmiştir (Rist ve ark., 2018). Son yıllarda nano- ve mikroplastiklerin de insan sağlığı üzerindeki etkileri değerlendirilmeye başlanmış ancak bu süreçte mikroplastiklerle ilgili yeterli araştırma olmadığından dolayı insanların gıda aracılığıyla ne kadar bir mikroplastik konsantrasyonuna maruz kaldığı bilinmemektedir. Düzenli kabuklu deniz hayvanı tüketen bireylerin yılda yaklaşık 11.000 adet plastik mikro- ve/veya nanoplastik tükettiği tahmin edilmektedir (Lusher ve ark., 2017; Smith ve ark., 2018).

gerekirse, plastik bir alışveriş çantası yaklaşık 20 yıl, strafor bir bardak 50 yıl, plastik bir şişe ise 450 yılda bozunmaktadır. Buradan yola çıkarak gıda sistemlerinde kullanılmaya devam eden plastiklerin işlevlerini yitirdikten sonra da gıda, çevre ve insan sağlığına etkilerinin devam edeceği anlamı çıkartılabilir (Yates ve ark., 2019).

Deniz ürünlerinde mikroplastik varlığı bilinen bir gerçek olmasıyla birlikte gıda güvenliğini tehlikeye atan en önemli unsurdur. Deniz canlıları mikroplastikleri yuttuktan sonra enzimatik aktivite ile parçalayamaz ve bu plastikler canlıların gastrointestinal sisteminde varlığını devam ettirirler. Ayrıca bağırsak kanalında kalan mikroplastik partikülleri kanalı bloke eder ve besin sindiriminin azalmasına yol açar. Denizlerde yaşayan mikroalglerin de mikro- ve nanoplastiklerin varlığından etkilendiği ve bu organizmalardaki mikroplastik varlığının canlıların fotosentetik aktivitesi üzerine düşüşe yol açtığı bildirilmiştir (Sjollem ve ark., 2016; Torre, 2019).

Denizlerde yaşayan canlılardaki mikroplastik varlığına yönelik çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan bir kısmı, Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de verilmiştir. Bu çalışmalar, deniz canlılarının ne derece yoğun bir mikroplastik maruziyetine maruz kaldıklarını ve riskin boyutunu gösterse de bu birikimin ne kadar sürede gerçekleştiği ve insanların sağlığı açısından tehlikenin boyutu hakkında fikir vermemektedir ve mevcut bulgular henüz varsayım düzeyindedir (Rist ve ark., 2018).

Tablo 3 incelendiğinde, mikroplastik kirliliğinden deniz canlılarının oldukça önemli derecede etkilendiği görülmektedir. Zhang ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, balıkların incelenen iki dokusunda (solunum ve gastrointestinal sistem) farklı plastik türü, boyut ve oranda mikroplastik bulunmuştur. Bu durum nedeniyle deniz canlıları kaynaklı mikroplastik geçişinin kontrol altına alınması gerekliliği üzerinde durulmuştur. Özellikle deniz canlıları üzerine yapılan çalışmalar gastrointestinal sistem üzerine yoğunlaşmakla birlikte diğer doku ve organlardaki maruziyet durumunun incelenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalardan anlaşılacağı gibi özellikle deniz canlılarının tüketimiyle insanların da mikroplastik kontaminasyonuna maruz kalacağı açık bir şekilde ifade edilmektedir. Ayrıca araştırmalar sonucunda belirlenen plastik türlerinin büyük bir çoğunluğu insan tüketimine en fazla sunulan polimerlerdir. Bu durum çevrede ve gıda zincirinde oluşan mikroplastik kirliliğinin endüstriyel faaliyetler ve tüketici kaynaklı olduğunu da göstermektedir.

Çin’de yürütülen bir çalışmada 9 ayrı ticari çiftlikten alınan kabuklu hayvan örneklerindeki mikroplastik varlığı araştırılmış ve alınan çift kabukluların tamamında mikroplastik varlığına rastlanmıştır. Mikroplastiklerin çoklu lifler, fragmanlar ve topak halinde buldukları tespit edilmiştir. Ürünlerde ortalama toplam mikroplastik içeriği 2,1-10,5 partikül/g olarak belirlenmiştir. En çok kirlilik *Scapharca subcrenata* isimli kabuklu deniz hayvanında 10,5 partikül/g olarak bulunmuştur (Li ve ark., 2015).

Johnson ve ark. (2011) yapılan çalışmada, mavi yengeçlerin yuttuğu plastikler solunum fonksiyonunu etkilemiş bağışıklık sistemi üzerine ciddi durumlar meydana getirmiştir. Japon pirinç balıkları üzerine yapılan bir çalışmada, balıkların mikroplastik tüketimi ile karaciğerinde iltihaplanma gerçekleşmiştir (Lwanga ve ark., 2017). 186 deniz kuşu türünün incelendiği bir çalışmada ise deniz kuşlarında mikroplastikten kaynaklanan bağırsak tıkanıklığı durumu ve toksinler oluşmuştur (Wilcox ve ark., 2015).

Van Cauwenberghe ve Janssen (2014)’ın iki farklı çift kabuklu yumuşakçadaki mikroplastik varlığı üzerine yaptıkları çalışmada, *Mytilus edulis* örneğinde ortalama mikroplastik varlığı 0,36±0,07 partikül/g iken, *Crassostrea gigas* örneğinde değerler 0,47±0,16 partikül/g olarak tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmacılar alınan sonuçlar üzerinden tahmini olarak Avrupa’da insanların kabuklu deniz hayvanlarının tüketiminden yılda 11.000 mikroplastik partiküle, yumuşakça tüketiminden dolayı ise yılda 1800 partiküle maruz kalacağı bildirilmiştir.

Huerta Iwanga ve ark. (2017), karasal hayvanlardaki mikroplastik varlığı üzerinde bir çalışma yürütmüştür. Toprak, tavuk dışkısı, toprak solucanları, yemler ve taşlıklardan (insan tüketimine sunulan) alınan örneklerin mikroplastik içeriği incelenmiştir. Çalışmada 100 farklı toprak örneği (50 g), 2 farklı tavuk dışkısı (10 g) incelenmiştir. Ayrıca ev bahçelerinden rastgele seçimle 5-8 aylık tavuklarda çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Toprak örneklerinde 0,87±1,9 parçacık/g mikroplastik bulunurken, toprak solucanlarında 1,8±28,8 parçacık/g, tavuk dışkısında 82,3±129,8 parçacık/g tavuk taşlıklarında ise 10,2±13,8 parçacık/g mikroplastik içeriğine rastlanmıştır. Yemlerde ise mikroplastik bulunamamıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler mikro ve makroplastiklerin karasal gıda zincirine de girebileceğini göstermiştir.

3.2. Gıda Maddelerinde Mikroplastik Varlığı

Mikroplastiklerin insanlar tarafından tüketilen deniz canlıları ve diğer sucul hayvanların vücutlarında biriktiği belirlenmiş olmakla birlikte, işlenmiş ve/veya ambalajlanmış gıda maddelerinde de mikroplastiklerin bulunabileceğine yönelik iddialara ortaya atılmaktadır. Gıdalardaki olası mikroplastik varlığının genellikle hammadde, üretim aşamaları veya paketleme sırasında kullanılan plastik ambalaj materyallerinden veya ürünün tüketimi esnasında havadan kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Yurtsever, 2019).

Mevcut gıda üretim sisteminde, ambalaj materyali olarak en fazla kullanılan malzemeler plastiklerdir. Plastiklerin gıda sanayindeki yaygın kullanımı sonucu besin zincirine mikroplastiklerin dahil olması ve insanların maruziyet durumunun artış gösterdiği düşünülmektedir (Van Raamsdonk ve ark., 2020). Yapılan çalışmalarda tek kullanımlık plastik bardaklardan Acrylonitrile maddesi geçişinin kanserojenik olduğu, polikarbonat plastikler, plastik tabak-çatal gibi malzemeler, cam kapların kapakları ve alüminyum konserve kutuların iç kaplamalarından bisfenol A geçişinin göğüs kanseri, prostat kanseri, obezite, diyabet gibi hastalıklara neden olduğu, deterjanlar ve gıda ambalajlarından ftalat geçişi olduğu ve bu geçişin üreme ve sinir sistemi üzerine etkili olduğu, köpük tabak, bardak, sandviç kaplarından stiren(vinil benzen olarak da bilinir) geçişinin kanserojenik etkileri olduğu görülmüştür (Rustagi ve ark., 2011).

Gıdalarda mikroplastik varlığını tespit etmek için Tablo 4’de görüldüğü gibi, Diseksiyon mikroskobu, SEM, FTIR ve Raman Spektroskopisi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Diseksiyon mikroskobu, mikroplastik örnekleri boyutlarına ve şekillerine (lif, küresel, granüler, film vs.) göre sınıflandırma ve sayımında kullanılırken, SEM/EDS analizi, mikroplastik partiküllerin elemental kompozisyonunu belirlemede kullanılmaktadır (Eriksen vd., 2013). FTIR (fourier transform infrared) spektroskopisi, filtre üzerinde kalan mikroplastiklerin doğrudan analiz edilmesini mümkün kılan bir teknik olup (Kappler vd., 2016). FTIR ile karbon içeren polimerlerin kolayca tespit edilebildiği belirlenmiştir (Shim vd., 2017). RAMAN spektroskopisi de FTIR gibi, ışık ile maddenin etkileşimi sonucu maddenin moleküllerindeki titreşimler vasıtasıyla kimyasal ve moleküler yapısını aydınlatılmasında kullanılan yaygın bir tekniktir (Oßmann vd., 2018).

Gıdalarda mikroplastik varlığı ile ilgili çok fazla çalışma olmasa da yapılan bazı çalışmalar deniz canlıları (balık, karides, kabuklular vb.), bira, bal ve sofrta tuzunda mikroplastik varlığını göstermektedir (EFSA, 2016). Çalışmalarda deniz ürünlerinde mikroplastik kirliliği ile gıda güvenliği arasında ciddi bir bağlantı kurulsa da mikroplastiklerin gıda sağlığı ve güvenliğini ne ölçüde riske ettiği üzerinde henüz oldukça sınırlı bilgi bulunmaktadır (Torre, 2019). Tablo 4’te farklı gıda örneklerinde mikroplastik varlığı üzerine yapılmış çalışmalar verilmiştir.

Tablo 4. Farklı gıda örneklerinde mikroplastik varlığı üzerine araştırmalar

Gıda Örneği	Ortalama Mikroplastik İçeriği	Mikroplastik boyutu	Hâkim Mikroplastik Türü	Analiz Metodu	Referans
Meksika’da satılan 5 uluslararası ve 3 yerel markaya ait 23 süt örneği	Ortalama mikroplastik konsantrasyonu 3-11 partikül/L (n:23)	<0,5 mm (%40); 0,5-1 mm (%28); 1-2 mm (%25)	Termoplastik sülfon polimerleri (polietersülfon, polisülfon)	SEM-EDS ve Raman spektroskopisi	Kutralam – Muniasamy ve ark. (2020)
19 bal örneği ve 5 farklı şeker örneği	147±166 partikül/kg bal; 217±123 lif /kg şeker ve 7±32 fragman/kg şeker	40 µm - 9 mm	-	Diseksiyon mikroskobu (30x)	Liebezeit ve Liebezeit (2013)
5 farklı bal örneği	Siyah parçacıklar 1760 /kg ile 8680/kg arasında Beyaz şeffaf lifler: 132/kg ile 728/kg arasında Beyaz şeffaf parçacıklar: 60/kg ve 172/kg arasında Renkli lifler: (32/kg ile 108/kg arasında Renkli parçacıklar (8/kg ile 64/kg arasında	-	Selüloz, PET	FTIR – ATR spektroskopisi	Mühlschlegel ve ark. (2017)
16 farklı sofa tuzu (deniz tuzu, göl tuzu ve kaya tuzu) örneği	16–84 partikül/kg deniz tuzu, 8–102 partikül/kg göl tuzu ve 9–16 partikül/kg kaya tuzu	20 µm-5 mm	PE, PP	Raman spektroskopisi	Gündoğdu (2018)
21 farklı sofa tuzu örneği (deniz (n:16) ve kaya tuzu(n:5)	Kaya tuzu örneklerinde 115-185 partikül /kg; Deniz tuzu örneklerinde 50-280 partikül/kg	-	PET, PP, PE, selofan	FTIR spektroskopisi	İñiguez ve ark. (2017)
10 farklı markaya ait deniz, göl ve kaya tuzları	Kaya, deniz ve göl tuzlarında (200g) rastlanan MP sayısı ortalama sırasıyla 28, 56 ve 63 adet	~300 µm	PA türevi (Nylon 6.6) polimerler	Işık mikroskobu ve FTIR spektroskopisi	Yurtsever (2018)
12 adet geri dönüştürülebilir ambalajlı su, 10 adet tek kullanımlık plastik şişede su, 3 adet karton kutu ve 9 adet cam şişe mineral su	Cam şişe 50±52 partikül/L Geri dönüştürülebilir şişe 118±88 partikül/L Tek kullanımlık şişe 14±14 partikül/L Karton ambalaj 11±8 partikül/L	Sırasıyla 5-10 µm, 10-20 µm, 20-50 µm, 50-100 µm ve >100 µm	PET, PS, PP, PE	Raman spektroskopisi	Schymanski ve ark. (2018)
159 farklı musluk suyu örneği	0–61 partikül/L (ortalama:5.45 partikül/L)	-	-	Diseksiyon mikroskobu	Kosuth ve ark. (2018)
24 farklı bira örneği (12 adet pilsiner tip bira, 5 buğday birası ve 7 alkolsüz pilsiner tip bira)	Litrede sırasıyla 79 lif, 12-109 fragment ve 2-66 granül partikül	-	-	FTIR ve Raman Spektroskopisi	Liebezeit ve Liebezeit (2014)
4 farklı markaya ait sallama çay örneği	Sallama çay poşetlerinde (ortalama) 1000 x görüntüleme: 1200 partikül/mm ² 100000× görüntüleme: 7 milyon mikronaltı partikül/mm ²	1000× ve 100000× objektif ile alınan sonuçlar sırasıyla; A: 24,3±14,4 µm ve 102±22 nm, B:52,3±29,3 µm ve 171±78 nm, C:12,6±6,7 µm ve 357±156 nm D: 8,6±5,2 µm ve 229±116 nm	PET, Nylon 6,6	SEM-FTIR-XPS	Hernandez ve ark. (2019)

20 farklı markaya ait konserve sardalya ve çaça balığı örneği	4 farklı markaya ait örnekte 1-3 parçacık/ ürün Dolgu sıvısında plastik partikül bulunmamıştır.	Ortalama partikül boyutu 1149 ± 936 µm	PP ve PET	Stereomikroskop, Raman spektroskopisi, Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi	Karami ve ark. (2018); Toussaint ve ark. (2019)
4 firmaya ait tavuk eti örneği	4,0-18,7 adet/kg et	-	XPS	Diseksiyon mikroskobu, FTIR	Kedzierski ve ark. (2020)
57 içecek örneği (19 yumuşak içecek; 8 enerji içeceği, 4 soğuk çay ve 26 bira)	Ortalama 28 ±5,29 partikül/L	Ortalama partikül boyutu 0.1-3 mm	PA, PEA, PET	SEM, Raman spektroskopisi	Shruti ve ark. (2020)
5 farklı satıcıdan temin edilen 317 midye dolma örneği	Ortalama 0.6± 0.1 MP/ midye	Ortalama partikül boyutu 1.7 ± 0.1 mm	PE, PP ve selüloz	Raman spektroskopisi	Gündoğdu ve ark. (2020)

PE: Polietilen; PS: Polistiren; PP: Polipropilen; PET: Polietilen tereftalat; PVC: Polivinilklorür; XPS: Ekstrüde polistiren, PA:

Poliamid PEA: Poli (ester-amid)

Tablo 4 incelendiğinde, yapılan çalışmalarda mikroplastiklerin gıda zincirine farklı kaynaklardan bulaşabildiği ve gıdalar aracılığıyla insan vücuduna mikroplastik kontaminasyonu gerçekleşebileceği görülmektedir. İnsan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan *süt* örnekleri üzerine Kutralam–Muniasamy ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, 23 örneğin hepsinde mikroplastik varlığına rastlanırken bu kirliliğin temel nedenlerinin süt alımı sırasında kullanılan plastik boru malzemeler ve endüstriyel proses basamakları olabileceği üzerinde durulmuştur. Ayrıca çalışmada sadece süt değil kirliliğin boyutlarının gözlemlenebilmesi için süt ve süt ürünlerinde de analizlerin gerçekleştirilmesi gereğinin önemi de vurgulanmıştır. Liebezeit ve Liebezeit (2013) tarafından *bal ve şeker* örneklerinin incelendiği çalışmada, partikül miktarının hem hammaddenin doğal bir kaynak olmasından hemde proses basamakları sırasından havadan bir kontaminasyondan kaynaklanacağı düşünülmüştür. Mühlshlegel ve ark. (2017) tarafından *bal* örneklerinin incelendiği çalışmada, balın çevresel kaynaklı materyallerden mikroplastik kontaminasyonuna maruz kaldığı gösterilirken, özellikle dumanlama sırasında kullanılan doğal malzemeler ile otların mikroplastik kirliliğine neden olacağı ve proses aşamasında dumanlama faaliyetinin önemine dikkat çekilmiştir. Ayrıca balın viskoz ve yapışkan bir sıvı olmasından dolayı toz, lif ve mikroplastik partiküllerini kolayca absorbe edeceğinin üzerinde de durulmuştur.

Schymanski ve ark. (2018) tarafından *mineralli sular*da yapılan çalışmada, en büyük mikroplastik kirliliği geri dönüştürülebilir şişelerde görülmüştür. Bu kirliliğe yol açan temel etmenin polyester ve polipropilenden yapılan şişelerde meydana gelen potansiyel bir aşınma sonucu gerçekleşen migrasyon ile ilişkili olabileceği öngörülmüştür. Kosuth ve ark. (2018) farklı ülkelere ait *musluk sularını* incelemiş ve örneklerin yaklaşık %81’inde mikroplastik kirliliğine rastlamıştır. Kirlilik üzerine etkili faktörün antropojenik faaliyetler olduğunu belirtmiştir. Farklı kaynaklardan elde edilen tuz örneklerinin incelendiği çalışmalarda, sucul sistemlerden elde edilen tuzlarda ciddi bir mikroplastik kirliliğine rastlanmıştır. Türkiye’de yürütülen çalışmalarda, özellikle göllerden ve denizlerden elde edilen *sofralık tuzlarda* görülen ciddi mikroplastik kirliliğinin farklı deşerjlerden beslenen göl ve denizlerimizde antropojenik aktiviteler sonucu oluşan plastik kirliliğinin bir göstergesi olduğu üzerinde durulmuştur. Konserve balık üzerine 2018 yılında Karami ve ark. tarafından yapılan çalışmada, üründe sınırlı sayıda mikroplastik kirliliğine rastlansa da konserve sardalya tüketimi ile

bir tüketicinin 1 ila 5 mikroplastik (90 g konservede) partikülüne maruz kalacağı bildirilmiştir. Ayrıca çalışmada izole edilen parçacıkların civa ve kurşun gibi ağır metaller içerdiği de bildirilerek, riskin sadece mikroplastik içeriği ile kalmayacağı ve daha detaylı bir araştırmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte tüketicilerin tek bir kaynaktan değil pek çok kaynaktan mikroplastığa maruz kaldığı ve çoklu mikroplastik maruziyetinin insanlar için potansiyel bir sağlık tehlikesi oluşturacağı düşünülmektedir.

4. Sonuç

Yapılan araştırmalar, mikro- ve nano plastiklerin çevrede kalıcı bir kirleticisi olduğu ve gittikçe artan oranlarda karasal ve sucul ekosistemlerde biriktiğini göstermektedir. Okyanusların, karaların ve sucul sistemlerin mikroplastiklerle kirlenmesi sadece ekolojik bir zarar olarak değerlendirilmemekte, aynı zamanda gıda güvenliği ve bunun sonucu olarak insan sağlığını da tehdit eden bir unsur haline gelmektedir. Yapılmış çalışmalar, özellikle deniz canlılarının yüksek oranda mikroplastiklere maruz kaldığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, insanlar tarafından tüketilen gıda maddelerinin de hammadde, üretim aşamaları veya paketleme sırasında kullanılan plastik ambalaj materyallerinden veya ürünün tüketimi esnasında havadan kaynaklanabilecek mikroplastik kontaminasyonuna uğrayabileceği ifade edilmektedir. Bununla birlikte, gıda maddelerindeki mikroplastik varlığının belirlenmesine yönelik yapılmış çalışma sayısı oldukça sınırlıdır ve günlük hayatımıza dahil ettiğimiz pek çok plastik materyalin gıdalara mikroplastik kontaminasyonuna neden olup olmadığı tam olarak bilinmemektedir. Yapılmış sınırlı sayıda çalışmalarda; bal, içme suyu, tuz ve poşet çay gibi farklı tip ve sınıfta gıda maddesinin yüksek düzeylerde mikroplastik içeriğine sahip olabileceği bildirilmiştir. Sonuç olarak, ham ve işlenmiş gıdaların mikroplastik içeriklerinin ve gıda üretim, işleme, ambalajlama ve tüketim koşullarının gıdalarda mikroplastik oluşumuna etkilerinin belirlenmesine yönelik daha fazla çalışmanın yapılması gerekmektedir. Bu çalışmaların, insanların mikroplastiklere maruziyetinin ve mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin ortaya konulmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Akbay, İ. K., & Özdemir, T. (2016). Monomer migration and degradation of polycarbonate via UV-C irradiation within aquatic and atmospheric environments. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 53(6), 340-345.
- Alimba, C. G., & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68, 61-74.
- Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12-22.
- Aslan, R. (2018). Mikroplastikler: Hayatı Kuşatan Yeni Tehlike. *Ayrıntı Dergisi*, 6(66).
- Aydın, S., Muhammed, Ulvi, M., Aydın, M. E., Ulvi, A. (2019). Mikroplastikler ve Çevresel Etkileri. 4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 14-17 Şubat 2019, Yalova, 17-26.
- Baalkhuyur, F. M., Dohaish, E. J. A. B., Elhalwagy, M. E., Alikunhi, N. M., AlSuwailem, A. M., Rostad, A., Coker, D. J., Berumen, M. L., & Duarte, C. M. (2018). Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes along the Saudi Arabian Red Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 407-415.
- Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985-1998.
- Bellas, J., Martínez-Armental, J., Martínez-Cámara, A., Besada, V., & Martínez-Gómez, C. (2016). Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 55-60.
- Botterell, Z. L., Beaumont, N., Dorrington, T., Steinke, M., Thompson, R. C., & Lindeque, P. K. (2019). Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environmental Pollution*, 245, 98-110.
- Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment International*, 115, 400-409.
- Enrique De-la-Torre, G. (2019). Microplastics: an emerging threat to food security and human health. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 1-8.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2016). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *Efsa Journal*, 14(6), e04501.
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H. & Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine pollution bulletin*, 77(1-2), 177-182.
- Esmeray, E., Armutcu, C. Mikroplastikler, Çevre Ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri Ve Analiz Yöntemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 839-868.
- Fonseca, M. M. A., Gamarro, E. G., Toppe, J., Bahri, T., & Barg, U. (2017). The Impact of Microplastics on Food Safety: the Case of Fishery and Aquaculture Products. *FAO Aquaculture Newsletter*, (57), 43-45.
- Gesamp. (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. *IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection*, 220.
- Gündoğdu, S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(5), 1006-1014.
- Gündoğdu, S., Çevik, C., & Ataş, N. T. (2020). Stuffed with microplastics: Microplastic occurrence in traditional stuffed mussels sold in the Turkish market. *Food Bioscience*, 100715.
- Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C., Tahara, R., Maisuria, V. B., & Tufenkji, N. (2019). Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12300-12310.
- Hesler, M., Aengenheister, L., Ellinger, B., Drexel, R., Straskraba, S., Jost, C., Wagner, S., Meier, F., von Briesen, H., Buchel, C., Wick, P., Buerki-Thurnherr, T., & Kohl, Y. (2019). Multi-endpoint toxicological assessment of polystyrene nano-and microparticles in different biological models in vitro. *Toxicology in Vitro*, 61, 104610.
- Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific Reports*, 7(1), 1-7.
- Johnson, N. G., Burnett, L. E., & Burnett, K. G. (2011). Properties of bacteria that trigger hemocytopenia in the Atlantic blue crab, *Callinectes sapidus*. *The Biological Bulletin*, 221(2), 164-175.
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., Karbalaei, S., & Salamatinia, B. (2018). Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Science of the Total Environment*, 612, 1380-1386.
- Käppler, R. A., Fischer, D., Oberbeckmann, S., Schernewski, G., Labrenz, M., Eichhorn, K. J., & Voit, B. (2016). Analysis of environmental microplastics by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both? *Analytical and bioanalytical chemistry*, 408(29), 8377-8391.
- Kedzierski, M., Lechat, B., Sire, O., Le Maguer, G., Le Tilly, V., & Bruzard, S. (2020). Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100489.
- Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Shruti, V. C. (2020). Branded milks—Are they immune from microplastics contamination? *Science of The Total Environment*, 714, 136823.
- Kühn, S., van Franeker, J. A., O'donoghue, A. M., Swiers, A., Starkenburg, M., van Werven, B., Foekema, E., Hermsen, E., Egelkraut-Holtus, M., & Lindeboom, H. (2020). Details of plastic ingestion and fibre contamination in North Sea fishes. *Environmental Pollution*, 257, 113569.
- Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PloS one*, 13(4), 1-18.
- Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K., & Shi, H. (2015). Microplastics in commercial bivalves from China. *Environmental Pollution*, 207, 190-195.
- Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(12), 2136-2140.
- Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2014). Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(9), 1574-1578.
- Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (615).

- Lwanga, E. H., Vega, J. M., Quej, V. K., de los Angeles Chi, J., del Cid, L. S., Chi, C., Segura, G. E., Gertsen, H., Salanki, T., van der Ploeg, M., Koelmans, A. A., & Geissen, V. (2017). Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Scientific Reports*, 7(1), 1-7.
- Mühlschlegel, P., Hauk, A., Walter, U., & Sieber, R. (2017). Lack of evidence for microplastic contamination in honey. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(11), 1982-1989.
- Opmaan, B. E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S. H., Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water research*, 141, 307-316.
- Öztürk, M. (2005). Daha iyi bir çevre için plastikleri geri kazanalım. Erişim adresi: http://www.pagev.org.tr/admin/pics/dosyalar/plastik_geri_ka_zanim.pdf
- Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., & Vieira, M. N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219, 161-168.
- Rist, S., Almroth, B. C., Hartmann, N. B., & Karlsson, T. M. (2018). A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of the Total Environment*, 626, 720-726.
- Rustagi, N., Pradhan, S. K., & Singh, R. (2011). Public health impact of plastics: An overview. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 15(3), 100.
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H. U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154-162.
- Shim, W. J., Hong, S. H., & Eo, S. E. (2017). Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analytical Methods*, 9(9), 1384-1391.
- Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Kutralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - Future research and environmental considerations. *Science of The Total Environment*, 138580.
- Sjollema, S. B., Redondo-Hasselerharm, P., Leslie, H. A., Kraak, M. H., & Vethaak, A. D. (2016). Do plastic particles affect microalgal photosynthesis and growth? *Aquatic Toxicology*, 170, 259-261.
- Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375-386.
- Stock, V., Fahrenson, C., Thuenemann, A., Dönmez, M. H., Voss, L., Böhmert, L., Braeuning, A., Lampen, A., & Sieg, H. (2020). Impact of artificial digestion on the sizes and shapes of microplastic particles. *Food and Chemical Toxicology*, 135, 111010.
- Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Plastik Madde ve Malzemeler Tebliği. (2019). Resmi Gazete. (Sayı: 30989(Mükerrer). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/12/20191225M1-10.htm>
- Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., Rio-Echevarria, I. M., & Van den Eede, G. (2019). Review of micro-and nanoplastic contamination in the food chain. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(5), 639-673.
- Tsiropoulos, I., Faaij, A. P., Lundquist, L., Schenker, U., Briois, J. F., & Patel, M. K. (2015). Life cycle impact assessment of bio-based plastics from sugarcane ethanol. *Journal of Cleaner Production*, 90, 114-127.
- Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, 65-70.
- Van Raamsdonk, L. W., van der Zande, M., Koelmans, A. A., Hoogenboom, R. L., Peters, R. J., Groot, M. J., Peijnenburg, A. C. M., & Weesepoel, Y. J. (2020). Current Insights into Monitoring, Bioaccumulation, and Potential Health Effects of Microplastics Present in the Food Chain. *Foods*, 9(1), 72.
- Waring, R. H., Harris, R. M., & Mitchell, S. C. (2018). Plastic contamination of the food chain: A threat to human health? *Maturitas*, 115, 64-68.
- Welle, F., & Franz, R. (2018). Microplastic in bottled natural mineral water—literature review and considerations on exposure and risk assessment. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(12), 2482-2492.
- Wilcox, C., Van Sebille, E., & Hardesty, B. D. (2015). Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(38), 11899-11904.
- Yates, J., Deeney, M., White, H., Joy, E., Kalamatianou, S., & Kadiyala, S. (2019). PROTOCOL: Plastics in the food system: Human health, economic and environmental impacts. A scoping review. *Campbell Systematic Reviews*, 15(1-2).
- Yildiztekin, K. G., Erkekoğlu, P., & Koçer-Gümüşel, B. (2017). Plastikler Sağlık İçin Bir Tehdit mi? Ftalatlara Genel Bir Bakış. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, 42(2), 111.
- Yurtsever, M. Nano-ve Mikroplastik'lerin İnsan Sağlığı ve Ekosistem Üzerindeki Olası Etkileri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 5(2), 17-24.
- Yurtsever, M. (2015). Mikroplastikler'e Genel Bir Bakış. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17(50), 68-83.
- Yurtsever, M. (2018). Microplastic pollution threat in table salt that an abiotic sea product. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35(3), 243-249
- Zhang, F., Wang, X., Xu, J., Zhu, L., Peng, G., Xu, P., & Li, D. (2019). Food-web transfer of microplastics between wild caught fish and crustaceans in East China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 173-182.



HCl ile Muamele Edilmiş Mısır Sapı Destekli-Zn Katalizörünün Hidrojen Üretimine Etkisinin Araştırılması

Duygu Elma Karakaş^{1*}

^{1*} Siirt Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2582-9993), duyguelma@siirt.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 29 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 4 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.759605)

ATIF/REFERENCE: Elma Karakaş, D. (2020). HCl ile Muamele Edilmiş Mısır Sapı Destekli-Zn Katalizörünün Hidrojen Üretimine Etkisinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 539-547.

Öz

Bu çalışmada, katalizör üretimi için mısır sapı ilk kez doğrudan destek malzemesi olarak kullanılmıştır. Amaç, düşük maliyetli organik atıklardan hidrojen üretimi için kullanılabilir yüksek etkinliğe sahip bir metal içeren katalizörler sentezlemektir. Katalizör hazırlanmasında farklı metal oranları (% 10, % 20, % 30, % 40), farklı asit konsantrasyonları (1M, 3M, 5M ve 7M) farklı yanma sıcaklıkları (300 °C, 400 °C, 500 °C ve 600 °C) ve farklı yanma sürelerinde (15 dak., 30 dak., 45 dak. ve 60 dak.) deneyler yapılarak hidrojen üretim hızı (HGR) açısından en etkili katalizör hazırlanmıştır. Sodyum borhidürün metanoliz reaksiyonundan hidrojen üretimi için katalizör destek maddesi olarak kullanılacak mısır sapının protonlanması için hidroklorik asit (3M HCl) kullanılmıştır. Performans açısından HCl ile muamele edilmiş mısır sapı destekli-Zn katalizörünün (MS-HCl-Zn katalizörü) optimum şartları; en etkili katalizör % 10 Zn⁺² ilavesinden sonra 500 °C'de 15 dakika yakılması sonucu elde edilmiştir. Bununla birlikte MS-HCl-Zn katalizörünün dört farklı sıcaklık (30, 40, 50, 60 °C) ve yeniden kullanılabilirlik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca hazırlanan katalizörün karakterizasyonu için FTIR ve ICP-OES analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak MS-HCl-Zn katalizörü tarafından katalize edilen % 2.5 NaBH₄ metanoliz reaksiyonunda 30 °C ve 60 °C için reaksiyon hızları sırasıyla 5027 ve 7875.2 mLdak⁻¹g.kat⁻¹ olarak bulunmuştur. MS-HCl-Zn katalizörünün aktivasyon enerjisi ise 22.9 kJ mol⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yeniden kullanılabilirlik deneyleri de aynı koşullar altında beş kez tekrarlanmış ve her kullanımda neredeyse %100 dönüşüm elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: NaBH₄, Metanoliz, Mısır Sapı, Çinko, Katalizör.

Investigation of the Effect of Corn Stalk Supported-Zn Catalyst Treated with HCl on Hydrogen Production

Abstract

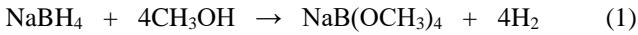
In this study, corn stalk was used as a direct support material for the catalyst production for the first time. The aim is to synthesize catalysts from low-cost organic wastes containing a high-efficiency metal that can be used for hydrogen production. In the catalyst preparation, the most effective catalyst for hydrogen production rate (HGR) was prepared by conducting experiments with different metal ratios (% 10, % 20, % 30 and % 40), different acid concentrations (1M, 3M, 5M and 7M), different combustion temperatures (300 °C, 400 °C, 500 °C and 600 °C) and different combustion times (15 min., 30 min., 45 min. and 60 min.) Hydrochloric acid (3M HCl) was used to protonate the maize stalk to be used as a catalyst support agent for the production of hydrogen from the methanolis reaction of sodium borohydride. In terms of performance for corn stalk assisted-Zn catalyst (MS-HCl-Zn catalyst) treated with HCl; the most effective catalyst is obtained by burning 15 minutes at 500 °C after the addition of 10% Zn²⁺. For different temperatures (30, 40, 50, 60 °C) and reusability experiments of the MS-HCl-Zn catalyst were performed. In addition, FTIR and ICP-OES analyzes were performed for characterization of the produced catalyst. As a result, the reaction rates for 30 and 60 °C in the 2.5% NaBH₄ methanolis reaction catalyzed by the MS-HCl-Zn catalyst were found to be 5027 and 7875.2 mLmin⁻¹g.cat⁻¹, respectively. The activation energy of the MS-HCl-Zn catalyst was calculated as 22.9 kJ mol⁻¹. Reusability experiments were repeated five times under the same conditions and almost 100% conversion was achieved with each use.

Keywords: NaBH₄, Methanolysis, Corn Stalk, Zinc, Catalyst

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, 56100, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2582-9993, duyguelma@siirt.edu.tr

1. Giriş

İçinde bulunduğumuz yüzyılda, dünya nüfusunun giderek artmasına paralel olarak fosil yakıtların tüketimindeki artış nedeniyle atmosferdeki karbondioksit, karbon monoksit ve NOx gibi zararlı gazların miktarındaki yükseliş tehdit edici bir noktaya ulaşmıştır (Liu et al., 2009; Zahmakiran & Ozkar, 2009). Bu yüzden dünya, artan enerji ihtiyacını karşılayacak, doğayı tehdit etmeyecek ve sürdürülebilirlik açısından sürekliliği olan yenilenebilir ve temiz enerjiye ihtiyaç duymaktadır (Jean-Baptiste & Ducroux, 2003) Hidrojen enerjisi, yenilenebilir alternatif yakıtların önde gelen kaynaklarından ve yanması sonucu zararlı gaz açığa çıkarmadığı için birincil temiz enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir (Jacobson et al., 2005; Muradov & Veziroğlu, 2008). Ancak bu enerji kaynağının depolanma ve güvenli taşınma gibi bazı problemleri mevcuttur. Bu nedenle, hidrojenin, güvenli bir şekilde taşınabilmesi için alternatif çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, hidrojenin güvenli bir şekilde depolanabileceği metal borhidür bileşikler aklı gelmektedir (Ozay et al., 2011; Schlapbach & Züttel, 2011; Zhu et al., 2013). Bu metal hidrürlerin başında gelen NaBH_4 , toksik olmayan yapısı, hidrojeni bünyesinde güvenli bir şekilde depolayabilmesi ve taşıyabilmesinin yanı sıra yüksek teorik hidrojen içeriği (ağırlıkça %10.8) nedeniyle ideal bir hidrojen kaynağı olarak kabul edilmektedir. NaBH_4 , sulu veya alkollü çözeltilerde güvenli bir şekilde taşınabilmektedir ve NaBH_4 'ün metanoliz reaksiyonu aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.



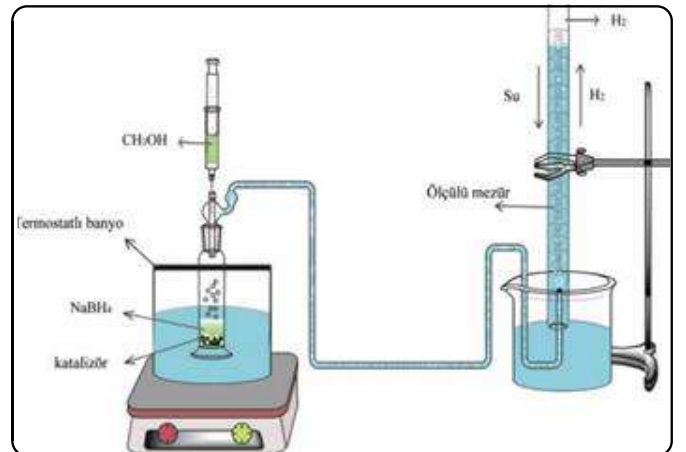
(1) no'lu denklemdeki NaBH_4 'ün metanoliz reaksiyonunun, düşük ($\leq 0^\circ\text{C}$) sıcaklıklarda bile NaBH_4 'ün hidrolizine kıyasla daha yüksek katalitik performans gösterdiği görülmüştür (Lo et al., 2007; Sahiner, 2017). Ancak bu reaksiyonlarda katalizörün önemi katalitik aktivite bakımından oldukça önemlidir. Çünkü bu reaksiyonlar katalizör kontrollü olduğu için reaksiyon performansı katalizör ile birebir bağlantılıdır. Bununla birlikte, NaBH_4 'ün hidrolizi veya metanolizi genellikle heterojen bir katalizörün kullanılmasını gerektirir. Literatürde birçok heterojen katalizör vardır, ancak bu katalizörlerin düşük performans, yüksek maliyet ve çevre kirliliğine neden olma gibi çeşitli dezavantajları mevcuttur. Heterojen katalizörler genellikle iki sınıfa ayrılır, bunları desteklenen ve desteklenmeyen katalizörler olarak sınıflandırmak mümkündür (Fernandes et al., 2010). Desteklenmeyen katalizörlerde metaller doğrudan kullanılırken, desteklenmiş olanlarda metaller herhangi bir destek malzemesine tutturulmaktadır. Aktif karbon (Gao et al., 2012), grafen (Choi et al., 2019; Wang et al., 2011), karbon nanotüp (Barghi et al., 2014; Szelwica et al., 2019), Al_2O_3 (Chamoun et al., 2010; Kaya & Bekiroğulları, 2019), TiO_2 (Demirci et al., 2020; He et al., 2019) gibi maddeler kullanılan en yaygın destek malzemelerin başında gelmektedir. Kullanılan bu destek malzemeleri birçoğu herhangi bir prosesle üretildiği için belirli bir maliyete sahiptir ve bu nedenle katalizör maliyetini arttırmaktadır. Bu bağlamda, mevcut çalışmada, katalizör için mısır sapı doğrudan destek malzemesi olarak kullanılarak maliyeti düşürmenin yanı sıra daha verimli bir katalizör sentezlenmeye çalışılmıştır. Böylece, atık malzemelerden, katma değerli ürünlerin üretimi ve atık maddelerin geri dönüşümü açısından çevre dostu bir adımın atıldığı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında, organik atıklardan biri olan mısır sapı üzerine HCl ve değerli metallere kıyasla nispeten daha ucuz olan farklı oranlarda ZnCl_2 (% 10, 20, 30 ve 40) kullanılarak MS-HCl-Zn katalizörü sentezlenmiştir. Ayrıca MS-HCl-Zn katalizörü, farklı HCl konsantrasyonları (1M, 3M, 5M ve 7M), farklı yanma sıcaklıkları (300, 400, 500 ve 600 ° C) ve farklı yanma sürelerinde (15, 30, 45 ve 60 dakika) etkinlikleri test edilerek en etkili katalizör üretim şartları belirlenmiştir. Sonuç olarak performans açısından MS-HCl-Zn katalizörü için en etkili üretim şartları, %10 Zn^{+2} ilavesinden sonra 500 °C'de 15 dakika yakılması sonucu elde edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada deneyler 30 °C'de 0.25 g NaBH_4 (\geq % 98 sigma aldrich) içeren 10 mL'lik metanol (\geq 99.9 sigma aldrich) çözeltilisinde 0.1 g katalizör varlığında bozundurularak zamana bağlı hidrojen hacimleri ölçülmüştür. Her bir deney için 3 g mısır sapı üzerine 20 mL 3M HCl ve farklı oranlarda ZnCl_2 (% 10, 20, 30 ve 40) eklenerek 200 rpm de 10 dakika karıştırıldı ve daha sonra etüvde 80 °C'de 24 saat bekletildikten sonra 400 °C'de 45 dakika fırında yakılmıştır. Hazırlanan MS-HCl-Zn katalizörlerinin performansları sodyum bor hidrürün (NaBH_4) metanoliz reaksiyonu ile test edilmiş ve en iyi metal oranı %10 olarak belirlenmiştir.

DeneySEL çalışmalarda gaz ölçümü için kullanılan sistem Şekil 1'de verilmiştir. Bu ünite, gerçekleştirilen metanoliz reaksiyon sonucu elde edilen H_2 gazı suyun yer değiştirmesi prensibi ile ölçülerek hidrojen gazı miktarlarının zamana bağlı grafikleri çizilmiştir. Genel olarak deneyler 30 °C'de 0.25 g NaBH_4 içeren 10 mL'lik metanol çözeltilisinde 0.1 g katalizör varlığında bozundurularak zamana bağlı hidrojen üretim hızları (HGR) ölçülmüştür. Yapılan deneylerde MS-HCl-Zn katalizörünün farklı HCl konsantrasyonları (1M, 3M, 5M ve 7M), farklı yanma sıcaklığı (300, 400, 500 ve 600 ° C) ve farklı yanma sürelerinde (15, 30, 45 ve 60 dakika) optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucu 3M HCl ile muamele edilmiş 500 ° C'de 15 dakika boyunca yakılan MS-HCl-Zn katalizörünün en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen bu katalizörün farklı sıcaklıklarda performans deneyleri ve tekrar kullanılabilirlik deneyleri test edilmiştir. Hazırlanan MS-HCl-Zn katalizörünün karakterizasyonu için FTIR (Thermo Nicolet IS10) ve ICP-OES (Perkin Elmer ICP-OES Optima 2100 DV) analizleri yapılmıştır.



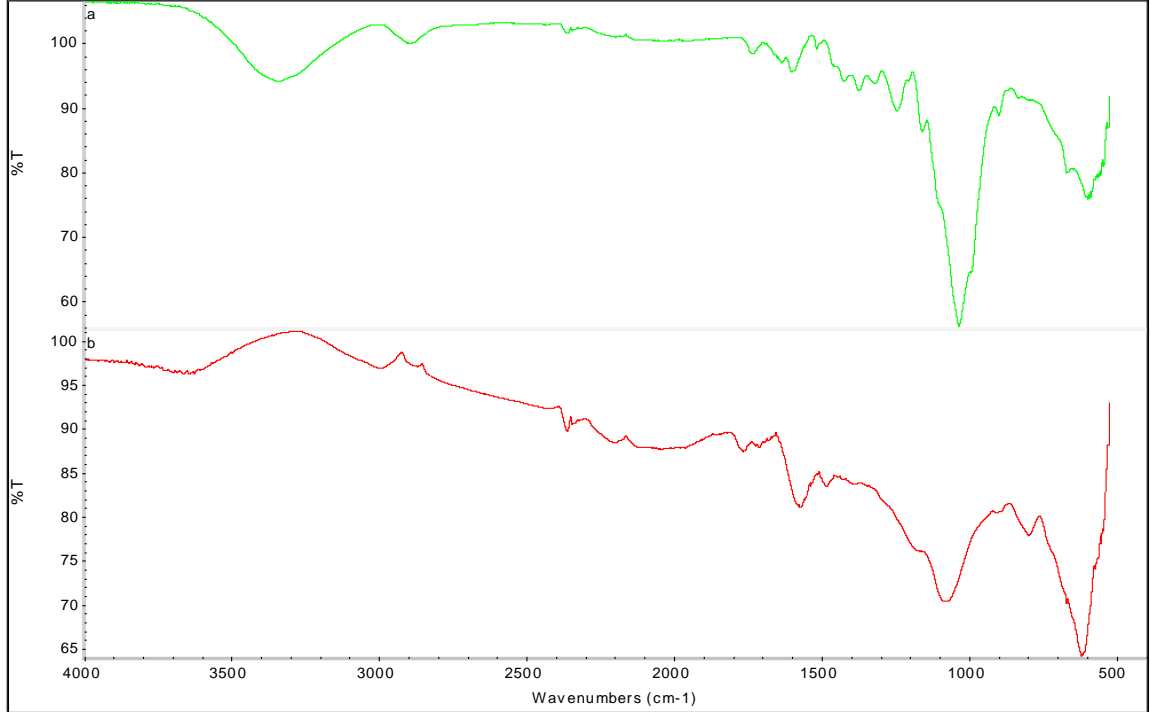
Şekil 1. Hidrojen gazı ölçüm düzeneği

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. FT-IR Analizi

Saf mısır sapı (a) ve MS-HCl-Zn (b) ait FTIR spektrumu Şekil 2’de verilmiştir. FT-IR spektrumu, mısır sapı için 3337 cm^{-1} ’de -OH gerilmesi ve 2896 cm^{-1} dalga boyu tepe noktasında ise C-H gerilmesini verdiği ancak MS-HCl-Zn katalizörünün asitle muamelesi ve yanmanın etkisiyle bu piklerin kaybolduğu

gözlenmiştir (Kaya, 2019). Ayrıca her iki spektrumda da 1731 , 1765 cm^{-1} ’de ester bağı (C=O) ve 1600 , 1480 cm^{-1} ’de elde edilen aromatik halkaların C=C titreşimleri mevcuttur. Bununla birlikte a ve b spektrumlarında, glukun ve ksilanın C-O-C gerilmesinin tipik sinyali olan 1032 ve 1082 cm^{-1} ’de güçlü absorpsiyonları görülmektedir (Sun & Chen, 2008). Selüloz ve hemiselülozdaki şeker birimleri arasındaki β -glukozidik bağlantılardan kaynaklanan 899 ve 881 cm^{-1} ’deki absorpsiyonları da tespit edilmiştir (Shi et al., 2013).



Şekil 2. Saf mısır sapı (a) ve MS-HCl-Zn (b) katalizörüne ait FT- IR spektrumu

3.2. ICP-OES Analizi

ICP-OES analiz sonuçlarına göre saf mısır sapı ve MS-HCl-Zn katalizörün içerdiği elementlerin yüzdeleri Tablo 1’de görülmektedir. Sonuçlara göre, saf mısır sapı üç ana elementten

(Ca, K ve Mg) oluşmaktadır. Buna ek olarak, diğer eser elementlerin bazıları Tablo 1’de görülebildiği gibi kaydedilmiştir. Hazırlanan MS-HCl-Zn katalizörü için eklenen çinko metali ICP-OES analiz sonucuna göre % 2.49 oranında yapıya tutunduğu görülmektedir.

Tablo 1. Saf Mısır Sapı ve MS-HCl-Zn katalizörü için ICP-OES analiz sonuçları

Elementler	Mısır sapı (%)	Elementler	Mısır sapı (%)
Al	0,03605	Fe	0,03364
B	0,00032	K	0,61840
Ba	0,00063	Li	0,00007
Bi	0,00040	Mg	0,25600
Ca	0,48970	Mn	0,00413
Cd	0,00004	Ni	0,00005
Co	0,00007	Pb	0,00044
Cr	0,00061	Sr	0,00384
Cu	0,00050	Zn	0,00746

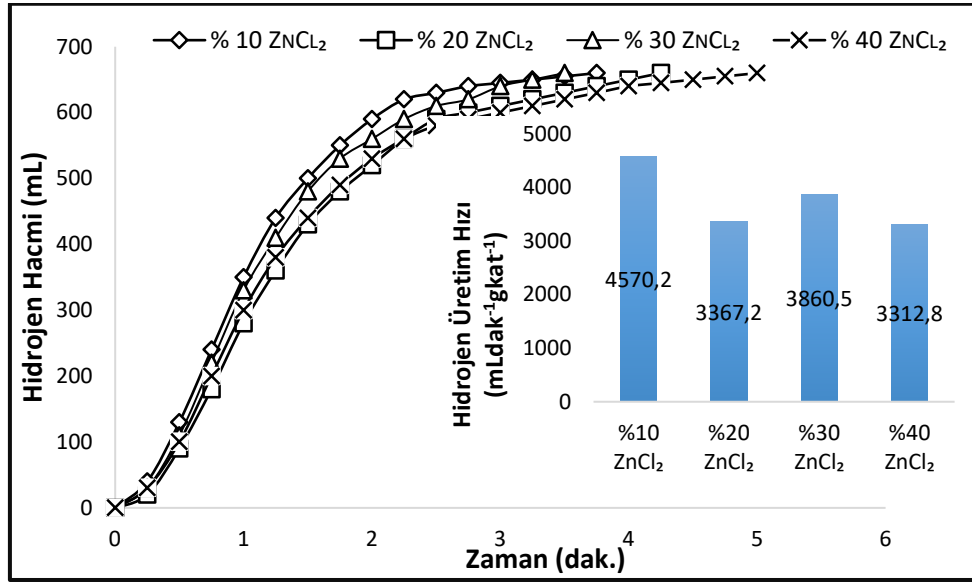
3.3. Metal Oran Etkisi

Farklı metal oranlarıyla hazırlanan MS-HCl-Zn katalizörlerinin sodyum bor hidrürün metanolizasyonu reaksiyonundaki zamana bağlı hidrojen hacimleri ve hidrojen üretim hızları (HGR) Şekil 3’de gösterilmiştir. 3M HCl ile

muamele edilmiş mısır sapına artan oranlarda eklenen Zn^{2+} metalinin üretilen hidrojen hacimleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. MS-HCl-Zn katalizörü için hidrojen üretim hızı (HGR) açısından en iyi sonucun %10 çinko içeren katalizör olduğu tespit edilmiştir. Bu katalizör için reaksiyon tamamlama

süresi yaklaşık 3.75 dakika olarak belirlenmişken artan metal oranlarının etkisiyle, reaksiyon tamamlama süresinin %20, %30 ve %40 Zn^{2+} içeren katalizörleri için sırasıyla 4.25, 3.5, 5 dakika

olduğu belirlenmiştir. Sonraki yapılan deneylere en iyi metal oranı olarak belirlenen % 10 Zn^{2+} ile devam edilmiştir.

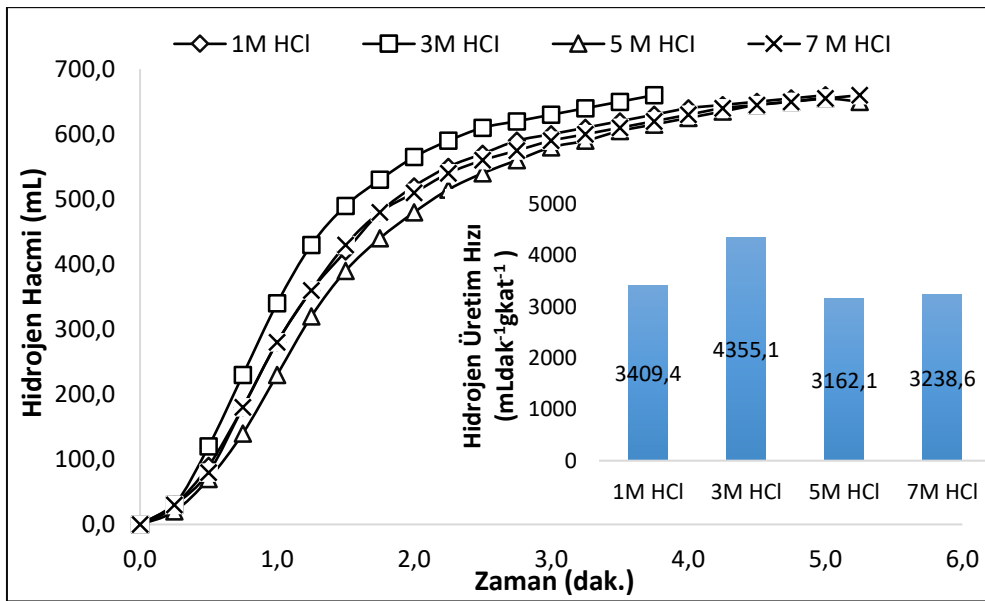


Şekil 3. Farklı oranlarda $ZnCl_2$ ile muamele edilmiş MS-HCl-Zn katalizörleri ile $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de % 2.5 $NaBH_4$ metanolizindeki hidrojen hacmi ve HGR'nin zaman içindeki değişimi.

3.4. Asit Oran Etkisi

Artan HCl konsantrasyonlarıyla muamele edilerek hazırlanan MS-HCl-Zn katalizörlerinin metanoliz reaksiyonundaki hidrojen üretim hızı üzerinde etkisi araştırılmıştır ve Şekil 4'te gösterilmiştir. 3M HCl ile muamele edilmiş MS-HCl-Zn katalizörün reaksiyonu tamamlama süresi

3.8 dakika iken 1M, 5M ve 7M H_3PO_4 muamele edilmiş katalizörlerin reaksiyonu tamamlama süresi ise sırasıyla 5, 5.3 ve 5.3 dakikadır. Ayrıca hidrojen üretim hızları bakımından 3409.4 (1M HCl), 4355.1 (3M HCl), 3162.1 (5M HCl) ve 3238.6 (7M HCl) mL.dak⁻¹.g.kat⁻¹ olarak belirlenmiştir. 3M HCl ile muamele edilen katalizör HGR açısından en etkin asit oranı olarak tespit edilmiştir.

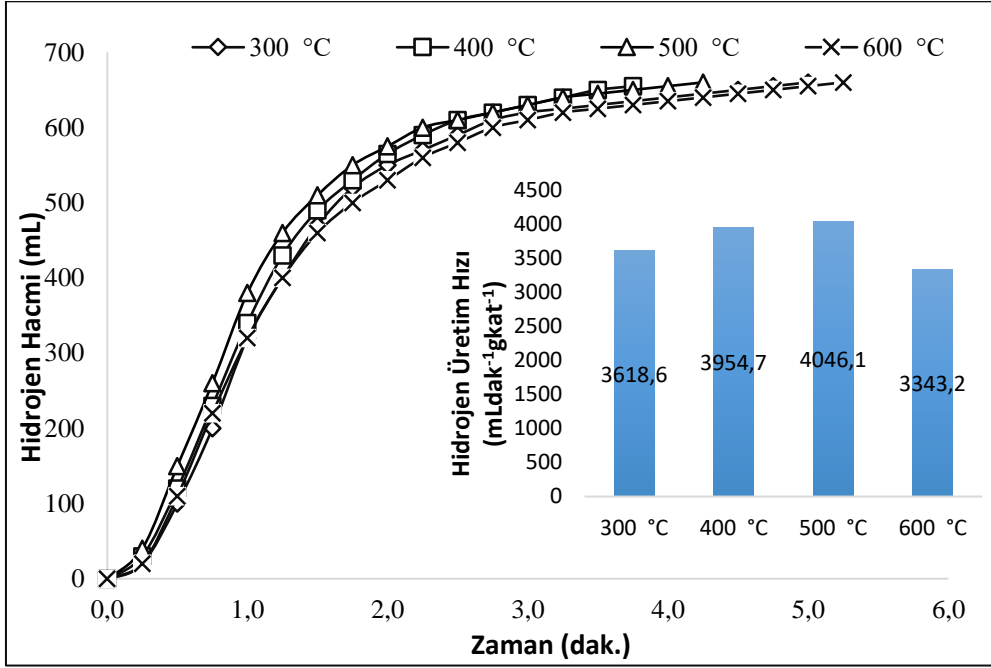


Şekil 4. Farklı HCl konsantrasyonlarıyla muamele edilmiş MS-HCl-Zn katalizörleri ile $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de % 2.5 $NaBH_4$ metanolizindeki hidrojen hacmi ve HGR'nin zaman içindeki değişimi.

3.5. Yanma Sıcaklığının Etkisi

MS-HCl-Zn katalizörünün yanma sıcaklığının katalizör performansı üzerine etkisi Şekil 5'te verilmiştir. MS-HCl-Zn katalizörü, farklı sıcaklıklarda (300, 400, 500, ve 600 °C'de) 45 dakika yakılarak en iyi yakma sıcaklığı 500 °C olarak tespit edilmiş olup ve NaBH₄ metanolizi reaksiyonunu tamamlanma süresi 4.3 dakikadır. Diğer sıcaklıklarda (300, 400 ve 600 °C)

ise sırasıyla 5, 3.8 ve 5.3 dakika olarak belirlenmiştir. Hidrojen üretim hızı yanma sıcaklığı (300, 400 ve 500 °C) artıkça belli bir noktaya kadar artıyor, sıcaklık 600 °C olduğunda ise hidrojen üretim hızı azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek sonuç 500 °C için HGR ise 4046.1 mLdak⁻¹gkat⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sonraki yapılan deneylerde yakma sıcaklığı 500 °C olarak belirlenmiştir.

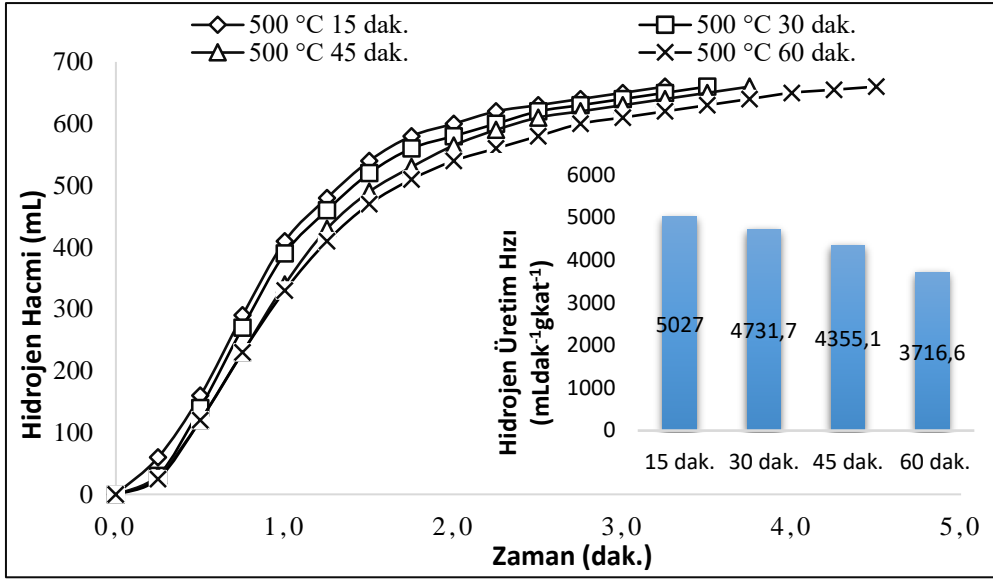


Şekil 5. Farklı yanma sıcaklıklarında MS-HCl-Zn katalizörleri ile 30 °C'de % 2.5 NaBH₄ metanolizindeki hidrojen hacmi ve HGR'nun zaman içindeki değişimi.

3.6. Yanma süresi etkisi

3M HCl ile muamele edilmiş MS-HCl-Zn katalizörünün farklı yanma sürelerinin performans üzerine etkisi Şekil 6'te verilmiştir. MS-HCl-Zn katalizörünün yanma sıcaklığı, 500 °C de yanma süreleri 15, 30, 45 ve 60 dakika olan dört farklı yanma zamanında yapılmıştır. % 2.5'lik NaBH₄ metanoliz reaksiyonu 500 °C'de 15 dakika yakılan MS-HCl-Zn katalizörü ile 3.3

dakikada tamamlarken 30, 45 ve 60 dakikalarda ise sırasıyla 3.5, 3.75 ve 4.5 dakikada reaksiyonu tamamlanmıştır. Grafikten de görüldüğü gibi 500 °C'de 15, 30, 45 ve 60 dakikalarda yakılan katalizörlerin hidrojen üretim süresi artarken hidrojen üretim hızı azalmaktadır. 15 dakika boyunca 500 °C'de yanmış olan MS-HCl-Zn katalizörünün üstün performans gösterdiği ve maksimum hidrojen üretim hızı 5027 mLdak⁻¹gkat⁻¹ olarak belirlenmiştir.

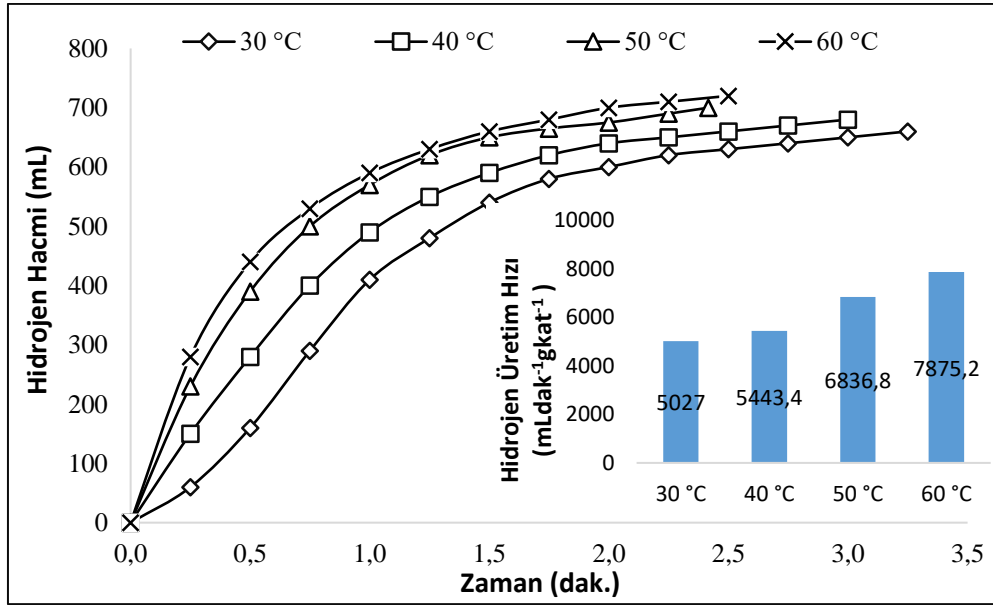


Şekil 6. Farklı yanma sürelerinde MS-HCl-Zn katalizörleri ile 30 °C'de % 2.5 NaBH₄ metanolizindeki hidrojen hacmi ve HGR'nun zaman içindeki değişimi.

3.7. Sıcaklığın etkisi

0.1 g MS-HCl-Zn katalizörü tarafından katalize edilen % 2.5 NaBH₄ metanoliz reaksiyonunda sıcaklığın hidrojen üretimi üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak için dört farklı sıcaklıkta (30, 40, 50 ve 60 ° C) deneyler yapılmıştır. Hem hidrojen hacmini hem de reaksiyon süresini içeren sıcaklık deneyleri, Şekil 7'de görülmektedir. 60 °C'deki reaksiyon 2.5 dakikada

tamamlanırken, 30 °C'de gerçekleştirilen reaksiyon süresinin 3.3 dakikada bittiği görülmüştür. Böylece sıcaklık artışının, katalizör kontrollü sodyum borhidrürün bozunma reaksiyonlarının hızını artırarak süreyi kısalttığını söylemek mümkündür. Bu arada, belirtilen sıcaklıklarda (30, 40, 50 ve 60 ° C) maksimum hidrojen üretim hızları sırasıyla 5027, 5443.4, 6836.8 ve 7875.2 mLdak⁻¹gkat⁻¹ olarak belirlenmiştir.

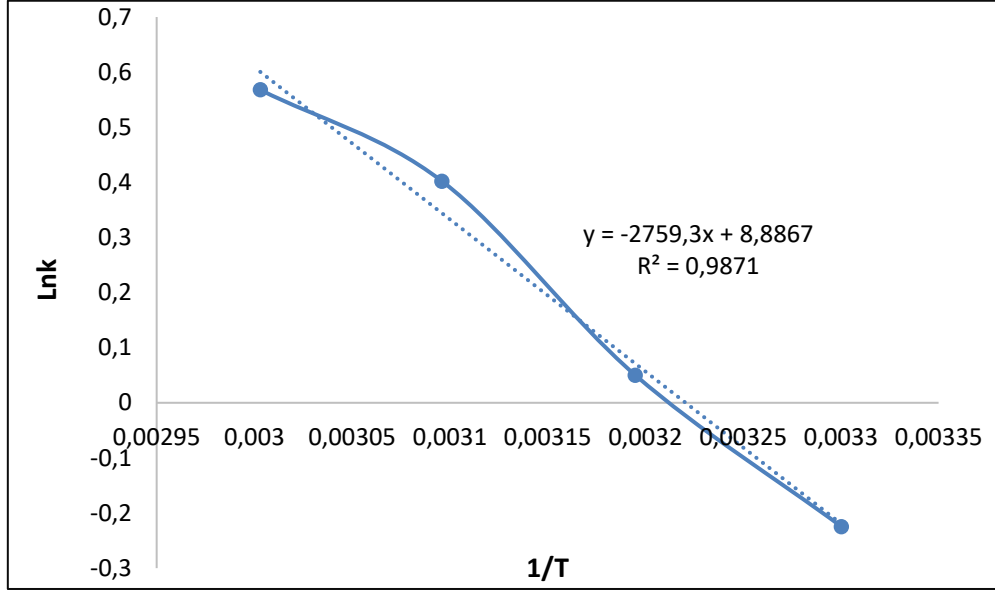


Şekil 7. 0.1 g MS-HCl-Zn katalizörü ve % 2.5 NaBH₄ kullanılarak dört farklı sıcaklıkta (30, 40, 50 ve 60 ° C) NaBH₄ metanolizinden hidrojen hacmi ve HGR'nın zaman içindeki değişimi.

MS-HCl-Zn tarafından katalize edilen NaBH₄ metanoliz aktivasyon enerjisini belirlemek için Arrhenius denklemi uygulanmıştır.

$$\ln(k) = \ln(A) - E_a/RT \quad (2)$$

Denklem 2'de k reaksiyon hızı sabiti, A reaksiyon sabiti, E_a aktivasyon enerjisi (kJ / mol), T sıcaklık (K) ve R ideal gaz sabitidir (8.314 JK⁻¹mol⁻¹). Şekil 7'den görüldüğü gibi metanoliz reaksiyonu için $\ln k$ 'ya karşılık $1/T$ doğrusaldır ve bu grafiğin eğiminden hesaplanan aktivasyon enerjisinin ise 22.9 kJ mol⁻¹ olduğu belirlenmiştir.



Şekil.8 MS-HCl-Zn katalizörünün kinetik grafiği

Ayrıca 3M HCl ve %10 Zn⁺² metali ile hazırlanan MS-HCl-Zn katalizörünün aktivasyon enerjisi Tablo.1'deki literatürlerle belirtilen diğer farklı katalizör ile karşılaştırılması yapılmıştır. Örneğin, Tablo 1'de görüldüğü gibi, önceki çalışmalarda hidrojen üretim hızları, CMS-ZnCl₂-Cu-B katalizörü için 4730

mLdak⁻¹gkat⁻¹ (Saka et al., 2020), SSMS-ZnCl₂-CoB için 9266 mLdak⁻¹gkat⁻¹ (Kaya et al., 2019), DSCG-Zn için 8510 mLdak⁻¹gkat⁻¹ (Bekiroğulları, 2020), NaBH₄-ZnCl₂ Com. 1039 mLdak⁻¹gkat⁻¹ (Wang et al., 2017) olarak rapor edilmiştir.

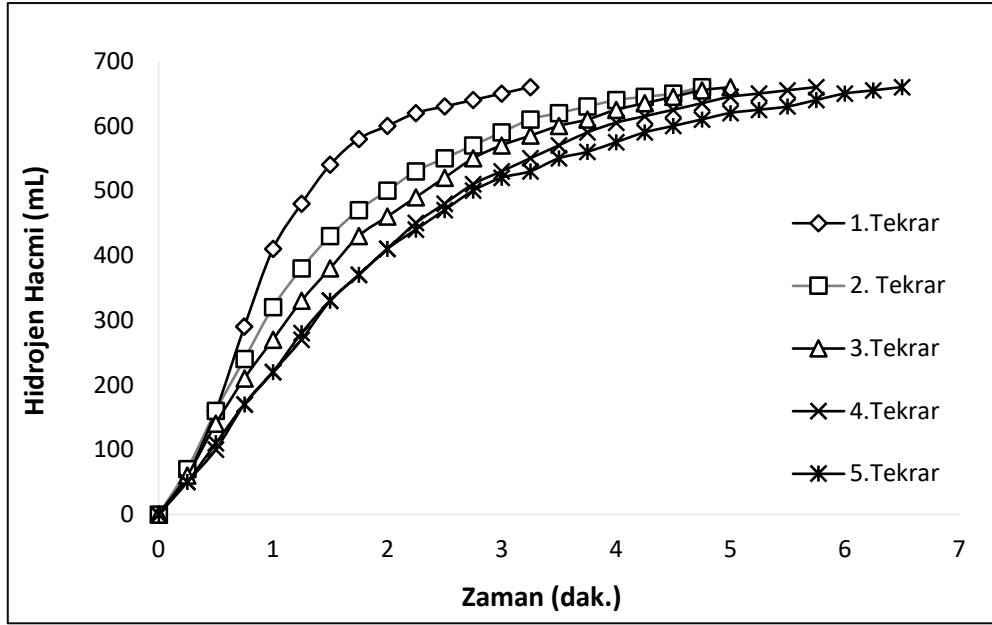
Tablo 2. MS-HCl-Zn katalizörünün maksimum hidrojen üretim hızı ve aktivasyon enerjisinin diğer Zn⁺² içeren bazı katalizörlerin verileriyle karşılaştırılması.

Katalizör	Sıcaklık (°C)	Maksimum hidrojen üretim hızı (mLdak ⁻¹ gkat ⁻¹)	Ea (kJmol ⁻¹)	Ref.
CMS-ZnCl ₂ -Cu-B	30	4730	22.71	Saka ve ark., 2020
SSMS-ZnCl ₂ -CoB	30	9266	31.13	Kaya ve ark.,2019b
DSCG-Zn	30	8510	7.87	Bekiroğulları,2020
NaBH ₄ -ZnCl ₂ Com.	25	1039	47.7	Wang ve ark., 2017
MS-HCl-Zn	30	5027	22.9	Bu çalışma

3.8. Tekrar Kullanılabilirlik

MS-HCl-Zn katalizörü, % 2.5 NaBH₄ içeren metanoliz reaksiyonu deneyleri için 30 °C'de beş kez tekrarlanarak, kullanılabilirliği test edilmiştir ve sonuç Şekil 9'da verilmiştir. Her kullanımdan sonra, katalizörler, yüzeyinde oluşabilecek kirleri çıkarmak için bol saf su yıkanmış ve tekrar kullanılmak

üzere etüvde kurutulmuştur. Şekil 9'dan de görüleceği gibi, her kullanım için neredeyse %100 dönüşüm elde edilirken, her kullanımdan sonra aktivitenin kademeli olarak azaldığı görülmüştür. Bunun nedeninin ise yıkama ve geri dönüşüm sırasında oluşabilecek katalizör kaybına bağlı olarak NaBH₄'ün metanolizi için yetersiz katalitik aktif alanların oluşumu ile ilgili olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 9. MS-HCl-Zn katalizörünün tekrar kullanılabilirliği

4. Sonuç

Çalışmada, mısır sapının asit (HCl) ve çinko metali (Zn^{+2}) ile muamele edilerek MS-HCl-Zn katalizörü hazırlanmış ve sodium borhidürün metanoliz reaksiyonunda hidrojen eldesi için ilk kez kullanılmıştır. En yüksek hidrojen üretim hızına sahip olan katalizörü sentezlemek için farklı Zn metal konsantrasyonları, farklı asit konsantrasyonları, farklı yanma sıcaklıkları ve farklı yanma süreleri test edilerek en aktif MS-HCl-Zn katalizörü ağırlıkça %10 Zn^{+2} ilavesinden sonra 500 °C' de 15 dakika yakılması sonucu elde edilmiştir. Daha sonra MS-HCl-Zn katalizörünün dört farklı sıcaklık ve yeniden kullanılabilirlik deneyleri yapılmıştır. 0.1 g MS-HCl-Zn katalizörü tarafından katalize edilen % 2.5 $NaBH_4$ metanoliz reaksiyonunda 30 °C ve 60 °C' de reaksiyon hızları 5027 ve 7875.2 mLdak⁻¹g.kat⁻¹ olarak bulunmuştur. MS-HCl-Zn katalizörünün aktivasyon enerjisi ise 22.9 kJmol⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Yeniden kullanılabilirlik deneylerinde MS-HCl-Zn katalizörünün her kullanımda neredeyse % 100 dönüşüm sağlayabildiğini buda hazırlanan katalizörün geri dönüştürülebildiğini göstermiştir. Ayrıca, MS-HCl-Zn katalizörünün karakterizasyonu için FTIR ve ICP - OES analizleri yapılmıştır. FT-IR analizinde MS-HCl-Zn katalizörüne ait bazı fonksiyonel grupların asit ve yanma işlemlerinden dolayı yok olduğu bazılarında absorpsiyon şiddetlerinin düştüğü görülmektedir. Buna ek olarak ICP-OES analizine göre MS-HCl-Zn katalizörüne % 2.49 oranında çinko metali bulunduğu tespit edilmiştir. Atık kaynakların doğada bol olması ve bu tür atıklara ucuz metaller eklenerek hazırlanabilecek etkin katalizörlerin sentezi yüksek verimli katalizörlerin üretilmesi açısından önemli bir adım olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, bu tür çalışmalar artırılması, hem organik atıkların yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesi bakımından hem de çevre sorunlarını azaltmaya katkı sunacağı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, daha etkin katalizörlerin sentezlenmesi için bu tür çalışmaların artırılması ve daha farklı organik atıkların denenilmesi önerilmektedir.

Kaynakça

- Barghi, S. H., Tsotsis, T. T., & Sahimi, M. (2014). Chemisorption, physisorption and hysteresis during hydrogen storage in carbon nanotubes. *International journal of hydrogen energy*, 39(3), 1390-1397.
- Bekirogullari, M. (2020). Hydrogen production from sodium borohydride by $ZnCl_2$ treated defatted spent coffee ground catalyst. *International journal of hydrogen energy*, 45(16), 9733-9743.
- Chamoun, R., Demirci, U., Zaatar, Y., Khoury, A., & Miele, P. (2010). Co- αAl_2O_3 -Cu as shaped catalyst in $NaBH_4$ hydrolysis. *International journal of hydrogen energy*, 35(13), 6583-6591.
- Choi, J., Wagner, P., Gambhir, S., Jalili, R., MacFarlane, D. R., Wallace, G. G., & Officer, D. L. (2019). Steric modification of a cobalt phthalocyanine/graphene catalyst to give enhanced and stable electrochemical CO_2 reduction to CO. *ACS Energy Letters*, 4(3), 666-672.
- Demirci, S., Sunol, A. K., & Sahiner, N. (2020). Catalytic activity of amine functionalized titanium dioxide nanoparticles in methanolysis of sodium borohydride for hydrogen generation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 261, 118242.
- Fernandes, V., Pinto, A., & Rangel, C. (2010). Hydrogen production from sodium borohydride in methanol-water mixtures. *International journal of hydrogen energy*, 35(18), 9862-9868.
- Gao, P., Wang, Y., Yang, S., Chen, Y., Xue, Z., Wang, L., Li, G., & Sun, Y. (2012). Mechanical alloying preparation of fullerene-like Co_3C nanoparticles with high hydrogen storage ability. *International journal of hydrogen energy*, 37(22), 17126-17130.
- He, J., Burt, S. P., Ball, M. R., Hermans, I., Dumesic, J. A., & Huber, G. W. (2019). Catalytic CO bond hydrogenolysis of tetrahydrofuran-dimethanol over metal supported WO_x/TiO_2 catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, 258, 117945.

- Jacobson, M. Z., Colella, W., & Golden, D. (2005). Cleaning the air and improving health with hydrogen fuel-cell vehicles. *Science*, 308(5730), 1901-1905.
- Jean-Baptiste, P., & Ducroux, R. (2003). Energy policy and climate change. *Energy policy*, 31(2), 155-166.
- Kaya, M. (2019). Production of metal-free catalyst from defatted spent coffee ground for hydrogen generation by sodium borohydride methanolysis. *International journal of hydrogen energy*.
- Kaya, M., & Bekiroğullari, M. (2019). Investigation of hydrogen production from sodium borohydride methanolysis in the presence of Al₂O₃/spirulina platensis supported Co catalyst. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(16), 69-76.
- Kaya, M., Bekiroğullari, M., & Saka, C. (2019). Highly efficient CoB catalyst using a support material based on Spirulina microalgal strain treated with ZnCl₂ for hydrogen generation via sodium borohydride methanolysis. *International Journal of Energy Research*, 43(9), 4243-4252.
- Liu, C.-H., Chen, B.-H., Hsueh, C.-L., Ku, J.-R., Jeng, M.-S., & Tsau, F. (2009). Hydrogen generation from hydrolysis of sodium borohydride using Ni-Ru nanocomposite as catalysts. *International journal of hydrogen energy*, 34(5), 2153-2163.
- Lo, C.-t. F., Karan, K., & Davis, B. R. (2007). Kinetic studies of reaction between sodium borohydride and methanol, water, and their mixtures. *Industrial & engineering chemistry research*, 46(17), 5478-5484.
- Muradov, N. Z., & Veziroğlu, T. N. (2008). "Green" path from fossil-based to hydrogen economy: an overview of carbon-neutral technologies. *International journal of hydrogen energy*, 33(23), 6804-6839.
- Ozay, O., Aktas, N., Inger, E., & Sahiner, N. (2011). Hydrogel assisted nickel nanoparticle synthesis and their use in hydrogen production from sodium boron hydride. *International journal of hydrogen energy*, 36(3), 1998-2006.
- Sahiner, N. (2017). Modified multi-wall carbon nanotubes as metal free catalyst for application in H₂ production from methanolysis of NaBH₄. *Journal of Power Sources*, 366, 178-184.
- Saka, C., Kaya, M., & Bekiroğullari, M. (2020). Chlorella vulgaris microalgae strain modified with zinc chloride as a new support material for hydrogen production from NaBH₄ methanolysis using CuB, NiB, and FeB metal catalysts. *International journal of hydrogen energy*, 45(3), 1959-1968.
- Schlapbach, L., & Züttel, A. (2011). Hydrogen-storage materials for mobile applications. In *Materials for sustainable energy: a collection of peer-reviewed research and review articles from nature publishing group* (pp. 265-270). World Scientific.
- Shi, W., Gao, Y., Yang, G., & Zhao, Y. (2013). Conversion of cornstalk to bio-oil in hot-compressed water: effects of ultrasonic pretreatment on the yield and chemical composition of bio-oil, carbon balance, and energy recovery. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(31), 7574-7582.
- Sun, F., & Chen, H. (2008). Comparison of atmospheric aqueous glycerol and steam explosion pretreatments of wheat straw for enhanced enzymatic hydrolysis. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 83(5), 707-714.
- Szelwicka, A., Zawadzki, P., Sitko, M., Boncel, S., Czardybon, W., & Chrobok, A. (2019). Continuous Flow Chemo-Enzymatic Baeyer-Villiger Oxidation with Superactive and Extra-Stable Enzyme/Carbon Nanotube Catalyst: An Efficient Upgrade from Batch to Flow. *Organic Process Research & Development*, 23(7), 1386-1395.
- Wang, M., Ouyang, L., Liu, J., Wang, H., & Zhu, M. (2017). Hydrogen generation from sodium borohydride hydrolysis accelerated by zinc chloride without catalyst: A kinetic study. *Journal of Alloys and Compounds*, 717, 48-54.
- Wang, Y., Liu, J., Wang, K., Chen, T., Tan, X., & Li, C. M. (2011). Hydrogen storage in Ni-B nanoalloy-doped 2D graphene. *International journal of hydrogen energy*, 36(20), 12950-12954.
- Zahmakiran, M., & Ozkar, S. (2009). Zeolite-confined ruthenium (0) nanoclusters catalyst: record catalytic activity, reusability, and lifetime in hydrogen generation from the hydrolysis of sodium borohydride. *Langmuir*, 25(5), 2667-2678.
- Zhu, J., Li, R., Niu, W., Wu, Y., & Gou, X. (2013). Fast hydrogen generation from NaBH₄ hydrolysis catalyzed by carbon aerogels supported cobalt nanoparticles. *International journal of hydrogen energy*, 38(25), 10864-10870.



Solar Glass Panels: A Review

Bekir Karasu^{1*}, Zehra Emel Oytaç¹, Elif Sıla Ergani¹, Ahmet Furkan Buluç¹

¹ Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Materials Science and Engineering, Eskişehir/Türkiye (*ORCID: 0000-0002-7769-9863, bkarasu@eskisehir.edu.tr), (ORCID: 0000-0002-6486-2094, zeoytac@anadolu.edu.tr), (ORCID: 0000-0001-8503-9622, elifsilaergani@eskisehir.edu.tr), (ORCID: 0000-0003-2015-2186, ahmetfurkanbuluc@eskisehir.edu.tr)

(First received 1 June 2020 and in final form 2 November 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.746056)

ATIF/REFERENCE: Karasu, B., Oytaç, Z. E., Ergani, E. S., Buluç, A. F. (2020), Solar Glass Panels: A Review, *European Journal of Science and Technology*, (20), 548-565.

Abstract

The need for energy sources in the world is gradually increasing day by day. Photovoltaics (PVs) usage has worldwidely spread thanks to the efficiency and reliability increase and price decrease of solar panels. The photovoltaic (PV) glazing technique is a preferred method in modern architecture because of its aesthetic properties besides electricity generation. Traditional PV glazing systems are mostly produced from crystalline silicon solar cells (c-SiPVs). The development of low-cost PV cells for the production of cost-effective and energy-saving glass systems has been of great interest. Solar control glass which is one of the crucial components of PV panels is largely employed for architectural and automotive windows to lower the sunlight and heat inlet for the comfort. Hereby a general overview of solar glass panels is presented.

Keywords: Solar glass panels, History, Production, Properties, Applications, Development.

Cam Güneş Panelleri: Bir Derleme

Öz

Dünyada enerjiye olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Verimlilik ve güvenilirliklerindeki artış ve fiyatlarındaki düşüş sayesinde güneş panellerinin (fotovoltaiklerin) kullanımı da dünya genelinde yaygınlaşmaktadır. Modern mimaride güneş paneli estetik özellikleri ve elektrik üretimi açısından tercih edilmektedir. Geleneksel güneş paneli sistemleri ağırlıklı olarak kristalin silisyum güneş hücrelerinden (c-SiPVs) üretilmektedir. Düşük fiyatlı güneş paneli hücreleri fiyat etkin ve enerji tasarruflu cam sistemlerinin üretimi bağlamında büyük ilgi çekmektedir. Güneş panellerinin önemli bileşenlerinden birisi olan güneş control camı iç mekana giren gün ışığını ve ısıyı azaltması böylece yaşam konforu sağlaması ile mimaride ve otomotiv pencerelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makalede cam güneş panelleri hakkında genel bir derleme çalışması sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Cam güneş panelleri, Tarihçe, Üretim, Özellikler, Uygulamalar, Gelişim.

1. Introduction

Glass is an inevitable material of daily life, in a large color ranges and shape varieties, with numerous different applications from the screens, windows, bottles, jar, or tableware to fiberglass or sealant/solder glass. For all these usages and applications, different types of glasses with compositions tailored to meet specific requirements are required. Every single sector is mentioned with subsectors. For example, one can classify the

fiberglasses as insulation, reinforcement, mineral wool, and optical fibers. Similarly, the flat glass can be divided into windows, automotive glazing, internal and solar glasses (Fig. 1). Container and flat glasses are the two large sectors, and approx. 45–50 % and 30 % of the world production belongs to them respectively [1].

From the years 1990 to 2007, the world energy consumption increased by 40 %. Until 2035, it is expected that another 8–10 % increase will occur because of the rapid growth of urbanization. The major energy-consuming sectors are transport, industry, and

* Corresponding Author: Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Materials Science and Engineering, Eskişehir/Türkiye, ORCID: 0000-0002-7769-9863, bkarasu@eskisehir.edu.tr

buildings being specifically responsible for 40 % of global energy alone. For fulfilling such a high energy request, zero energy, or low energy buildings attract considerable attention [2]. There are many studies conducted on solar glass for photovoltaic (PV) modules [3].

The conventional construction materials like glazing or cladding are replaced by solar glass. In multi-floor buildings with limited roof space, for generating electricity, façades and windows are the most potential units. Therefore, the development of solar glazing becomes a great issue in the growth of 'urban micro-generation'. Besides possessing aesthetical pleasure and visual innovation, the solar panel glass may result in the return on investment from the building [4].

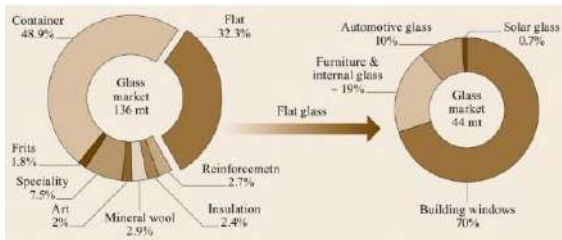


Figure 1. The distribution of the glass market in 2007, focusing on the flat glass market [1]

Curtain walls are becoming a popular application for PV glass in buildings, allowing owners to generate power from areas of the building that have never been considered. Thus, buildings became a real power plant, preserving their desired features such as design, aesthetics, efficiency, and functionality. For these applications, amorphous Si (a-Si) and crystalline Si (c-Si) glasses can be employed, and selecting one or another will rely on the design choices, energy requirements, and daylight situations. PV glass for curtain walls comes frameless and can be integrated into any commercial system. A typical curtain wall system can come together semi-transparent PV glass for the vision areas, with completely dark glass for the spandrel [5].

2. History

Although the beginning of the artificial production of glass is uncertain, it is assumed that it dates back 4000 years ago to the Phoenicians in Eastern Mesopotamia. The glass industry has benefited from the inspiration and experience of the Hellenistic glass manufacturers and has made progress in the Roman period. The Romans used glass not only in the production of everyday items but also for decorative purposes such as mosaic, paneling, and exterior cladding. For example; it was again the Romans who covered the rear surface of the glass with metal foil (Au or Ag coating) and used it as a reflective material. Modern glassmaking began to develop in Venice in the 11th century as a result of the collapse of the Byzantine Empire under the influence of the Crusades. Venice has been the center of the glass industry in Europe for 400 years. Subsequently, significant progress has been made in the glass industry and many glass factories have been established in Europe in a short time. The introduction of coal instead of wood in 1615, the construction of crystal glass in the late 17th century, and the discovery of optical glass in the 19th century accelerated the development of the glass industry and made firm conclusions about the principles of glass technology. Although glass production and diversity have shown significant improvements since ancient times, it is not possible to say the same about surface coating technologies. In 1817 Fraunhofer in Germany found that a non-reflective layer could be obtained on the glass surface using sulphuric or nitric acid, but technically it

was not applied in those years. In 1935, Strong in the USA and Smakula in Germany tried the evaporation and vacuum methods for coating these non-reflective glasses. In 1938, multi-layer surface coatings began to show up largely in the United States and in Europe on a small scale, but the first successful two-layer systems were achieved in 1949. Becquerel in 1839 watched over that PV cells transform the sunlight energy into electricity by the PV effect. In 1883, the first working solar cells were built by Fritts employing Se with a very thin Au layer. Ohl's research on semiconductor resulted in a patent presenting the first modern solar cells, and in the 1950s Chapin, Fuller and Pearson developed the Si-based Bell solar battery. About 50 years after, solar panels became capable of generating a billion watts of electricity for powering technology on Earth, satellites, and space probes. The collaborations between scientists and mathematicians carry on for the improvement of solar panel technology [6].



Figure 2. John Bayliss, President of the Solaron Corporation, the first publicly owned solar energy company in the nation by Boyd Norton, 1975 [7]

The major historical events in the development of solar energy can be outlined as follows:

Solar panels in outer space—In the year 1958, the Vanguard I satellite employed a very small one-watt panel for powering its radios. Afterward, with PV technology onboard the Vanguard II, Explorer III, and Sputnik-3 had been launched. In the year 1964, NASA launched the first Nimbus spacecraft that was a satellite with the ability for running completely on 470-watt solar array and the world's first orbiting astronomical observatory powered by one-kilowatt array was erected in 1966.



Figure 3. Nimbus 1, the 1st in a series of 2nd generation meteorological research and development satellites launched in 1964 [8]

First solar residence—In 1973, the Delaware University constructed Solar One which was the first solar building, system of which worked on a hybrid supply of solar thermal and solar PV power. This was the first example of a building-integrated photovoltaics (BIPVs)—Instead of using solar panels the array had solar integrated into the rooftop.

Obtainments in solar conversion efficiency—Between the years 1957 and 1960, several breakthroughs with PV efficiency were made by Hoffman Electronics, enhancing the efficiency record

from 8 to 14 %. In 1985, for Si cells, South Wales University obtained 20 % efficiency. In the year 1999, the National Renewable Energy Lab. worked on with SpectroLab Inc. for making a solar cell that was capable of 33.3 % efficiency. In 2016 South Wales University broke the record again when the gain of an efficiency level, 34.5 %, was reached by researchers.

Solar-powered airplanes—In 1981, the first aircraft running on solar power, named Solar Challenger, was built by Paul MacCready. In the year 1998, the remote-controlled solar airplane, named Pathfinder, broke a record of altitude with 80,000 feet. In 2001 this record was broken by NASA when they had a success of reaching 96,000 feet with their non-rocket aircraft. In the year 2016, the first zero-emissions flight around the world was completed by Bertrand Piccard with Solar Impulse 2, which is classified as the world's largest and most powerful solar-powered airplane today.

Solar-powered presidencies—In the year 1979, President Jimmy Carter had solar panels installed on the White House. However, in 1981, President Ronald Reagan ordered their removal. In 2010, during his first term, President Barack Obama required solar panels and a solar water heater to be installed on the White House [9].



Figure 4. President Jimmy Carter when inspecting the new White House solar hot water heating system in 1979 [10]

3. Solar Glass

Glass is employed in PV modules as a protection layer for the elements. In thin-film technology, it also serves as the substrate, on which the PV material and other chemicals are deposited. Glass is also the basis for mirrors employed to concentrate sunlight. Most commercial glasses are oxide-based ones with a similar chemical composition (Fig. 5) [11].

Iron (Fe) in the glass comes from the raw and refractory materials or the metallic manufacturing equipment etc., and it is not completely removed. Its amount in the glass can only be minimized through controlling the manufacturing. The Fe content of solar cell glass is at the level changing between 0.008 and 0.02 %, while that of ordinary float glass is above 0.7 %. For the most widely employed 3.2 and 4 mm thick glass, the visible light transmittance of sunlight is generally 90–92 %. Since solar PV glass needs that the glass plate has to be highly transparent, Fe₂O₃ level coming from the raw materials employed in the production of solar glass is very strict, generally 140 to 150 ppm [12].

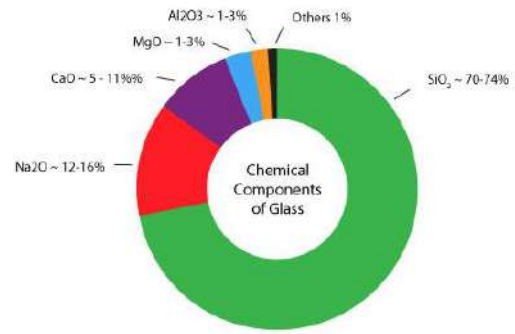


Figure 5. Chemical components of glass [11]

The main expected features from a glass to be used in solar applications are transmission, mechanical strength, and specific weight. Typical crystalline modules employ 3 mm front glass, whereas thin-film modules consist of two laminated glass layers of 3 mm each for front and back. Glass has great inherent strength and shows fast brittle fracture as localized stresses can not be reduced. So-called Pattern Glass is mostly employed as front glass in crystalline modules, whilst float glass is employed for substrate and back glass in thin-film modules. There are certain objectives of glass: Ultra-bright glass is required with high solar transmission to make sure high efficiencies in the overall PV module. Satisfactory mechanical strength is needed to resist snow and wind. Depending upon the application, the glass may require to be laminated and coated. Self-cleaning features would help to decrease maintenance costs [11].

3.1. Classification of PV Glass

PV solar glass substrates are usually ultra-thin, surface-coated, and low-Fe (ultra-white) glasses. PV glass could be classified as the cover plate of a flat-type solar cell, a conductive substrate for thin-film solar cells and lens, or mirror type glass employed in the collector PV system. Today's most largely preferred solar PV glass is the one with high transmittance, having low-Fe content and known as ultra-white glass. The presence of Fe impurities colors the glass and also raises the heat absorption rate of the glass, thereby lowers the light transmittance of the glass.

3.2. The Application of PV Solar Glass

Germany is the world's first country using transparent flat glass as a substrate for solar cells. For directly supplying the ingested electric energy to the households this kind of plate-shaped solar cell as a window glass on a building was installed by German technicians. This initial solar cell glass was developed and utilized. It was soon followed by the U.S. and Japan, where the acceleration on the development and application of low-Fe and ultra-thin glass for solar energy was observed [12].

One can utilize solar glazing in various 'BIPV' applications such as translucent or semi-transparent solar windows; privacy protection panels; rear-ventilated façades, atriums, skylights; barns with transparent solar roofs; greenhouses; balustrades and fencing; rain screens, curtain walling, bus shelters [4].



Figure 6. Polysolar (PS)-A opaque series panels, Future Business Center, Cambridge shelters [4]

Any building-integrated solar system's design requires the optimization of the solar energy generation while respecting to building regulations, fulfilling the requests of desirable aesthetic and economic restrictions, and also permitting future maintenance. BIPV glass can obtain the functionalities of solar electricity generation, targeted light transmission levels (between 0–50 %), shading and glare control, weatherproofing, structural strength, sound protection, thermal control: thermal insulation, decrement in thermal gain and aesthetic.

3.3. Types of Solar Glass

Crystalline cells (both mono- or polycrystalline) and thin-film [e.g. a-Si, Cd-telluride] are available for a standard roof-mounted solar panels. The highest 'STC' (standard test conditions) efficiencies of 12–17 % for multi-crystalline modules and up to 20 % for monocrystalline ones are usually supplied by crystalline technologies. With thin-film technologies the STC efficiency can typically range from 6–8 % for a-Si and up to 13 % for contact image sensor (CIS) modules. Thin-film technologies are liable to work optimally at 700 to 800 W/m² radiance and carry on operating to highly low levels of radiance: about 10 % sunlight. The thin-film operates in ambient and reflected light on the duller days while crystalline modules require direct sunlight. At high temperatures, it shows less degradation than crystalline cells. The performance depends on the geographic location, the local climate, the panels' orientation on the building, and the application. Lower levels of light than those optimally angled on a roof will be received by PV panels on a vertical façade. Equally less direct light than those facing South will be received by those facing North (Fig. 7). In PV modules, the transparency effect is generally obtained as a result of the combination of a pattern of opaque solar cells and transparent unoccupied areas. With crystalline cells, modifying the gap between the cells adjusts light transmission. In the case of thin-film usage, the active layer can be partially removed to permit the light to pass through, or an ultra thin-film deposition can be combined with two transparent conductive coating layers. When crystalline Si is mentioned, traditional solar cells are usually in black or blue color, and in brown or black with the thin-film. For obtaining coloring influences differing from the color of a cell, colored coatings, laminates, or films could be employed shelters [4].



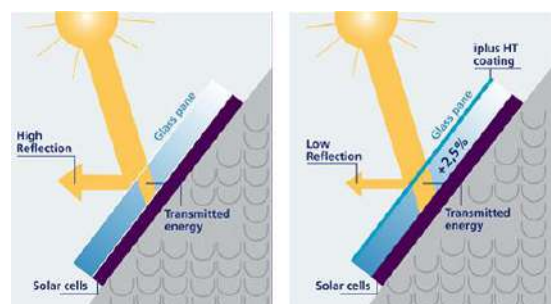
(a)
(b)

Figure 7. Polysolar (PS) (a) PS-CT-64/48 units, (b) PS-MC-SE monocrystalline glass panels shelters [4]

4. PV Solar Cell

The PV solar cell's Si wafer facing the sun has the electrical contacts and is covered with an anti-reflective (AR) layer helping to absorb the sunlight efficiently (Fig. 8). The connection between the semiconductor and the external electrical load, like a light bulb or battery, is supplied by the electrical contacts. Certain chemicals, as dopant, are incorporated into the composition of the semiconductor for helping to establish a path of the freed electrons, which is making an electron flow generating an electrical current that begins to flow over the PV solar cell surface. Metallic strips are placed across the surface of the PV cell to collect these electrons forming a positive connection. The back of the PV cell contains a layer of Al or Mo metal generating a negative connection to the cell [13].

As stated above, one can describe solar panel glass as a crucial barrier, protecting solar PV cells from water, vapor, and dirt, which are known as damaging external factors. It also provides low reflection, high transmissivity, and high strength. Solar panel glass being highly transmissive possesses a direct positive influence on the solar PV panels' performance. An AR layer can be applied onto solar panel glass through plating before the tempering process is applied to the glass. With this plating, the reflected light level will decline and % of sunlight absorbed from solar PV cells will be inclined by 2.5 %. Such a plating action will also supply the solar PV panel high efficiency and mechanical stability. Solar panels are made of tempered glass. The reasons for preferring this type of glass becoming suitable in the production of solar PV panels are: being up to 4 times stronger when compared to standard plate glass and its safeness [14]. When broken, the tempered glass will break up small pieces lowering the serious injury risks (Fig. 9).



(a)
(b)

Figure 8. The comparison between uncoated (a) and ultra-durable AR coated glass (b) [15]



Figure 9. Breaking behavior of annealed, tempered, and laminated glasses [16]

Large glass planes, like glass façades and large glazing, are employed in modern architecture. The interior of buildings absorbs the heat penetrating through windows, causing the interior to be heated to an unacceptable level. As to a passenger car, it can easily be said that windows are the largest heat penetration sources and approx. 1/2 of this comes from the windshield. Therefore, certain enhancements in the glass features for decreasing heat penetration are inevitable, either for improving passenger comfort or because of ecological necessity.

Soda-lime-silica (SLS) glass with no coating is considerably transparent at complete solar radiation wavelength with only slight absorption and small reflection taking place (Fig. 10). One can lower heat gain by inclining the solar energy reflection and/or absorption thanks to the usage of a solar control coating, and at the same time, a satisfactory visible light level is allowed to transmit through the glass [17].

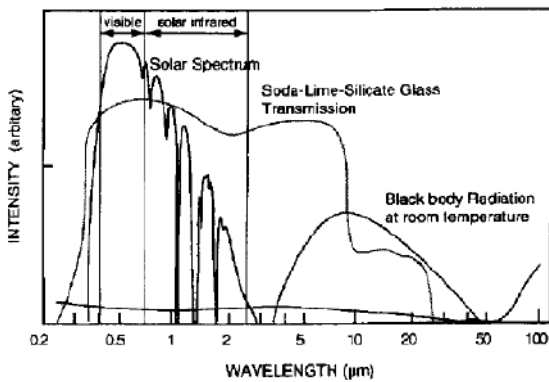


Figure 10. Transparency of glass [17]

Semiconductors can be classified as intrinsic and extrinsic. Former ones are pure in their form. There is no impurity incorporated to enhance their conductivity. Latter ones are not pure and doped. When a semiconductor is doped, three types can be achieved;

P-type semiconductors are formed when a-Si, Se, or Ge is doped with a trivalent element like B.

N-type semiconductors are capable of carrying negative charges and formed when Si or any other semiconductor is doped with a pentavalent element.

PN-type semiconductors: When P and N type semiconductors are joined by subjecting the surfaces in contact to a high temperature, a boundary or a junction is formed between them and called PN junction.

Si and Se are the most largely employed semiconductors in the Si-solar cells manufacturing. Ga, arsenide, In-arsenide, and Cd-sulfide, etc. are in use as well [18].

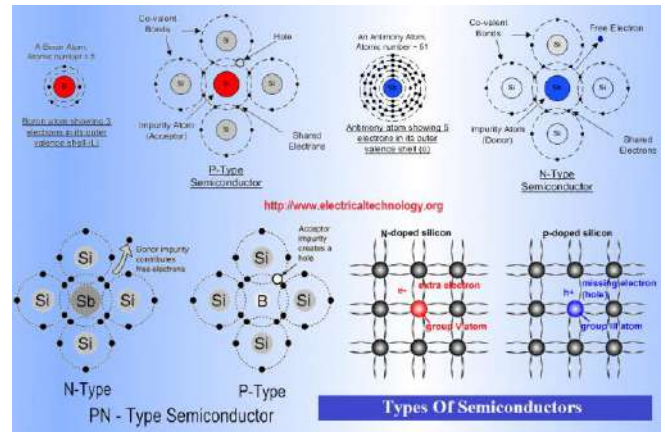


Figure 11. Types of semiconductors [19]

The principle operation of a solar cell is similar to conduction in a semiconductor like Si. As indicated in Fig. 12, the dark surface is the part exposed to sunlight. When electromagnetic radiation hits the cell surface, it excites the electrons, leading them to jump from one energy level (orbit) to the other leaving holes behind [19].

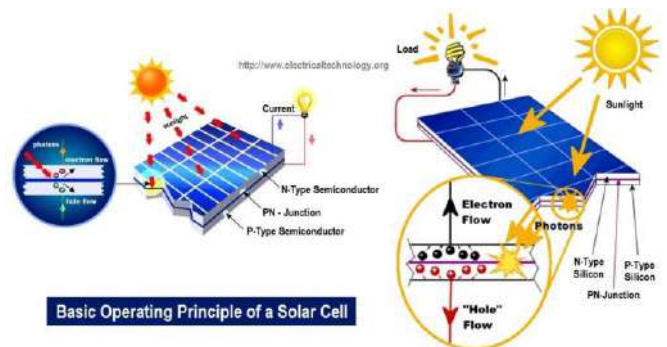


Figure 12. Basic operation principle of a solar cell [19]

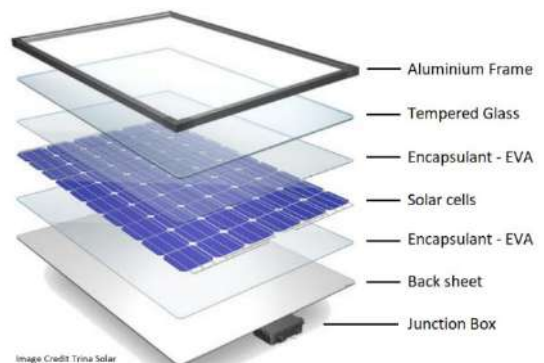


Figure 13. An example of the latest technological PV module (2019) [20]

It has been reported that the worldwide solar PV glass market is projected to reach over US\$ 21.8 billion by 2025. The U.S. will maintain a growth momentum of 29.4 %. Within Europe, Germany will contribute over US\$ 1.4 billion. The rest of Europe's markets will demand over US\$ 1.2 billion. In Japan, the utility is expected to have US\$ 930.4 million market size. As the world's 2nd-largest economy, China will possibly inhibit the growth potential of 39 % and contributes approx. US\$ 8.6 billion [21].

5. Production of Solar Glass Panel

Windows are the main units of the building envelope for the ventilation of buildings, solar energy gain, and easy visibility from outside [22]–[24]. On the other hand, what kind of role they play in the total energy consumption in buildings is uncertain. When the window area in buildings gets large, their contribution to total energy losses from the building envelope becomes much tougher. The thermal isolation performance of traditional glazing products is insufficient. So, there has been an agreement among researchers that extra actions, like developing highly thermal resistant, and cost-effective glazing technologies, are immediately required for fulfilling the needs of the latest building fabric standards [25].

Great importance has been recently given to new glass technologies for enhancing the existing thermal isolation properties of windows, thus reducing energy losses associated with windows in buildings. Unfortunately, in most studies, an exact solution may not be obtained because of certain issues such as cost, performance, and aesthetics. For example, high-temperature resistant windows can be obtained by different methods, but this leads to very thick and heavier structures not being entirely desired. As a result of this, a lot of different techniques have been done from past to present time. Vacuum glazing, for example, can supply desirable thermal isolation

performance with thin designs [22]–[24], but commercialization is still a challenge for vacuum glazing due to a considerably higher production cost than traditional glazing products. Air gel glazing [26], phase change material (PCM) glazing [27] and adaptive glazing [28] are thermally efficient in the building envelope, but possess a considerable negative effect on the visual quality and thermal comfort. Intelligent vacuum tube windows are also promising from the viewpoint of thermal isolation performance. The desired values reported by Cüce and Cüce require larger tube diameters, causing all larger thicknesses [24]. Adaptive glazing technologies are logical, however, the total cost is not still at the desired level [29].

PV glazing technique is a chosen method as far as modern architecture is concerned thanks to its aesthetical properties besides generating electricity. However, the thermal isolation performance of ordinary single glass is better than that of traditional PV glazing products according to Pengetal's recent extensive experimental research. However, the PV glazing concept has been developed and numerous researches are underway to increase existing power generation and thermal power in isolation performance [30]. This method can be implemented in three different ways as shown in Fig. 14.

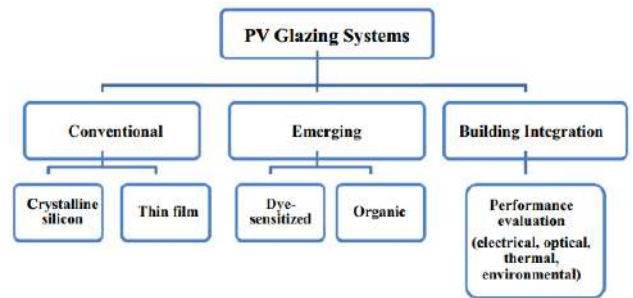
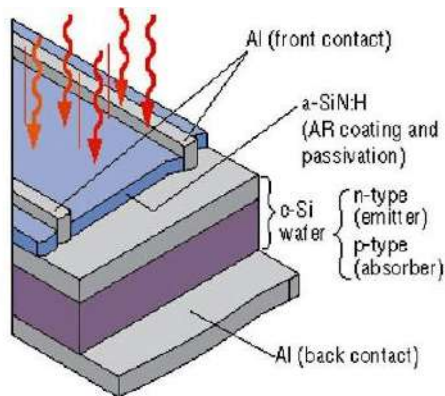


Figure 14. PV glazing systems and their performance [30]

Crystalline Si, thin-film, dye-sensitized, organic, and building-integrated PVs modules are presented in Figs. 15–19 respectively.



(a)



(b)

Figure 15. (a) Crystalline Si (c-Si) PV cell construction and (b) its application [31]

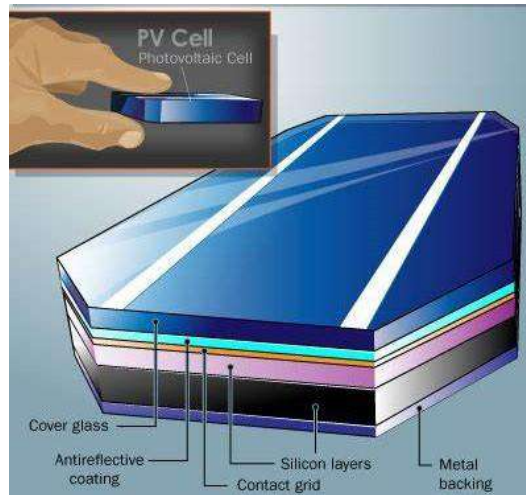


Figure 16. A thin film module [20]

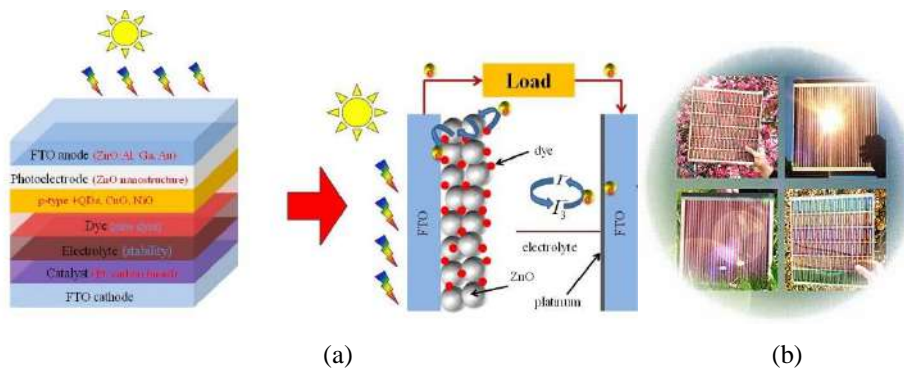


Figure 17. Structure (a) and applications (b) of dye-sensitized solar cell (DSSC) [20]

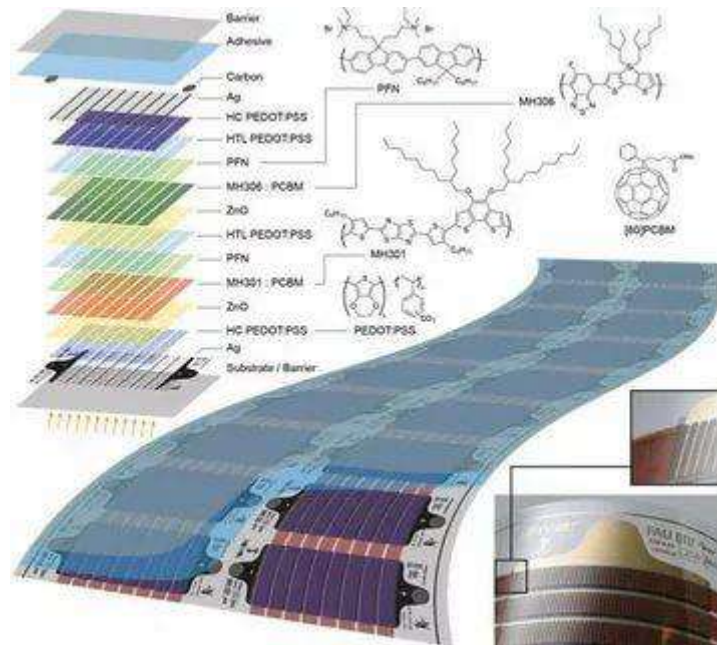


Figure 18. An organic solar cell [32]

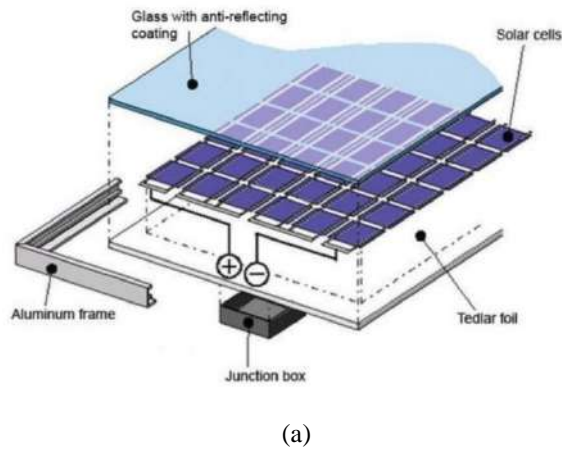


Figure 19. (a) Solar panel BIPV façades glass curtain wall with solar modules cell cladding and (b) an example of its application [33]

Traditional PV glazing systems are predominantly produced from c-SiPVs. In the literature, there are various studies using semi-transparent c-SiPVs instead of traditional glasses in residential and commercial buildings [30]. Fig. 20 exhibits an exemplary c-SiPV glazing method, the technology of which is expensive. Another disadvantage of these products is that the views are typically opaque. Translucent-SiPVs supply better illumination performance, and enlarging the cells area in a translucent PV glass results in more electricity generation. However, this leads to an excessive solar heat gain in the summertime, causing a noteworthy increase in the cooling demand of buildings [34].

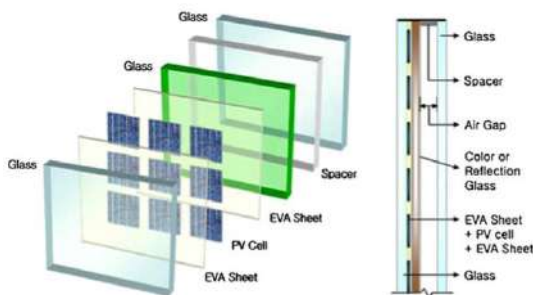


Figure 20. Diagram of a c-SiPV window [35]

The low-cost PV cell development for the production of cost-effective and energy-saving glass systems has recently taken great attention. In this context, because of its numerous special properties, and low costs, it has expanded the world on dye-sensitive and organic PV cells [36]. Easy capability, simple production process [37], [38] low material consumption, low light level sensitivity, and great ease of use [39]–[43] can lead them to be ideal for the energy windows use [44], [45]. Fig. 17 depicts the representation of dye-sensitized PV cells for window applications. Paint-sensitive PV glazing products are appealing thanks to their low cost, but their energy conversion efficiency is significantly poorer than that of traditional PV glazing systems [46]–[51].

Glass-PV-glass orientation is advantageous when compared to conventional PV devices since they permit daylight to pass into indoor if placed as a BIPV. Consequently, a semi-transparent BIPV glazing, which is controlling the entering solar heat gain and discomforting glare, provides convenient daylight as well as electricity generation. PV device for BIPV glazing covers 1st-

generation Si, 2nd-generation a-Si, Cd-telluride (CdTe), Co-In-Ga-selenide solar cell (CIGS), and 3rd-generation dye-sensitized solar cell (DSSC) and perovskite. 2nd and 3rd-generation PV devices possess advantages when compared to Si since they make the thickness modulation of transparency possible. On the other hand, DSSC and perovskite show stability problems, preventing them to be used as practical glazing under the circumstances of outdoor environment. Crystalline Si is yet preferential over all these mentioned PV, supplying high efficiencies and stabilities under the outdoor environmental conditions [2]. BIPVs are PV materials replacing traditional building materials in building envelopes. In the case of BIPV application to buildings, the power generated directly by these buildings could partly help to solve the inefficient energy consumption problems. Although BIPVs are among the best methods in terms of power generation by solar energy, they have several problems, like the requirement to constantly adjust the angle for tracking, the contradiction between daylighting and electricity generation, being unable to respond to the demand for light control etc. For promoting and responding to the BIPV's concept, Young et al. developed a multi-functional heat isolation solar glass (HISG) differing from conventional transparent PV modules and supplying heat isolation and self-cleaning besides power generation (Fig. 21). HISG possesses multiple layers with differing structural and thermophysical features. HISG could easily be evaluated in any transparent PV module. Depending upon the needs of the climatic situations a suitable inert gas can replace the air [52].

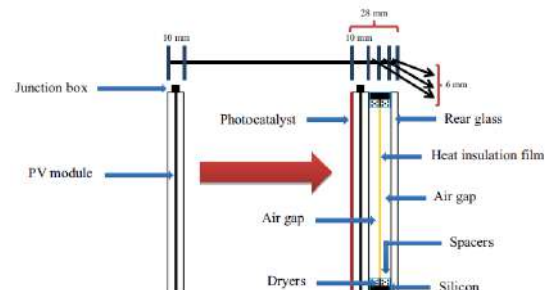


Figure 21. The view of HISG cross-section [52]

In the manufacture of solar control glasses, the sputter coating of solar control layers and then tempering and/or bending of glass substrates have been used. The former one cannot be cut and the rate of deposition on the latter one is less than that on flat glass

due to the wider distance between sputter targets and the bent glass substrates. A heat-resistant solar control glass possessing a basic $\text{SnO}_2/\text{SiN}_x/\text{CrN}_x/\text{SiN}_x/\text{SnO}_2$ layer has been developed [53].

The optical bandpass filter is an idealized solar control model, reflecting the solar IR radiation as much as possible. A multilayer interference coating consisting of stacking a high index dielectric (e.g. TiO_2) with a low index dielectric (e.g. SiO_2 , MgF_2) is close to this model. Oxide films with high refractive indices, like SnO_2 , TiO_2 , and the spinel family of oxides are produced by wet coating processes; like chemical vapor deposition, spray coating, printing, and dip coating. Thanks to their high refractive index the gain of heat is declined. They also improve the color of tinted glass for decoration purposes. On the other hand, such a solar control coating lowers visible transmission along with IR. Another reason for why the solar control coatings manufactured by wet processes having limited applications is the restrained selection of coating appearance. Solar control by the sputtering phenomenon was discovered in the 19th century but sputtering did not begin to be used as a coating technique until the invention of the planar magnetron cathode in the 1970s. A large scale sputtering coater was developed and started to be placed by major glass industries in the 1980s and since then the sputter-coated glass market has rapidly grown. One can also form oxide and nitride films by sputtering metal targets in a reactive gas atmosphere. For such an achievement some metals, metal nitrides, high and low index dielectric metal oxides can be employed. The market of coated glass began with absorbing film systems but the trend is now toward solar control employing a low-E coating with high visible transmission [17].

For a glass curtain wall, a new type of transmissive concentrating system is proposed, enhancing the solar PV glass curtain wall's performance (Fig. 22) [54].

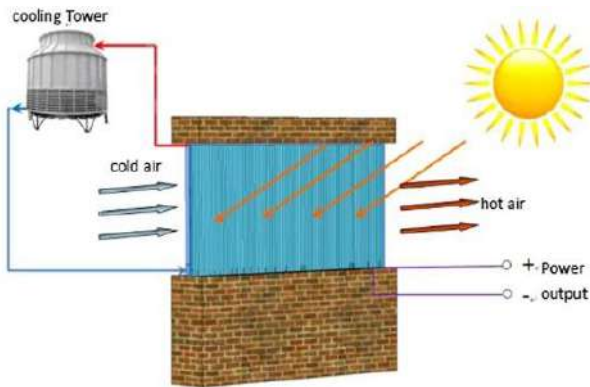


Figure 22. Schematic diagram of the solar concentrating PV/photothermal glass curtain wall system [54]

In Hong et al.'s work, the new type of transmissive concentrating system was composed of a plurality of hollow micro-concentrating units, it was made by polymethyl methacrylate (PMMA), its outer surface was compound parabolic concentrator (CPC) structure, PV cells were attached at the bottom, the hollow portion was axially fed with cooling water also an air sandwich between the double glazings, and the function was to absorb heat generated by the PV cell. The structure is given in Fig. 23, and its working principle is presented as follows:

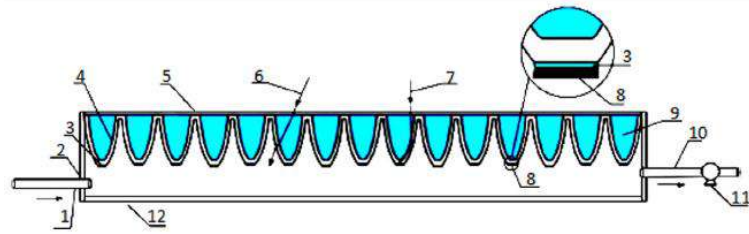


Figure 23. The working principle of the transmissive concentrating systems. 1 Air inlet, 2 Side plate, 3 AR coating, 4 Sidewall surface of concentrating unit, 5 Outer glass, 6 Oblique incident light, 7 Direct incident light, 8 PV battery, 9 Cooling water, 10 Air outlet, 11 Fan and 12 Internal gas [54]

The vertically incident ray 7 passes through the upper surface 5 and is refracted in the micro-concentrating unit, after that, concentrated in the bottom of the PV cell 8 by AR coating 3, then it can generate electricity and heat. As the light passes through into the bottom of the micro-concentrating unit, it will be partially reflected, not conducive to PV cell 8 reception, therefore, an AR coating 3 is placed between the PV cell 8 and the glass curtain wall, that can increase the amount of ray to make it be received by PV cell 8, thereby the generation efficiency of PV cell 8 can be improved. The obliquely incident ray 6 passes through the upper surface 5, shot on the curved inner wall 4 of the CPC, then refracted in the micro-concentrating unit and finally shot out from its lower part and enters the interior of building through the bottom plate 12 for daylighting. The side plate 2 is provided with a venting hole, and the fan 11 is installed on the external air outlet 10. It makes the airflow through the opposite side inlet 1 into the concentrating system. The PV cell 8 is heated when it is generating airflow, and water flow while cooling the PV cell 8, and the efficiency and service life of the PV cell 8 can be increased [54].

6. The Latest Studies on Solar Glass Panels

In the literature, there have been numerous studies on solar glass panels. Hereby only recently published some works will be mentioned.

Ballif et al. presented the first overall work on sets of commercial multi-crystalline Si solar cells with patterned low-Fe containing glasses with or without AR coating [55]. The algorithms' efficacy for obtaining real-time control of the acoustic transmission was reported highways [56]. They stated that the noise-blocking glass windows could presumably be of great importance for houses built in areas near airports and noisy.

Hongsheng et al. prepared a Ce-Fe oxide solar control coating on glass by using citric acid sol-gel method, dip-coating techniques and decent heat treatment process, and indicated that such a coating possesses remarkable UV-shielding and heat-isolation feature, and could be employed as an efficient solar control glass in the automobile industry and architecture [57].

Weinhardt et al. investigated the interfaces of Cu (In, Ga) Se_2/Mo and the Mo/glass in highly effective thin-film solar cells [58].

Gall et al. studied poly-Si thin-film solar cells on glass for reaching the single-junction efficiency of 15 % or more at low costs [59].

Tachan et al. presented a DSSC manufactured inside a glass tube for forming a dye-sensitized solar tube (DSST) [60]. Rosa-Clot et al. examined the behavior of a PV panel which was submerged in water [61].

Nagamedianova et al. prepared a new 3-layer near-IR reflective glasses by coating clear float soda-lime glass with nanostructured TiO₂ and SiO₂ films. They advised that the monolithic windows application in the automotive industry and architecture is promising [62]. Dominguez et al. evaluated the indirect gains of rooftop PV systems for building isolation by measurements and modeling (Fig. 24) [63].



Figure 24 (a) Photograph of Powell Structural Systems Laboratory (PoSL) at the University of California, facing South, (b) photograph of PoSL from inside facing North, (c) Google Earth image of PoSL (north is up) [63]

In the research of Sumitomo et al. nano grinding was applied on the cross-sections of a-Si thin-film solar panels having nanoscale multi-layer structures that consist of hard and brittle materials [64]. Verma et al. showed that non-lithographic nanostructuring of the packaging glass surface reduces the reflection at the air/glass interface and possesses a self-cleaning ability. The processing steps are given in Fig. 25 [65].

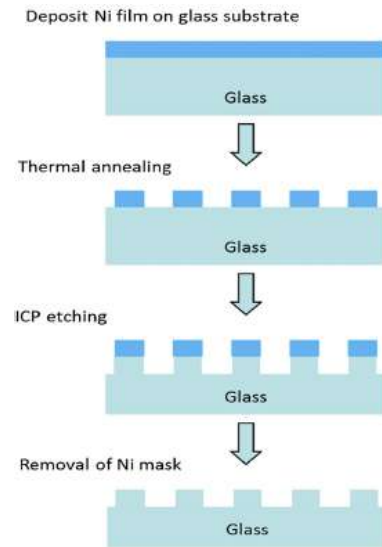


Figure 25. Process steps employed in forming nanostructures in the solar packaging glass [65]

Some details of the Zondag analysis were developed and the thermal behavior of a thermal electric solar panel integration (TESPI) system was searched. The simulation of TESPI thermal behavior was based upon the scheme shown in Fig. 26 [66].

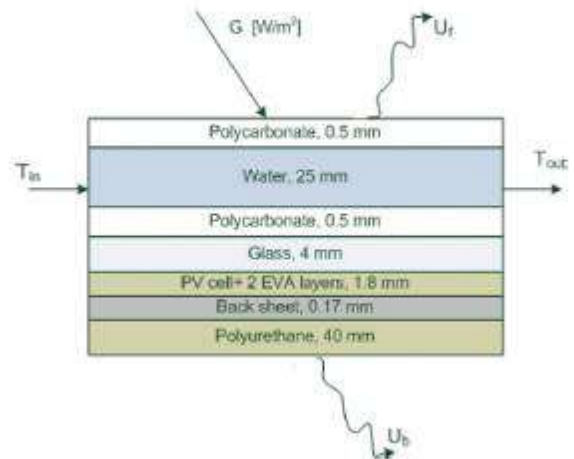


Figure 26. TESPI layers and main energy fluxes [66]

For having simplicity under the scheme given in Fig. 27, PV panel has the layers of polycarbonate, glass, PV cells + EVA, back sheet, polyurethane.

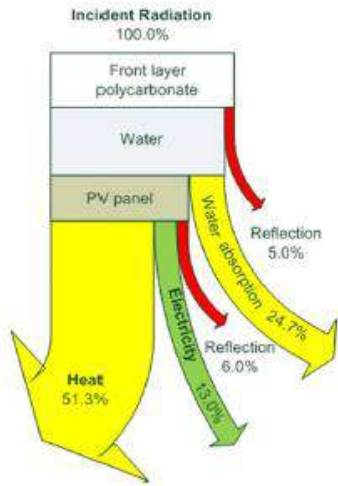


Figure 27. Solar energy transformation in TESPI [67]

In the work of Tina et al., submerged PV systems were searched concerning the efficacy increment of PVs under high irradiance and ambient temperature. Fig. 28 depicts the structure of a system composed of the interface air–water–glass–PV [67].

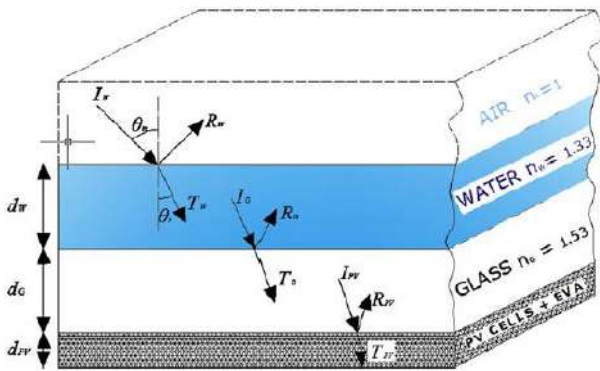


Figure 28. % of radiation striking the PV module submerged in water [67]

Lee et al. investigated the performance of anodic, self-organized TiO₂ mesoporous structures in DSSCs under front-side illumination conditions [68]. Hee et al. worked on the conditions influencing dust-fall in Singapore and its efficacy on the optical transmission through glass modules [69].

Xin et al. modified the base-catalyzed sol by acid-catalyzed polysiloxane and nano-TiO₂ sol. The results showed that modified sol derived films possess great weather resistance [70]. Lua et al. numerically investigated the role of AR coatings composed of SiO₂ and/or ZnO in the presence of the transparent conducting oxide [Al-doped ZnO (AZO)] (Fig. 29) [71].

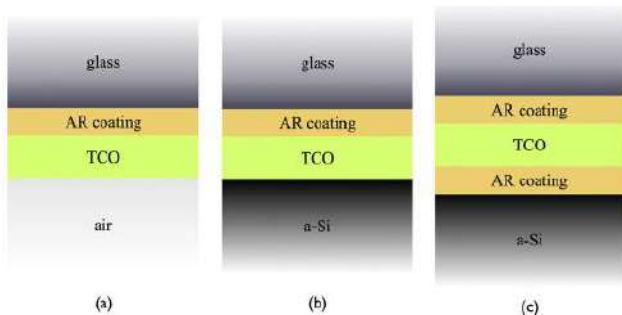


Figure 29 (a) Traditional AR coatings for flat panel displays and OLEDs, (b) AR coatings for Si thin-film solar cells, and (c) Enhanced AR coatings for Si thin-film solar cells with the glass encapsulation [71]

For maximizing the solar energy efficiency Jelle searched for removing snow downfall on PV solar cell roofs, solar thermal panels, and walls (Fig. 30). Within that work, a special impact was made on the various material surfaces (hydrophilic, superhydrophobic, or ultra hydrophobic and coarse microstructured or nanostructured surfaces) [72].

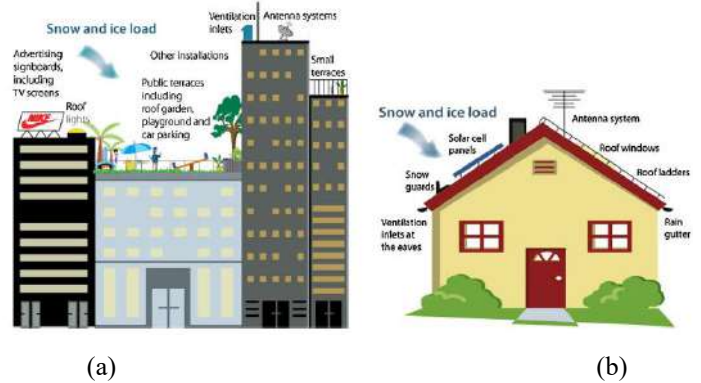


Figure 30. Various active roof installations for flat (a) and pitched (b) roofs [72]

Naumenko and Eremeyev developed a layer-wise theory for analyzing the glass and PV laminates structurally. They exhibited how important the additional boundary conditions were for examples of free and framed plate edges [73]. Young et al. increased the maximum usage efficiency of skylights, windows, and glass curtain walls by using HISG rather than common architectural glass [74]. Cattaruzza et al. examined how glass slides employed to cover and protect solar cells can achieve downshifting features through luminescent metal ions and ion exchange additive [75]. Yiannis presented the designs and applications of the advised new solar energy systems [76].

Pop et al. demonstrated the decrease and possible hindrance of potential induced degradation (PID) by using functionalized films on the inner and outer surfaces of the PV module front glass [77]. Womack et al. deposited ZrO₂/SiO₂ multilayer coatings onto soda-lime glass substrates. According to their experimental results they assessed at which point damage takes place and also established the damaging nature [78]. Gerthoffer et. al. exhibited CIGS solar cells with the efficiency of 11.2 % grown on the flexible glass as thin as 100 μm [79]. Spasiano et al. summarized the current status of solar photocatalysis and identified future opportunities for the relevant researches and industries, covering recent relevant bibliography [80]. Kawamoto and Shibata developed an enhanced cleaning system for the uses of electrostatic force for removing sand from the solar panels' surface [81]. Mahadik et al. deposited a silica sol on cleaned glass substrates by dip-coating method and subjected them to a heat treatment at 400 °C and reported that their process supplies a simple and cost-effective method for preparing AR coatings with huge potential to improve the efficiencies of receiver tubes, solar cells, and other solar devices [82]. Medium-temperature solar collectors have been realized with all-glass solar evacuated tubes. The solar transmittance of envelop tubes was raised to 0.94 with porous SiO₂ AR coating deposited by the sol-gel method [83].

In the study by Humood et al., an analytical elastoplastic model coupled with a transient impact model was developed to investigate the single normal impact of small sand particles on the surfaces of solar panels glass [84]. In the work of Garcia et al., the efficiency of Si solar cells covered with $\text{GeO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3$ glass doped with Eu^{3+} and Au nanoparticles exhibited $\sim 4.4\%$ enhancement compared to the same glass sample without Au nanoparticles [85]. One obvious property of the luminescent solar concentrators (LSC) (Fig. 31) is its bright, fluorescent coloration. As the devices can be transparent, this opens the possibility of using the LSC as a power-generating window. Vossen et al. studied the effect of a red LSC on the visual convenience and impression of volunteer participants (Fig. 32) [86].

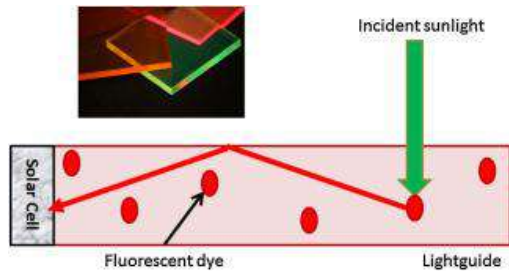


Figure 31. Schematic visualization of the LSC [86]

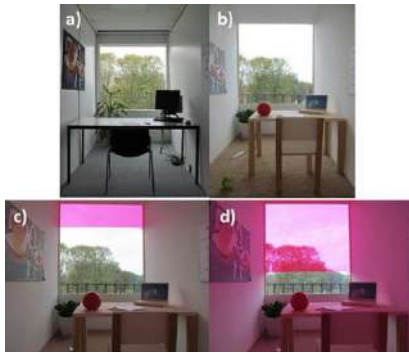


Figure 32. Photographs of (a) full-scale and (b) model space employed for evaluating the LSC window, (c) model space employing 25%, (d) 75% LSC window covering [86]

Gupta and Chauhan designed MATLAB/Simulink surroundings based upon their mathematical modeling, using a single diode and double/bypass diode-based PV systems, and validated them with a commercially available solar panel [87]. For smart textiles Plentz et al. prepared a-Si thin-film solar cells on textile glass fiber fabrics (Figs. 33–34) and characterized the PV performance. They realized the efficiencies and pseudo efficiencies up to 1.4 and 2.1% respectively on textile fabrics, and also mentioned that a transparent conductive oxide can enhance the efficiency to above 5% [88].

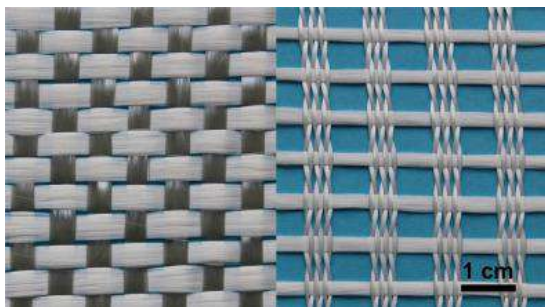


Figure 33. Textile glass fiber fabrics employed as substrates [88]

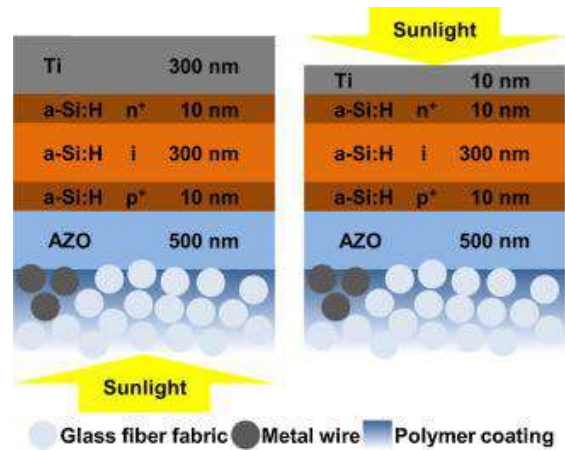


Figure 34. a-Si: H thin-film solar cells prepared on glass fiber fabrics in superstrate (left) and substrate (right) configuration [88]

Barroso et al.'s modeling work had a basic task for a better comprehension of the behavior and capabilities of a PV panel when subjected to changes in meteorological situations [89]. Kumar et al. have shown a simple and non-lithographic method to manufacture the broadband quasi-omnidirectional AR nanoporous surface on glass substrates via HF acid-based vapor phase etching method [90]. Zarcone et al. presented a solar canopy specifically designed for the Liv-lib' project at Solar Decathlon Europe 2014 [91]. In the works of Mainini et al. an alternative dynamic solar gains mitigation strategy was presented and applied to a double layer, non-cushions, ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) panel for façades [92].

Nayshevsky et al. examined the features of KleanBoost™ a thin AR and anti-soiling fluoropolymer coating for glass [93]. Soiling can be decreased by employing hydrophobic coatings. Isbilir et al. studied the test methods for simulating the stresses that coatings go through in their lifetime. They suggested that these methods help to guess the endurance and useful lifetime of the coatings when applied to solar cover glass [94]. Jiang et al. synthesized Pb-free Ag pastes based upon $\text{SnO-B}_2\text{O}_3$ glass frits and employed them for the front-contact electrodes of c-Si solar cells [95]. Humood et al. investigated two different (annealed and tempered) solar surface glasses' mechanical behavior [96]. In the study of Maurer et al., it was written that for glazed collectors, the texture of the cover glass pane can aesthetically supply successful BIST integration. An overview of some possible glass textures is shown in Fig. 35 [97].

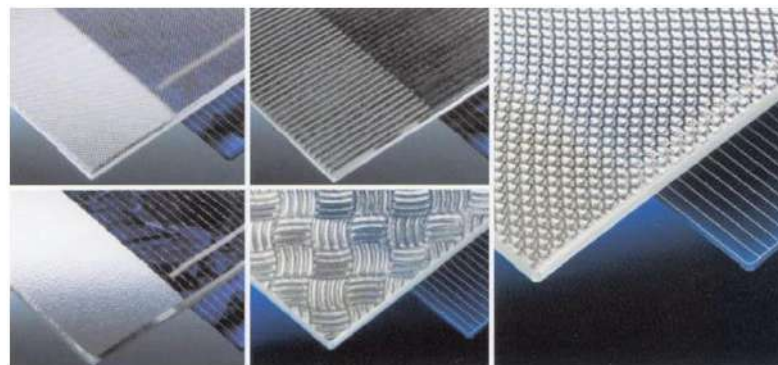


Figure 35. Glass with different textures over a solar cell [97]

In the case of preferring transparent glass covers, the texture of the absorber affects the aesthetic integration (Fig. 36).



Figure 36. The solar thermal collectors with strongly textured absorbers [97]

Maurer et al. summarized noteworthy recent contributions to BIST research as a basis for future progress in BIST systems [97]. In arid areas, the dust accumulation on transparent surfaces, leading to an intensive drop in the transmission coefficient, is one of the prime problems of solar systems. Transmission coefficient loss up to 22 % (in a 70-day test period) caused by the dust accumulation on the surface was reported in the work of Gholami et al. To overcome such a problem, they deposited nanocoatings on glass samples to achieve self-cleaning features, and indicated that the surface modifications possess a considerable effect on the decrease of dust accumulation and the transmission coefficient loss [98]. Brew et al. reported successful laboratory-scale manufacturing of CZTSSe solar cells on flexible glass substrates from nanoparticle inks of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS), and identified necessary process changes to bridge device performance to standard devices manufactured with soda-lime glass [99]. Thin film solar cells (Fig. 37) are appropriate thanks to their minimum material usage and increasing efficiencies. The three major thin-film solar cell technologies cover a-Si, Co-In-Ga-selenide (CIGS), and Cd-telluride (CdTe) are presented in Figs 38–39, respectively. Lee and Ebong discussed the evolution of each technology in lab. and market share, commercial settings, and reliability [100].

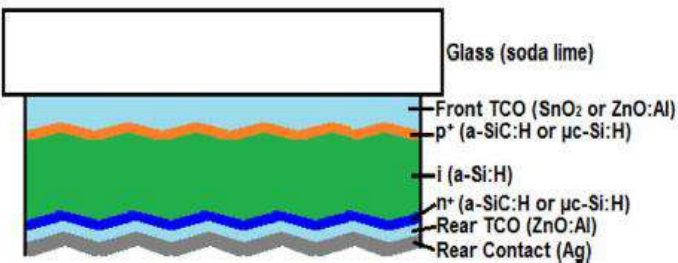


Figure 37. The structure of p-i-n a-Si:H solar cell on a glass superstrate [100]

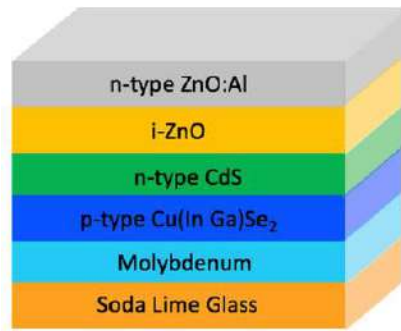


Figure 38. The structure of CIGS solar cell [100]

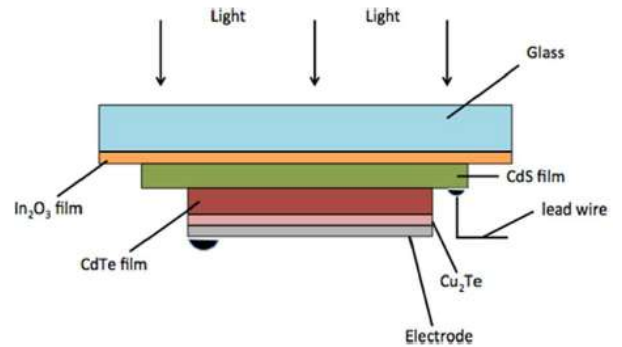


Figure 39. Cross-section of a ceramic thin film CdTe solar cell [100]

Baumgärtner et al. presented the evaluation of a new glass façade system, named as Fluidglass (Fig. 40) [101].

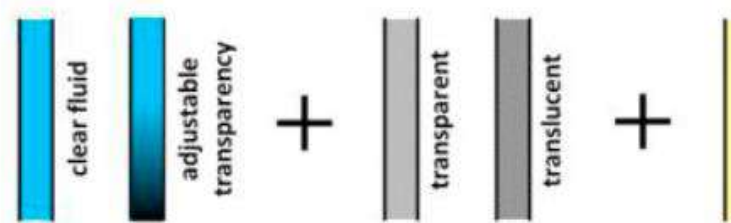


Figure 40. Modular layer approach: fluid + glass + barrier [101]

For minimizing solar gains and keeping the heat outside the building, the outer layer was colored (yet visual transmittance was still possible) during summer day (Fig. 41a). As to the winter days, when needed, the inner fluid could be tinted for the protection against glare, but still, gets the benefit from solar gains and lets the heat inside the building (Fig. 41b) [101].

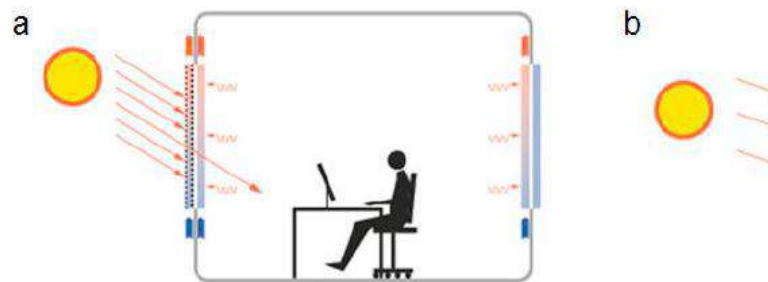


Figure 41. Basic operation modes of two fluid layers: (a) summertime; (b) wintertime [101]

Selecting different materials like CdTe, GaN, SiGaAs, Ge, InP, a-SiH, c-Si offer variation in the bandgap, change in the PV cell efficiency. Praveen and VijayaRamaraju presented how different materials would incorporate to incline the efficiency of solar cells [102]. They have discussed CIGS and CdTe heterojunction solar cells along with the bandgap and laboratory-scale solar cell diagrams. The number of layers in CIGS cell is depicted in Fig. 42. Laboratory-scale CIGS cell is given in Fig. 43.

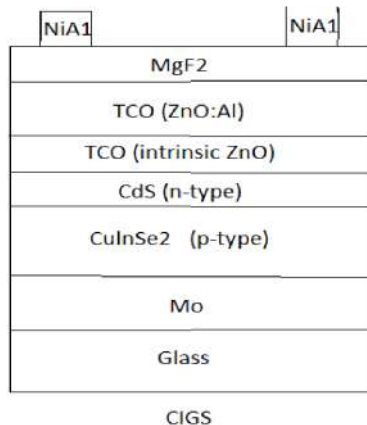


Figure 42. CIGS layers [102]

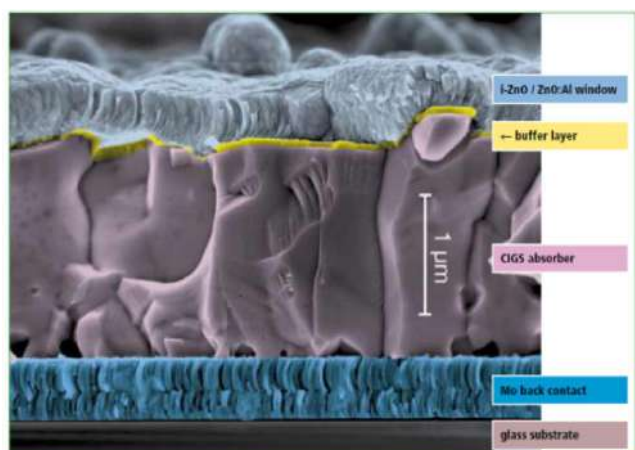


Figure 43. Laboratory-scale CIGS solar cell [102]

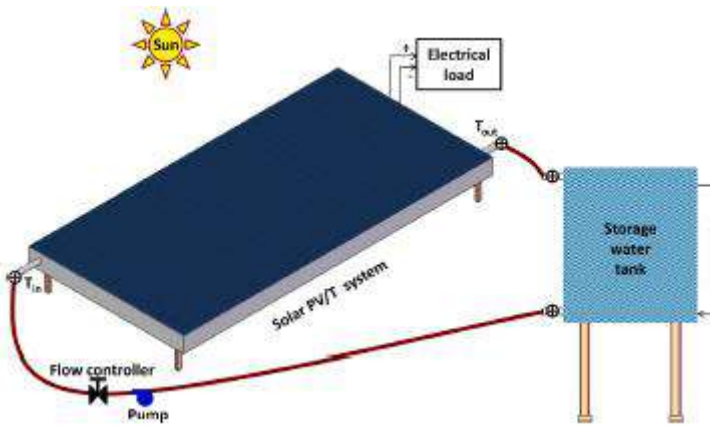
Sutha et al. pointed out that the glass substrate with no coating and the superhydrophobic one with aluminum oxide recovered the efficiency of solar panel degraded by sawdust as 67 % and 91 %, respectively. Consequently, they reported that the manufactured superhydrophobic glass substrate could be efficiently suitable for self-cleaning cover glass applications [103]. Moutinho et al. studied the adhesion mechanisms between dust particles at various relative humidity values and solar glass with different surface roughness [104]. Several methods of glass cover cooling employed to improve the performance of the solar still were reviewed [105].

The use of PVs spread worldwide thanks to the efficiency increment, reliability, and price reductions of solar panels. Therefore, soiling became critical, specifically in areas of limited rain for naturally cleaning the installed solar panels, or in areas of special soiling types that strongly stick to the PV module's surface. Moutinho et al. investigated the effects of solar-glass coatings on the adhesion forces related to soiling [106]. Andenæs et al. worked on several surface coatings to prevent snow and ice formation on the surfaces [107]. Chen et al. developed a method

for measuring the sweeping force that reflects the cleaning efficiency of dust particles by a brush-on-disk apparatus, which would be beneficial for the solar panel's maintenance [108]. Grosjean et al.'s work focused on the theoretical study of glass windows in applications where solar radiation must be transmitted onwards, for solar heating or lighting (PV, CSP, building) [109]. To enhance the performance of the solar thermal cooling system, Ge et al. proposed some novel concepts and provided a good alternative for future development [110]. Settino et al. supplied an overview of the main solar energy technologies and analyzed various process chains to produce electrical and thermal energy [111].

Taniguchi et al. presented a detailed spectroscopic study of photoluminescence in Te-W glasses doped and co-doped with Pr³⁺-Yb³⁺ and Ag nanoparticles [112]. The life-cycle assessment (LCA) of the window-integrated PV systems employing DSSC module in Malaysia was evaluated and qualified [113]. Li et al. advised a very promising application of the luminescent solar concentrators (LSCs) in indoor light energy recycling which has not been proposed before [114]. Penga et al. introduced a novel c-Si-based BIPV laminate formed by cutting standard crystalline Si solar cells into narrow strips and then automatically welding and connecting the strips into continuous strings for laminating between two glass layers [115]. Neugebohrn et al. demonstrated how the optical model of the oxide-metal-oxide (OMO) stack being necessary for accurate tuning of the color was developed for OMO/glass samples [116]. The damage resistance of a single-layer closed-surface hard coat ARC deposited by sol-gel methods and applying various accelerated weathering, scratch, and abrasion test methods was investigated by Womack et al., reporting the lowered reflectance loss at the glass surface by 74 % [117]. PV panels of different technologies (polycrystalline Si, a-Si, and CdTe) mechanically treated in pilot-scale by single shaft shredder were examined [118]. Liu et al. fabricated a novel type of dual-responsive microencapsulated phase change material (PCM) [119]. Dhavalkumar et al. optimized film-thickness and morphology by changing the synthesis parameters, coating thickness, and curing temperatures; to obtain dual characteristics for the coating [120].

PV panels working at high temperatures are exposed to thermal stresses besides raised electrical stresses leading to a panel life's reduction. With and without cooling the effect of panel temperature on the electrical performance of a PV system was worked by Song et al. As a conclusion, it has been given that lowering the panel temperature leads to better electrical efficiency and so, a lower payback period [121]. A steady, 3-dimensional model considering all the layers of the water-cooled PV-thermal collector with a sheet and tube heat exchanger (Fig. 44) was developed [122].



F,

Figure 44. The solar PV–T collector system [122]

Chi et al. proposed 1–, 2–, and 3–direction–automatic–rotation (1–DAR, 2–DAR, and 3–DAR) vertical sun–tracking shading panel arrays placed on the southern wall of the office building and concluded that the shading panel array integrated with the automatic rotation control method simultaneously prevented sun glare [123]. For the first time, Anctila et al. demonstrated the net energy benefit of transparent PVs in building applications, using a life cycle approach that is thought of as a change in electricity generation and building performance [124]. Gürtürk et al. analyzed two different solar glass types. Firstly, they cooled the solar glass types and later, applied the heating process to them. Finally, the changes in the features of solar glass were examined [125]. Özden et al. compared the estimation of three software (PV*Sol, PVsyst, HelioScope) using a whole year field data obtained in Ankara, for five–module types [126]. Karasu et al. published a general review paper on borosilicate glasses which are used in vacuum tube solar energy systems [127].

7. Conclusions and Recommendations

Glass is employed in PV modules protecting them from water, vapor, and dirt, which are known as damaging external factors. It also provides low reflection, high transmissivity, and high strength. as a protection layer for the elements. PV solar glass substrates are usually ultra–thin, surface–coated, and low–Fe (ultra–white) glasses. Today's most largely preferred solar PV glass is the one with high transmittance, having low–Fe content and known as ultra–white glass. Crystalline cells (both mono–or polycrystalline) and thin–film [e.g. a–Si, Cd–telluride] are solar glasses available for a standard roof–mounted solar panels.

Large glass planes, like glass façades and large glazing, are employed in modern architecture. In automobiles, it can easily be said that windows are the largest heat penetration sources and approx. 1/2 of this comes from the windshield. Therefore, certain enhancements in the glass features for decreasing heat penetration become inevitable, either for improving passenger comfort or because of ecological necessity.

PVs are a truly elegant means of generating electricity on–site, directly from the sun, without concern for energy supply or environmental harm. The use of PV worldwide spread thanks to the efficiency and reliability increases and price decrease of solar panels. Easy capability, simple production process, low material

consumption, low light levels sensitivity, and great ease of use can make them ideal for the use of energy windows.

When PV matters there are several important issues to be taken into an account some of which are: AR coatings have great importance thanks to their ability to improve the efficiency of the solar cells and solar selective coatings by minimizing the reflections of the incident light from the front surface. Performance losses take place due to the soiling of the cover glass on modules. Soiling can be lowered by employing hydrophobic coatings.

It is expected that the worldwide solar PV glass market is projected to reach over US\$ 21.8 billion by 2025.

References

- [1] Handbook of glass, <https://doi.org/10.1007.978-3-319-93728-1>, Retrieved January 15, 2020.
- [2] Ghosh A., Sundaram S., Mallick T. K., “Investigation of thermal and electrical performances of a combined semi–transparent PV–vacuum glazing”, *Appl. Energy*, 128, 1591–1600, 2018.
- [3] Gürtürk, M., Benli H., Koçdemir Ertürk N., “Determination of the effects of temperature changes on solar glass used in photovoltaic modules”, *Renew. Energy*, 145, 711–724, 2020.
- [4] <https://www.spiritenergy.co.uk/kb-solar-glass-photovoltaic-windows>, Retrieved April 23, 2020.
- [5] <https://www.onyxosolar.com/product-services/photovoltaic-glass-solutions/pv-curtain-wall>, Retrieved April 23, 2020.
- [6] Salem, B., “Solar panel design”, Bill, Salem Press Encyclopedia of Science, 2019.
- [7] <https://www.flickr.com/photos/usnationalarchives/7066049117>, Retrieved May 02, 2020.
- [8] <https://eosps.nasa.gov/missions/nimbus-1>, Retrieved January 15, 2020.
- [9] <https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/>, Retrieved January 15, 2020.
- [10] <https://www.theguardian.com/environment/2010/oct/05/white-house-green-solar-panels>, Retrieved January 15, 2020.
- [11] https://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/solar_glass.php, Retrieved April 23, 2020.
- [12] <https://www.chinasolar-panel.com/classification-and-application-of-solar-photovoltaic-glass.html>, Retrieved April 23, 2020.
- [13] <https://www.glassonweb.com/articles>, Retrieved April 23, 2020.
- [14] <https://www.powerfromsunlight.com/why-solar-panel-glass-is-very-important-when-choosing-solar-panel-type/>, Retrieved April 20, 2020.
- [15] <http://www.fsolar.de/en>, Retrieved April 20, 2020.
- [16] <https://yandex.com.tr/gorsel/search?from=tabbar&text=crack%20behavior%20of%20plain%20and%20tempered%20glasses>, Retrieved April 20, 2020.
- [17] Ebisawa J. and Ando E., “Solar control coating on glass”, *Curr. Opin. Solid Mater. Sci.*, 3(4), 386–390, 1998.
- [18] <https://www.electrical4u.com/working-principle-of-photovoltaic-cell-or-solar-cell/>, Retrieved April 20, 2020.
- [19] <https://www.electricaltechnology.org/2015/06/how-to-make-a-solar-cell-photovoltaic-cell.html/amp>, Retrieved April 26, 2020.
- [20] <https://www.bing.com/images/search?q=Construction+Of+A+Solar+Cell+Using+Silicon+Semiconductor&FORM=HDRSC2>, Retrieved April 20, 2020.
- [21] https://www.reportlinker.com/p05799686/?utm_source=PRN, Retrieved April 23, 2020.
- [22] Cüce E., Riffat S. B., “Aerogel–assisted support pillars for thermal performance enhancement of vacuum glazing: A CFD research for a commercial product”, *Arab J. Sci. Eng.*, 40(8), 2233–38, 2015.
- [23] Cüce E., Riffat S. B., “A state–of–the–art review on innovative glazing technologies”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 41, 695–714, 2015.

- [24] Cüce E., Cüce P. M., "Vacuum glazing for highly insulating windows: Recent developments and prospects", *Renew. and Sustain. Energy Rev.*, 54,1345–1357, 2016.
- [25] He Y. L., Xie T., "Advances of thermal conductivity models of nanoscale silica aerogel insulation material", *Appl. Therm. Eng.*, 81, 28–50, 2015.
- [26] Long L., Ye H., Gao Y., Zou R., "Performance demonstration and evaluation of the synergetic application of vanadium dioxide glazing and phase change material in passive buildings", *Appl. Energy*, 136, 89–97, 2014.
- [27] Qu J., Song J., Qin J., Song Z., Zhang W., Shi Y., Zhang T., Zhang H., Zhang R., He Z., Xue X., "Transparent thermal insulation coatings for energy efficient glass windows and curtain walls", *Energy Build.*, 77, 1–10, 2014.
- [28] Favoino F., Overend M., Jin Q., "The optimal thermo-optical properties and energy-saving potential of adaptive glazing technologies", *Appl. Energy*, 156, 1–15, 2015.
- [29] Peng L. L., Yang H. and Ma T., "Comparative study of the thermal and power performances of a semi-transparent photovoltaic façade under different ventilation modes", *Appl. Energy*, 138, 572–583, 2015.
- [30] Skandalos N., Karamanis D., "PV glazing technologies", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 49, 306–22, 2015.
- [31] <https://yandex.com.tr/gorsel/search?text=Crystalline%20silicon%20solar%20cell&from=tabbar>, Retrieved April 20, 2020.
- [32] <https://yandex.com.tr/gorsel/search?text=organic%20solar%20cell&from=tabbar>, Retrieved April 20, 2020.
- [33] <https://yandex.com.tr/gorsel/search?text=build%2Cng%20%2Cintegrated%20solar%20cell&styp=image&lr=103835&source=wiz>, Retrieved April 20, 2020.
- [34] Miyazaki T., Akisawa A., Kashiwagi T., "Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar for windows", *Renew. Energy*, 30(3), 281–304, 2005.
- [35] Park K. E., Kang G. H., Kim H. I., Yu G. J., Kim J. T., "Analysis of the thermal and electrical performance of semi-transparent photovoltaic (PV) module", *Energy*, 35(6), 2681–2687, 2010.
- [36] Kroon J. M., Bakker N. J., Smit H. J. P., Liska P., Thampi K. R., Wang P., Zakeeruddin S. M., Grätzel M., Hinsch A., Hore S., Würfel U., Sastrawan R., Durrant J., Palomares E., Petterson H., Gruszecki T., Walter J., Skupien K., Tulloch G. E., "Nanocrystalline dye-sensitized solar cells having maximum performance", *Prog. Photovoltaics: Res. Appl.*, 15, 1–18, 2007.
- [37] Nazeeruddin M. K., De Angelis F., Fantacci S., Selloni A., Viscardi G., Liska P., Ito S., Takeru B., Grätzel M., "Combined experimental and DFT-TDDFT computational study of photoelectrochemical cell ruthenium sensitizers", *J. Amer. Chem. Soc.*, 127(48), 16835–47, 2005.
- [38] Dennler G., Sariciftci N. S., "Flexible conjugated polymer-based plastic solar cells: From basics to applications", *Proc. IEEE*, 93(8), 1429–39, 2005.
- [39] Jorgensen M., Normann K. and Krebs F. C., "Stability/degradation of polymer solar cells", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 92, 686–714, 2008.
- [40] Hau S. K., Yip H.-L., Jen A. K.-Y., "A Review on the development of the inverted polymer solar cell architecture", *Polym. Rev.*, 50(4), 474–510, 2010.
- [41] Choi H., Lee J., Lee W., Ko S.-J., Yang R., Chul J., Han L., Woo Y., Yang C., Kim J. Y., "Acid-functionalized fullerenes used as interfacial layer materials in inverted polymer solar cells", *Organic Electronics*, 14(11), 3138–45, 2013.
- [42] Yang X., Chueh C.-C., Li C.-Z., Yip H.-L., Yin P., Chen H., Chen W.-C. and Jen A. K.-Y., "High-efficiency polymer solar cells achieved by doping plasmonic metallic nanoparticles into dual charge selecting interfacial layers to enhance light trapping", *Adv. Energy Mater.*, 3, 666–73, 2013.
- [43] Brabec C. J., Gowrisanker S., Halls J. J. M., Laird D., Jia S. and Williams S. P., "Polymer-fullerene bulk-heterojunction solar cells", *Adv. Mater.*, 22(34), 3839–56, 2010.
- [44] Kim H., Kushto G. P., Arnold C. B., Kafafi Z. H. and Piqué A., "Laser processing of nanocrystalline TiO₂ films for dye-sensitized solar cells", *Appl. Phys. Lett.*, 85, 464–6, 2004.
- [45] Schmidt-Mende L, Zakeeruddin S. M., Grätzel M., "Efficiency improvement in solid-state-dye-sensitized photovoltaics with an amphiphilic ruthenium-dye", *Appl. Phys. Lett.*, 86, 013504, 2005.
- [46] Kang M. G., Park N.-G., Park Y. J., Ryu K. S., Chang S. H., "Manufacturing method for transparent electric windows using dye-sensitized TiO₂ solar cells", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 75(3–4), 475–79, 2003.
- [47] Hinsch A., Brandt H., Veurman W., Hemming S., Nittel M., Würfel U., Putyra P., Lang-Koetz C., Stabe M., Beucker S., Fichte K., "Dye solar modules for facade applications: Recent results from project ColorSol", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 93(6–7), 820–24, 2009.
- [48] Sastrawan R., Beier J., Belledin U., Hemming S., Hinsch A., Kern R., Vetter C., Petrat F. M., Prodi-Schwab A., Lechner P., Hoffmann W., "A glass frit-sealed dye solar cell module with integrated series connections", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 90(11), 1680–91, 2006.
- [49] Yamaguchi T., Tobe N., Matsumoto D., Nagai T., Arakawa H., "Highly efficient plastic-substrate dye-sensitized solar cells with validated conversion efficiency of 7.6 %", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 94(5), 812–16, 2010.
- [50] Lee W. J., Ramasamy E., Lee D. Y., Song J. S., "Grid type dye-sensitized solar cell module with carbon counter electrode", *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 194(1), 27–30, 2008.
- [51] Kang M. G., Park N.-G., Ryu K. S., Chang S. H., Kim K.-J., "A 4.2 % efficient flexible dye-sensitized TiO₂ solar cells using stainless steel substrate", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 90(5), 574–81, 2006.
- [52] Young C.-H., Chen Y.-L., Chen P.-C., "Heat insulation solar glass and application on energy efficiency buildings", *Energy and Build.*, 78, 66–78, 2014.
- [53] Ohsaki H., Tachibana Y., Kadowaki, K. Hayashi Y., Suzuki K., "Bendable and temperable solar control glass", *J. of Non-Cryst. Solids*, 218, 223–229, 1997.
- [54] Hong M., Feng C., Xu Z., Zhang L., Zheng H., Wu G., "Performance study of a new type of transmissive concentrating system for solar photovoltaic glass curtain wall", *Energy Conv. and Manag.*, 201, 112167, 2019.
- [55] Ballif C., Dicker J., Borchert D., Hofmann T., "Solar glass with industrial porous SiO₂ antireflection coating: Measurements of photovoltaic module properties improvement and modeling of yearly energy yield gain", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 82(3), 331–344, 2004.
- [56] Zhu H., Yu X., Rajamani R., Stelson K. A., "Active control of glass panels for reduction of sound transmission through windows", *Mechatronics*, 14, 805–819, 2004.
- [57] Hongsheng Z., Bing L., Hongpo H., Ziqiang L., Youlin S., "Optical properties of CeO₂/Fe₃O₄ solar control glass coating", *Rare Metals*, 25(6), 351–354, 2006.
- [58] Weinhardt L. Blum M., Bär M., Heske C., Fuchs O., Umbach E., Denlinger J. D., Ramanathan K., Noufi R., "Chemical properties of the Cu(In, Ga)Se₂/Mo/glass interfaces in thin film solar cells", *Thin Solid Films*, 515(15), 6119–6122, 2007.
- [59] Gall S., Becker C., Conrad E., Dogan P., Fenske F., Gorke B., Lee K.Y., Rau B., Ruske F., Rech B., "Polycrystalline silicon thin-film solar cells on glass", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 93(6–7), 1004–8, 2009.
- [60] Tachan Z., Rühle, S. Zaban A., "Dye-sensitized solar tubes: A new solar cell design for efficient current collection and improved cell sealing", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 94, 317–322, 2010.
- [61] Rosa-Clot M., Rosa-Clot P., Tina G. M., Scandura P. F., "Submerged photovoltaic solar panel: SP2", *Renew. Energy*, 35(8), 1862–1865, 2010.
- [62] Nagamedianova Z, Ramirez-García R. E., Flores-Arévalo S. V., Miki-Yoshida M., Arroyo-Ortega M., "Solar heat reflective glass by nano structured sol-gel multilayer coatings", *Opt. Mater.*, 33,

- 1999–2005, 2011.
- [63] Dominguez A., Kleiss J., Luvall J. C., “Effects of solar photovoltaic panels on roof heat transfer”, *Solar Energy*, 85, 2244–2255, 2011.
- [64] Sumitomo T., Huang H., Zhou L., Shimizu J., “Nanogrinding of multi-layered thin film amorphous Si solar panels”, *Int. J. of Machine Tools & Manufac.*, 51, 797–805, 2011.
- [65] Verma L. K., Sakhuja M., Son J., Danner A. J., Yang H., Zeng H. C., Bhatia C. S., “Self-cleaning and antireflective packaging glass for solar modules”, *Renew. Energy*, 36(9), 2489–2493, 2011.
- [66] Rosa-Clot M., Rosa-Clot P., Tina G. M., “TESPI: Thermal electric solar panel integration”, *Solar Energy*, 85(10), 2433–2442, 2011.
- [67] Tina G. M., Rosa-Clot M., Rosa-Clot P., Scandura P. F., “Optical and thermal behavior of submerged photovoltaic solar panel: SP2”, *Energy*, 39(1), 17–26, 2012.
- [68] Lee K., Kim D., Berger S., Kirchgeorg R., Schmuki P., “Front side illuminated dye-sensitized solar cells using anodic TiO₂ mesoporous layers grown on FTO-glass”, *Electrochem. Comm.*, 22, 157–161, 2012.
- [69] Hee J. Y., Kumar L. V., Danner A. J., Yang H. and Bhatia C. S., “The effect of dust on transmission and self-cleaning property of solar panels”, *Energy Procedia*, 15, 421–427, 2012.
- [70] Xin C., Peng C., Xu Y., Wu J., “A novel route to prepare weather resistant, durable antireflective films for solar glass”, *Solar Energy*, 93, 121–126, 2013.
- [71] Lua Y., Zhang X., Huang J., Li J., Wei T., Lan P., Yang Y., Xu H., Song W., “Investigation on antireflection coatings for Al:ZnO in silicon thin-film solar cells”, *Optik*, 124, 3392–3395, 2013.
- [72] Jelle B. J., “The challenge of removing snow downfall on photovoltaic solar cell roofs in order to maximize solar energy efficiency research opportunities for the future”, *Energy and Build.*, 67, 334–351, 2013.
- [73] Naumenko K., Eremeyev V. A., “A layer-wise theory for laminated glass and photovoltaic panels”, *Composite Structures*, 112, 283–291, 2014.
- [74] Young C.-H., Chen Y.-L., Chen P.-C., “Heat insulation solar glass and application on energy efficiency buildings”, *Energy and Build.*, 78, 66–78, 2014.
- [75] Cattaruzza E., Mardegan M., Pregolato T., Ungaretti G., Aquilanti G., Quaranta A., Battaglin G., Trave E., “Ion exchange doping of solar cell cover glass for sun light down-shifting”, *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 130, 272–280, 2014.
- [76] Yiannis T., “New designs of building integrated solar energy systems”, *Energy Procedia*, 57, 2186–2194, 2014.
- [77] Pop S. C., Schulze R., Brophy B., Maghsoodi S., Yang Y. S., Abrams Z. R., Gonsalves P., “Development of an ion-barrier film on solar panel glass”, *IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2015, DOI: 10.1109/PVSC.2015.7356276.
- [78] Womack G., Kaminski P. M., Walls J. M., “High temperature stability of broadband anti-reflection coatings on soda lime glass for solar modules”, *IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2015, DOI: 10.1109/PVSC.2015.7356265.
- [79] Gerthoffer A., Roux F., Emieux F., Faucherand P., Fournier H., Grenet L., Perraud S., “CIGS solar cells on flexible ultra-thin glass substrates: Characterization and bending test”, *Thin Solid Films*, 592, 99–104, 2015.
- [80] Spasiano D., Marotta R., Malato S., Fernandez-Ibañez P., Di Somma I., “Solar photocatalysis: Materials, reactors, some commercial, and pre-industrialized applications. A comprehensive approach”, *Appl. Catalysis B: Environ.*, 170–171, 90–123, 2015.
- [81] Kawamoto H., Shibata T., “Electrostatic cleaning system for removal of sand from solar panels”, *J. of Electrostatics*, 73, 65–70, 2015.
- [82] Mahadik D. B., Lakshmi R. V., Barshilia H. C. “High performance single layer nano-porous antireflection coatings on glass by sol-gel process for solar energy applications”, *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 140, 61–68, 2015.
- [83] Wang J., Yin X., Qi J., Ma G., Liu X., “Medium-temperature solar collectors with all-glass solar evacuated tubes”, *Energy Procedia*, 70, 126–129, 2015.
- [84] Humood M., Beheshti A., Meyer J. L., Polycarpou A., “Normal impact of sand particles with solar panel glass surfaces”, *Tribology Int.*, 102, 237–248, 2016.
- [85] Garcia J. A. M., Kassab L. R. P., Onmori R. K., Lima B. C., Gómez-Malagón R. A. and Gomes A. S. L., “Influence of gold nanoparticles on Eu³⁺ doped GeO₂-Bi₂O₃ glasses covered silicon solar cell”, *31st Symposium on Microelectronics Technology and Devices (SBMicro)*, 2016.
- [86] Vossen F. M., Aarts M. P. J., Debije M. G., “Visual performance of red luminescent solar concentrating windows in an office environment”, *Energy and Build.*, 113, 123–132, 2016.
- [87] Gupta A., Chauhan, Y. K., “Detailed performance analysis of realistic solar photovoltaic systems at extensive climatic conditions”, *Energy*, 116, 716–734, 2016.
- [88] Plentz J., Andrä G., Pliewischkies T., Brückner U., Eisenhawer B., Falk F., “Amorphous silicon thin-film solar cells on glass fiber textiles”, *Mater. Sci. and Eng. B*, 204, 34–37, 2016.
- [89] Barroso J. C. S., Barth N., Correia J. P. M., Ahzi S., Khaleel M. A., “A computational analysis of coupled thermal and electrical behavior of PV panels”, *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 148, 73–86, 2016.
- [90] Kumar A., Chaliyawala H., Siddhanta S., Barshilia H. C., “Broadband quasi-omnidirectional sub-wavelength nanoporous antireflecting surfaces on glass substrate for solar energy harvesting applications”, *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 145, 432–439, 2016.
- [91] Zarcone R., Brocato M., Bernardoni P., Vincenzi D., “Building integrated photovoltaic system for a solar infrastructure: Liv-lib project”, *Energy Procedia*, 91, 887–896, 2016.
- [92] Mainini A. G., Speroni A., Zani A., Poli T., “The effect of water spray systems on thermal and solar performance of an ETFE panel for building envelope”, *Procedia Eng.*, 155, 352–360, 2016.
- [93] Nayshevsky I., Xu Q., Barahman G., Lyons A., “Anti-reflective and anti-soiling properties of a Kleenboost™, a superhydrophobic nano-textured coating for solar glass”, *IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2017.
- [94] Isbilir K., Maniscalco B., Gottschalg, R. Walls J. M., “Test methods for hydrophobic coatings on solar cover glass”, *IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2017.
- [95] Jiang J., Li C., He Y., Wei J. and Li L., “Pb-free silver pastes with SnO-B₂O₃ glass frits for crystalline silicon solar cell”, *18th International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT)*, 2017.
- [96] Humood M., Beheshti A., Andreas A. A., “Surface reliability of annealed and tempered solar protective glasses: Indentation and scratch behavior”, *Solar Energy*, 142, 13–25, 2017.
- [97] Maurer C., Cappel C., Kuhn T. E., “Progress in building-integrated solar thermal systems”, *Solar Energy*, 154, 158–186, 2017.
- [98] Gholami A., Alemrajabi A. A., Saboonchi A., “Experimental study of self-cleaning property of titanium dioxide and nanospray coatings in solar applications”, *Solar Energy*, 157, 559–565, 2017.
- [99] Brew K. W., McLeod S. M., Garner S. M., Agrawal R., “Improving efficiencies of Cu₂ZnSnS₄ nanoparticle-based solar cells on flexible glass substrates”, *Thin Solid Films*, 642, 110–116, 2017.
- [100] Lee T. D., Ebong A. U., “A review of thin film solar cell technologies and challenges”, *Renew. and Sustain. Energy Rev.*, 70, 1286–1297, 2017.
- [101] Baumgärtner L., Krasovsky R. A., Stopper J., von Grabe J., “Evaluation of a solar thermal glass façade with adjustable transparency in cold and hot climates”, *Energy Procedia*, 122, 211–216, 2017.
- [102] Praveen J., VijayaRamaraju V., “Materials for optimizing efficiencies of solar photovoltaic panels”, *Materials Today: Proceedings*, 4, 5233–5238, 2017.
- [103] Sutha S., Suresh S., Raj B., Ravi K. R., “Transparent alumina based superhydrophobic self-cleaning coatings for solar cell cover glass applications”, *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 165, 128–137,

- 2017.
- [104] Moutinho H. R., Jiang C.-S., To B., Perkins C., Muller M., Al-Jassim M. M., Simpson L., "Adhesion mechanisms on solar glass: Effects of relative humidity, surface roughness, and particle shape and size", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 172, 145–153, 2017.
- [105] Omara Z. M., Abdullah A. S., Kabeel A. E., Essa F. A., "The cooling techniques of the solar stills' glass covers—A review", *Renew. and Sustain. Energy Rev.*, 78, 176–193, 2017.
- [106] Moutinho H. R., To B., Jiang C.-S., Engtrakul C., Einhorn A., Sellinger A., Yemam H. A., Al-Jassim M. M., Simpson L., "Effects of solar-glass coatings on the adhesion forces related to soiling", *IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC)*, 2018.
- [107] Andenæs E., Jelle B. P., Ramlo K., Kolås T., Selj J. K., Foss S. E., "The influence of snow and ice coverage on the energy generation from photovoltaic solar cells", *Solar Energy*, 159, 318–328, 2018.
- [108] Chen E. Y.-T., Ma L., Yue Y., Guo B., Liang H., "Measurement of dust sweeping force for cleaning solar panels", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 179, 247–253, 2018.
- [109] Grosjean A., Soum-Glaudec A., Neveu P., Thomas L., "Comprehensive simulation and optimization of porous SiO₂ anti-reflective coating to improve glass solar transmittance for solar energy applications", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 182, 166–177, 2018.
- [110] Ge T. S., Wang R. Z., Xu Z. Y., Pan Q. W., Du S., Chen X. M., Ma T., Wu X. N., Sun X. L., Chen J. F., "Solar heating and cooling: Present and future development", *Renew. Energy*, 126, 1126–1140, 2018.
- [111] Settino J., Sant T., Micallef C., Farrugia M., Staines C. S., Licari J., Micallef A., "Overview of solar technologies for electricity, heating and cooling production", *Renew. and Sustain. Energy Rev.*, 90, 892–909, 2018.
- [112] Taniguchi M. M., Zanuto V. S. P. N., Malacarne L. C., Astrath N. G. C., Marconi J. D., Belançon M. P., "Glass engineering to enhance Si solar cells: A case study of Pr³⁺–Yb³⁺ codoped tellurite-tungstate as spectral converter", *J. of Non-Cryst. Solids*, 526, 119717, 2019.
- [113] Nur I. M., Norasikin A. L., Norani M. M., Mohd A. I., Mohd A. M. T., Suhaila S., Azami Z., Kamaruzzaman S., "Environmental performance of window-integrated systems using dye-sensitised solar module technology in Malaysia", *Solar Energy*, 187, 379–392, 2019.
- [114] Li Y., Sun Y., Zhang Y., "Luminescent solar concentrators performing under different light conditions", *Solar Energy*, 188, 1248–1255, 2019.
- [115] Penga J., Curcija D. C., Thanachareonkit A., Lee E. S., Goudey H., Selkowitz S. E., "Study on the overall energy performance of a novel c-Si based semitransparent solar photovoltaic window", *Appl. Energy*, 242, 854–872, 2019.
- [116] Neugebohrn N., Gehrke K., Brucke K., Götz M., Vehse M., "Multifunctional metal oxide electrodes: Colour for thin film solar cells", *Thin Solid Films*, 685, 131–135, 2019.
- [117] Womack G., Isbilir K., Lisco F., Durand G., Taylor A., Walls J. M., "The performance and durability of single-layer sol-gel anti-reflection coatings applied to solar module cover glass", *Surface & Coatings Techno.*, 358, 76–83, 2019.
- [118] Pagnanelli F., Moscardini E., Altimari P., Padoan F. C. S. M., Atia T. A., Beolchini F., Amato A., Toro L., "Solvent versus thermal treatment for glass recovery from end of life photovoltaic panels: Environmental and economic assessment", *J. of Environ. Management*, 248, 109313, 2019.
- [119] Liu H., Wang X., Wu D., Ji S., "Fabrication and applications of dual-responsive microencapsulated phase change material with enhanced solar energy-storage and solar photocatalytic effectiveness", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 193, 184–197, 2019.
- [120] Dhavalkumar N. J., Atchuta S. R., Lokeswara R. Y., Naveen K. A., Sakthivel S., "Superhydrophilic broadband anti-reflective coating with high weather stability for solar and optical applications", *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, 200, 110023, 2019.
- [121] Song B.-P., Zhang M.-Y., Fanb Y., Jiang L., Kang J., Gou T.-T., Zhang C.-L., Yang N., Zhang G.-J., Zhou X., "Recycling experimental investigation on end of life photovoltaic panels by application of high voltage fragmentation", *Waste Manag.*, 101, 180–187, 2020.
- [122] Parthiban A., Reddy K. S., Pesala B., Mallick T. K., "Effects of operational and environmental parameters on the performance of a solar photovoltaic-thermal collector", *Energy Conv. and Manag.*, 205, 112428, 2020.
- [123] Chi F., Wang R., Li G., Xua L., Wang Y., Penga C., "Integration of sun-tracking shading panels into window system towards maximum energy saving and non-glare daylighting", *Appl. Energy*, 260, 114304, 2020.
- [124] Anctila A., Lee E., Lunt R. R., "Net energy and cost benefit of transparent organic solar cells in building integrated applications", *Appl. Energy*, 261, 114429, 2020.
- [125] Gürtürk M., Benli H., Koçdemir Ertürk N., "Determination of the effects of temperature changes on solar glass used in photovoltaic modules", *Renew. Energy*, 145, 711–724, 2020.
- [126] Özden, T., Karaveli, A., Akınoğlu, B., "Comparison of the Models of Solar PV Performance Calculations for Ankara-Middle Anatolia", *Euro. J. of Sci. and Techn.*, (18), 54–60, 2020.
- [127] Karasu B., Demirel İ., Aydın S., Dalkıran M., Lik B., "Past and Present Approaches to Borosilicate Glasses", *El-Cezeri J. of Sci. and Eng. (ECJSE)*, 7(2), 940–969, 2020.



Study on the Investigation of Urban Furniture in Detached Housing Gardens in Isparta City Center

Candan Kus Sahin¹

¹ Suleyman Demirel University, Faculty of Architecture, Dept. of Landscape Architecture, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0413-2380), candansahin@sdu.edu.tr

(First received 20 June 2020 and in final form 9 November 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.755530)

ATIF/REFERENCE: Kus Sahin, C. (2020). Study on the Investigation of Urban Furniture in Detached Housing Gardens in Isparta City Center, *European Journal of Science and Technology*, (20), 566-571.

Abstract

The aim of this study was investigating the urban furniture, structural and landscape elements in selected detached family house gardens located 33 neighborhoods in Isparta city center. However, these elements were determined in detail on site, and some evaluations were made in terms of their intended use and intensity. It was found that 92 of 278 detached family house gardens have at least one type urban furniture. In these gardens have 24.5% of had a sitting element, 7.2% of had plant boxes, 4.3% had water object and only 2.2% of had playground. It has also realized that with only limited number of exceptions, most of these elements were unable to create aesthetic appearance and could not serve as a focal point in the landscape design practices. Moreover 174 detached family home gardens have at least one structural element. The storage shed were found to be dominantly present (26.6%), followed by sitting areas (24.1%), animal shelter (14.1%), garage (14.1%), stove/oven (3.2%) and greenhouse (0.7%), respectively. Some photographs were taken to reflect the visited residential gardens and the state of structural elements used. Based on observations and participants responds, most of the detached family house gardens has not design properties with realistic sense and not follow landscape design rules.

Keywords: House gardens, Structural elements, Urban furniture, Landscape design

Isparta Kent Merkezindeki Müstakil Konut Bahçelerinde Yer Alan Kentsel Donatı Elemanlarının İrdelenmesi Üzerine Bir Çalışma

Öz

Bu çalışmanın amacı, Isparta il merkezinde 33 mahallede bulunan müstakil konut bahçelerindeki kentsel mobilya, yapı ve peyzaj unsurlarını araştırmaktır. Bu yapısal elemanlar yerinde ayrıntılı olarak incelenmiş ve kullanım amacı ile bulunma oranları araştırılmıştır. 278 müstakil ev bahçesinden 92'sinin en az bir tip kentsel mobilyaya sahip olduğu bulunmuştur. Bu bahçelerin %24,5'inin oturma elemanı, %7,2'sinin bitki kutusu, %4,3'ünün su nesnesi ve sadece %2,2'sinin oyun alanı bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bazı küçük istisnalar dışında, bu unsurların çoğunun estetik görünüm yaratamayacağı ve peyzaj tasarımı uygulamalarında odak noktası olamayacağı anlaşılmıştır. 174 müstakil konut bahçesinin en az bir yapısal elemanı bulunduğu anlaşılmıştır. Bu yapısal elemanlar içinde, depolama ünitesinin yoğunlukla bulunduğu (%26,6), ardından ise yoğunluk sırasına göre; oturma alanlarının (%24,1), hayvan barınaklarının (%14,1), garaj (%14,1), soba/fırın (%3,2) ve sera (%0,7) bulunduğu gözlemlenmiştir. Ziyaret edilen alanın gerçek durumunu ve kullanılan yapısal elemanların durumunu yansıtan bazı fotoğraflar çekilmiştir. Alanda yapılan incelemeler sonucunda, müstakil konut bahçelerinin çoğunda yapısal elemanların peyzaj uygulamalarına uygun tasarımın yapılmadığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konut bahçeleri, Yapısal elemanlar, Kentsel mobilya, Peyzaj tasarımı

1. Introduction

Throughout the centuries, the home and its connected units (i.e. gardens) have become an important issue for people lifestyle to provide comfort, safety and recreations. Over time, expanding cities and creating big industrial zones (metropolitan areas) have usually faced with various negative feelings and discomfort to people. This is because of lack of comfortable housing and city life in over crowded urbanized places (Bell, 2019; Kimber, 2004; Yalçınalp et al., 2017; Zanette et al., 2005). However, cities become to reveal the cultural and identity component and reflects the settlements habits. Hence, a city could be seen as the urban space that is composed of the residential units, material elements, social environments and urban practices (Arruda, et al., 2016).

Residential houses are places where privacy needs are felt at the highest level in all cultures as comfort spaces. In this context, as in all societies, the phenomenon of privacy is one of the most important factors in shaping the houses. However, a well-designed and implemented houses and its integrated parts (i.e. gardens) increase the quality of life with improving the satisfaction of the environment (Arruda, et al., 2016; Sahin, 2015). In this context, people want to live in a comfortable environment to reflect traditional life style. Hence the urban residential house gardens have become important places for people who spent their leisure time longing to green in cities. Residential house and its surroundings should be carefully designed to provide quality and comfort conditions for users (Gedikli, 1993; Kendle and Forbes, 1997; Nassauer et al., 2009; Yalçınalp et al., 2017).

Numerous factors affecting the design or construction of residential structures. These are basically depending on traditional housing culture, climate, religion, personal demand and land structure. All these impact on shaping of these houses and their near environments (Chokor, 1990; Goodchild, 1994; Darke and Tallamy, 2014; Kendle and Forbes, 1997; Kennedy et al., 2005). However, the detached house gardens are usually considered to be an integrated parts of city images and have significant aesthetic and functional property to reflect traditional life style. Therefore, houses are different shapes, sizes and character because of the user expectations. Some may choose to have a certain architectural style, historic or modern or just flat design. But the structural landscape elements impact on people have put forward higher requirements about comforting garden activities. It has already reported by Sahin and Erol (2009) that sense of garden emerged in Turkish houses due to socio-cultural factors that directly impact on the shaping of houses. Xiaomeng (2014) proposed that the house gardens are diversified and usually supply comfortable life style form with certain traditional practices. Moreover, garden furnitures are also the spiritual and cultural manifestation and image of neighborhoods.

A typical detachable family house gardens usually consist of three sections. The front garden overlooking the main road, the back garden (courtyard), which is more specific to users, and side gardens, which are often considered as open areas or part of the garden, and a transition zone. These sections should be created a recreational and outdoor living space with providing space for some functional activities such as; sports, playgrounds, gardening, storage, etc.

The accessibility to urban communal use, social facilities, and security are very important in urban life. But it is important to

know the built environment features in evaluating the satisfaction of housing-residential environment (Xiaomeng, 2014). In this regard, it should be required to well understanding of garden properties with the effect of socio-cultural factors on residents. Therefore, the landscape architect should be considering all these situations. A well-designed home garden should be impact on users as; (Gedikli, 1993; Kendle and Forbes, 1997; Sahin and Askin, 2015).

- Make inviting spots to sit,
- Increase comfort by landscape elements,
- Improve usable yard space,
- Create aesthetics appearance,
- Establishment for privacy,
- Increase psychological and socio-cultural satisfaction

However, urban furnitures and structural elements in gardens should be created the most suitable landscape in terms of recreation with family life, individual work and resting. The detached house gardens and their landscape elements could be provided many benefits as aesthetic appearance and comfort for users.

In this study, a comparative study of family detached house gardens, located in Isparta city center's neighborhoods, in terms of structural and landscape elements were investigated under landscape architecture discipline. Besides, it has also be provided some suggestions and recommendations for improving the qualities of these structures.

2. Material and Method

2.1. Material

The study was conducted on detached family house gardens located in Isparta city center. However, Isparta is a low to medium size city category and population is approximately 250.000. It is located in the north of the Mediterranean region where usually called lakes region. Its location in the transition zone between hot and mild Mediterranean to cold and dry central Anatolian region. Therefore, both climate characteristics can be seen in Isparta and its near vicinity (URL 1 and 2, 2020).

Administratively, Isparta city center subdivided into 43 district/neighborhoods. But, 10 neighborhoods were excluded from the survey because there were few or no detached family houses and/or some houses were not suitable for this study. Therefore, it gathered information with sampling method about randomly selected 278 detached family houses in 33 neighborhoods. In this context, it was believed that those sampling procedures were enough and capable of represent the target population.

2.2. Method

In order to determine the detached house garden's landscape and structural elements, a questionnaire prepared in advance and applied to household with face-to-face survey technique. Initially, the questionnaires planned to be carried out in 10 randomly selected detached houses from each neighborhood. But due to some difficulties, such as; not enough sampling detached house gardens in some neighborhoods, individuals who did not interest to participate the survey etc, less than 10 survey conducted in

some neighborhoods. A total of 10 questions were directed to participants, with a standard questionnaire procedure.

An analysis of garden's properties such as; availability of urban furnitures, water features occurrence (rather than basic irrigation foundations), playground and sport field existence, and presence of structural elements (storage shed, reservation area for sitting, animal shelter, etc.) were examined in detail in view of landscape architecture discipline. After application of questions, detached house garden status had carefully checked and some important elements/structures photographed if owner of house was permitted. Then the advance prepared evaluation paper checklist filled in order to note deficiencies and suitability of the landscape designs practices. At the end of survey, an open-ended question directed to participants to determine their tendencies in garden design, important things for them and their demands on garden subject.

3. Results and Discussion

It is a common idea that colorful leafy or blooming plants make garden beautiful. However, this may negative impact if disorganized and lacks units in gardens. Therefore, by adding some structural elements and even arrangement of most ordinary plants within a well-structured landscape could be make an aesthetic appearance in all seasons, and creates sense of privacy with satisfactions. Even simply constructed elements such as walls, fences, boxes, dog houses and trellises could be created a visual focal point.

During neighborhood visits, careful observations and interviews conducted with responders, a detailed comparative list of structural elements has been prepared. However, it was identified that 92 of 278 studied detached family house gardens (33%) have at least one type urban furniture. It has been found that these elements are placed alone in garden and/or used with others to improve functionality and aesthetic appearance. In this sense, it has been observed that 73 of house gardens has only one, 11 of has two, 5 of has three, 3 has four and more urban furniture present in gardens.

An ordinary garden contains some constructed elements that consist of plants, fences and some other built elements. However, to increase the aesthetic appearance and function of the gardens; structural landscape elements such as water objects, playgrounds, sports fields, lightning elements should be added. Table 1 and Figure 1 shows summary for the urban furniture elements placed in detached family house gardens. In the study 68 sitting elements (24.5%), 20 plant boxes (7.2%), 12 water objects (4.3%), 6 playgrounds (2.2%), 3 plastic elements (1.1%), 2 lightning elements (0.7%), and 2 garbage boxes (0.7%) are observed in study area.

Table 1. Landscape elements found in detached family house gardens.

Water objects		Urban furniture					Play ground	
Pool	Waterfall	Sitting elements	Plant boxes	Lightning	Plastic elements	Garbage box	Swing	Sand pool
10	2	68	20	2	3	2	5	1

However, it is important to have knowledge on these structural elements to place on garden. It has clearly realized that, these elements are usually randomly placed without considering sharing a common sense such as style, or material so they are usually not creating a unified look in the space. The water features could be created sanctuary, sooth street noise and make a focal point. But in this study, water supply (fountain) was observed almost in all gardens. But, only 12 of 278 family house gardens had water object (10 small pool and 2 waterfall) (Table 1). The playgrounds and sport fields (equipment) had also useful elements to set the mood of the garden such as; fun, serene or focal points. But it was found that only 6 of 278 family house gardens contain a playground that 5 swing and 1 sand pool (Table 1) while none of a sport field and/or sporting goods observed in study context.

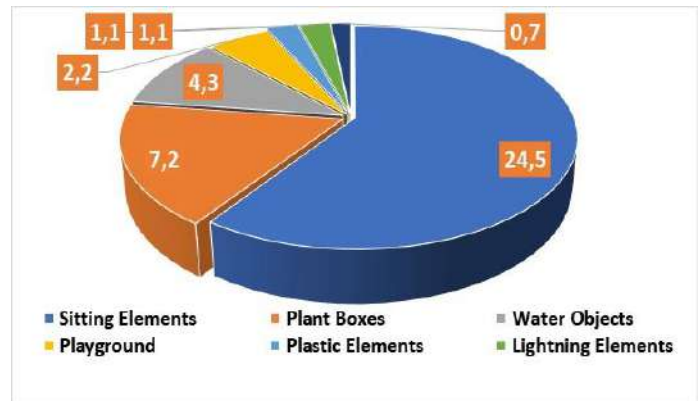


Figure 1. Urban furniture elements placed in detached family house gardens.

Interestingly, only three plastic aesthetic structures (small sculptures), two lighting elements and two garbage boxes were found. But a few exceptions, these insufficient structures are unable to create aesthetic appearance and could not matched to the urban garden filled and not serve as a focal point in the landscape design practices. However, a well-designed garden is the framework that creates the basis to its seasonal elements throughout the year. But insufficient level of presence of these urban furniture elements clearly show that the home owners have not enough attention on their gardens for ensuring year-round shape and interest.

It is important to establish garden's frameworks (structural elements) that involves deciding, for instance, what the main elements need to be and where a good place to sit to enjoy the morning or evening sun, or to create a shady terrace for eating. In this regards these secondary structural elements enhances the design and provides visual interest when plants are even not in bloom.

It was found that 174 of 278 studied detached family home gardens have at least one structural element in their garden. However, it had also been observed that 121 gardens had only one structural element, 44 of had two, 8 of had three and 1 of had four and more structural elements placed in gardens. Figure 2 and Table 2 shows summary for the structural elements present in family house gardens. It had found that storage sheds were dominantly present (74 count; 26.6%), followed by Sitting areas (67 count; 24.1%), Animal shelter (39 count; 14.1%), Car garage (39 count; 14.1%), Stove/Owen (9 count; 3.2%) and Greenhouse (2 count: 0.7%), respectively.

Table 2. Structural elements found in detached family house gardens.

Storage shed		Sitting Area		Animal Shelter			Other structures		
Storage room	Woodshed	Terrace	Pergola	Chicken coop	Barn	Dog house	Stove/owen	Garage	Greenhouse
21	53	15	52	26	9	4	9	39	2

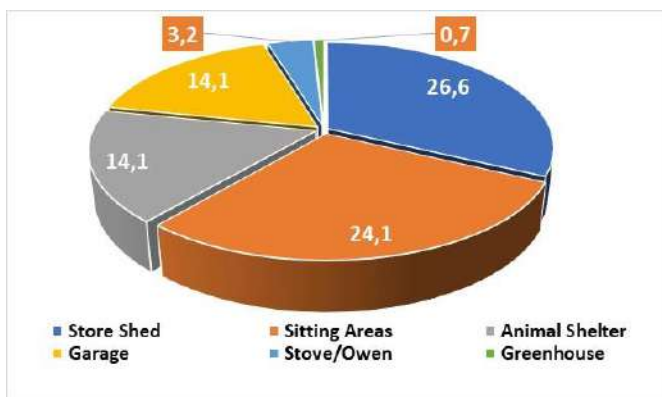


Figure 2. Structural elements placed in detached family house gardens.

With having these data, it could be suggested that many of the detached family house gardens have significant aesthetic and functional deficiencies. Considering the highest number of structural elements was found to storage shed (26.6%) that giving clues on the aim of garden usage rather than aesthetic appearance and comfort for users.

However, some sitting areas have also placed on some of the family house gardens (67 count; 24.1%). But most of them looks like very simple structures and not intend to improve landscape value of gardens. Moreover, these outdoor spaces have with varying roof heights, should be integrated with other hardscape elements to provide edge pieces for garden users. In addition, only limited number of sitting structures are intended for climbing vines.

Dog houses and chicken-coops could be grouped as places for domestic animals that smaller versions of human domiciles while agricultural animals more often live in barns and stables. These structures are often placed into garden when these animals are outdoors and on areas around a garden to protects them from atmospheric conditions (heat, cold, wind and rain) and secure them from predators. However, the dog guards the possessions of the owners from unwanted/unexpected people or animals. Although chicken coops and barns are agricultural structures and generally used for house livestock. They are most common structures that built in rural home gardens (i.e. cottage gardens). Moreover, 14.1% of studied detached family home gardens in urban neighborhood (in Isparta city center) was found to be have one of these structures. Particularly 9 barns were noticed that had seen to be used for goat and sheep housing rather than larger animals (cow, cattle or horses). In this respect, it is important to

consider that toxic plants, herb, or trees should not be planted in these gardens and or away from the livestock that can't access it.

In addition, 9 stove/owen had found for using to make bread and other cooking purposes. These are a clear evident with animal shelter data that some of the urban families would like to follows their rural habits or lifestyles still continue in urban gardens. In most cases a greenhouse attached to garden could be increased the value of home. But in this study only two greenhouses were found without any aesthetic value or standardized built environment.

Figure 3 show some selected family house garden's urban furniture elements. It can be seen that some elements had established a modern aesthetic appearance (Figure 3 A-D) while others look like a cottage village garden that utilized for animal feding (Figure 3 E-G), cooking (Figure 3 F) and car parking (Figure 3 H). However structural elements could be improved aesthetic value of gardens. But many of garden has lack of that property due to user of gardens not demand on that context.



Figure 3. General views of some family house garden's structural elements (A-B, D: Some plastic figures; C: Marble sculpture; E: Barn; F: Brick stove/Owen; G: Chicken coop; H: Car garage).

Figure 4 show some structural examples found in some family home gardens. It can be seen that water objects (Figure 4 A-C) established a modern aesthetic appearance while randomly constructed and placed greenhouses (Figure 4 E-F) no established any aesthetic appearance and functionality on landscape applications. However, the terrace (Figure 4 D) and sitting area (Figure 4 G) looks like well-organized and function on gardens as they intended. It can be clearly seen that although it wanted to make a reserved area in garden (Figure 4 H), without knowledge

on used elements, it looks like very negative appearance and not functioned.



Figure 4. Some urban furniture elements and structures found in family house garden's (A-C: Water features; D: Terrace and sitting elements; E-F: Greenhouse G: Pergola H: Reserved part).

4. Conclusions and Recommendations

Because the residential environment is a broad concept that includes the neighborhood and social environment. However, it also covers the socio-physical relationship of the households within complex world. Moreover, the detached family house gardens in the city center should be differ in terms of function and structural design elements since they have usually a smaller area than other residential complexes.

Based on observed gardens element's functions and categories, the benefits of these structures directed with their properties. However, it has observed that most of the detached family house gardens has not design with realistic sense, versatile functionality and not follow landscape design practices. The following recommendations would be made in the context of the home garden's urban furniture and structural elements.

1. It was suggested to responders that garden should not be exact form and rigid whereas it should be flexible for planting, furniture or structural designs that make the space changeable with the desired style and atmosphere.
2. It was seen that the previous life styles of house owners were reflected in their detached house gardens. However, there is not much specific variety in the elements used in these gardens. Especially residential units close to commercial centers should be restricted to use some elements such as; animal shelters, stove/ovens.

3. Considering the night use of the gardens, they should be designed in a way that will not cause abandonment and prevent some crimes from being committed, to provide security factor for the home owners.
4. The light levels must be considered for well-designed garden to availability when sun light is not enough to see objects. However, there was only two home's gardens have some lighting elements without and special placements or consideration its functionality.
5. It could be recommended these urban gardens that smaller openings or structural elements should be included in order to allow the plants room to ramble. In this sense, it allows to control the space that to be used in the way intended.
6. Due to livestock in gardens, plants that may be harmful to animals should not be included in these gardens.
7. It is important to consider, insects can more easily find their way into home via the greenhouse. Hence the greenhouse constructions should be carefully designed in suitable part of gardens.
8. In the arrangement of gardens, the attention should be paid to the profession discipline of landscape architecture. As a requirement of the modern era, the approved landscaping project must also be made compulsory before the construction permit of the residential areas within the municipality boundaries. Therefore, it should be determined in the city scale that are suitable for the climatic conditions of the region.
9. The competitions in residential gardens which the local people are encouraged to organize their garden by choosing the most suitable and aesthetic elements, rewarded by local administrations.

References

Arruda, A., Balestra, R., M Bezerra, P. and Moroni, I. (2016). Systems & Design: Beyond Processes and Thinking, Proceedings, IFDP'16, Universitat Politècnica de València, Spain, 499-507.

Bell, S. (2019). Elements of visual design in the landscape, 3'rd edition, Routledge, 209 p.

Chokor, B. A. (1990). Urban landscape and environmental quality preferences in Ibadan, Nigeria: An exploration. Landscape and Urban Planning, 19(3), 263-280.

Darke, R., and Tallamy, D. W. (2014). The living landscape: Designing for beauty and biodiversity in the home garden. Timber Press.

Gedikli, R. (1993). Trabzon kenti geleneksel konutlarında konut-bahçe ilişkisi üzerine bir inceleme, KTÜ FBE Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon. 182s.

Goodchild, B. (1994). Housing design, urban form and sustainable development: reflections on the future residential landscape. The Town Planning Review, 143-158.

Kendle, A. D. & Forbes, S. J. (1997). Urban nature conservation: Landscape management in the urban countryside, E & FN Spon, London.

Kimber, C. T. (2004). Gardens and dwelling: People in vernacular gardens. Geographical Review, 94(3), 263-283.

Kennedy, R. J., Hockings, J., & Webster-Mannison, M. (2005). Principles of subtropical design for detached houses, Subtropical detached housng report, https://eprints.qut.edu.au/12388/1/Subtropical_detachedhousing_report.pdf ; Reach date: 25.08.2020.

- Kus Sahin, C. (2015). Attitudes on plant materials used in family houses in Isparta city, Turkey, *European International Journal of Science and Technology*, 4 (6):11-21.
- Kuş Şahin, C. & Erol, U. E. (2009). Design characteristics of Turkish gardens, (Turkish Abstract in English), *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 107-181.
- Nassauer, J. I., Wang, Z., & Dayrell, E. (2009). What will the neighbors think? Cultural norms and ecological design. *Landscape and Urban Planning*, 92(3-4), 282-292.
- URL-1. Climate data org., <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/isparta/isparta-2032/>; Reach date: 19.06.2020.
- URL-2. Isparta Belediyesi, <http://www.isparta.bel.tr/>, Reach date: 19.06.2020.
- Yalçınalp, E., Meral, A., & Doğan, E. (2017). Determining of agricultural escapes on wall surfaces and improving of edible landscape potential. (Turkish, Abstract in English), *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 4(2):169-178.
- Zanette, L. R. S., Martins, R. P., Ribeiro, S. P. (2005). Effects of urbanization on neotropical wasp and bee assemblages in a Brazilian metropolis, *Landscape and Urban Planning*, 71:105–121.
- Xiaomeng, L. (2014). An analysis to the design of garden furniture. *Furniture & Interior Design*, 6.



Hidrofoilli Teknelerde Kullanılan Su Altı Kanat Yapılarındaki Serbest Yüzey Etkileşimlerinin Sınır Elemanları Yöntemi ile İncelenmesi

Yavuz Hakan Özdemir¹, Taner Çoşgun^{2*}

¹ Canakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Deniz Teknolojileri Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0406-0532) yhozdemir@comu.edu.tr

^{2*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1364-0133) tcosgun@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 4 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.768325)

ATIF/REFERENCE: Özdemir, Y.H. & Çoşgun, T. (2020). Hidrofoilli Teknelerde Kullanılan Su Altı Kanat Yapılarındaki Serbest Yüzey Etkileşimlerinin Sınır Elemanları Yöntemi ile İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 572-580.

Öz

Hidrofoilli tekneler, ek kaldırma kuvveti oluşturmak amacıyla serbest yüzey altında ilerleyen kanatlar kullanır. Tekne yüzeyinin bir uzantısı olan kanatlar tarafından oluşturulan kaldırma kuvveti, tekneyi yukarı yönde iterek deplasman hacminin -dolayısıyla- direncin azalmasını sağlarlar. Serbest yüzeyin oldukça yakınında çalışan bu tarz kanat yapılarının performansının belirlenmesinde, serbest yüzeyle girecekleri etkileşimlerin de rol oynaması beklenir. Bu çalışmada, su altında ilerleyen iki boyutlu bir NACA 0012 kanat kesitinin performansı ve serbest yüzey etkileşimleri sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla, serbest yüzeyden bir kort boyu mesafede bulunan kesitli kanat etrafındaki akım, geniş bir Froude sayısı aralığında potansiyel akım temelli iteratif sınır elemanları yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Kullanılan yöntemin matematiksel ayrıntıları detaylı bir biçimde sunulmuştur. Çalışma sonucunda, serbest yüzey yakınında çalışmanın kanat kesiti üzerinde oluşan kaldırma ve direnç kuvvetlerini önemli ölçüde etkilediği gözlenmiş ve bu kuvvetlerin değişimi Froude sayısına bağlı olarak incelenmiştir. Ayrıca, kanat tarafından serbest yüzey deformasyonları oluşturulduğu belirlenmiş, oluşan dalga genliğinin Froude Sayısına bağlı olarak arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sınır elemanları yöntemi, Potansiyel akım, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, NACA0012 kanat, Batmış hidrofoiller, Serbest yüzey, Kaldırma.

Evaluation of Free Surface Interaction of a Submerged Hydrofoil using Boundary Element Method

Abstract

Hydrofoil crafts use submerged foils to gain additional lift force. Lift produced by the submerged foils push the hull upwards and let the drag of the body decrease by lowering the displacement. Free surface interactions effects the performance of the foils, which are travelling close to the surface. In this study, performance and free surface deformations of a two dimensional NACA0012 foil section, which is one chord length beneath the free surface is investigated numerically. Potential flow based iterative boundary element method is adopted, to predict the flow field. Mathematical formulation and numerical implementation of the present method is presented in detail. Numerical results reveals that, free surface has a significant impact on the lift force and wave drag of the foil. Variation of these forces with Froude number is presented. Besides, it is observed that, foil generates deformations on the free surface and the wave amplitudes increase with Froude Number.

Keywords: Iterative boundary element method; Potential flow, computational fluid dynamics (CFD), Submerged hydrofoil, NACA0012 foil, Free surface, Lift.

* Sorumlu Yazar: tcosgun@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Gemi inşaatı ve ulaştırma alanındaki yıllar içindeki gelişim neticesinde yüksek hızlı teknelerle olan ilgi de artmıştır. Klasik deplasman tipi tekneler, artan direnç karakteristikleri sebebiyle ancak belirli hızlara ulaşabilirler. Daha yüksek hızlara çıkabilmek için, geleneksel tekne yapısından daha farklı özelliklere sahip tekne tipleri kullanılır. Yüksek hızlı tekneler olarak adlandırılan bu gemi tipleri, genel olarak kayıcı tekneler ve hidrofoilli tekneler olarak iki ana tipte sınıflandırılabilir (Chen,2011). Oldukça yüksek hızlara ulaşabilen hidrofoilli tekneler, gezinti tekneleri, ticari gemiler ve askeri tekneler gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Hidrofoilli teknelerin çalışma prensibi, ana gövdeye bağlı çeşitli sayıdaki kanatlardan elde edilen kaldırma kuvveti yardımıyla, tekne deplasmanını azaltmaya dayanır. Su altında ve genellikle serbest yüzeye paralel olarak ilerleyen kanat yapıları, tekne hızlandıkça bir kaldırma kuvveti üretirler. Bu kaldırma kuvveti neticesinde tekne su yüzeyinden tamamen ya da kısmen ayrılır. Bu sayede geminin ıslak alanı önemli ölçüde azaltılarak büyük bir direnç kazanımı sağlanır.

Bir akışkan içerisinde ilerleyen kanatların geometrisi ya da hücum açısı sayesinde kaldırma kuvveti üretmesi bilinen bir durumdur. Ancak, hidrofoilli teknelerde kullanılan kanat yapıları, serbest bir akışkan ortamında değil, serbest yüzeyin yakınında çalışırlar. Serbest yüzey yakınında çalışan kanatlar, oluşan karşılıklı etkileşim dolayısıyla farklı karakteristiklere sahip olurlar ve serbest yüzeyin kanat performansı üzerindeki etkisinin dizayn aşamasında incelenmesi önem arz etmektedir (Bal, 2007).

Serbest yüzey yakınında ilerleyen kanatların performansı ve serbest yüzeyle etkileşimleri, pek çok çalışmaya konu olmuştur. Duncan (1983) deneysel çalışmasında, serbest yüzey altında ilerleyen iki boyutlu bir NACA0012 kanat formunu incelemiştir. Çalışmada farklı derinlikler ve üç farklı çalışma hızı test edilerek, kanat tarafından oluşturulan dalga deformasyonu ve dalga direnci ölçülmüştür. Çalışmanın sonuçları arasında kaldırma kuvvetine dair bir ölçüm ise bulunmamaktadır. Diğer bir deneysel çalışmada ise, Ni ve diğ. (2019) serbest yüzey yakınında ilerleyen bir kanat üzerine slotlar yerleştirerek performansa etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda, slotlu yapının kanata ait kaldırma ve direnç özelliklerinde iyileşme sağladığı gözlenmiştir. Deneylerde tek bir Reynolds sayısı ve ($Re=10^5$) geniş bir aralıktaki hücum açıları kullanılmıştır.

Literatürde, deneysel çalışmaların yanında sayısal incelemelere de rastlanılmaktadır. Karim ve Ahammed (2012), RNG k-epsilon türbülans modelini kullanarak NACA0012 kanat kesiti etrafındaki kaviteyolu viskoz akım alanını sayısal olarak modellemiştir. Çalışma sonucunda, kaviteyolu dinamiklerine bağlı olarak kanat yüzeyindeki basınç dalgalanmaları hidrodinamik katsayılarıdaki salınımları gözlemlemiştir. Eleni ve diğ. (2012), sayısal modellerle deneysel veriler arasında bağ kurmak amacıyla, iki boyutlu NACA0012 kanat kesiti etrafındaki ses altı akımı, üç farklı türbülans modeli kullanarak incelemiştir. Sonuç olarak, ticari HAD yazılımlarında kullanılan türbülans modellerinin yüksek hücum açılarındaki akımı modellemede yetersiz kaldığı vurgulanmıştır. Çakıcı ve Kınacı (2012), serbest yüzey yakınında çalışan iki boyutlu NACA0012 kanat kesitinin performansını ticari bir HAD yazılımı kullanarak incelemiştir. 5° hücum açısında çalışan kanat kesitinin etrafındaki akış alanını viskoz olmayan akış

kabulüyle çözümler ve sınır elemanlar metodu ile uyumlu sonuç verdiğini gözlemlemiştir. Karim ve diğ. (2014), serbest yüzey yakınında çalışan NACA0015 kesitine sahip iki boyutlu kanat etrafındaki viskoz akımı, sonlu hacimler yöntemi kullanarak incelemiştir. Çalışmada, tek bir kanat hızı ve farklı derinlikler kullanılarak, serbest yüzey üzerinde kanat tarafından oluşturulan dalga yapısı gözlenmiştir. Wu ve Chen (2016), serbest yüzey altındaki bir kanat etrafındaki kaviteyolu, sonlu hacimler yöntemi vasıtasıyla modellemiştir. Çalışmada kullanılan yöntemin serbest yüzey etkileşimi altındaki kanatta oluşan kaviteyolu yakalamadaki başarısı test edilmiştir. Ayrıca detaylı bir literatür incelemesi de sunulmuştur.

Batmış cisimler etrafındaki akımı modellemek için, viskoz akım temelli yöntemler kullanılabildiği gibi (Bakırcı 2020; Körpe ve diğ., 2019; Oktay and Kanat 2019), hesaplama açısından verimli ve başarılı bir yöntem olarak potansiyel akım temelinde çalışan sınır elemanları yöntemi de (Boundary Element Method (BEM)) kullanılmaktadır. Tarafder ve diğ. (2019,2010) iki ve üç boyutlu NACA0012 kanat yapıları etrafındaki akımı modellemek için panel metodu kullanmışlardır. Çalışmada, analitik ve deneysel sonuçlarla yapılan karşılaştırmalar neticesinde, yöntemin oldukça etkili ve güvenilir olduğu gözlenmiştir. Hidrodinamik literatüründe de, BEM yöntemini kullanan önemli çalışmalar mevcuttur. Bal (1999), serbest yüzey yakınında çalışan iki boyutlu NACA4412 etrafındaki akımı incelemek için potansiyel akım temelli panel metodu kullanmıştır. Çalışmada Neumann tipi yerine Dirichlet tipi sınır koşulu kullanılmış, serbest yüzey ise lineer sınır koşulu ile modellenmiştir. Çalışmada farklı derinlik ve Froude sayılarının etkisi incelenmiş ve yöntem doğruluk açısından güvenilir bulunmuştur. Ghassemi ve diğ. (2010) batmış NACA0012 kesitli bir kanat etrafındaki akımı potansiyel akım kullanarak modellemiştir. Çalışmada birinci ve ikinci dereceden serbest yüzey sınır koşulları kullanılarak farklı derinliklerdeki kanat performansı incelenmiştir. Karaalioglu ve Bal, (2015, 2017) iki ve üç boyutlu kanat yapıları etrafında oluşan kaviteyolu, sınır elemanları yöntemi kullanarak başarılı biçimde modellemiştir.

Bu çalışmada, serbest yüzey yakınında çalışan batmış iki boyutlu NACA0012 kanat kesiti etrafındaki akım sınır elemanları yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla Laplace denklemi, Green'in ikinci teoremi kullanılarak tekil çözümler dağılımı şeklinde integral denklemine dönüştürülmüştür. Kanat düzlem (line) paneller ile temsil edilmiş ve genel çözüm, kanat üzerine dağılmış kaynak ve dipollerin toplamı biçiminde elde edilmiştir. Çalışmada bir kanat boyu derinlikte farklı Froude sayılarının etkisi incelenmiştir. Sonuçlar kaldırma katsayısı, dalga direnci ve serbest yüzey üzerinde oluşan dalga deformasyonları biçiminde sunulmuştur.

2. Çözüm Yöntemi

Çalışma birbiriyle bağlantılı iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm "serbest akımda hareket eden kanat", ikinci bölüm ise "serbest yüzey etkisinde çalışan kanat" şeklinde isimlendirilmiştir. Geometrik detaylar, sınır koşulları, teorik altyapı gibi ilgili alt başlıklar, her bölüm içerisinde ayrı ayrı verilmiştir. Her iki bölümde de kullanılan yöntemin matematiği ayrıntılı biçimde sunulmuştur.

Çalışmanın ilk bölümünde, iki boyutlu NACA0012 kanat kesiti, serbest akım içerisinde potansiyel akım yaklaşımı ile

modellenmiştir. Serbest yüzey olmadan yapılan bu modellemedeki amaç, oluşturulan kodun doğruluğunu test etmektir. Ayrıca, serbest akımda elde edilmiş sonuçlar serbest yüzeyli sonuçlarla kıyaslama açısından da bir temel oluşturmaktadır. Hesaplamalar farklı hücum açıları için tekrarlanmış ve sonuçlar Xfoil sonuçları ile doğrulanmıştır.

İkinci bölümde, kanat serbest yüzey altında olacak biçimde modellenmiştir. Sayısal sonuçlar literatürdeki mevcut deneysel verilerle doğrulanmıştır. Doğrulamanın ardından hesaplamalar farklı akış koşullarını da içerecek biçimde genişletilmiştir. Bir kord boyu derinlikte ($h/c=1$; burada h serbest yüzeyden olan derinlik, c ise kanatın kord boyudur) ve 0.4-1.2 aralığındaki farklı Froude sayıları ($Fn=U/\sqrt{gc}$) incelenmiştir. Serbest yüzeyin kanat performansı üzerinde etkisinin en fazla düşük h/c oranlarında gözlemlendiği ve artan derinlik oranıyla birlikte azaldığı literatürdeki benzer çalışmalarda belirtildiği için (Uslu ve Bal, 2008; Ghassemi,2010), mevcut çalışmadaki inceleme kanatın serbest yüzeye yakın olduğu durumda yapılmıştır.

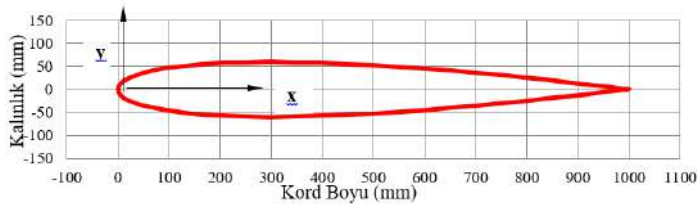
Tüm sonuçlar, Fortran dilinde oluşturulan bir bilgisayar yazılımı ile elde edilmiştir

3. Bölüm 1: Serbest Akımda Hareket Eden Kanat

Serbest akım içerisinde (serbest yüzey olmadan) hareket eden kanat kesitini etrafındaki akımın potansiyel akım temelli sınır elemanları yöntemi kullanılarak modellenmesine dair sonuçlar bu bölümde verilmektedir

3.1. Geometri ve Koşullar

Bu çalışmada, 2-B NACA 0012 kanat kesiti kullanılmıştır. NACA formülü kanat kesitleri isimlendirilirken, dört rakamdan ilki kord boyunun yüzdesi cinsinden kanatın maksimum kamburluğunu, ikinci rakam ise maksimum kamburluğun konumunu gösterir. İkinci ve üçüncü rakam ise kord boyunun yüzdesi cinsinden kanadın maksimum kalınlığını belirtir. Oldukça çok incelenmiş bir form olan NACA0012 kanat kesitinde de, ilk iki rakamın "00" olması kanatın simetrik yapısını, "12" ise maksimum kalınlığının %12 olduğunu göstermektedir (Abbot, 1959). NACA0012 kanat kesitinin simetrik yapısı, sayısal çalışmalarda konumsal ayrıklaştırma açısından avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, farklı alanlardaki hem deneysel hem de sayısal pek çok çalışmaya konu olması da araştırmacılara sonuçlarını kıyaslama imkanı tanımaktadır (Huang ve diğ.,2004; Sharma ve Clement,2014; Kinaci, 2015; Raj,2017). Kanatın geometrisine ait detaylar ve koordinat sistemi, Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. NACA 0012 kanat geometrisi

Sabit bir gelen akım hızında, kanatın hücum açısı 0° dan 10° 'ye kadar, 2 derecelik aralıklarla değiştirilmiştir

3.2. Matematik Formülasyon

Potansiyel akımın gereği olarak, akışkan sıkıştırılmaz, viskoz olmayan ve dönümsüz (irrotasyonel) kabul edilmiştir. Serbest akım hızı "U", kanat yüzeyine yerleştirilen koordinat düzleminin x-z eksenindedir. Hücum açısı α , gelen akım hızı ile x eksenindeki açı olarak ölçülmüştür.

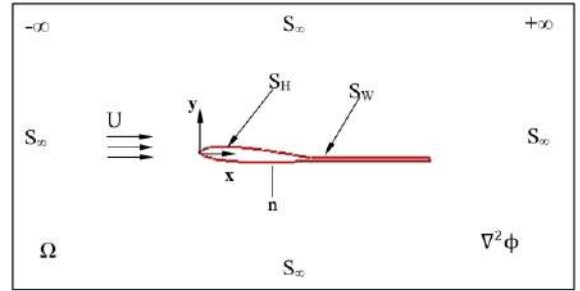
Toplam hız potansiyeli, serbest akım potansiyeli ve pertürbasyon potansiyelinin toplamı cinsinden yazılırsa (Bal, 2011; Lee et al. ,2000);

$$\Phi = Ux + \phi \quad (1)$$

Burada ϕ pertürbasyon potansiyelidir. Toplam hız potansiyeli "Φ", "Ω" çözüm alanı içerisinde Laplace denklemini sağlamalıdır;

$$\nabla^2 \Phi = 0, \nabla^2 (Ux + \phi) = 0, \nabla^2 \phi = 0 \quad (2)$$

Çözüm alanı Ω kanat yüzeyi S_H , iz yüzeyi S_W ve dış kontrol yüzeyi S_∞ ile sınırlanmaktadır. Çözüm alanı ve ilgili notasyonun çözüm alanı üzerinde gösterimi Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Çözüm alanı ve ilgili notasyon

Problem, sınır koşulları aşağıdaki gibi belirlenerek oluşturulabilir:

Kinematik Cisim (Kinematic body) Sınır Koşulu:

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -\vec{U} \cdot \vec{n}, \text{ on } S_H \quad (3)$$

Burada \vec{n} normal birim vektördür.

Sonsuzdaki Radyasyon (Radiation) sınır koşulu:

$$\nabla \phi \rightarrow 0 \quad (4)$$

Kanatın çıkış ucundaki Kutta koşulu:

$$\nabla \phi = \text{sonlu}(\text{finite}) \quad (5)$$

İz yüzeyi için:

$$P_U = P_L = P \quad (6)$$

Akım yönündeki hız yüzey boyunca sürekli olmalıdır:

$$\vec{t} \cdot (\vec{V}_U - \vec{V}_L) = 0 \quad (7)$$

Burada U ve L alt indisleri sırasıyla izin üst ve alt yüzeylerini, V ve P ise hız ve basıncı ifade etmektedir. \vec{t} ortalama hız yönündeki birim vektördür. İz yüzeyi S_w sıfır kalınlıktadır ve yüzeydeki basınç sıçraması da sıfırdır. Ancak potansiyelde bir sıçrama bulunmaktadır;

$$\Delta\phi = \phi_U - \phi_L = \Gamma \quad (8)$$

Burada sabit Γ cisim etrafındaki sirkülasyonu ifade eder.

3.3. Sayısal Uygulama

Hız potansiyeli ϕ Green teoremi uygulanarak kanat yüzeyindeki bir integral denklemi biçiminde yazılabilir.

$$\frac{1}{2}\phi = \int_{S_H} \left(\phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) dS + \int_{S_w} \Delta\phi_w \frac{\partial G}{\partial n} dS \quad (9)$$

burada S_B ve S_w sırasıyla kanat ve iz yüzeyleridir. Green fonksiyonu $G = \frac{1}{2\pi} \ln r$, r tekilliklerin lokasyon vektörüdür.

Çözümü elde edebilmek için, yüzey S_H , N adet panele bölünür ve denklem 9'un ayrıklaştırılmış formu yüzey üzerinde şu şekilde ifade edilir (Tarafer et al., 2010);

$$\frac{1}{2}\phi^i = \sum_{j=1}^N \int_{S_H+S_w} \phi \frac{\partial G}{\partial n} dS - \sum_{j=1}^N \int_{S_B} G \frac{\partial \phi}{\partial n} dS \quad (10)$$

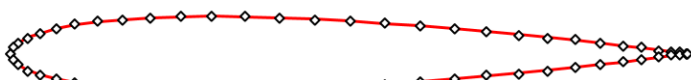
Burada ϕ ve $\frac{\partial \phi}{\partial n}$ her eleman için sabittir, böylece integral dışına çıkarılabilir. Denklem (10) şu biçime dönüşür;

$$\frac{1}{2}\phi^i - \sum_{j=1}^N \left(\int_{S_H+S_w} \frac{\partial G}{\partial n} dS \right) \phi^j = - \sum_{j=1}^N \left(\int_{S_H} G dS \right) \frac{\partial \phi^j}{\partial n} \quad (11)$$

$$\int_{S_H+S_w} \frac{\partial G}{\partial n} dS \equiv \hat{H}_{ij}$$

$$\int_{S_H} G dS \equiv G_{ij}$$

İki boyutlu sınır elemanları yöntemini uygulayabilmek için, kanat 60 doğrusal elemana ayrılmıştır. Kullanılan elemanlar, kanatın giriş ve çıkış ucu yakınlarında sıklaştırılmıştır. Kanat yüzeyinin panellere bölünmüş görünümü Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. NACA 0012 kanat kesitinin panellere bölünmüş görünümü

Bu elemanlar gerçek geometriyi düzgün paneller biçiminde temsil eder. G_{ij} standart Gaussian quadrature kullanarak sayısal

olarak bulunurken, H_{ij} analitik olarak hesaplanır. Bu konu hakkında daha ayrıntılı bilgi ilgili referansta (Katsikadelis, 2002) bulunabilir. Denklem (11) aşağıdaki biçimde ifade yazılabilir;

$$\sum_{j=1}^N H_{ij} \phi_j = - \sum_{j=1}^N G_{ij} \frac{\partial \phi^j}{\partial n} \quad (12)$$

Burada

$$H_{ij} = \frac{1}{2} \delta_{ij} - \hat{H}_{ij} \quad (13)$$

Etki katsayısı belirlenirken, her birleşim noktasındaki perturbasyon potansiyelleri " H_{ij} " N+1 sayıda bilinmeyen içeren, $N \times N$ boyutlarında bir etki matrisi verir (burada iz potansiyeli $\Delta\phi_w$ ($N + 1$). bilinmeyendir). Ek denklem, kutta koşulunu uygulayarak elde edilir;

$$(\phi_1 - \phi_N) - \Delta\phi_w = 0 \quad (14)$$

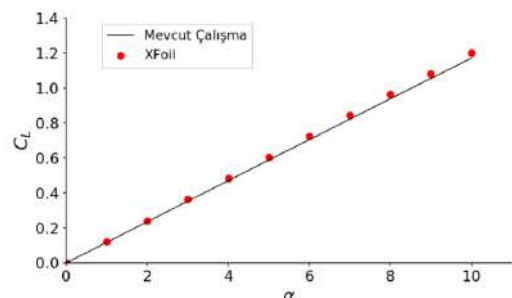
Yukarıda verilen cebirsel denklem seti Gauss eleme yöntemi ile çözülmüştür. Sıkıştırılmaz, viskoz olmayan, dönümsüz serbest akımdaki hidrodinamik kaldırma kuvveti, L , şu şekilde verilebilir;

$$L = \rho U \Gamma \quad (15)$$

Burada ρ akışkanın yoğunluğu, Γ ise cisim etrafındaki sirkülasyondur.

3.4. Sayısal Doğrulama

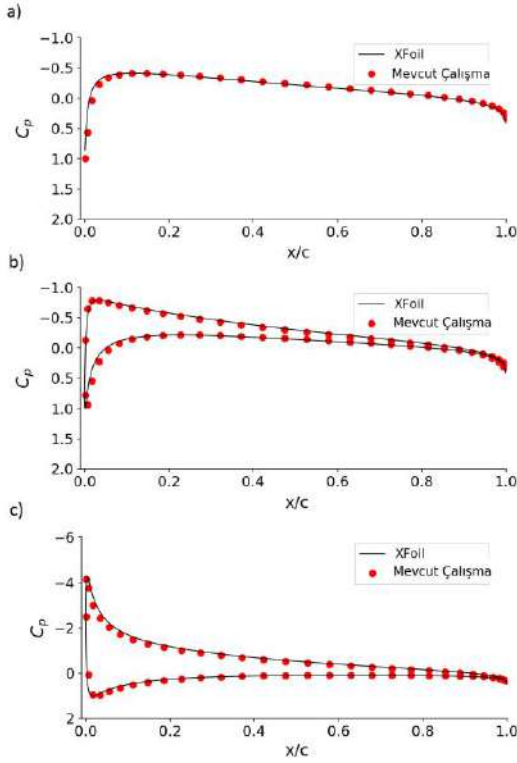
Mevcut çalışmadaki sınır elemanlar yöntemi ile elde edilmiş sayısal sonuçların, XFOil ile elde edilen sonuçlarla kıyaslaması Şekil 4'te verilmektedir. XFOil yazılımı (Drela,1989), düşük Reynolds sayılarında çalışan kanat formlarının performansının değerlendirilmesi imkânı sunan açık kaynaklı bir koddur. İlk olarak Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Panel metod yaklaşımıyla çalışır (1995). XFOil kodu, sınır tabaka parametrelerinin hesaplanması için bir integral sınır tabaka formülasyonunu da içerir. Oldukça hızlı ve yüksek güvenilirlikte sonuçlar sunan XFOil kodu (1995) çok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır (Ganesh Ram ve diğ., 2014; Morgado ve diğ., 2016; Nguyen ve Lee., 2018). Şekil 4'te sunulan kıyaslamada, elde edilen sonuçların, yüksek doğrulukta olduğu ve kaldırma kuvveti katsayısı C_L 'in hücum açısıyla değişimini başarılı biçimde temsil ettiği görülmektedir.



Şekil 4 Hesaplanan kaldırma katsayılarının XFOil sonuçları ile kıyaslanması

Hidrodinamik kaldırmanın yanında, basınç katsayıları da XFoil sonuçları ile doğrulanmıştır. Basınç katsayısını elde edebilmek için, her birleşme noktasındaki lokal teğetsel hız, hız potansiyelini teğetsel doğrultuda türevlenir (Bal,1999);

$$V_{t_j} = \frac{\phi_{j+1} - \phi_j}{\Delta l_j} + U\bar{t} \quad (16)$$



Şekil 5 Kanat üzerindeki basınç katsayısı dağılımlarının hücum açısıyla değişimi a) $\alpha = 0^\circ$, b) $\alpha = 2^\circ$, c) $\alpha = 8^\circ$

Daha sonra, basınç katsayısı Bernoulli denklemi kullanılarak bulunabilir:

$$C_{p_j} = \frac{P_j - P_\infty}{\frac{1}{2}\rho U^2} = 1 - \left(\frac{V_{t_j}}{U}\right)^2 \quad (17)$$

Şekil 5, hesaplanan kanat yüzeyi basınç dağılımları ile XFoil sonuçlarının farklı hücum açılarındaki karşılaştırılmasını göstermektedir. Mevcut çalışmada elde edilen basınç katsayıları, hem yüksek, hem de düşük hücum açılarında XFoil sonuçları ile yüksek uyum göstermektedir.

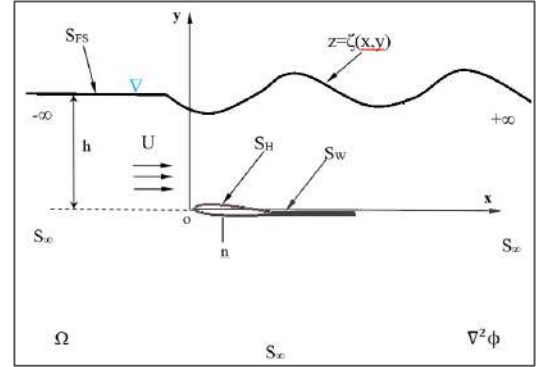
4. Bölüm 2: Serbest Yüzey Yakınında Çalışan Kanat

Batmış bir kanat kesitine serbest yüzey etkisinin sınır elemanları yöntemi kullanılarak sayısal simülasyonu bu bölümde sunulmaktadır

4.1. Geometri ve Koşullar

Serbest yüzey etkisi altındaki NACA 0012 kanat kesiti etrafındaki akım iteratif sınır elemanları yöntemini ile e-ISSN: 2148-2683

çözülmüştür. Serbest yüzeyi temsil etmek için lineer serbest yüzey sınır koşulu uygulanmıştır. Bu bölümde de, Bölüm 1'deki ile aynı kanat geometrisi kullanılmıştır. Çözüm alanının geometrik detayları ve ilgili notasyonun çözüm alanı üzerinde gösterimi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6 Çözüm alanının geometrik ayrıntıları

Sayısal sonuçların doğrulanması amacıyla, NACA0012 kanat kesitinin analizi Duncan (1983) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmadakine benzer koşullarda yapılmıştır. Kanatın kord boyu 0.203 m, ve sabit akım hızı (U) 0.8 ms⁻¹ dir. Bu durumda Froude sayısı 0.571 olarak hesaplanmaktadır. Froude sayısı şu şekilde hesaplanmıştır $Fn = U/\sqrt{gc}$ (c : kord boyu). Kanata ait hücum açısı ise $\alpha = 5^\circ$ 'dir. Kanatın serbest yüzeyden uzaklığı h=21.0 cm'dir. Serbest yüzeyi temsil eden paneller yukarı akım yönünde (upstream) 2.0 λ ($\lambda = 2\pi U^2/g$: dalga boyu) aşağı akım yönünde (downstream) ise 3.5 λ boyunca uzanmaktadır. Kanat yüzeyi ve serbest yüzeyde kullanılan panel sayıları sırasıyla 60 ve 150'dir.

Doğrulama senaryosundaki batma oranı h/c=1.034'dır. Çalışmanın devamında ise batma oranı h/c=1.0 olarak alınmıştır. Burada, "h" kanat ve serbest yüzey arasındaki düşey mesafedir.

4.2. Matematik Formülasyon

Sonsuz derinlikteki bir akışkanın yüzeyinde serbest U hızıyla hareket eden iki boyutlu bir kanat düşünelim. Serbest yüzey üzerinde ek olarak dört sınır koşulu gerekir.

Kinematik serbest yüzey koşulu:

$$\frac{DF(x, y, z)}{Dt} = 0 \text{ on } z = h + \zeta(x, y, z) \quad (18)$$

Dinamik serbest yüzey koşulu:

Bernoulli denkleminde, aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\frac{1}{2}[(\nabla\phi)^2 - U^2] + g\zeta = 0 \quad (19)$$

Burada g yer çekimi ivmesidir. Denklem (18) ve (19) u birbirlerinden çıkararak ve ikinci dereceden terimleri ihmal

ederek, doğrusal serbest yüzey sınır koşulu aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + k_0 \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \text{ on } z = h \quad (20)$$

burada $k_0 = g/U^2$ dalga sayısıdır. Dalga profili için doğrusallaştırılmış denklem şu şekildedir;

$$\zeta = -\frac{U}{g} \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (21)$$

Radyasyon sınır koşulu:

Giriş yönünde kanat önünde herhangi bir bozulmanın (no disturbance) olmaması için bu sınır şartı tanımlanmıştır. Akış yönünde radyasyon sınır koşulu (Tarfader and Suzuki, 2007);

$$x \rightarrow -\infty \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0, \quad x \rightarrow \infty \quad (22)$$

4.3. Sayısal Uygulama

Kanat üzerindeki bilinmeyen pertürbasyon potansiyellerini tespit etmek için iteratif sınır elemanları yöntemi kullanılmıştır. Green'in üçüncü teoremine göre, kanat yüzeyi ve serbest yüzey üzerindeki pertürbasyon potansiyelleri şu şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{1}{2} \phi = \int_{S_{FS} + S_H} \left(\phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) dS + \int_{S_W} \Delta \phi_W \frac{\partial G}{\partial n} dS \quad (23)$$

burada S_{FS} serbest yüzey sınırındır. İteratif sınır elemanları yöntemi iki bölümden oluşur: (i) kanat bölümü: kanat üzerindeki bilinmeyen pertürbasyon potansiyellerini çözer, (ii) serbest yüzey bölümü: serbest yüzey üzerindeki pertürbasyon potansiyellerini çözer. Akış içerisinde kanatın etkisiyle oluşan potansiyeller de şu şekilde yazılabilir;

$$\phi_H = \int_{S_H} \left(\phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) dS + \int_{S_W} \Delta \phi_W \frac{\partial G}{\partial n} dS \quad (24)$$

Diğer yandan, serbest yüzeyin etkisiyle oluşan potansiyeller ise;

$$\phi_{FS} = \int_{S_{FS}} \left(\phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) dS \quad (25)$$

Şeklinde ifade edilir. Denklem (25) ve denklem (23)'ü birbirlerinden çıkararak, kanat için integral denklemi aşağıdaki biçimde elde edilir;

$$\frac{1}{2} \phi_H = \int_{S_H} \left(\phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) dS + \int_{S_W} \Delta \phi_W \frac{\partial G}{\partial n} dS + \phi_{FS} \quad (26)$$

Ve denklem (24) ve denklem (23)'ü birbirlerinden çıkarırsak, serbest yüzey için integral denklemi elde edilir;

$$\frac{1}{2} \phi_{FS} = \int_{S_{FS}} \left(\phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) dS + \phi_H \quad (27)$$

Kanat yüzeyi için kinematik sınır koşulunu ve serbest yüzey için de doğrusallaştırılmış serbest yüzey sınır koşulunu uygularsak, denklem (26) ve (27) şu şekilde yazılabilir;

$$\frac{1}{2} \phi_H = \int_{S_H} \left(\phi \frac{\partial G}{\partial n} + (\vec{U} \cdot \vec{n}) G \right) dS + \int_{S_W} \Delta \phi_W \frac{\partial G}{\partial n} dS + \phi_{FS} \quad (28)$$

$$\frac{1}{2} \phi_{FS} = \int_{S_{FS}} \left(\phi \frac{\partial G}{\partial n} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \frac{G}{k_0} \right) dS + \phi_H \quad (29)$$

Bu nokta ile ilgili daha detaylı bilgi, ilgili referansta (Bal ve diğ.,2001) bulunabilir. Bu çalışmada, $\partial^2 \phi / \partial x^2$ terimi dördüncü dereceden geri sonlu farklar metodu kullanılarak çözülmüştür. Serbest yüzey panelleri eş boyutlarda oluşturulmuştur ve ϕ 'in x 'e göre birinci ve ikinci türevleri aşağıdaki gibidir;

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{1}{12Dx} (25\phi_i - 48\phi_{i-1} + 36\phi_{i-2} - 16\phi_{i-3} + 3\phi_{i-4}) \quad (30)$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \frac{1}{180Dx^2} \left(\begin{array}{l} 812\phi_i - 3132\phi_{i-1} + 5265\phi_{i-2} \\ -5080\phi_{i-3} + 2970\phi_{i-4} - 972\phi_{i-5} \\ +137\phi_{i-6} \end{array} \right) \quad (31)$$

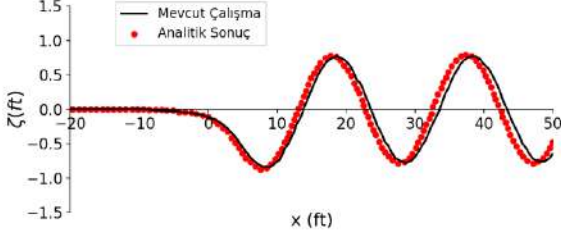
Burada Dx serbest yüzey panel boyutudur. $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$ terimi denklem (31) kullanılarak hesaplanabilir. Akış yönlü (upstream) dalgaların oluşumunu engellemek için, ϕ 'in x 'e göre birinci ve ikinci türevi sıfıra eşitlenir (Bal et al.,2001).

İteratif sınır elemanları yöntemi kullanılarak kanat üzerindeki kaldırma ve direnç kuvvetleri, basınç dağılımı ve serbest yüzey deformasyonları tespit edilebilir. İki boyutlu bir kanat kesitine ait sonuçlar bir sonraki bölümde sunulmaktadır.

5. Sayısal Sonuçlar ve Tartışma

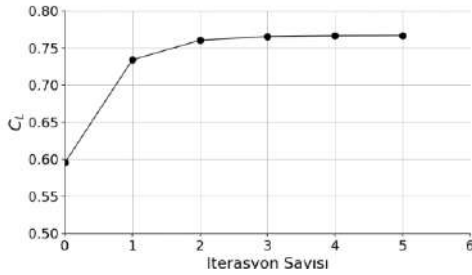
Serbest yüzey yakınında çalışan bir kanat kesiti etrafındaki akım alanını incelemeye önce, kullanılan yöntemin ve oluşturulan yazılımın doğruluğu test edilmiştir. Bu amaçla, önce serbest yüzey altındaki noktasal bir girdabın oluşturduğu dalga deformasyonu analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra da, serbest yüzey altında çalışan bir kanat kesitine ait dalga deformasyonları, literatürdeki mevcut deneysel sonuçlarla kıyaslanarak doğruluğu araştırılmıştır. Serbest yüzey altında hareket eden noktasal girdap (vorteks) etrafındaki akış, Wehausen and Laitone (1960) tarafından analitik olarak açıklanmıştır. Noktasal kaynak tarafından oluşturulan dalga deformasyonları hesaplanmış ve mevcut sayısal sonuçlarla kıyaslanması Şekil 7'de sunulmuştur. Noktasal kaynağın şiddeti

$\frac{\Gamma}{2\pi} = -2.7 \text{ ft}^2/\text{sn}$, serbest akım hızı $U=10 \text{ ft}/\text{sn}$, batma derinliği ise $h=4.5 \text{ ft}$ 'dir. Serbest yüzeyi temsil eden paneller yukarı akım yönünde 2.0λ ($\lambda = 2\pi U^2/g$) aşağı akım yönünde ise 3.5λ boyunca uzanmaktadır. Serbest yüzeyde kullanılan panel sayısı 150'dir.



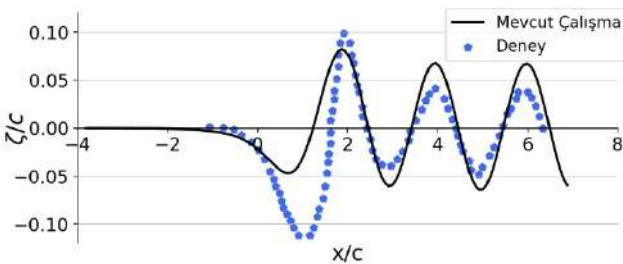
Şekil 7 Bir noktasal kaynak için dalga deformasyonlarının karşılaştırılması

İteratif sınır elemanları yöntemi kullanılarak hesaplanan, su altında ilerleyen noktasal bir girdaba ait dalga deformasyonlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 7'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi mevcut sonuçlar, analitik sonuçlarla yüksek uyum içerisindedir.



Şekil 8 NACA 0012 için kaldırma katsayısının iterasyon sayısına göre değişimi ($Fn = 0.577$, $\alpha = 5^\circ$, $h/c = 1.034$)

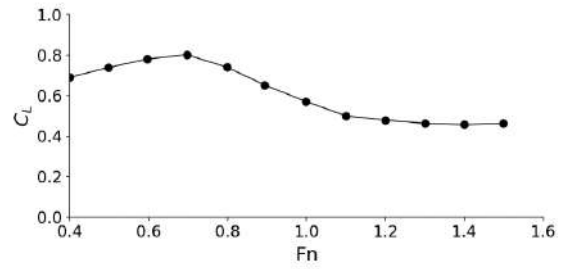
Noktasal kaynak ile yapılan doğrulama çalışmasından sonra, iteratif sınır elemanları yöntemi NACA0012 kanat kesitine uygulanmıştır. Buradan sonraki tüm hesaplamalarda hücum açısı $\alpha = 5^\circ$ 'dir. Hesaplanan kaldırma katsayılarının iterasyon sayısına göre değişimi Şekil 8'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde, en fazla beş iterasyonun güvenilir sonuçlar elde etmek için yeterli olduğu görülebilmektedir. Ayrıca, kritik bölgelerdeki dalga yüksekliği değerleri arasındaki fark da sürekli olarak hesaplanmış ve farkın 10^{-4} mertebesinde olup olmadığı kontrol edilmiştir.



Şekil 9 NACA 0012 için dalga profillerinin karşılaştırılması ($Fn = 0.577$, $\alpha = 5^\circ$, $h/c = 1.034$)

Şekil 9, hesaplanan dalga profilinin, literatürdeki mevcut deneysel verilerle (Duncan,1983) karşılaştırmasını göstermektedir. Sayısal ve deneysel sonuçların genel olarak yüksek uyumda olduğu görülmektedir. Dalga boyları aynı mertebededir. Ancak dalga tepe ve çukurları arasında bir miktar farklılık gözlenmektedir. Bu durumun, doğrusallaştırılmış serbest yüzey sınır koşulundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Serbest yüzey altında ilerleyen kanat kesitine ait kaldırma katsayısının Froude Sayısı (Fn) ile değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Şekilde incelenen derinlik bir kanat boyudur ($h/c=1.0$). Potansiyel akım yaklaşımında, serbest akımda ve serbest su yüzeyi etkisi olmadan çalışan bir kanatta oluşan kaldırma kuvvetinin Froude sayısından bağımsız olması beklenir. Şekilde sunulan sayısal sonuçlar ise, kanat serbest yüzey yakınında çalışırken kaldırma kuvvetinin çalışma hızından önemli oranda etkilendiğini göstermektedir. Kanat üzerindeki serbest yüzey etkisi, Froude sayısının düşük ve yüksek değerleri için farklı yönlerdedir. Düşük Fn değerleri kanat tarafından üretilen kaldırma kuvvetinde artış sağlamaktadır. Ancak $Fn=0.7$ gibi belirli bir değerden sonra, Fn 'deki artış kaldırma kuvvetinde kayba neden olmaktadır. Fn sayısının daha da büyük değerleri için, hidrodinamik kaldırma kuvveti neredeyse sabit bir değere ulaşmaktadır.



Şekil 10 Kaldırma katsayısının Fn ile değişimi

Direnç katsayısı, C_D , enerjinin korunumu kanununu uygulayarak hesaplanır. Potansiyel akım temelli hesaplamalarda sürtünme kuvveti olmadığı için, buradaki direnç dalga direncidir (dalga yapma direnci). Kanadı hareket ettirmek için gerekli olan enerjinin dalga tarafından taşınan enerjiye eşit olması gerektiğinden; (Bal et al.,2001; Newmann,1977) ;

$$DU_\infty = \frac{1}{2} \rho g \left(\frac{H^2}{4} \right) C_g, \quad (32)$$

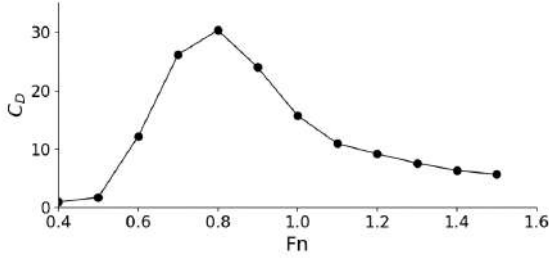
Burada D kanatın direnci, C_g dalga grup hızı, H dalga yüksekliği, ρ ise akışkanın yoğunluğudur. Derin su için dalga grup hızı şu şekilde yazılabilir;

$$C_g = \frac{U_\infty}{2}, \quad (33)$$

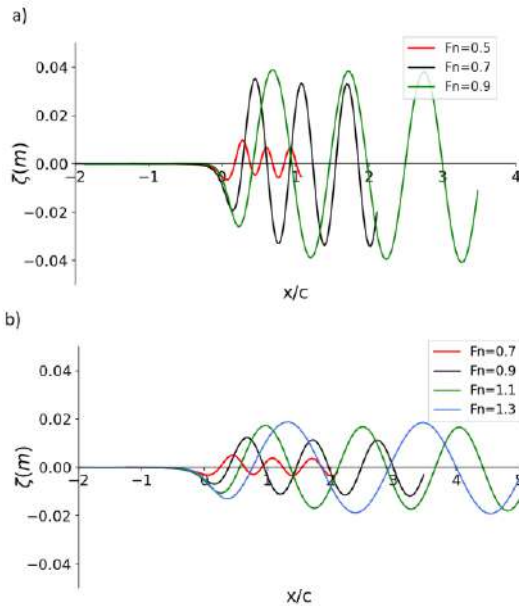
$D = 0.5 \rho U_\infty^2 c C_D$ bağıntısını kullanarak, C_D dalga yüksekliği cinsinden şu şekilde yazılabilir;

$$C_D = \frac{gH^2}{8U_\infty^2 c}, \quad (34)$$

Dalga direnci katsayısının Froude sayısı ile değişimi Şekil 11'de görülmektedir. Dalga direncinin değişim trendi de kaldırma katsayısının Fn ile değişimine oldukça benzerdir. Froude sayısının düşük değerleri için hızdaki artış dalga direncinin de artmasına neden olmaktadır. Fn=0.8 değerinden sonraki operasyon hızlarda ise, dalga direnci hızlı bir biçimde düşmektedir. 1.0'ün üzerindeki Fn değerleri için dalga direncinin düşüş grafiğindeki eğim azalmaktadır.



Şekil 11 Dalga direncinin Fn ile değişimi



Şekil 12 Serbest yüzey deformasyonlarının Fn ile değişimi
(a) $h/c = 1.0$, b) $h/c = 1.5$, c) $h/c = 2.0$)

Yüzey altında hareket eden kanat tarafından, serbest yüzey üzerinde dalga deformasyonları oluşturulur. Bu dalga profillerinin serbest Fn sayısı ile değişimi Şekil 12'de gösterilmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, serbest yüzey, akım yukarısında 2.0λ , akım aşağı yönünde ise 3.5λ olacak şekilde sabit büyüklükte panellerle temsil edilmiştir. Bu durumda, çözüm algoritmasının akım aşağısındaki (downstream) yönde 3.5 dalga boyu kadar bir serbest yüzey hesaplayacağı anlamına gelir. Şekil 12'de görülen veri çizgilerinin x yönünde farklı uzunlukta olmasının nedeni budur. Şekilde görüldüğü üzere, kanat tarafından oluşturulan dalga tepe ve çukurlarının genlikleri Fn ile birlikte artmaktadır. Fn=0.5'deki dalga genlikleri, diğer hızlara kıyasla çok daha küçüktür. Artan Fn dalga genliklerinin yükselmesine neden olmuşsa da, 0.7 ve 0.9 Froude sayılarındaki dalga genlikleri birbirine oldukça yakındır. Yani Fn sayısının dalga genlikleri üzerindeki etkisi, düşük Fn'lerde daha belirgindir. Serbest yüzeydeki dalga

deformasyonları incelenirken, farklı bir derinlikte daha ($h/c=2.0$) hesaplama yapılmıştır. Şekil 12.b'de görüldüğü gibi, kanat kesitinin serbest yüzeye olan yakınlığının azalması, kanatın serbest yüzeyde oluşturduğu etkinin de azalmasına neden olmaktadır. Bu durum literatürdeki benzer çalışmalarda da gözlenmiştir (Ali,2010; Hoque,2017). Derinlik oranı arttığında, dalga genlikleri önemli oranda düşmektedir. Ayrıca Froude sayısının dalga genlikleri üzerindeki etkisi de benzer biçimde azalmaktadır.

6. Değerlendirme

Bu çalışmada, serbest yüzey yakınında çalışan iki boyutlu bir NACA0012 kanat kesiti etrafındaki akışın sayısal incelemesi yapılmıştır. Akım alanını modellemek için potansiyel akım temelli iteratif sınır elemanları yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemin matematik formülasyonu ayrıntılı biçimde sunulmuştur. Çalışmanın ilk bölümünde, mevcut yaklaşımın doğrulanması amacıyla serbest akımda hareket eden bir kanat etrafındaki akım çözülmüştür. İkinci kısımda ise, aynı kanat kesiti serbest akım yakınında hareket ederken modellenmiştir. Sayısal sonuçlar literatürdeki deneysel verilerle doğrulanmış ve sınır elemanları yönteminin serbest yüzeyli akışları incelemek için etkin ve güvenilir bir yöntem olduğu görülmüştür.

Sayısal sonuçlar, serbest yüzey varlığının kanatların performansı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu etki, artan Froude sayılarına göre değişmektedir. Düşük Fn'lerde kaldırma katsayısı artarken, belirli bir değerden sonra düşmeye başlamaktadır. Benzer bir eğilim dalga direnci üzerinde de mevcuttur. Kanat tarafından serbest yüzey üzerinde oluşturulan dalga deformasyonları incelendiğinde, artan Fn ile birlikte, oluşan dalganın genliği de artmaktadır. Bu artış düşük çalışma hızlarında daha belirgindir. Kanatın serbest yüzeye yakınlığının azalması ile birlikte ise, kanatın serbest yüzeyde oluşturduğu etki de azalmaktadır.

7. Teşekkür

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Tarafından FBA-2019-2984 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Abbott, I. H. and Von Doenhoff, (1959). A. E.: *Theory of Wing Sections*, Dover Publications, New York
- Ali, A., Karim, M. (2013). Numerical Study Of Free Surface Effect On The Flow Around Shallowly Submerged Hydrofoils. Proceedings of MARTEC 2010 The International Conference on Marine Technology, 11-12 December 2010, BUET, Dhaka, Bangladesh
- Hoque, A., Karim, M., Rahman, A., (2017). Simulation of Water Wave Generated by Shallowly Submerged Asymmetric Hydrofoil, *Procedia Engineering*, Volume 194, pp 38-43
- Huang, L., Huang, P. G., LeBeau, R. P. and Hauser, T. (2004) Numerical Study of Blowing and Suction Control Mechanism on NACA0012 Airfoil, *Journal of Aircraft*, vol.41 (5)
- Bakirci, M. (2020). Kama Şekilli Kanat Üzerindeki Süperonik Akışı Çözmek için Sayısal Bir Algoritma. *European Journal of Science and Technology*, (18), pp. 934-942. doi: 10.31590/ejosat.706738. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/52599/706738>

- Bal, S., (1999). A potential based panel method for 2-D hydrofoils, *Ocean Engineering*, Vol. 26, pp. 343-361.
- Bal, S., Kinnas, S. A. and Lee, Hee.(2001). Numerical Analysis of 2-D and 3-D Cavitating Hydrofoils Under a Free Surface, *Journal of Ship Research*, Vol. 45, No:1, pp. 34-49.
- Bal, S., (2007). High-speed submerged and surface piercing cavitating hydrofoils, including tandem case, *Ocean Engineering*, Volume 34, Issues 14–15, Pages 1935-1946
- Bal, S., (2011). The effect of finite depth on 2D and 3D cavitating hydrofoils, *J Mar Sci Technology*, Vol. 16, No: 2, pp.129-142.
- Chen, S.L., Yang, S., & Ma, Q. (2011). An Experimental Study on Hydrodynamic Characteristics of Gliding-Hydrofoil Craft, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 89-96
- Çakıcı, F. ve Kinacı, Ö.K. (2012). Yüksek Froude Sayılarında Çalışan Hidrofoiller Üzerinde Serbest Su Yüzeyi Etkisi, *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 2012 Bildiriler Kitabı*, 13–14 Aralık 2012, TMMOB, Gemi Mühendisleri Odası, İstanbul 183-192.
- Drela, M., (1989) XFOIL: An Analysis and Design System for Low Reynolds Number Airfoils, Low Reynolds Number Aerodynamics, Notre Dame, Indiana, June 5-7.
- Duncan, J. H., (1983). The breaking and non-breaking wave resistance of a two-dimensional hydrofoil, *J. Fluid Mech.*, Vol. 126, pp. 507-520.
- Eleni, D. C., Athanasios, T. I. and Dionissios, P. M.,(2012). Evaluation of turbulence models for the simulation of the flow over a National Advisory Committee for Aeronautics (NACA 0012) airfoil, *Journal of Mechanical Engineering Research*, Vol. 4, No:3, pp. 100-111.
- Ganesh Ram, R. K., Cooper, Y. N., Bhatia, V., Karthikeyan, R., & Periasamy, C. (2014). Design Optimization and Analysis of NACA 0012 Airfoil Using Computational Fluid Dynamics and Genetic Algorithm. *Applied Mechanics and Materials*, 664, 111–116. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.664.111>
- Ghassemi, H., Iranmanesh, M. and Ardeshtir, A.,(2010). Simulation of Free Surface Wave Pattern Due To The Moving Bodies, *Iranian Journal of Science & Technology*, Transaction B: Engineering, Vol. 34, pp. 117-134.
- Karaalioglu, M , Bal, Ş . (2015). Numerical Investigation Cavitation Buckets for Hydrofoil Parametrically. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences* , 1 (2) , 89-101. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/trjmms/issue/40138/477489>
- Karaalioglu, M , Bal, Ş . (2017). Some Remarks on the Three Dimensionality of Hydrofoil Cavitation. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences* , 3 (2) , 113-120 <https://dergipark.org.tr/tr/pub/trjmms/issue/40149/477568>
- Karim, Md. M. and Ahammed, M. S., (2012). Numerical study of periodic cavitating flow around NACA 0012 hydrofoil. *Ocean Engineering*, Vol. 55, pp. 81-87.
- Karim, Md. M., Prasad, B. and Rahman, N.,(2014). Numerical simulation of free surface water wave for the flow around NACA 0015 hydrofoil using the volume of fluid (VOF) method, *Ocean Engineering*, Vol. 78, pp. 89-94.
- Katsikadelis, J. T. (2002).Boundary Elements: Theory and Applications, Elsevier, New York,
- Körpe, D. S., Kanat, Ö. Ö. and Oktay, T. (2019). Başlangıç y plus Değerinin Etkileri: γ -Re θ SST Türbülans Modeli Kullanılarak 3D NACA 4412 Kanadının Sayısal Analizi. *European Journal of Science and Technology*, (17), pp. 692–702. doi: 10.31590/ejosat.631135. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/48495/631135>
- Lee, T. M., Park, I. R., Chun, H. H. and Lee, S. J., (2000). Effect of free surface and strut on fins attached to a strut, *Ocean Engineering*, Vol. 28, pp. 159-177.
- Morgado, J., Vizinho, R., Silvestre, M.A.R., Páscoa, J.C. (2016) XFOIL vs CFD performance predictions for high lift low Reynolds number airfoils, *Aerospace Science and Technology*, Volume 52, , pp 207-214,
- Newman, J. N.,(1977). Marine Hydrodynamics. MIT Press, Cambridge,
- Nguyen, D.H. and Lee, S. (2018) Investigation on the Accuracy of the TNO Model Using RANS CFD and XFOIL Inputs for Airfoil Trailing Edge Noise Predictions, AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference June 25-29, 2018, Atlanta, Georgia
- Ni, Z., Dhanak, M., Su, T.C.,(2019). Performance of a slotted hydrofoil operating close to a free surface over a range of angles of attack, *Ocean Engineering*, vol 188, pp. 106296
- Oktay, T. and Kanat, Ö. Ö. (2019). NACA 4412 Kanadı Üzerinde Bir Emme Kanalı Tasarlanmasının Aerodinamik Etkileri. *European Journal of Science and Technology*, (17), pp. 1001–1007. doi: 10.31590/ejosat.651523. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/48495/651523>
- Ömer Kemal Kinacı, (2015). A Numerical Parametric Study on Hydrofoil Interaction in Tandem, *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.* 7:25–40 <http://dx.doi.org/10.1515/ijnaoe-2015-0003>
- Raj,J. (2017). CFD analysis of flow characteristics of NACA0012 airfoil using SU2, *Journal of Mechanical and Aeronautical Engineering Research* Volume 1 (3), p. 25-28
- Sharma, S. and Clement, S. (2014) CFD Simulation of the Flow Characteristics of NACA 0012, NACA 6409, and DHMTU Airfoils in Ground Effect, ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting August 3–7, 2014 Chicago, Illinois, USA
- Tarafder, Md. S. and Suzuki, K., (2007). Computation of wave-making resistance of a catamaran in deep water using a potential-based panel method, *Ocean Engineering*, Vol. 34, pp. 1892-1900.
- Tarafder, Md. S., Khalil, G. Md. and Islam, R. M., (2009). Analysis of potential flow around two-dimensional hydrofoil by source based lower and higher order panel methods, *The Institution of Engineers Malaysia*, Vol. 71, No:2, pp. 13-21.
- Tarafder, M. S., Saha, K. G. and Mehedi, T. S.(2010). Analysis of potential flow around three-dimensional hydrofoils by combined source and dipole based panel methods, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 18, No: 3, pp. 376-384.
- Uslu, Y. and Bal, S., (2008). Numerical Prediction of Wave Drag of 2-D and 3-D Bodies under or on a Free Surface, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, Vol. 32, pp. 177-188.
- Wehausen, J.V. and Laitone, E. V.,(1960). Surface waves, *Handbuch der Physik*,
- Wu, P. C. and Chen, J. H.(2016). Numerical study on cavitating flow due to a hydrofoil near a free surface, *Journal of Ocean Engineering and Science*, Volume 1 (3), pp. 238-245.



Farklı Tuzlarla Kurutulmuş Domatesin Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi

Ahsen Rayman Ergün^{1*}, Hamza Bozkır², Büşra Nur Saygıner³, Taner Baysal⁴

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye (ORCID:0000-0003-0943-1950)

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Pamukova Meslek Yüksekokulu, Gıda Kalite Sağlama Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID:0000-0002-8868-697X)

³Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye (ORCID:0000-0001-5611-120X)

⁴Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye (ORCID:0000-0003-1039-6275)

(İlk Geliş Tarihi 28 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 4 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.798263)

ATIF/REFERENCE: Ergün, R., Ahsen, B., Hamza, Saygıner, N.B., & Baysal, T. (2020). Farklı Tuzlarla Kurutulmuş Domatesin Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 581-586.

Öz

Domates dünyada birçok ülkede yetiştirilmekle birlikte, uygun iklim koşulları nedeniyle Türkiye domates üretimi yapan önemli ülkeler arasındadır. Ülkemizde son yıllarda güneşte kurutulmuş domates üretimi, uygulanan teknolojinin sadeliği, yatırım maliyetinin düşük olması üretim yörelerinde ekolojinin uygun olması, kurutulmuş ürünlerin taşınımı ve muhafazasının kolay olması, uzun dönemde pazara sunma olanağı ve birçok ülkede bu şekilde işlenmiş domates isteğinin artması nedeniyle yoğun ilgi kazanmıştır. Sağlık açısından bilinçlenen tüketicinin düşük sodyum içerikli gıdalara olan talebinin karşılanması amacıyla gıda teknolojisinde tuz içeriği azaltılmış ürün üretimi yönünde araştırmalar yoğunluk kazanmaktadır. Genellikle gıdalarda sodyum içeriğinin azaltılmasına yönelik yaklaşımlar ya doğrudan tuz içeriğinin düşürülmesi ya da tuzun belli oranlarda potasyum klorür (KCl), kalsiyum klorür (CaCl₂), fosfatlar ve potasyum laktat gibi bileşiklerle belli oranlarda kombine kullanılması şeklindedir. Çalışmada, tuz içeriği azaltılmış kuru domates üretiminde potasyum klorür (KCl), kalsiyum klorür (CaCl₂), magnezyum klorür (MgCl₂) ve sodyum klorür (NaCl) tuzlarının kullanımının domateslerin bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklere etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla, KCl, CaCl₂, MgCl₂ ve NaCl tuzları ortadan ikiye kesilmiş domateslerin (500 g tuz /24 kg domates) üzerine serpilerek, 34°C'de 7 gün boyunca rüzgarlı havada kurutulmuştur. Domatesler kuruduktan sonra fiziksel (pH değeri, su aktivitesi, nem, renk değerleri), kimyasal (toplam asitlik, tuz, mineral madde (Ca, Mg, Na ve K) miktarları) ve mikrobiyolojik (görsel küf-maya miktarları) özellikleri saptanmıştır. CaCl₂ ile kurutulmuş domateslerde rengin en iyi korunduğu belirlenmiştir. MgCl₂ ile kurutulmuş domateslerde nem içeriği ve su aktivitesi en yüksek değerde bulunmuştur. KCl, CaCl₂ ve MgCl₂ ile kurutulmuş domateslerin içerdikleri klorür miktarında kontrol grubuna (NaCl) göre önemli ölçüde azalma görülmüştür. Sonuç olarak domatesin kurutulmasında kalite özelliklerinin korunarak NaCl yerine ikame tuzların (KCl, CaCl₂, MgCl₂) kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneşte kurutma, Kuru domates, Potasyum klorür, Kalsiyum klorür, Magnezyum klorür

Investigating Some Quality Properties of Dried Tomatoes with Different Salts

Abstract

Tomatoes grown in many countries around the world and Turkey is among the countries that are important tomato production due to favorable climatic conditions. In our country, sun-dried tomato production has gained intense interest in recent years due to the simplicity of the technology applied, the low investment cost, the convenience of the ecology in the production regions, the easy transportation and storage of the dried products and the possibility of long term storage. There is an increasing demand for tomatoes that have been processed in this way in many countries. In order to meet the demand of health-conscious consumers for foods with low sodium content, researches on the production with reduced salt content in food technology are intensifying. Generally, approaches to reduce sodium content in foods are either directly reducing the salt content or using salt in certain proportions combined with compounds such as potassium chloride (KCl), calcium chloride (CaCl₂), phosphates and potassium lactate. In this study, the effects of potassium chloride (KCl), calcium chloride (CaCl₂), magnesium chloride (MgCl₂) and sodium chloride (NaCl) salts on the physical, chemical and microbiological properties of tomatoes in the production of dried tomatoes with reduced salt content were determined. For this purpose, KCl, CaCl₂, MgCl₂ and NaCl salts were sprayed on tomato (500 g salt / 24 kg tomato) in half and dried in windy air

* Sorumlu Yazar: ahsen.rayman.ergun@ege.edu.tr

at 34°C for 7 days. After drying process, physical (pH value, water activity, moisture, color changes), chemical (total acidity, salt and mineral (Ca, Mg, Na and K) contents) and microbiological (visual mold-yeast amounts) changes were determined. Moisture content and water activity were found to be the highest in the tomato dried with MgCl₂, and the salt content of the groups were decreased compared to control group dried with NaCl. It was observed that substitution salts (KCl, CaCl₂, MgCl₂) could be used in dried tomato production instead of NaCl without a significant decrease in the quality characteristics of tomatoes.

Keywords: Sun drying, Dried tomatoes, Potassium chloride, Calcium chloride, Magnesium chloride

1. Giriş

Dünyada yaygın olarak tüketilen domates karotenoidler, C vitamini, provitamin A, folik asitçe zengin olması ile sağlık açısından önemli bir yer teşkil etmektedir (Tekgül vd., 2015). Kurutma birçok meyve ve sebzenin depolanmasında önemli bir işlem olup farklı kurutma teknikleri ile bu ürünlerin uzun süreli muhafazaları mümkündür (Tekgül ve Baysal, 2018). Ülkemizde, gıda ihracatında önemli bir yere sahip olan domatesler tuz ve kükürt uygulanarak kurutulmaktadır (Vural ve Duman, 2000). Kurutulmuş domates üretiminde yüksek kükürtlü (5000-8000 ppm), kükürtlü (2000-3000 ppm), tuzlu (%4-6), tuzlu-kükürtlü (%4-6 tuz, 1500-2000 ppm kükürt) gibi değişik ürün özelliklerinde üretimler müşteri isteklerine göre hazırlanmaktadır (Baysal vd., 2009). Güneşte kurutulmuş domatesler için da uygulama olarak sofraya tuzu (sodyum klorür, NaCl) yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük maliyetinin yanı sıra teknolojik özelliklerinin iyi olması, aroma ve mikrobiyolojik stabiliteyi artırması NaCl tuzunun tercih edilmesine neden olmaktadır (Ruusunen ve Puolanne, 2005). İşlenmiş ürünler, sofraya tuzu olarak tüketilen sodyumun %75'inin kaynağı olmaktadır ve kurutulmuş domatesler de yüksek miktarda sodyum içeren 10 gıda arasında yer almaktadır. Kurutma teknolojisinde kullanılan tuzun bileşiminde yer alan sodyumun insan vücudunda önemli fonksiyonları bulunmaktadır. Bunlar, su dengesinin, asit-baz dengesinin ve kas kasılmalarının sürdürülmesi, sinirsel iletilerin aktarımı, bazı besinlerin emilimi ve taşınmasıdır (Strain ve Cashman, 2009). Ancak, aşırı sodyum tüketimi hipertansiyon, böbrek ve kalp-damar hastalıklarını neden olmaktadır (Geleijnse vd., 2003; He ve MacGregor 2003). Tuz tüketiminin kalp-damar sistemi yanında kalsiyum ve kemik metabolizması üzerinde de etkisi vardır. Ayrıca, tuz tüketimi mide kanserinin görülme sıklığını da etkilemektedir (de Wardener ve MacGregor, 2002). Astımın nedenlerinden biri olarak aşırı tuz tüketimi gösterilmese de epidemiyolojik ve klinik kanıtlar tuz alımı ile astım şiddeti arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir. Örneğin, bir çalışmada, hafif yüksek ve orta astımlı erkeklerde tuz alımının azaltılmasıyla astım ataklarının şiddeti, ilaç kullanımı ve solunum yolu direnci de azalmıştır (Carey ve ark. 1993; Mickleborough ve Fogarty, 2006). Tesadüfi tuz azaltma çalışmalarının meta analizine dayanarak tuz alımının 6 gram/gün azaltılmasıyla felç sayısında %24 oranında ve koroner kalp hastalığında ise %18 oranında bir azalma sağladığı tahmin edilmektedir (He ve MacGregor, 2002; 2003).

Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde günlük sodyum tüketimi miktarı maksimum (5-6 g/gün) üzerinde olup ve sodyum miktarı işlem görmüş gıdaların tüketilmesi ile artmaktadır (Günel ve Günel 2010; Ruusunen ve Puolanne 2005). Bu nedenle Dünya Sağlık Örgütü yüksek miktarda tuz içeren bir diyeti sağlık açısından tehlikeli olarak nitelendirmektedir. Artan tüketici bilinci ile gerek sanayide gerekse bilimsel açıdan yeni çalışmalar tuz içeriği azaltılmış ürün üretimi yönünde yoğunlaşmaktadır (Dötsch vd., 2009). Gıda ürünlerindeki sodyum miktarının düşürülmesine yönelik yapılan çalışmalar baktığımızda ürün içeriğindeki tuz

miktarının düşürülmesi ya da tuz miktarını azaltarak yerine potasyum klorür (KCl), kalsiyum klorür (CaCl₂), fosfatlar veya potasyum laktat gibi bileşikler kullanılmaktadır (Ruusunen ve Puolanne 2005, Angus vd.,2005; Armenteros ve ark. 2009).

Fermente sosis üretiminde NaCl miktarı %25 ve %50 oranında azaltılarak yerine KCl kullanılmış olup, ikame KCl 'ün NaCl' e kıyasla sosisin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (Campagnol vd., 2011). Pastırma üretiminde üç farklı tuz koşullarının (%100 NaCl, %85 NaCl-%15 KCl, %70 NaCl-%30 KCl) ürün kalitesi üzerindeki etkileri araştırmıştır. Pastırma üretiminde tuz miktarının azaldığı %85 NaCl-%15 KCl grubunun beğenildiği belirtilmiştir (Hastaoğlu 2011). Benzer şekilde pastırma, hamsi, balık sosu, piliç göğsü filetosu ve hellim peynirinin üretimde yer alan NaCl'ün kullanım miktarını azaltılarak NaCl ile birlikte KCl ve/veya CaCl₂ kullanılarak ürünlere ait fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değerler incelendiğinde kabul edilebilir düzeylerde oldukları ifade edilmektedir (Ayyash vd., 2011; Ekmekçi, 2012; Lee vd., 2012; Sanceda vd.,2003; Yaldrak vd.,2012).

Literatürdeki çalışmalar göz önünde bulundurulsa, birçok farklı gıda ürününde özellikle et ürünlerinde farklı tuzların kaliteye etkilerinin incelendiği ancak domateslerin kurutulmasında yapılan az sayıda çalışma olduğu dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, doğal tuzla alternatif olarak potasyum klorür, kalsiyum klorür ve magnezyum klorür tuzlarının güneş altında kurutulmuş domatesin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalite özelliklerine etkilerinin saptanması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, kurutmaya uygun olan ve bölgede bu amaçla yaygın olarak kullanılan Zeplin F1 tipi domateslerden (oval, parlak kırmızı renkte ve ortalama meyve ağırlığı 120-130 g) 75 kg domates hasat edilmiş ve İzmir'in Menderes ilçesindeki Yeditepe Organik Tarım Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne ait tesiste kurutulmuştur. Kurutulacak domateslerin tuzlanmasında Billur tuzdan temin edilen sofraya tuzu (NaCl) ve Zag Kimya Ltd..Şti' den temin edilen Potasyum Klorür (KCl), Magnezyum Klorür (MgCl₂) ve Tito marka Kalsiyum Klorür (CaCl₂) kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1 Üretim Yöntemi

Domatesler hasattan hemen sonra delikli plastik kasalar içerisinde işletmeye getirilmiş ve 4 adet 24 kg'lık partiler halinde ayrılmıştır. Her bir partiyi oluşturan domatesin aynı boyutta ve aynı olgunluk derecesinde olmasına dikkat edilerek polipropilen çulun üzerine, her bir bölgede 24 kg taze domates uzunlamasına ortadan ikiye kesilerek serilmiştir. 500 g CaCl₂ 1. bölgedeki, 500 g KCl 2. bölgedeki, 500 g MgCl₂ 3. bölgedeki ve 500 g NaCl 4.

bölgedeki ortadan ikiye kesilmiş olan taze domateslerin üzerine elle serpilmiştir. Ortalama 34°C'de 7 gün boyunca rüzgarlı havada domatesler kurutulmuştur. Kuruyan domatesler ayrı ayrı ambalajlanarak analize kadar herhangi bir bozulma olmaması için Yeditepe Organik Tarım Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.'nin ±4 °C'deki soğuk hava deposunda muhafaza edilmiştir.

2.2.2 Analiz yöntemleri

2.2.2.1 pH tayini

100 g kuru domates makasla küçük parçalar halinde kesilmiştir. Üzerine 100 ml saf su eklenerek blenderda homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan homojen karışıma, kalibrasyonu yapılmış pH metre (WTW Inolab 7110, Almanya) daldırılmış ve değer sabitlenene kadar beklenmiştir (Anon, 1995).

2.2.2.2 Titre edilebilir asitlik tayini

Alınan kuru domates numunesi, blenderda iyice kıyılmıştır. Kıyılmış numuneden 10 g örnek tartılıp, 100 ml'ye saf suyla tamamlanarak filtre edilmiştir. Süzütünden 10 ml erlene alınıp 0.1 N NaOH çözeltisiyle fenolftaleyn indikatörlüğünde hafif kalıcı bir pembe renk elde edilinceye kadar titre edilmiştir. Titrasyonda sarfedilen 0.1 N NaOH miktarı, 100 g kuru domatesteki toplam asitlik değerini ifade etmiş ve Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır (Anon, 1990).

$$A = \frac{S.N.F.E}{C} \times 100 \quad (1)$$

A= Titre edilebilir asit miktarı, g 100 ml⁻¹ domates suyu
S=Kullanılan NaOH miktarı, ml
N= Kullanılan NaOH normalitesi, ml
F= Kullanılan NaOH faktörü=1
C=Alınan örnek miktarı, ml
E= İlgili asidin equivalent değeri, sitrik asit için=0.064g

2.2.2.3 Su aktivitesi tayini

Su aktivite ölçüm cihazı ile (Testo Electronics, 1999, Almanya) 20°C 'de gerçekleştirilmiştir.

2.2.2.4 Nem tayini

Nem tayin cihazı (Radwag MAC50, Polonya) kullanılarak 3 gram örnek ile 105 °C'de % nem değeri yaş ağırlık bazda belirlenmiştir.

2.2.2.5 Tuz tayini

Cl iyonunu tespit etmek amacıyla kurutulmuş örnekler alınarak blenderda iyice kıyılmıştır. Bu kıyılmış numuneden 10 g örnek tartılmıştır. Örnek 250 ml'ye saf su ile tamamlanmış ve blenderda karıştırılıp, kaba filtre kağıdından geçirilerek süzülmesi ve süzütünden 5 ml erlene alınmıştır. % 5'lik potasyum kromat

Farklı tuzlarla kurutulmuş domates örneklerinin nem değerleri Tablo 1'de görüldüğü üzere kontrol örneğine kıyasla artış göstermiş ancak CaCl₂ ve MgCl₂ ile kurutulmuş domateslerin nem değerleri arasında istatistiksel açıdan fark saptanmamıştır

indikatörlüğünde 0,1 N Gümüş nitrat çözeltisi ile titrasyon yapılmıştır. Renk sarıdan kırmızı-kiremit rengine döndüğünde titrasyon sonlandırılmıştır. Hesaplamalar Eşitlik 2'ye göre yapılmıştır (Cemeroğlu, 2010).

$$\% \text{ Tuz (g)} = \left[\frac{(0.00585 \times V)/m}{\text{SF} \times 100} \right] \quad (2)$$

V= Harcanan AgNO₃ çözeltisinin hacmi
m= Alınan numune miktarı (g)
SF= Seyreltme Faktörü

2.2.2.6 Potasyum, sodyum, kalsiyum ve magnezyum içerikleri tayini

Mineral madde içerikleri atomik emisyonun optik spektroskopisi (Perkin Elmer AAAnalyst 400, Almanya) tekniği ile ölçülmüştür. Minimum 1 gram kuru madde elde etmek için gerekli olan miktarda numune terazide, 40 veya 50 ml'lik kroze içerisinde tartılmıştır. Mg(NO₃)₂ çözeltisi (6,67% w/v) eklenip tamamen karıştırılmıştır. 90-95°C'ye ayarlanmış etüvde yaklaşık 6 saat boyunca numune kurutulmuştur. 80°C'nin altındaki kül fırınına numune yerleştirilmiştir. Numunenin keskin biçimde yanmasını önlemek için sıcaklık yavaş ve kademeli olarak 500-550°C'ye çıkarılmıştır. Bu sıcaklıkta 16 saat tutulmuştur. Küller, HNO₃'de tamamen çözülmüştür. Çözünmeyen partikül veya maddeler varsa, okuma yapılmadan önce filtrelenmiştir (Genç ve Yıldız, 1997).

2.2.2.7 Renk tayini

Kuru domates örneklerinin renk (L*, a*, b*) değerleri HunterLab kolorimetre ile (Hunter Associates Laboratory Inc., Reston, VA, ABD.) ölçülmüştür. Aydınlık değeri olan L*; "0" siyahtan "100" beyaza kadar değişmektedir. "a*" değeri, "-a*" ile yeşil, "+a*" ile kırmızılığı; "b*" değeri ise "-b*" ile mavi, "+b*" ile sarılığını göstermektedir.

2.2.2.8 Görsel mikrobiyolojik tayin

Kurutulan domateslerin depolama sonucunda küf ve maya miktarları gözlemlenmiştir. Görsel küflenme değerinin saptanması amacıyla her grup örnekten 1 kg tartılmış ve küf-maya oluşup oluşmadığına bakılmış, küf-maya oluşumu gözlenen domatesler ayrılmış ve tartılıp % olarak hesaplanmıştır (Filya vd., 2000).

2.2.3 İstatistiksel analiz

Varyans analizinden (ANOVA) yararlanılarak SPSS istatistiksel paket programı ile (SPSS 15.0 for Windows Version; SPSSInc., Chicago, Ill) % 95 güven aralığında istatistiksel analiz yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

(*p*>0.05). Kurutma prosesinden sonra ürüne bağlı olarak nem içeriği yaş ağırlığa göre % 1-20 arasında olmaktadır (Gunasekaran, 1999). Bu çalışmaya benzer şekilde Vujovic, (2015) kuru domates üretiminde farklı sodyum klorür ve

potasyum klorür oranlarının depolama süresince bazı kalite özelliklerinin değişimlerine etkisi konulu çalışmada kuru domates örneklerinin nem değerlerini % 11.22 ile % 15.31 arasında bulmuştur. Potasyum oranları nem içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli ölçüde etkide bulunmuş ve % 30 KCl çözeltisi uygulamasına tabii tutulan domateslerin nem içeriğinin daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Latapi ve Barrett (2006) % 10 NaCl uygulaması ile kurutulan domateslerde nem içeriğini %17 olarak tespit etmişlerdir. Baysal vd., (2009) yaptıkları çalışmada domates örneklerinin yüksek nemli hale getirilip yenilebilir mısır zeini filmi ile kaplanmasından sonraki başlangıç nem değerlerini % 53.77 ile % 55.32 arasında bulmuşlardır. Uzun ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada kurutulmuş domateslerin nem içeriğinin depolama dönemi içinde azaldığı belirtilmiştir. Nem değeri metabisülfid uygulamasında % 17.4'den % 15.2'ye, tuz ile kurutulanlarda ise % 15.8'den % 14.6'ya düşmüştür. Tuzlanarak kurutulan domateslerin nem değeri metabisülfid ile kurutulanlardan % 0.7 daha düşük bulunmuştur.

Örneklerin pH değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Farklı tuzlarla kurutulan domateslerin pH değerlerinde istatistiksel olarak etkili bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir ($p>0.05$). Benzer olarak, Baysal ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada domates örneklerinin yüksek nemli hale getirilip yenilebilir mısır zeini ile kaplanmasından sonraki pH değerleri arasındaki farkı önemsiz olarak saptamışlardır.

Toplam asitlik (TA) değerleri sıralaması NaCl ile kurutulan domates (4.08 ± 0.30) > KCl ile kurutulan domates (3.98 ± 0.01) > $CaCl_2$ ile kurutulan domates (3.88 ± 0.20) > MgCl ile kurutulan domates (3.73 ± 0.01) şeklindedir. Kontrol örneği olan NaCl ile kurutulan domatesin asitlik değeri en yüksek olurken, $MgCl_2$ ile kurutulan domatesin de en düşük asitlik değerine sahip olduğu bulunmuştur (Tablo 1). $MgCl_2$ ile kurutulan domates ile diğer grupların asitlik değerleri arasında istatistiksel açıdan fark bulunmuştur ($p\leq 0.05$). Asitlik değerleri farklı tuzlarla kurutulduğunda kontrole kıyasla $MgCl_2$ grubunda istatistiksel açıdan önemli seviyede azalmıştır ($p\leq 0.05$). Uzun vd., (2004), NaCl ve metabisülfid ile kurutulan domateslerde yaptıkları çalışmada örneklerdeki toplam asitlik miktarlarının % 4 ile 8.5 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Depolama dönemi sonunda (10 ay) belirgin şekilde arttığını, bu artışın metabisülfid ile kurutulanların, tuzla kurutulanlara kıyasla % 1.25 daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Kurutma sırasında uzaklaşan su ile asitlik değerlerinde azalma görülmesi beklenen bir sonuçtur.

Domateslerin kurutulması öncesinde bozulmayı yavaşlatmak ve muhafaza süresini uzatmak için tuz kullanılmaktadır. Kontrol örneği olan NaCl ile kurutulan domatesin klorür miktarı %13.7 bulunmuş ve beklenildiği üzere diğerlerine oranla daha yüksektir ve istatistiksel açıdan önemli seviyede fark bulunmuştur ($p\leq 0.05$). $MgCl_2$ ile kurutulan domateste ise bu değer 4.81 ± 0.14 olarak bulunmuş ve diğer gruplardaki tuz içeriği arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli olarak saptanırken ($p\leq 0.05$), KCl grubu ile MgCl grubunun tuz içeriği arasında istatistiksel açıdan fark bulunmamıştır. Türkiye'de NaCl ile kurutulan domateslerin tuz miktarları %8-14

arasında değişmektedir. NaCl yerine kullanılabilir bu tuzlar ile müşteri talepleri doğrultusunda tuz içeriği azaltılmış domates üretimi sağlanabilmektedir. Vujovic (2015), kuru domates örneklerinin Cl miktarlarını %4 ile %8 arasında bulmuştur. Yaptığı çalışmada, farklı konsantrasyonlarda NaCl ve KCl çözeltileri püskürtülerek domates kurutmaya tabii tutulmuş ve bunun sonucunda KCl çözeltisini daha fazla içerenlerde Cl miktarlarının azaldığını saptamışlardır. Bu çalışma sonucunda bulunan sonuçlara benzer şekilde NaCl yerine kullanılabilir farklı tuzların Cl miktarını önemli seviyede azalttığını göstermektedir ($p\leq 0.05$).

Mineral madde analizi sonuçlarına göre NaCl ile kurutulan kontrol örneğinde %33.64 oranında Na tespit edilmiştir. Bu kontrol örneğine dışarıdan Ca, Mg ve K eklenmemiştir. Kuru domatesin yapısında %0.3 Ca, %0.02 Mg, % 0.14 K saptanmıştır. KCl ile kurutulan domateste K miktarı %9.5'a yükselmiş, $CaCl_2$ ile kurutulan domateste Ca miktarı %2.5'a yükselmiştir, $MgCl_2$ ile kurutulan domateste Mg miktarı %2'ye yükselmiştir. Örnekler arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı olarak saptanmıştır ($p\leq 0.05$). 100 g kuru domateste Kalsiyum (110 mg), Magnezyum (194 mg), Sodyum (2095 mg) ve Potasyum (3427 mg) olarak belirtilmiştir (Anonim, 2017). NaCl ile kurutulan kontrol grubunda Na miktarı beklenenden fazla olduğu ve bunun sebebi domatesin bünyesinde bağladığı Na'dan kaynaklandığı düşünülmektedir. $CaCl_2$ ile kurutulan örnekte Ca miktarının artması beklenmekte ve beklediği üzere arttığı analiz sonucunda görülmektedir. Beslenme açısından kalsiyumca zengin gıdalar tüketmek önemlidir. $MgCl_2$ ile kurutulan domateste de beklediği üzere Mg miktarı artmıştır. Bu artışların orantılı bir şekilde olmamasının sebebi bu tuzların elle serpilmesi ve ister istemez her bir domatese aynı oranda dağılmamasında kaynaklandığı düşünülmektedir.

En yüksek su aktivitesine sahip olan $MgCl_2$ ile kurutulan domates örnekleri iken, NaCl ile kurutulanda en düşük su aktivitesi değeri gözlemlenmiştir. Ancak $MgCl_2$, $CaCl_2$ ve KCl örnek grupları arasında su aktivite değerleri istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmamaktadır ($p>0.05$). Farklı tuzlar ile kurutulan domates örneklerinin su aktivitesi sonuçları Tablo 1'de gösterildiği gibi 0.59 ile 0.68 arasında değişmektedir. NaCl ile kurutulan kontrol örneği dışındaki grupların su aktiviteleri aralarında istatistiksel açıdan fark bulunmazken ($p>0.05$) kontrol örnek ile diğer gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmaktadır ($p\leq 0.05$). Genel olarak NaCl'ün su aktivitesini düşürerek gıdaların raf ömrünü arttırdığı bilinmektedir. Fakat diğer tuzların NaCl kadar su aktivitesini düşürmediği görülmüştür. Bunun sonucunda NaCl ile kurutulan domateslerin su aktivitesi düşük olduğu için mikrobiyal bozulmaya karşı daha dayanıklı olduklarını söylenebilirken, $MgCl_2$ ile kurutulan domateslerin su aktivitesi istatistiksel açıdan da daha yüksek olduğu için ($p\leq 0.05$), mikrobiyal bozulma riski diğerlerine oranla daha fazladır. Küf mantarları $aw<0.65$ altında artık çoğalamazlar ama kontrol örneği dışındaki gruplarda su aktivitesi 0.65'in üzerinde olduğu için küfler gelişebilir.

Tablo 1. Farklı tuzlarla kurutulmuş domateslerin kalite özellikleri

Analizler		Kontrol (NaCl)	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂
Nem değeri (%) (w/w)		18.41±0.33 ^c	20.37±0.40 ^b	24.66±0.70 ^a	25.25±0.61 ^a
pH değeri		4.20±0.30 ^a	4.36±0.50 ^a	4.20±0.30 ^a	4.18±0.10 ^a
Toplam asitlik (%)		4.08 ± 0.21 ^a	3.98 ± 0.10 ^{ab}	3.88 ± 0.14 ^{ab}	3.73±0.10 ^c
Tuz (klorür) miktarı (%)		13.70±0.90 ^a	5.97±0.13 ^b	4.81±0.14 ^c	5.69±0.15 ^b
Su aktivitesi		0.59±0.01 ^a	0.66±0.01 ^b	0.67±0.01 ^b	0.68±0.02 ^b
Görsel mikrobiyolojik analizler	Küf (%)	0.01	6	18	4.75
	Maya(%)	0.01	8	0	4.75
Renk	L*	25.01±1.95 ^b	26.52±0.76 ^b	31.03±1.29 ^a	26.89±1.46 ^b
	a*	17.01±1.50 ^b	23.50±0.69 ^a	25.39±0.90 ^a	24.71±0.93 ^a
	b*	13.66±0.26 ^d	16.94±1.48 ^c	22.61±0.63 ^a	19.51±1.13 ^b

*Aynı sıradaki farklı harflerle (a,d) ifade edilen değerler örnekler arasında $P \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Tablo 1’de kuru domateslerin mikrobiyolojik açıdan değerlendirilmeleri mevcuttur. MgCl₂ ile kurutulmuş domateslerde % 4.75 görsel küf ve %4.75 görsel maya saptanmıştır. Toplamda %9.5 oranında görsel küf-maya gelişimi gözlenmiştir. CaCl₂ ile kurutulmuş domateste maya gelişimi gözlenmezken %18 oranında görsel küf gelişimi saptanmıştır. KCl ile kurutulmuş domateste ise %6 görsel küf ve %8 görsel maya oluşumu saptanmış toplamda %14 oranında küf-maya gelişimi belirlenmiştir. Görsel mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre küf-maya gelişimine en dayanıksız olan örnek grubu CaCl₂’dir. NaCl ile kurutulmuş kontrol örneğinde ise toplamda %0.02 oranında küf-maya oluşumu gözlenmiştir. Sonuçlar NaCl’in mikrobiyolojik açıdan domatesleri koruduğunu ve küf-maya gelişimini engellediğini göstermektedir. Kuru domateslerde renk önemli bir kalite

kriteri olarak bilinmektedir. Besleyici özelliği aynı olsa bile renk açısından albenisi olmayan kuru domatesler tüketici tarafından tercih edilmemektedir. Çalışmada farklı tuzların L*, a* ve b* renk değerleri üzerine istatistiksel açıdan önemli seviyede etki ettiği gözlenmiştir ($p \leq 0.05$) (Tablo 1). CaCl₂ ile kurutulmuş domatesler parlak ve canlı kırmızıdır bu da kuru domateste istenilen bir renktir. L* (aydınlık) değerinin CaCl₂ ile kurutulmuş örneklerde en yüksek, kontrol grubunda ise bu değer en düşük olduğu görülmektedir. Parlaklık değerleri kıyaslandığında, CaCl₂ ile diğer örnek grupları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunduğu belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). Kırmızılığı gösteren a* değerinde kontrol grubuna kıyasla diğer gruplarda artış saptanmıştır ($p \leq 0.05$). Sarılık değeri olan b* değeri ise gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir değişim göstermektedir ($p \leq 0.05$).

4. Sonuç

Sonuç olarak KCl ve CaCl₂ ile kurutulmuş domateslerin istenilen kalite ve görünüşte olduğu saptanmış, ancak CaCl₂ tuzu ile kurutulmuş örneklerde küf gelişiminin fazla olduğu, MgCl ile kurutulmuş domateslerde ise renk karamalarının daha fazla olması nedeniyle KCl tuzunun tercih edilebileceği belirlenmiştir.

5. Teşekkür

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde hammadde ve üretime destek veren Yeditepe Organik Tarım Gıda San. Ve Tic. Ltd. Şti.’ne; mineral madde tayininin yapılmasında katkılarından dolayı Eko Smyrna Analiz Laboratuvarı’na teşekkür eder

Kaynakça

- Angus, F., Phelps, T., Clegg, S., Narain, C., den Ridder, C. ve Kilcast, D., (2005). Salt in processed foods, Collaborative Research Project, *Leatherhead Food International*.
- Anonim, (1990). AOAC Official methods of analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Anonim, (1995). AOAC.Official methods of analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Anonim, 2017, Self Nutrition Data, <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/?query=tomatoes> (Erişim tarihi: 11.05.2020)

- Armenteros, M., Aristoy, M.C., Barat, J. M. ve Toldra, F. (2009). Biochemical and sensory properties of dry-cured loins as affected by partial replacement of sodium by potassium, calcium, and magnesium. *J. Agric. Food Chem*, 57, 20.
- Ayyash, M. M. ve Shah, N. P. (2011). Effect of partial substitution of NaCl with KCl on proteolysis of Halloumi cheese, *Journal of Food Science*, 76(1): c31-c37.
- Baysal, T., Ersus, S. ve Apaydın, E. (2009). Yenilebilir mısır zeini filmi kaplamanın orta nemli domates kalitesi üzerine etkisi, *Gıda*, 34 (6): 359-366
- Campagnol, P. C. B., Santos, B. A., Wagner, R., Terra, N. N. and Pollonio, M. A. R. (2011). The effect of yeast extract addition on quality of fennel sausages at low NaCl content, *Meat Science*, 87: 290-298.
- Carey O. J., Locke, C. ve Cookson J. B. (1993). Effect of alterations of dietary sodium on the severity of asthma in men, *Thorax*, 48: 714 -718.
- Cemeroğlu, B. (2010). Gıda Analizleri, (2. Basım) Ankara, Türkiye.
- de Wardener, H. E. and MacGregor, G. A. (2002). Harmful effects of dietary salt in addition to hypertension, *Journal of Human Hypertension*, 16: 213-223.
- Dötsch, M., Busch, J., Batenburg, M., Liem, G., Tareilus, E., Mueller, R. ve Meijer, G. (2009). Strategies to reduce sodium consumption: a food industry perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49 : 841–851.
- Ekmekçi, M. (2012). *Tuzu Azaltılmış Pastırma Üretiminde Potasyum Klörür ve Kalsiyum Klörür Kullanımının Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.
- Filya, I., Ashbell, G. Henb, Y., Weinberg, Z.G. (2000). The effect of bacterial inoculants on the fermentation and aerobic stability of whole crop wheat silage. *Animal Feed Science and Technology* 88: 39-46
- Genç, Ö., Yıldız, A., 1997. Enstrümantal Analiz Yöntemleri, s. 321-322.
- Geleijnse, J. M., Kok, F. J. and Grobbee, D. E. (2003). Blood pressure response to changes in sodium and potassium intake: A meta-regression analysis of randomised trials, *Journal of Human Hypertension*, 17:1471-1480.
- Gunasekaran, S. (1999). Pulsed Microwave-Vacuum Drying of Food Materials, *Drying Technology*, 17(3):395-412.
- Günel, S. Y. ve Günel, A. İ. (2010). Antihipertansif ilaç kullanımına rağmen başarısız kan basıncı kontrolünü etkileyen nedenler. *Ege Tıp Dergisi*, 49(1), S. 13-18.
- Hastaoğlu, E. (2011). *Potasyum Klorür Kullanımının Pastırmanın Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 768.
- He, F. J. ve MacGregor G. A. (2002). Effect of modest salt reduction on blood pressure: a metaanalysis of randomized trials. Implications for public health, *J. Hum. Hypertens*, 16: 761-770.
- He, F. J. ve MacGregor, G. A. (2003). How far should salt intake be reduced? *Hypertension*, 42: 1093- 1099.
- Latapi, G. ve Barrett, D. M. (2006). Influence of Pre-drying Treatments on Quality and Safety of Sun-dried Tomatoes. Part I: Use of Steam Blanching, Boiling Brine Blanching and Dips in Salt or Sodium Metabisulfite, *J. Food Sci.*, 71(1):824-31.
- Lee, Y. S., Zhekov, Z. G., Owens, C. M., Kim, M. ve Meullenet, J. F. (2012). Effects of partial and oomplete replacement of sodium chloride with potassium chloride on the texture, flavor and water-holding capacity of marinated broiler breast fillets, *J. Texture Studies*, 43:124-132.
- Mickleborough, T. D. and Fogarty, A. (2006). Dietary sodium intake and asthma: epidemiological and clinical review, *Int. J. Clin. Pract.*, 60: 1616-1624
- Pazır, F. (1996). Domates kurutulmasında tuz veya tuz+betabisülfid uygulaması, Ege Üniversitesi, *Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 14, 73-87.
- Ruusunen, M. ve Puolanne, E. (2005). Reducing sodium intake from meat products, *Meat Science*, 70: 531-541.
- Sanceda, N., Suzuki, E. and Kurata, T. (2003). Quality and sensory acceptance of fish sauce partially substituting sodium chloride or natural salt with potassium chloride during the fermentation process, *International Journal of Food Science and Technology*, 38: 435-443.
- Strain, J. J. and Cashman, K. D. (2009). Minerals and Trace Elements, *Introduction to Human Nutrition*, UK, 2:188-237.
- Tekgül, Y., Özcan, K.Ç, Baysal, T., Ergün, A.R. ve Bozkır, H., (2015). Investigating the Effects of Current and Wave Form of Electrical Pre-treatments on the Yield and Quality of Tomato Juice. *Int. J. Food Eng.* 11(4): 527–532.
- Tekgül, Y., Baysal, T., (2018). Comparative evaluation of quality properties and volatile profiles of lemon peels subjected to different drying techniques. *J Food Process Eng.* 41:e12902
- Uzun, N., Uzun, F., Karaçalı, İ. (2004). Güneşte Kurutulan Domatesin Değişik Koşullarda Saklanması Kalite Üzerine Etkileri, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 41 (3):67-75
- Vujovic, B. (2015). *Kuru Domates Üretiminde Farklı Sodyum Klorür ve Potasyum Klorür Oranlarının Depolama Süresince Bazı Kalite Özelliklerinin Değişimlerine Etkisi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (Yayımlanmamış).
- Vural, H. ve Duman, İ. (2000). Güneşte kurutulmuş domates üretimi ve bu üretimin sanayi domatesi üretimindeki yeri, *TİGEM Dergisi*, sayı 81.
- Yaldırak, G., Kolsarıcı, N., Babaoğlu, A. S., Demirel, H. D., Erdoğan, İ. ve Tunçer, M. (2012). Düşük Sodyum içerikli Tuz Kürü Hamsi Üretimi, Türkiye 11. *Gıda Kongresi*, Hatay, Türkiye.



The Effect of Different Processing Techniques in Production of Mulberry and Apricot Molasses (Pekmez)

Mehmet Beykaya¹, Nevzat Artık^{2*}

¹Ankara Yıldırım Beyazıt University, Vocational School, Veterinary Department, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0003-2594-5011) mb-kaya@hotmail.com

^{2*}Ankara University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0001-5583-6719) artik6226@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 28 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 4 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.798263)

ATIF/REFERENCE: Beykaya, M., Artık, N. (2020). The Effect of Different Processing Techniques In Production of Mulberry And Apricot Molasses (pekmez). *European Journal of Science and Technology*, (20), 587-601.

Abstract

In this study, molasses was produced from mulberry and apricot by use of processing techniques of battery, press, decanter-separator and horizontal press at the pilot plant level. Water-soluble dry matter (brix) and turbidity values were determined in the pomace of mulberry and apricot extracts obtained in the trials performed with each of the fruits. Hydroxymethylfurfural (HMF), ash, sediment and microbiological analyzes were carried out on mulberry and apricot molasses obtained from these extracts. In addition, raw material input rate, product output rate, process time, level of energy consumed and cost were calculated. Establishment of firstly the compliance of the molasses with the codex and then the cost lowness was taken into consideration when determining the optimum values. It was seen that the increase in temperature, amount of fruits and time resulted in increase in product output rate in battery processing technique, and that these increases were higher in mulberry when compared to apricot. When the product output rates of mulberry and apricot for battery processing technique were reviewed, it was seen that product output rate increased by the increase in temperatures, enzyme dose, fruit ratio and time, and this increase was much higher in mulberry. When the yield of decanter separator processing technique for both fruits were reviewed, it was found out that the yield parameters were associated with the feed rate of decanter separator rather than the water temperature, the enzyme dose and the fruit:water ratio used in extraction, and that the energy consumed increased as the raw material input rate increased and the process time decreased as the decanter feed rate increased. When the product output rates of mulberry and apricot for horizontal extraction processing technique were reviewed, it was seen that the horizontal extraction technique gave close values for both fruits, and that the extraction temperature and amount of fruit increased gradually. It was found out that the optimum conditions vary in the molasses production techniques used in this study, and the best method for production of mulberry and apricot molasses is the decanter separator processing technique. The optimization conditions for the production of mulberry and apricot molasses were established and it was tried to contribute to the molasses industry by the values obtained.

Keywords: Apricot, Molasses(Pekmez), Mulberry, Process, Techniq

Dut ve Kayısı Pekmezi Üretiminde Farklı İşleme Tekniklerinin Verimlilik Optimizasyonu

Öz

Bu araştırmada, dut ve kayısı meyvelerinden pilot tesis düzeyinde batarya, pres, dekantör- separator ve yatay pres işleme teknikleri kullanılarak pekmez üretimi yapılmıştır. Her meyve ile yapılan denemede elde edilen dut ve kayısı ekstraktının posasında, suda çözünür kuru madde (biriks) ve bulanıklık değeri ölçülmüştür. Bu şıradan elde edilen dut ve kayısı pekmezinde ise hidroksimetilfurfural (HMF), kül, tortu ve mikrobiyolojik analizleri yapılmıştır. Ayrıca hammadde girdi hızı, ürün çıktı hızı, proses süresi, harcanan enerji düzeyi ve maliyet hesaplanmıştır. Optimum değerler belirlenirken öncelikle pekmezin kodekse uygunluğu ile düşük maliyet durumunun saptanması göz önünde bulundurulmuştur. Batarya işleme tekniğinde dut ve kayısı pekmezinde artan sıcaklık, meyve miktarı ve sürenin ürün çıktı hızını artırdığı, dut meyvesindeki artışların kayısı meyvesinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Pres işleme tekniğine göre dut ve kayısı meyvelerinin ürün çıktı hızları incelendiğinde, artan sıcaklık dereceleri, enzim dozu, meyve oranı ve sürenin ürün çıktı

* Corresponding Author: artik6226@hotmail.com

hızını artırdığını bu artışın dut meyvesinde daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Her iki meyve için dekantör seperatör işleme tekniği verimleri incelendiğinde verim parametrelerinin ekstraksiyonda kullanılan suyun sıcaklık derecesi, enzim dozu ve meyve:su oranından çok dekantör seperatör besleme hızıyla ilişkili olduğu, dekantör besleme hızı artırılınca hammadde girdi hızı ile harcanan enerjinin artış gösterdiği ve proses süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Yatay ekstraksiyon işleme tekniğinde dut ve kayısı meyvelerinin ürün çıktı hızları incelendiğinde ise yatay ekstraksiyon tekniğinin diğer tekniklere göre her iki meyve için birbirine yakın değerler verdiğini, ekstraksiyon ısı derecesi ve meyve miktarının giderek arttığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada kullanılan pekmez üretim tekniklerinde, optimum koşulların değişkenlik gösterdiği, dut ve kayısı pekmezi üretimi için en uygun yöntemin dekantör seperatör işleme tekniği olduğu belirlenmiştir. Dut ve kayısı pekmezi üretiminde optimizasyon koşulları saptanmış ve elde edilen değerlerle pekmez endüstrisine katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pekmez, Dut, İşleme, Kayısı, Teknik

1. Introduction

Being one of our traditional foods and fruit utilization methods specific to our country, molasses(pekmez) is produced both industrially and by local production techniques in rural areas. The relevant TSE (Turkish Standard Institute) standard defines the molasses as "Grape, mulberry and fig molasses is a food product with thick viscosity obtained by decreasing the acidity with calcium carbonate or sodium carbonate without reducing the acidity of fresh or dried grape, mulberry, carob and fig extract, and then clarifying with tannins, gelatin and suitable enzymes, thickening under vacuum or in open top tank in accordance with the current technique, and finally mixing with addition of honey, chalk plant, milk, milk powder and egg white." (Anonymous, 1989; Anonymous, 1996; Anonymous, 1997; Anonymous, 2016).

Molasses is obtained from sugar products such as fresh or dried mulberry, fig, plum, apple, carob, wild pear, pear, cranberry, watermelon, Syrian juniper (*juniperus drupacea*), date, plum, apricot, sugar cane, sorghum, sugar beet and blackberry. The molasses content varies depending on the species, type, production conditions and processing techniques of the fruit it is produced (Figure 1). Although it varies depending on the fruit composition, the composition of molasses varieties mainly consists of carbohydrates (Kayahan, 1982; Şimsek and Artık, 2002; Koca et al., 2007; Alasalvar et al., 2005; Uçar, 2008). The basic carbohydrates contained in molasses, which is a good carbohydrate and energy source due the natural presence of sugar in its composition, are generally glucose and fructose, which constitute the main energy source. In addition, molasses has a high mineral substance content, and meets most of the calcium, iron, potassium and magnesium needs in particular (Simsek and Artık, 2002; Kolaylı et al., 2003; Şimşek et al.,2004; Koca et al., 2007; Uçar, 2008).

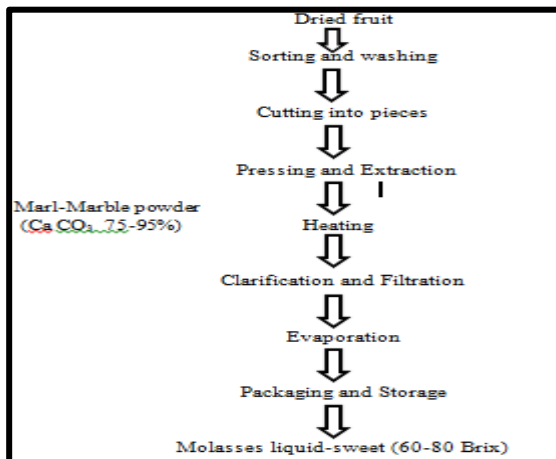


Figure 1. Stages of molasses(pekmez) production

In a study carried out to determine the compositions of grape, mulberry, fig and carob molasses produced widely in our country, the total dry matter (79%), water soluble dry matter (brix) (75%) fructose (34.42%), glucose (34.99%), total ash (3.83%), K, (978 mg/100g), P (87 mg/100g), Hunter L (19.33) and Hunter b (0.64) in grape molasses; total sugar (68.79%), formol number (11), sucrose (44.38%), alkali number (14.12) and Hunter a (0.68) in carob molasses, titration acidity (1.008%), HMF (33.6 mg / kg), ash alkalinity (27.32), Ca (562 mg/100g), Mg (94 mg/100g), Na (88 mg/100g), Fe (1.86 mg/100g), Mn (1.20 mg/100g), Zn (0.63 mg/100g) in fig molasses, and Cu (0.49 mg / 100g) and pH (5.56) in mulberry molasses were reported to be the highest values (Şimşek and Artık, 2002). In a study performed on Syrian juniper (*J. Drupacea*) molasses, molasses was found to be rich in some nutritional components such as sugar (34.97 g/100 g), ash (3.79 g/100 g), Ca, (1499 mg/kg), P (1445 mg/kg) and Zn (12.79 mg/kg) (Akıncı et al., 2004). Total sugar, protein, oil, ash, pectin, tannin and cellulose contents were found to range between 32.99-79.39%, 2-6.4%, 0.1-0.7%, 1.6-3.9%, 1.3-14.3%, 0.4-2.5% and 2.5-12.3% in the ripening period of 5 different commercial dates. The date is also a fruit with the highest K (402.8-1668.6 mg/100g) and lowest Na (1.5-9.4 mg/100g) contents (Al-Hooti et al., 1997).

Even though molasses has been produced for long years in Turkey, the production techniques have not changed greatly until 10-15 years ago, and the required technology has not been accessed sufficiently throughout the country yet. Molasses production under vacuum is required to be improved and made widespread in order to ensure safe and high-quality molasses production (Kayahan, 1982; Velioğlu and Artık, 1993). This is to avoid increase in the amount of HMF formed by overheating in the boiler.

Molasses is produced under vacuum in modern plants. Today, heat treatment at 67-70 °C and even lower temperatures under vacuum is possible in many modern plants. Since the heat treatment does not exceed 60-70 °C in molasses processed by modern method, the HMF (Hydroxymethylfurfural) content is minimized. Since burning and deterioration do not occur in sugar contained in the molasses composition, the molasses produced in this way has much more beneficial effects on health. In addition, there is no burnt taste and odor, and products with higher quality in terms of color are obtained (Kayahan, 1998; Artık et al., 2007; Uçar, 2008).

2. Material and Method

The mulberry and apricot used as raw material in the study were collected in accordance with the sampling requirements at the harvesting stage. The mulberry and apricot brought to Pilot Fruit Juice Processing Plant of Food Engineering Department of Ankara University and SEMAS Gıda Sanai were washed and

sorted in order to remove or minimize dust, soil, foreign matter, microorganism and pesticide residues on the fruits.

2.1. Mulberry and Apricot

Washed and sorted mulberry and apricot were then processed into molasses using 4 different (battery, press, decanter-separator and horizontal extraction) processing techniques at the pilot plant level of SEMAS Gıda Sanai and Ankara University. The conditions of the techniques used are as follows.

2.1.1. Battery Processing Technique

The battery transition time for this process was determined as 20, 25 and 30 minutes, while the water temperature used in extraction was determined as 50, 55 and 60 °C. Extraction of both fruits was used in such a way that it could weigh up to 170 kg, and maximum 110-160 kg mashed and non-mashed fruits was used for each battery.

2.1.2. Press Processing Technique

The pressing time for the trials on mulberry and apricot was 60, 120 and 180 minutes, and water temperature was 45 and 50 °C. The amount of mash enzyme used in the water-fruit mixtures prepared was 50 and 75 g/ton, and mash holding time was 60 and 120 minutes, while the fruit-water mixture ratios were 1:9, 2:8 and 3:7.

2.1.3. Decanter Separator Processing Technique

In the trials of Decanter Separator Processing carried out for mulberry and apricot at the pilot plant level, the water temperature was 45 and 50 °C, and the amount of mash enzyme ranged between 50 and 75 g/ton. Fruit-water mixture ratios of 1:9, 2:8 and 3:7, mash enzyme holding time of 60 and 120 minutes, and decanter feeding rate of 2 and 3 tons/hour were used in the trial. In addition, the decantation time varied depending on the feed rate.

2.1.4. Horizontal Extraction Processing Technique

In the trials of horizontal extraction processing used in the production of mulberry and apricot molasses, the water temperature was 50, 55 and 60 °C, and amount of fruits was 1250 and 2000 kg, while extraction time was 20, 25 and 30 minutes. The effect of particle size on extraction was determined by trials on mashed and non-mashed fruits.

2.2. Physical and Chemical Analyses

2.2.1. Water Soluble Dry Matter (Brix) Analysis

Water soluble dry matter (Brix) values of fruit pomace and molasses samples were found by digital refractometer (Hanna HI 96800) (Cemeroğlu, 2010).

2.2.2. Ash Determination

After the samples were weighed into crucibles, the crucibles were kept in the oven at 110 °C overnight, and then they were burnt in an oven at 520 °C for 5-6 hours until white ash was obtained, and cooled in the desiccator. Then, the amount of ash was calculated by weight loss (Cemeroğlu, 2010).

2.2.3. Turbidimeter Measurement

The pomace and turbidity value of the must obtained in the trial performed with mulberry and apricot was measured by WTW desktop Turb 550 IR (Measuring range: Fruit-water mixture ratios of 1:9, 2:8 and 3:7 were tested ± 0.01 NTU or $\pm 2\%$ of the measured value).

2.2.4. Amount of Sediment

The sedimentation was determined by taking the mixture, which was prepared by diluting the molasses at a ratio of 1/1, into laboratory tubes of 10 ml and centrifuging it for 15 minutes at 7000 rpm.

2.2.5. Analysis of Browning Level

Approximately 1.5 g of mulberry and apricot and samples of molasses produced therefrom were weighed into centrifuge tubes and brought to volume with 10 mL distilled water. After addition of 20 mL ethyl alcohol, the samples were homogenized by vortex, and then centrifuged (Sigma 2-6, Germany) at 2500 rpm for 5 minutes. After centrifugation, 5 mL of supernatant was taken, and mixed with 5 mL distilled water and 1 mL K₂S₂O₅, and then it was re-centrifuged for 5 minutes at 4000 rpm. It was let to rest for 20 minutes, and then the absorbance was measured by UV-VIS (Shimadzu UV mini-1240, Japan) spectrophotometer at 420 nm. The Abs value read was multiplied by the dilution factor, and calculations were made (Cemeroğlu, 2010).

2.2.6. Hydroxymethylfurfural (HMF) Analysis

The hydroxymethylfurfural reacted with p-toluidine and barbituric acid, and the absorbance of the red color formed by this reaction was measured by spectrophotometer at a wavelength of 550 nm. 1-gram mulberry and apricot molasses sample was diluted with distilled water at appropriate ratios, and then it was brought up to volume by addition of 2 mL Carrez I and Carrez II solutions, and mixed by vortex and filtered by Whatman 42 filter paper. 1 mL of filtrate was taken and 2.5 mL p-toluidine solution and 0.5 mL barbituric acid solution was added into it. The absorbance of homogenized samples was read by UV-VIS (Shimadzu UV mini-1240, Japan) spectrophotometer at 550 nm 1-2 minutes and compared to witness sample. The same procedures were applied for the witness sample. However, instead of barbituric acid, the same amount of distilled water was used in the mixture (Anonymous, 1972).

2.3. Microbiological Analysis:

Total mesophilic aerobic microorganisms were cultivated on Plate Count Agar (PCA-Merck 1.05463) by pouring method, and after incubation at 35-37 °C for 24 hours, colonies formed in this medium were counted (cfu/g). For yeast and mold counts, the colonies (cfu/g) formed after cultivation on Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar (DRB-Merck 1.00466) and incubation for 5 days at 22 \pm 20 °C were counted (Özbey et al., 2013).

2.4. Process Analyses

The raw material input rate, product output rate, process time and the level of energy consumed were determined.

2.5. Cost Analysis

The power cost was assumed as TL 0,05 for 1 kg molasses in calculation of unit cost. In addition, the coal spent for 1 kg molasses was calculated as 0.57 kg, and 1 kg coal was calculated over TL 0.47. The average personnel cost was taken as the average monthly cost of shift officers and maintenance/repair officers involved as part of the project. The unit costs were calculated by use of the cost of 1 kg molasses and the amount of molasses produced in the trial.

3. Result and Discussion

Mulberry and apricot were converted into mulberry and apricot molasses by different processing techniques under pilot plant conditions. Within the scope of this study, optimum values were chosen in each production, and firstly, the compliance of the molasses of that fruit with the Turkish Food Codex (TFC), and then the efficiency and cost lowness were taken into consideration. In addition, the value of brix in the fruit pomace is requested to be low in extractions. The turbidity of the must was measured by spectrophotometer at 420 nm transmittance; however, no applicable or repeatable results were obtained. Instead, it was decided to carry out turbidity analysis by turbidimeter.

For microbiological values, the upper limit of mesophilic aerobic microorganism count is 10.000 cfu/g, and 100 cfu/g for yeast-mold. Values higher than abovementioned microbiological values cause the mulberry and apricot molasses to ferment, that is

to say to degrade, while the values higher than 8.000 cfu/g and 80 cfu/g also pose a risk. For the processing techniques used in production, the raw material input rate and product output rate are requested to be high, while the process time, the energy consumed and the cost are requested to be low.

3.1. Battery Processing Technique

The product output rates of battery technique for mulberry and apricot molasses are shown in Table 1, the unit costs are shown in Table 2, and the changes in quality parameters are shown in Table 3 and Table 4. Table 1 shows that increased temperature and fruit amount also increased the product output rate, and these increases were higher than apricot in mulberry. It was determined that mashing and non-mashing of the fruits and increased times also act on product output rate.

Table 1. The product output rates in battery trials on mulberry and apricot

Type of Fruit	Temperature (°C)	Product Output Rates (kg/hour)					
		20 min		25 min		30 min	
		Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot
Non-mashed, 110 kg	50	188	23	169	21	169	20
	55	211	26	215	24	193	22
	60	211	26	215	24	193	23
Non-mashed, 160 kg	50	246		243		246	-
	55	308		312		281	-
	60	308		312		246	-
Mashed, 110 kg	50	211	63	188	61	169	63
	55	211	71	215	72	193	73
	60	211	76	215	75	193	76
Mashed, 160 kg	50	308	89	273	92	246	91
	55	308	103	312	101	281	110
	60	351	107	312	109	281	110

It was found out that mashing of mulberry and apricot has advantage over the product output rates especially for apricot. As a result, the highest product output rate for mulberry was achieved with a 160 kg mashed fruit capacity at a water temperature of 60 °C at the end of an extraction time of 20minutes, while optimum product output rate for apricot was achieved with 160 kg mashed fruit at a water temperature of 60 °C at the end of an extraction time of 30 minutes (Table 1).

The review of the unit costs of battery technique for mulberry and apricot showed that the reduction of battery capacity, which

means reduction of amount of fruit to be used in extraction, the use of mashed fruit or fruit that is cut into pieces and increasing the extraction time and the temperature of the water to be used for extraction decrease the unit costs. In discussion of the efficiency of the technique used in extraction, it is requested that the raw material input rate and product output rate are high, and the process time, the energy consumed and cost are low. In fact, it was found out that the unit cost decreased when the product output rate was high in obtaining mulberry and apricot molasses (Table 1 and 2).

Table 2. Unit costs of battery trials on mulberry and apricot

Type of Fruit	Temperature (°C)	Unit costs (TL/kg)					
		20 min		25 min		30 min	
		Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot
Non-mashed, 110 kg	50	0.343	0.644	0.310	0.643	0.283	0.631
	55	0.340	0.606	0.304	0.597	0.279	0.594
	60	0.340	0.606	0.304	0.597	0.279	0.581
Non-mashed, 160 kg	50	0.337		0.302	.*	0.273	-
	55	0.333		0.298	-	0.271	-
	60	0.333		0.298	-	0.271	-
Mashed, 110 kg	50	0.340	0.438	0.325	0.404	0.283	0.374
	55	0.340	0.423	0.304	0.387	0.279	0.358
	60	0.340	0.417	0.304	0.382	0.279	0.354
Mashed, 160 kg	50	0.333	0.403	0.300	0.364	0.273	0.337
	55	0.333	0.390	0.298	0.356	0.271	0.322

*No data was obtained.

In this trial, production of mulberry molasses by battery technique was tested firstly by 8 batteries for 20 minutes; however, as a result of the preliminary trial, it was seen that the microbial load exceeded the limit values. In addition, when the brix of the pomace was analyzed after each battery, it was observed that there was no change in brix after the 5th battery. Therefore, the trial was performed with 5 batteries for mulberry.

Table 3 shows the results of mulberry molasses produced in accordance with the battery system. Mashed mulberry processing results in high must turbidity and sedimentation, and the microbiological values exceed upper limits at 50 °C and HMF value increases at 60 °C. On the other hand, when the battery transition time is 30 minutes, the must turbidity exceeds the desired limits (Table 3).

Table 3. Results of battery trials on mulberry molasses

Fruit	Temperature (°C)	Time (min)	Quality Parameters						
			Pomace Brix	Must Turbidity	HMF (mg/kg)	Ash (%)	Sediment	Microorganism (Cfu/g)	
								Mesophile	Mold
Non-mashed, 110kg	50	20	0.9	3+	27	2.88	5+	11380	228
		25	0.9	3+	34	2.79	5+	11450	232
		30	0.8	3+	38	2.80	5+	11390	236
	55	20	0.8	2+	46	2.92	4+	7250	62
		25	0.7	2+	51	2.90	4+	7400	62
		30	0.7	3+	55	2.88	4+	7500	69
	60	20	0.8	1+	80	2.98	4+	4580	38
		25	0.7	2+	86	2.84	4+	4610	36
		30	0.7	3+	92	2.85	4+	4580	43
Non-mashed, 160kg	50	20	1.0	3+	29	2.86	5+	11360	234
		25	0.9	3+	37	2.14	5+	11310	246
		30	0.8	3+	46	2.84	5+	12000	241
	55	20	0.8	2+	48	2.89	4+	6900	67
		25	0.7	2+	48	2.24	4+	7510	57
		30	0.7	3+	51	2.93	4+	7104	67
	60	20	0.8	2+	81	3.01	4+	4610	41
		25	0.7	2+	81	2.27	4+	4680	30
		30	0.8	3+	99	2.81	4+	4380	39
Mashed, 110kg	50	20	0.8	6+	33	3.01	6+	11980	241
		25	0.8	6+	35	3.02	6+	12560	249
		30	0.8	6+	36	3.04	6+	12900	268
	55	20	0.8	5+	41	3.08	5+	8010	59
		25	0.7	5+	47	3.05	5+	890	69
		30	0.7	5+	51	3.06	5+	8260	71
	60	20	0.8	5+	77	3.10	5+	5100	42
		25	0.7	5+	73	3.09	5+	5260	47
		30	0.7	5+	76	3.12	5+	5310	53
Mashed, 160 kg	50	20	0.8	6+	37	2.98	6+	11990	247
		25	0.8	6+	39	3.04	6+	12080	251
		30	0.8	6+	46	3.07	6+	12140	249
	55	20	0.8	5+	39	3.05	5+	7950	73
		25	0.7	5+	41	3.06	5+	8390	75
		30	0.7	5+	48	2.99	5+	8430	69
	60	20	0.7	5+	73	3.08	5+	5220	49
		25	0.7	5+	77	3.00	5+	5170	53
		30	0.7	5+	69	3.01	5+	5260	58

The evaluation of both the product output rates and unit costs of the mulberry and apricot and the quality parameters showed that the optimum processing condition, which ensured the highest product output rate and lowest cost in the battery technique for mulberry with desired characteristics, was achieved at a water temperature of 55 °C with 160 kg of non-mashed fruit loaded in each battery and a battery transition time of 25 minutes.

The analysis results of battery trials on apricot molasses are shown in Table 4.

Since the pomace brix value was found to be higher than the expected in the trial performed with non-mashed apricot, the remaining trials were carried out only with mashed fruit. The microbiological values were high at 50 °C, and the HMF values were high at 60 °C. The optimum condition in battery technique for apricot, which ensured the highest product output rate and lowest cost and provided the molasses with desired characteristics, was achieved at a water temperature of 55 °C with 160 kg of mashed apricot loaded in each battery and a battery transition time of 30 minutes.

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi
 Table 4: Results of battery trials on apricot molasses

Fruit	Temperature (°C)	Time (min)	Quality Parameters					Microorganism (Cfu/g)	
			Pomace Brix	Must Turbidity	HMF (mg/kg)	Ash (%)	Sediment	Mesophile	Mold
Non-mashed, 110kg	50	20	9.8	-*	-	-	-	-	-
		25	9.6	-	-	-	-	-	-
		30	9.0	-	-	-	-	-	-
	55	20	8.9	-	-	-	-	-	-
		25	8.5	-	-	-	-	-	-
		30	8.1	-	-	-	-	-	-
	60	20	8.6	-	-	-	-	-	-
		25	8.4	-	-	-	-	-	-
		30	7.9	-	-	-	-	-	-
Mashed, 110kg	50	20	3.6	3+	28	2.98	3+	8270	118
		25	3.3	3+	30	2.98	3+	8320	120
		30	2.9	3+	30	3.01	3+	8420	105
	55	20	3.2	2+	39	2.57	2+	6280	82
		25	2.8	2+	43	2.55	2+	6170	78
		30	2.5	2+	45	2.60	2+	6660	87
	60	20	3.0	2+	68	2.55	2+	3900	33
		25	2.7	2+	71	2.53	2+	3785	36
		30	2.4	2+	69	2.58	2+	3415	43
Mashed, 160 kg	50	20	3.7	3+	29	3.00	3+	7350	110
		25	3.2	3+	32	2.99	3+	8010	130
		30	2.9	3+	38	2.97	3+	8320	119
	55	20	3.2	2+	39	2.61	2+	6190	73
		25	2.9	2+	47	2.61	2+	6240	64
		30	2.4	2+	49	2.75	2+	6510	71
	60	20	3.1	2+	70	2.51	2+	4370	49
		25	2.7	2+	68	2.49	2+	3820	44
		30	2.4	2+	68	2.53	2+	4020	49

*No data was obtained.

3.2. Press Processing Technique

When the product output rates of mulberry and apricot in press technique performed at pilot plant were reviewed, it was seen that increased water temperatures, enzyme dose, fruit ratio and time also increased the product output rate, and that this increase was much higher in mulberry (Table 5).

The unit costs of press trials on mulberry and apricot given in Table 6 shows that the unit costs are associated with the press output rates, and that the lowest unit costs were achieved at a water temperature of 50°C with 75 g/ton enzyme and a fruit:water mixture ratio of 3:7 and a holding time of 30 minutes for both fruits (Table 6).

Table 5. The product output rates in press trials on mulberry and apricot

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	Fruit:Water ratio (w/w)	Product Output Rates (kg/hour)					
			20 min		25 min		30 min	
			Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot
45	50	1:9	128	42	122	38	146	45
		2:8	171	80	171	73	293	87
		3:7	236	118	213	106	439	131
	75	1:9	128	46	142	47	183	51
		2:8	186	86	190	85	293	101
		3:7	279	125	256	120	419	143
50	50	1:9	146	58	142	96	183	112
		2:8	228	105	213	175	244	185
		3:7	278	150	320	250	366	277
	75	1:9	146	122	171	131	244	143
		2:8	256	200	244	229	293	242
		3:7	307	287	366	344	439	337

Table 6. Unit costs of press trials on mulberry and apricot

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	Fruit: Water ratio (w/w)	Unit costs (TL/kg)						
			20 min		25 min		30 min		
			Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot	
45	50	1:9	0.377	0.495	0.380	0.513	0.370	0.486	
		2:8	0.361	0.413	0.362	0.420	0.344	0.404	
		3:7	0.356	0.381	0.353	0.388	0.335	0.375	
	75	1:9	0.377	0.483	0.371	0.479	0.359	0.465	
		2:8	0.358	0.405	0.357	0.406	0.344	0.392	
		3:7	0.345	0.378	0.347	0.381	0.335	0.371	
	50	50	1:9	0.370	0.448	0.254	0.396	0.359	0.385
			2:8	0.351	0.389	0.353	0.351	0.348	0.358
			3:7	0.345	0.368	0.341	0.348	0.338	0.345
75		1:9	0.370	0.379	0.362	0.375	0.348	0.370	
		2:8	0.347	0.355	0.348	0.35	0.344	0.348	
		3:7	0.342	0.344	0.338	0.340	0.335	0.340	

Table 7 shows the analysis results of mulberry press technique, and Table 8 shows analysis results of apricot press technique. When the quality parameters of mulberry are reviewed, it is seen that the brix in pomace decreases and must turbidity, HMF, ash, sediment and total mesophile and mold amount increases when the water temperature, enzyme dose, fruit ratio and holding time increases. Another important result is that when the water temperature increases from 45°C to 50°C, total mesophile and mold amount decreases significantly.

As a result, taking into consideration the unit costs and that the microbiological values were above the upper limits in all trials performed at a water temperature of 45°C, the must turbidity and sediment were above the upper limits in the trials performed at a water temperature of 50°C with a pressing time of 120 and 180 minutes, and the must turbidity and sediment values were high in the trial performed by use of 75 g/ton enzyme and with a pressing time of 75 minutes, the optimum processing conditions in press technique for mulberry was achieved at a water temperature of

50°C by use of 50 g/ton enzyme with a fruit-water mixture ratio of 2: 8 and pressing time of 60 minutes.

The analysis results of press technique for apricot are shown in Table 8. Table 8 shows that the microbiological values are close to or higher than the upper limit in the trials performed at a water temperature of 45 °C, and the brix value of the pomace is higher than the expected. The must turbidity and sediment were higher than the upper limit in the trials performed at a water temperature of 50 °C. The must turbidity and sediment values were again higher in the trial performed by use of 75 g/ton enzyme with a pressing time of 120 minutes.

As a result, taking into consideration the high raw material input and low cost, the optimum processing conditions for apricot in press technique were achieved at a water temperature of 50°C with an enzyme amount of 75 g/ton, fruit:water mixture ratio of 3:7 and pressing time of 60 minutes.

Table 7. Results of mulberry press trial

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	Fruit: Water ratio (w/w)	Time (min)	Quality Parameters					Microorganism (Cfu/g)	
				Pomace Brix	Must Turbidity	HMF (mg/kg)	Ash (%)	Sediment	Mesophile	Mold
				45	50	1:9	60	0.8	4+	42	3.2	3+	12100	106
			120	0.7	5+	41	3.38	4+	12930	122
			180	0.5	6+	42	3.42	6+	13400	156
		2:8	60	1.2	5+	48	3.4	4+	12980	1.2
			120	1.0	6+	47	3.52	5+	13710	148
			180	0.5	7+	47	3.59	6+	13990	178
		3:7	60	1.3	5+	48	1.48	4+	13500	1.3
			120	1.2	6+	46	3.6	5+	13980	157
			180	0.5	7+	44	3.67	6+	14310	184
	75	1:9	60	0.8	5+	41	3.38	4+	12050	110
			120	0.6	6+	43	3.54	5+	13800	118
			180	0.4	7+	45	3.60	6+	13580	152
		2:8	60	1.1	6+	46	3.52	5+	12970	116
			120	0.9	7+	47	3.62	6+	14050	125
			180	0.5	8+	48	3.72	6+	14220	181
		3:7	60	1.1	6+	47	3.64	5+	13460	140
			120	1.0	7+	50	3.74	6+	14920	162

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	Fruit: Water ratio (w/w)	Time (min)	Quality Parameters						
				Pomace Brix	Must Turbidity	HMF (mg/kg)	Ash (%)	Sediment	Microorganism (Cfu/g)	
									Mesophile	Mold
50	50	1:9	180	0.5	8+	52	3.81	6+	14680	198
			60	0.7	4+	44	3.28	3+	5280	38
			120	0.6	7+	46	3.64	5+	5310	42
		2:8	180	0.4	8+	45	3.70	6+	5290	44
			60	0.9	4+	48	3.42	3+	5460	47
			120	0.8	7+	49	3.72	6+	5500	54
		3:7	180	0.6	8+	48	3.78	6+	5420	48
			60	1.1	6+	52	3.53	5+	5940	54
			120	0.8	7+	55	3.88	6+	6100	60
	75	1:9	180	0.6	8+	53	4.01	7+	5980	61
			60	0.7	5+	43	3.48	4+	5310	34
			120	0.5	8+	47	3.75	6+	5480	37
		2:8	180	0.3	9+	46	3.83	7+	5590	41
			60	0.8	6+	49	3.56	5+	5410	42
			120	0.7	8+	51	3.98	6+	5610	48
		3:7	180	0.5	9+	52	4.08	7+	5670	50
			60	1.0	6+	50	3.67	5+	5710	57
			120	0.7	8+	52	4.10	6+	5800	61
			180	0.5	9+	54	4.17	7+	5920	67

Table 8. Results of apricot press trial

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	Fruit: Water ratio (w/w)	Time (min)	Quality Parameters						
				Pomace Brix	Must Turbidity	HMF (mg/kg)	Ash (%)	Sediment	Microorganism (Cfu/g)	
									Mesophile	Mold
45	50	1:9	60	5.2	2+	32	2.75	2+	6800	91
			120	4.8	3+	34	2.81	2+	6850	93
			180	3.5	4+	36	2.85	3+	6910	97
		2:8	60	5.5	2+	33	2.82	2+	6950	97
			120	5.0	3+	36	2.89	2+	7010	99
			180	3.6	4+	39	2.92	3+	7060	104
		3:7	60	5.6	2+	38	2.84	2+	7210	103
			120	5.2	3+	41	2.93	2+	7270	104
			180	3.6	4+	44	2.97	3+	7480	109
	75	1:9	60	4.8	2+	34	2.79	2+	6810	90
			120	3.9	4+	35	2.76	3+	6960	103
			180	3.1	5+	37	2.81	4+	7040	106
		2:8	60	5.1	2+	36	2.83	2+	6890	95
			120	4.3	4+	38	2.85	3+	6970	107
			180	3.1	5+	41	2.88	4+	7240	112
		3:7	60	5.3	2+	37	2.86	2+	7040	102
			120	4.6	4+	39	2.88	3+	7150	112
			180	3.3	5+	47	2.89	4+	7290	128
50	50	1:9	60	3.8	2+	38	2.76	2+	5030	48
			120	1.9	3+	36	2.81	2+	5140	51
			180	1.4	5+	42	2.87	4+	5260	54
		2:8	60	4.2	2+	42	2.79	2+	5240	53
			120	2.1	3+	44	2.86	2+	5280	54
			180	1.7	5+	47	2.96	4+	5340	55
		3:7	60	4.4	2+	44	2.83	2+	5390	59
			120	2.2	3+	46	2.88	2+	5460	59
			180	1.7	5+	51	3.01	4+	5500	62
	75	1:9	60	1.8	2+	36	2.74	2+	5100	47
			120	1.4	4+	37	2.91	3+	5180	49
			180	1.1	6+	41	2.93	5+	5240	48
		2:8	60	2.2	2+	39	2.81	2+	5360	49
			120	1.6	4+	39	2.99	3+	5310	50
			180	1.3	6+	48	3.01	5+	5400	53
		3:7	60	2.3	2+	43	2.82	2+	5370	57
			120	1.6	4+	45	3.12	3+	5470	55
			180	1.4	6+	54	3.15	5+	5420	58

3.3. Decanter Separator Processing Technique

The trials were performed for mulberry and apricot at pilot plant level. In the trials, the water temperatures were 45 and 50 °C, the amount of mash enzyme was 50-75 g/ton, the fruit-water mixture ratios were 1: 9, 2:8 and 3:7, mash enzyme holding time was 60 and 120 minutes, and decanter feed rate was 2 and 3 tons /hour. The decantation time also varied depending on the feed rate.

Table 9 shows the yield of trials with decanter separator technique in terms of product output rates. The process time was calculated on the basis of decanter feed rate. The tank used in decanter separator trials was 8.000 kg. The amount of the fruit used was calculated accordingly over the fruit-water ratios, and this value was used in calculation of the raw material input rate. In the decanter separator trial, since 4 personnel worked throughout the trial, the energy consumed was calculated by the ratio of this figure to the process time. These are the amounts of molasses at the end of the process. The ratio of product output rate to raw material input rate shows the yield of the fruit in the trial performed.

Table 10 shows the unit costs. The unit costs of the decanter trial show that the increase in water temperature, enzyme dose, fruit rate and decanter feed rate for the mulberry and apricot resulted in decrease in unit costs. The unit cost values decreased from TL 0.957 TL/kg to TL 0.491/kg in mulberry, and from TL 1.227/kg to TL 0.526/kg in apricot.

Table 11 shows the yields of decanter separator technique for both fruits. Table 11 shows that the yield parameters are associated with the feed rate of the decanter separator rather than the temperature of the water used in extraction, enzyme dose or fruit:water mixture, and that the energy consumed increases as the raw material input rate increases and the process time decreases as the decanter feed rate increases.

Table 9. The product output rates in decanter separator trials on mulberry and apricot

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	Fruit: Water ratio (w/w)	Product Output Rate (kg/hour)				
			2 tons/hours		3 tons/hour		
			Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot	
45	50	1:9	47	33	55	41	
		2:8	72	62	91	77	
		3:7	102	87	122	109	
	75	1:9	50	35	61	42	
		2:8	81	63	95	79	
		3:7	107	90	132	114	
	50	50	1:9	65	43	73	52
			2:8	100	75	122	92
			3:7	128	104	173	131
75		1:9	65	47	78	59	
		2:8	114	83	122	102	
		3:7	142	115	164	144	

Table 10. Unit costs of decanter separator trials on mulberry and apricot

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	Fruit: Water ratio (w/w)	Unit Costs (TL/kg)			
			2 tons/hours		3 tons/hour	
			Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot
45	50	1:9	0.957	1.227	0.864	1.050
		2:8	0.734	0.801	0.647	0.706
		3:7	0.613	0.663	0.563	0.593
	75	1:9	0.917	1.176	0.811	1.030
		2:8	0.687	0.794	0.633	0.697
		3:7	0.598	0.562	0.545	0.580
50	50	1:9	0.779	1.026	0.727	0.894
		2:8	0.618	0.718	0.563	0.645
		3:7	0.552	0.606	0.491	0.548
	75	1:9	0.779	0.954	0.703	0.827
		2:8	0.580	0.679	0.563	0.613
		3:7	0.529	0.578	0.501	0.526

Table 11. The yield of decanter separator trial on mulberry and apricot

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	Fruit: Water ratio (w/w)	Decanter Feed rate (ton/hour)	Yield Parameters			
				Raw material input rate (kg/hour)	Process time (hour)	Energy Consumed (personnel/hour)	
45	50	1:9	2	133.3	6	0.67	
		2:8		267	6	0.67	
		3:7		400	6	0.67	
	75	1:9	2	133.3	6	0.67	
		2:8		267	6	0.67	
		3:7		400	6	0.67	
	50	50	1:9	3	171.3	4.67	0.86
			2:8		343	4.67	0.86
			3:7		514	4.67	0.86
75		1:9	3	171.3	4.67	0.86	
		2:8		343	4.67	0.86	
		3:7		514	4.67	0.86	
50	50	1:9	2	133.3	6	0.67	
		2:8		267	6	0.67	
		3:7		400	6	0.67	
	75	1:9	2	133.3	6	0.67	
		2:8		267	6	0.67	
		3:7		400	6	0.67	
	50	50	1:9	3	171.3	4.67	0.86
			2:8		343	4.67	0.86
			3:7		514	4.67	0.86
		75	1:9	3	171.3	4.67	0.86
			2:8		343	4.67	0.86
			3:7		514	4.67	0.86

Table 12 shows the analysis results of the decanter separator technique for mulberry molasses. Of the quality parameters, the brix of pomace slightly increased as the fruit:water ratio and feed rate increased and decreased as the enzyme dose and extraction temperature increased. It was seen that the must turbidity increased due to the increase in the fruit ratio, enzyme amount and extraction temperature. On the other hand, it was found out that

extraction at 50 °C resulted in lower pomace brix when compared to extraction at 45 °C, and decreased the total mesophile and mold amount, while increasing the must turbidity, HMF, ash and sediment amount. In addition, the increase in ash content, HMF, must turbidity, total mesophile and mold amount was mostly due to fruit ratio and extraction temperature.

Table 12. Results of decanter separator trials on mulberry

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	F:W ratio (w/w)	Decanter Feed rate (ton/hour)	Quality Parameters					Microorganism (Cfu/g)		
				Pomace Brix	Must Turbidity	HMF (mg/kg)	Ash (%)	Sediment	Mesophile	Mold	
45	50	1:9	2	1.8	6+	45	3.98	6+	11280	98	
		2:8		2.3	6+	48	4.04	6+	12020	112	
		3:7		2.5	7+	48	4.08	6+	12800	124	
	75	1:9	2	1.7	7+	44	4.01	7+	11850	92	
		2:8		2.1	7+	47	4.10	7+	11940	104	
		3:7		2.4	8+	51	4.13	7+	12380	131	
	50	50	1:9	3	2.0	6+	42	3.94	6+	11410	84
			2:8		2.4	6+	47	4.02	6+	11980	96
			3:7		2.7	6+	49	4.02	6+	12250	113
75		1:9	3	1.8	7+	43	3.98	7+	11360	90	
		2:8		2.3	7+	47	4.01	7+	12010	97	
		3:7		2.5	7+	48	4.04	7+	12150	128	
50	50	1:9	2	1.3	6+	49	4.00	6+	5350	42	
		2:8		1.7	7+	53	4.07	7+	5380	48	

75	3:7		2.0	7+	55	4.11	7+	5470	51
	1:9		1.3	7+	50	4.05	7+	5270	40
	2:8		1.5	8+	52	4.11	7+	5300	46
	3:7		1.8	8+	51	4.16	7+	5460	52
50	1:9	3	1.5	6+	48	4.00	6+	5280	41
	2:8		1.8	6+	54	4.02	6+	5320	44
	3:7		1.9	7+	54	4.08	7+	5350	44
75	1:9		1.4	7+	49	4.01	7+	5200	42
	2:8		1.8	8+	52	4.04	7+	5310	43
	3:7		2.0	8+	53	4.10	8+	5360	47

As a result, the microbiological values were above the upper limit in the trials performed at a water temperature of 45 °C by use of 50 and 75 g/ton enzyme. The trial with the lowest must turbidity and sediment value and lowest cost was found to have the optimum processing conditions for mulberry in decanter separator technique with a water temperature of 50 °C, mash enzyme of 50 g/ton, feed rate of 3 ton/hour and fruit-water mixture ratio of 2:8 (Table 12).

When the analysis results of decanter separator technique for apricot molasses was reviewed (Table 13), it was found out that similar to the mulberry molasses, the brix of pomace slightly increased by the increase in extraction temperature, fruit ratio and feed rate, and decreased by the increase in enzyme dose. The other fruit ratios of 2:8 and 3:7 and the mash enzyme of 75 g/ton was

found to result in high must turbidity and sediment values. However, it was found out that extraction at 50 °C resulted in lower pomace brix when compared to extraction at 45 °C, decreased the total mesophile and mold amount, while increasing the HMF and ash content. The increases in mesophiles and mold amount in process conditions were found to be due to fruit ratio and extraction temperature.

As a result, the trial with the lowest must turbidity and sediment value and lowest cost was found to have the optimum processing conditions for apricot in decanter separator technique with a water temperature of 50 °C, mash enzyme of 50 g/ton, feed rate of 3 ton/hour and fruit-water mixture ratio of 1:9.

Table 13. Results of decanter separator trials on apricot

Temperature (°C)	Enzyme dose (g/ton)	F:W ratio (w/w)	Decanter Feed rate (ton/hour)	Quality Parameters							
				Pomace Brix	Must Turbidity	HMF (g/kg)	Ash (%)	Sediment	Microorganism (Cfu/g)		
									Mesophile	Mold	
45	50	1:9	2	5.3	5+	35	2.89	5+	6530	95	
		2:8		5.9	6+	37	2.96	5+	6780	98	
		3:7		6.3	6+	39	3.01	5+	6830	101	
	75	1:9		5.3	6+	34	2.92	5+	6610	93	
		2:8		5.8	6+	35	3.01	6+	6740	99	
		3:7		6.1	6+	39	3.09	6+	6790	104	
	50	50	1:9	3	5.8	5+	34	2.80	5+	6590	96
			2:8		6.1	6+	36	2.93	5+	6710	93
			3:7		6.5	6+	35	2.98	5+	6840	102
75		1:9		5.6	6+	36	2.91	5+	6570	91	
		2:8		6.0	6+	32	3.02	6+	6700	102	
		3:7		6.2	6+	38	3.06	6+	6840	103	
50	50	1:9	2	4.3	5+	38	2.90	5+	4980	39	
		2:8		4.9	6+	41	2.98	5+	5120	46	
		3:7		5.3	6+	43	3.03	5+	5090	49	
	75	1:9		3.9	6+	35	3.06	5+	5160	44	
		2:8		4.4	6+	39	3.07	5+	5140	44	
		3:7		4.8	6+	37	3.12	6+	5280	50	
	50	50	1:9	3	4.5	5+	37	2.86	5+	5010	43
			2:8		5.1	6+	38	2.93	5+	5090	42
			3:7		5.4	6+	40	2.98	5+	5180	51
		75	1:9		4.0	5+	35	2.99	5+	5110	43
			2:8		4.6	6+	38	3.02	6+	5260	47
			3:7		4.9	6+	40	3.02	8+	5200	51

3.4. Horizontal Extraction Processing Technique

The trials were performed for mulberry and apricot at pilot plant level. The water temperatures used in these trials were 50°C, 55°C and 60 °C. The amount of fruits used in the trials was 1250 and 2000 kg. The extraction times used were 20, 25 and 30 minutes. The effect of particle size on extraction was measured by

trials on mashed and non-mashed fruits. As a result of the trials performed on fruit particle sizes with mashed and non-mashed fruits, it was seen that horizontal extraction system was not suitable for mashed fruit since the mashed fruit in the horizontal extraction system blocked the pores of the system and fruit juice could not be obtained.

The pomace brix and turbidity of the must obtained were measured. HMF, ash, sediment and microbiology analyses were performed on the molasses obtained from this must. The raw material input rate, product output rate, process time, level of energy consumed and cost values were calculated. Firstly, the compliance of the molasses with the codex and then the cost lowness were taken into consideration when determining the optimum values. In addition, the raw material input rate and product output rate are requested to be high, while the process time, the energy consumed and the cost are requested to be low.

Table 14 shows the product output rates of horizontal extraction trial. These are the amounts of molasses at the end of the process. When the product output rates of mulberry and apricot were reviewed, it was seen that the horizontal extraction technique gave close values for both fruits, and that the extraction temperature and amount of fruit increased gradually. However, these increases continued up to 30 minutes in mulberry, while a slight decrease was observed in apricot after an increase up to 30 minutes.

Table 14. The product output rates in horizontal extraction trials on mulberry and apricot

Fruit	Temperature (°C)	Product output rates (kg/hour)					
		20 min		25 min		30 min	
		Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot
Non-mashed, 1250 kg	50	213	183	250	185	254	179
	55	229	196	288	212	339	204
	60	229	196	288	215	339	211
Non-mashed, 2000 kg	50	267	280	302	277	371	269
	55	300	293	418	289	480	291
	60	307	293	462	295	509	293
Mashed, 1250 kg	50	-*	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-
	60	-	-	-	-	-	-
Mashed, 2000 kg	50	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-
	60	-	-	-	-	-	-

*No pertinent data was obtained.

Table 15 shows the yields of horizontal extraction trials on apricot. The calculation of process time was based on the extraction time, and the time for feeding of the fruit to the system was added. The raw material input rate was calculated according to the amount of fruit used. In the horizontal extraction trial, since 3 personnel worked throughout the trial, the energy consumed was calculated by the ratio of this figure to process time. The ratio of product output rate to raw material input rate shows the yield of the fruit in the trial performed. It was found out that the raw material input rate in horizontal extraction technique increases by the fruit amount and increased time, and that it does not change

by temperature, while the process time and the energy consumed change in connection with the time.

When the table giving the unit costs of horizontal extraction trial for mulberry and apricot was reviewed (Table 16), it was seen that the unit costs decreased as the extraction temperature and fruit amount decreased in horizontal extraction technique. The decreases observed in extraction time up to 30 minutes in mulberry were observed in apricot up to 25 minutes, and then it was fixed.

Table 15. Yield of horizontal extraction trial on apricot

Fruit	Temperature (°C)	Time (min)	Yield Parameters		
			Raw material input rate (kg/hour)	Process time (hour)	Energy Consumed (personnel/hour)
Non-mashed, 1250 kg	50	20	417	3	1
		25	385	3.25	0.92
		30	357	3.5	0.86
	55	20	417	3	1
		25	385	3.25	0.92
		30	357	3.5	0.86
	60	20	417	3	1
		25	385	3.25	0.92
		30	357	3.5	0.86
Non-mashed, 2000 kg	50	20	667	3	1
		25	615	3.25	0.92
		30	571	3.5	0.86
	55	20	667	3	1
		25	615	3.25	0.92

	30	571	3.5	0.86
60	20	667	3	1
	25	615	3.25	0.92
	30	571	3.5	0.86

Table 16. The unit costs in horizontal extraction trials on mulberry and apricot

Fruit	Temperature (°C)	Unit costs (TL/kg)					
		20 min		25 min		30 min	
		Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot	Mulberry	Apricot
Non-mashed, 1250 kg	50	0.342	0.345	0.338	0.345	0.338	0.346
	55	0.340	0.344	0.335	0.342	0.333	0.342
	60	0.340	0.344	0.335	0.341	0.333	0.342
Non-mashed, 2000 kg	50	0.337	0.336	0.334	0.336	0.331	0.337
	55	0.335	0.335	0.330	0.335	0.328	0.335
	60	0.334	0.335	0.329	0.335	0.328	0.335
Mashed, 1250 kg	50	-*	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-
	60	-	-	-	-	-	-
Mashed, 2000 kg	50	-	-	-	-	-	-
	55	-	-	-	-	-	-
	60	-	-	-	-	-	-

*No pertinent data was obtained.

When the conditions of horizontal extraction trial on apricot were reviewed (Table 17), it was seen that the brix of the must remaining in the pomace decreased and the must turbidity, HMF, ash, mesophiles and mold amount increased as the water temperature of extraction and time increased. It was found out that these values increased a bit more when the amount of fruit was

increased to 2000 kg in horizontal extraction technique. When evaluated with respect to food codex, microbiological values were close to the upper limit in the trials performed at a water temperature of 50 °C. The must turbidity was higher in the trials performed with an extraction time of 30 minutes.

Table 17. Analysis results of horizontal extraction trial on apricot

Fruit	Temperature (°C)	Time (min)	Quality Parameters					Microorganism (Cfu/g)	
			Pomace Brix	Must Turbidity	HMF (g/kg)	Ash (%)	Sediment	Mesophile	Mold
Non-mashed, 1250 kg	50	20	10.3	3+	28	2.68	2+	7280	98
		25	9.6	3+	30	2.71	2+	7420	102
		30	9.2	3+	32	2.74	2+	7940	104
	55	20	9.8	3+	34	2.76	2+	6820	76
		25	8.3	3+	34	2.79	2+	6880	78
		30	8.0	4+	38	2.80	3+	7020	76
	60	20	9.8	3+	37	2.78	3+	4950	54
		25	8.2	4+	42	2.82	3+	5010	57
		30	7.8	4+	49	3.10	3+	5100	61
Non-mashed, 2000 kg	50	20	10.8	3+	30	2.71	2+	7310	96
		25	10.1	3+	32	2.79	2+	7750	104
		30	9.8	3+	34	2.81	3+	7840	103
	55	20	10.3	3+	36	2.82	3+	6920	78
		25	9.8	3+	40	2.83	3+	7010	85
		30	9.0	4+	44	2.98	3+	7210	87
	60	20	10.3	4+	37	2.88	3+	5060	51
		25	9.6	4+	44	2.94	3+	5120	57
		30	8.9	4+	47	3.11	4+	5340	59

Therefore, the trial with the highest product output rate and lowest cost among the trials with the analysis results that are within the desired range for apricot was found to have optimum

parameters with 2000 kg non-mashed fruit, a water temperature of 55 °C and 20 minutes of extraction time for horizontal extraction technique.

4. Filtration Parameters

Decanter tank, separator, rotary drum filter and ultra-filter filtration techniques were used for the must and molasses obtained by optimum parameters in the battery, press, decanter separator and horizontal extraction techniques for mulberry and apricot, and the parameters giving the lowest must turbidity and molasses sediment were also examined. Each filtration technique was tested with batches of 10 tons, and the labor and material costs were calculated accordingly.

Non-presence of sediment in the molasses is the most important criterion when choosing the optimum values. It is followed by the cost of the technique. Turbidity values were obtained by sensory methods. The sedimentation was determined by taking the mixture, which was prepared by diluting the molasses at a ratio of 1/1, into laboratory tubes of 10 mL and centrifuging it for 15 minutes at 7000 rpm.

Of the four filtration techniques available in the pilot plant where the study was performed, only the separator is used for both must and molasses, while the decanter tank, rotary drum filter and ultra filter are used only for must. Therefore, four techniques were used for must, while one technique was tested for molasses depending on the turbidity of the must.

The amounts of the materials used in filtration techniques were in accordance with the experience of the pilot plant gained

over many years, and 35 kg calcium carbonate for apricot and 2 kg bentonite for each fruit were used in the decanter tank, and 25 kg kieselguhr and 200 kg perlite were used for a 10-ton batch of the rotary drum filter.

The labor costs of the techniques were calculated by the number of personnel working for a 10-ton batch and average hourly salary of shift officers and maintenance/repair officers involved in the project. The unit cost was calculated by proportioning the total cost of labor and materials to the batch tonnage.

The must turbidity of mulberry ranges between 2+ and 6+ in the four extraction techniques tested, while the must turbidity of apricot ranges between 2+ and 5+ in the four extraction techniques tested. Although the separator in mulberry and separator and decanter in apricot decreases the turbidity values, these cannot make it zero. The rotary drum filter is also not sufficient for must of both fruits with high turbidity. For a completely clear final product, a molasses separator should be used for both fruits after ultra-filter or a must filtration technique. (Table 19). In terms of unit costs, both must and molasses separation method are equivalent to the use of ultra-filter. It takes 10 hours for a batch of 10 tons to pass through the ultra-filter, while separation take 8 hours in total. Therefore, the optimum filtration method for mulberry and apricot is the separation of both the must and molasses (Table 19).

Table 18. Results of filtration techniques

Processing Technique	Must Turbidity	Must Output				Molasses Output
		Separator	Decanter tank	Rotary Drum Filter	Ultra Filter	Separator
Mulberry - battery	2+	2+	-	0	0	0
Mulberry - decanter sep.	6+	4+	-	1+	0	0
Mulberry - press	4+	3+	-	0	0	0
Mulberry - hor. extraction	3+	2+	-	0	0	0
Apricot - battery	2+	2+	2+	0	0	0
Apricot - decanter sep.	5+	3+	4+	1+	0	0
Apricot - press	2+	2+	2+	0	0	0
Apricot - hor. extraction	3+	2+	2+	0	0	0

Table 19. Unit costs of filtration techniques

Unit cost (TL/Kg)	Decanter tank	Separator	Rotary drum filter	Ultra filter
Mulberry	-	2.5	18.05	5
Apricot	23.02	2.5	18.05	5

5. Conclusion

It has been shown that extraction conditions such as water temperature, fruit amount, fruit:water ratio, time and enzyme amount beside the feed rate and capacity of the machine used play an important role on the quality in production of molasses from mulberry and apricot by use of battery, press, decanter separator and horizontal press processing techniques at pilot plant level.

It is possible to produce molasses(pekmez) by various techniques; however, the quality parameters set forth in Turkish Food Codex should be followed and a cost analysis based on raw

material input rate, product output rate, process time, the energy consumed should be carried out for determination of the best method and optimum conditions. Within the scope of this study, it has been determined that it is sufficient to check whether the pomace brix, turbidity and sediment amount as must quality parameters in the production of mulberry and apricot molasses, and HMF, mineral substance, sediment and microbiological analysis in the production of mulberry and apricot molasses comply with the limit values set forth in codex or not.

It was shown that the optimum conditions determined in this study vary depending on the molasses production techniques

used. Decanter separator processing technique was found to be the best method for production of mulberry and apricot molasses.

However, it was concluded that alone use of the battery, press, decanter-separator and horizontal press processing techniques utilized in the study is not sufficient in the production of mulberry and apricot molasses, and that it is better to include the filtration techniques in combination after production of must and molasses.

6. Acknowledge

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), Technology and Innovation Funding Programs Directorate (TEYDEB) as part of the project "**Optimization of Parameters for Molasses Processing from Various Fruits**" numbered 3130522. We would like to thank TUBITAK and SEMAS Gıda Sanai for their support to the studies.

References

- Akinci, I., Özdemir, F., Topuz, A., Kabaş, O. and Çanakçı, M. (2004). Some physical and nutritional properties of Juniperus drupacea fruits. *Journal of Food Engineering* 65, 325–331.
- Alasalvar, C., Al-Farsi, M., and Shahidi, F. (2005). Compositional characteristics and antioxidant components of cherry laurel varieties and pekmez. *Journal of Food Science*, 70(1), 47-52.
- Al-Hooti, S., Sidhu, J.S., and Qabazard, H. (1997). Physicochemical characteristics of five date fruit cultivars grown in the United Arab Emirates. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50, 101-113.
- Anonymous, (1972). Determination of hydroxymethylfurfural (HMF). *IFFJP Analyses*, 12,4p.
- Anonymous, (1989). Grape Molasses Standard. TS.3792., Turkish Standards Institution (TSE), Ankara.
- Anonymous, (1996). Mulberry Molasses Standard. TS.12001., Turkish Standards Institution (TSE), Ankara.
- Anonymous, (1997). Fig Molasses Standard. TS.12292., Turkish Standards Institution (TSE), Ankara.
- Anonymous, (2016). Carob Molasses Standard. TS.13717., Turkish Standards Institution (TSE), Ankara.
- Artık, N., Poyrazoğlu, E., and Şimşek, A. (2007). Üzüm Pekmezi, Zile Pekmezi ve Pestil Üretimi. Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Department of Publication, Publication Serial No: Gıda Serisi-9, Ankara.
- Cemeroğlu, B. (2010). Gıda Analizleri, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No: 34, Ankara, 657 p., ISBN 978-975-98578-6-8.
- Kayahan, M. (1982). Üzüm sırasının pekmeze islenmesinde meydana gelen terkip değişimleri üzerinde araştırmalar. A.U. Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, 797, 75p.
- Kayahan, M. (1998). Pekmez teknolojisi, Gıda Denetçisi Eğitim Materyali, T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Aydoğdu Ofset, Ankara, 389- 397.
- Koca, I., Koca, A.F., Karadeniz, B. and Yolcu, H. (2007). Karadeniz bölgesinde üretilen bazı pekmez çeşitlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 1-6.
- Kolaylı, S., Küçük, M., Duran, C., Candan F. and Dinçer, B. (2003). Chemical and antioxidant properties of *Laurocerasus officinalis* Roem. (Cherry Laurel) fruit grown in the Black Sea Region. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7489-7494.

- Özbey, A., Öncül, N., Erdoğan, K., Yıldırım, Z., and Yıldırım, M. (2013). Tokat Yöresinde Üretilen Çalma Pekmezin Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri.
- Şimşek, A. and Artık, N. (2002). Değişik meyvelerden üretilen pekmezlerin bileşim unsurları üzerine araştırma. *Gıda*, 6, 459-467.
- Şimşek, A., Artık, N and Başpınar, E. (2004). Detection of raisin concentrate (Pekmez) adulteration by regression analyses method. *Journal of Food Composition and Analysis* 17, 155–163.
- Uçar, A. (2008). Geleneksel Türk Tadı: Pekmez. 38. ICANAS Bildiriler. Maddi Kültür. III. Cilt. Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi, Ankara, 1383-1397.
- Velioğlu, S. and Artık, N. (1993). Bazı pekmez örneklerinin standarda (TSE 792) uygunluğunun belirlenmesi üzerine araştırma. *Standart*, 32(376): 51-54.



Zencefil ve Keten Tohumu Oleoresinlerinin Elde Edilmesi ve Ekstraksiyon Koşullarının Cevap Yüzey Yöntemi İle Optimizasyonu

Büşra Şahin¹, Seda Özgen^{1*}

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Çankırı, Türkiye (ORCHID:0000-0001-5019-6898), busra1894@hotmail.com

^{1*} Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Çankırı, Türkiye (ORCHID:0000-0001-9952-5015), sozgen@karatekin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 20 Nisan 2020 ve Kabul Tarihi 10 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.724113)

ATIF/REFERENCE: Şahin, B. & Ozgen, S., (2020). Zencefil Ve Keten Tohumu Oleoresinlerinin Elde Edilmesi Ve Ekstraksiyon Koşullarının Cevap Yüzey Yöntemi İle Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 602-613.

Öz

Günümüzde; hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde doğal yollarla alınan birtakım gıdaların etkili olduğunun bilimsel olarak ispatlanması, tüketicilerin bu gıdalara olan ilgisini ve bu gıdaların önemini arttırmıştır. Yapılan bilimsel çalışmaların sonuçları tüketicileri beslenme alışkanlıkları üzerinde düşünmeye ve düzenleme yapmaya itmiş ve yaygın olarak kullanılan sentetik katkı maddeleri hakkındaki düşüncelerini olumsuz etkileyerek doğal bitkisel kaynaklara yönlendirmiştir. Bu gelişmelerle birlikte, bitkilerden doğal antioksidanların elde edilip, geliştirilip ve çeşitlendirilmesi üzerine yapılan araştırmalar da hız kazanarak devam etmiş ve tıbbi ve aromatik bitkiler ile baharatlar, araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Sıvı baharat olarak bilinen oleoresinler, sahip oldukları fizyolojik aktiviteleri sayesinde, bazı tip kanserleri, kardiyovasküler hastalıkları ve yaşlanmayı önleyici etki göstermekte, bağışıklık sistemini güçlendirmekte, kolesterolü, tansiyonu ve kan şekerini düşürücü etki göstermektedir. Yapılan çalışmada ham ürüne göre üstünlükleri olan, fenolik ve yağ asitlerince konsantre edilmiş formda, hem gıda katkıları hem de fonksiyonel ürün olarak çeşitli amaçlarla kullanımları mümkün olan keten tohumu ve zencefil oleoresinleri elde edilmiş ve elde edilmesinde kullanılan solvent ekstraksiyonu koşulları optimize edilmiştir. Bu amaçla deney parametrelerine göre üç faktör-üç seviye Box-Behnken tepki yüzey deneme deseni oluşturularak ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon sıcaklığı, ekstraksiyon süresi ve örnek/çözücü oranı değişken parametre olarak belirlenmiştir. Bu değişken parametrelerin ekstraksiyon verimi, toplam fenolik madde miktarı ve radikal süpürücü güçleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu etkilerin değerlendirilmesinde ise; Design-Expert® yazılım programı kullanılmıştır. Zencefilden toplam fenolik miktarı, antiradikal aktivitesi ve ekstraksiyon verimi yüksek olan oleoresin elde edilmesinde; örnek çözücü oranı 1/40, sıcaklık 42,5°C ve ekstraksiyon süresi 22 dakika olarak optimize edilmiştir. Keten tohumundan elde edilen oleoresin için program cevaplarının maksimum değerde olduğu koşullar; örnek çözücü oranı 1/35, sıcaklık 41,3°C ve ekstraksiyon süresi 27 dakika olarak optimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Oleoresin, Zencefil, Keten Tohumu, Cevap Yüzey Yöntemi.

Isolation of Ginger and Flaxseed Oleoresins and Optimization of Extraction Conditions by Response Surface Methodology

Abstract

Today, scientific proof that certain foods taken by natural means are effective in the prevention and treatment of diseases has increased consumers' interest in these foods and the importance of these foods. The results of scientific studies have led consumers to think about and regulate their eating habits and directed them to natural herbal sources that have negatively affected their thinking about widely used synthetic additives. With these developments, research on the acquisition, development and diversification of natural antioxidants from plants continued to increase, and medicinal and aromatic plants and spices became the focus of research. Oleoresins, known as liquid spices, have physiological activities that prevent certain types of cancers, cardiovascular diseases and aging, strengthen the immune system, cholesterol, blood pressure and blood sugar lowering effect. In the study, linseed and ginger oleoresins, which are superior to raw products, are obtained in phenolic and fatty acids concentrated form, which can be used for various purposes as both food additives and functional products, and the solvent extraction conditions used in their production were optimized. For this purpose, Three Factor-three Level Box-Behnken surface test pattern was created according to the test parameters and extraction process was performed. Extraction temperature, extraction time and sample/solvent ratio were determined as variable

* Sorumlu Yazar: ^{1*}Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Çankırı, Türkiye (ORCHID:0000-0001-9952-5015), sozgen@karatekin.edu.tr

parameters. The effect of these variable parameters on extraction yield, total amount of phenolic and radical scavenger powers were studied. In the evaluation of these effects; Design-Expert ® software program was used. The total phenolic content, antiradical activity and extraction yield of flax seed were optimized for high oleoresin; sample solvent ratio was 1/35, temperature 41.3°C and extraction time was also 27 minutes. In ginger, the conditions in which the program responses are maximum are optimized; sample solvent ratio is 1/40 temperature 42.5°C and extraction time is 22 minutes.

Keywords: Oleoresin, Ginger, Flax Seed, Response Surface Methodology.

1. Giriş

Bitki ve baharatlardan; kendine özgü tat ve aromaları, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri nedeniyle geniş biyoaktif etkinliğe sahip olan sarımsak, kekik, kırmızıbiber, zencefil, keten tohumu gibi ürünler gıda endüstrisinde biyo-fonksiyonel ürünlerin üretiminde kullanılan hammaddelerdendir. Bu gibi terapötik özellik gösteren birçok bitki ve baharat türünden eski çağlardan beri halk ilacı olarak çeşitli hastalıkların tedavisinde yararlanılmıştır. Günümüzde ise bu bitki ve baharatlar tıp, eczacılık, gıda endüstrisi ve kozmetik sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır.

Zencefil, karakteristik tat ve keskin aroması nedeniyle, dünya çapında baharat ve gıda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Zencefil ayrıca güçlü bir antioksidan madde olup, serbest radikallerin oluşumunu azaltıp önleyebilir özelliğindedir. Bu nedenle, tıbbi değeri giderek artmaktadır. Zencefilde bulunan en önemli aktif maddeler 6-gingerol ve 6-paradol bileşimleridir (Yeh ve ark., 2014; Zancan ve ark., 2002). Keten (*Linum usitatissimum*), ve tohumları çok eski dönemlerden beri çeşitli amaçlar ile kullanılmaktadır. Tarihte Romalılar, Yunanlılar ve Mısırlılar keten tohumunu sindirim sistemi ve bazı hastalıkların tedavisi için kullanmışlardır. Bu zamana kadar ekmek, makarna, kekler, bageller, kurabiye ve kek gibi çeşitli hububat bazlı ürünlerin kalitesini arttırmak için kullanılmıştır (Hao ve Beta, 2012; Kajla ve ark., 2015; Mercier ve ark., 2015).

Serbest radikallerin biyomoleküllere oksidatif hasar verdiğine ve kardiyovasküler hastalık, yaşlanma, kanser, enflamatuar hastalıklar ve diğer çeşitli bozukluklarda önemli bir rol oynadığına dair önemli kanıtlar vardır (Noguchi ve Nikki, 2000). Serbest radikalleri temizleyen moleküllerin artık serbest radikal aracılı hastalık koşullarında önleyici ve terapötik potansiyele sahip olduğu bilinmektedir (Visioli ve ark., 2001). Zencefilin ve keten tohumunun antioksidan etkisi, toksisiteye karşı koruyucu eylemler için olası en önemli mekanizmalara örnek olarak önerilmiştir. Son zamanlarda, bu kaynaklardaki aktif bileşenlerin güçlü anti-enflamatuar ve anti-apoptotik etkilere ek olarak hem in vivo hem de in vitro güçlü antioksidan etki ile donatıldığı gösterilmiştir (Maizura ve ark., 2011; Scalbert ve ark., 2005).

Oleoresinler, kurutulmuş veya öğütülen baharatın uygun bir organik çözücü yardımıyla ekstrakte edilmesi ve sonrasında çözücünün uzaklaştırılması ile elde edilen sıvı baharatlardır. Son derece yoğun, viskoziteleri yüksek olan oleoresinler reçinemi yapıda ve koyu renklidirler. Oleoresinleri “yağ-reçine karışımı”, “sıvı baharat”, “baharat damlası” olarak tanımlamak da mümkündür. Reçine kavramı, baharatın uçucu yağ dışında kalan ve ekstrakte edilebilen tüm bileşenlerini kapsamaktadır. Oleoresin eldesinde uygun çözücü seçimi oldukça önemlidir. Oleoresinler yüksek kaynama noktalı ve uçucu olmayan bileşenler de içerdiği için esansiyel yağlardan ayrılabilirler (Küçüközet ve Uslu 2018). Gerçek baharat özlerinin konsantrasyonundan oluşan oleoresinler, uçucu bileşiklerin yanı sıra uçucu olmayan bileşikler de içermektedir. Uçucu olmayan bileşikler izole edildiğinde karatenoid, steroid, alkaloid, antosiyanin, glikozid gibi farklı kimyasal bileşenler de oleoresin içinde yer almaktadır. Bu farklı fraksiyonlarda ürünün antioksidan özelliği ve biyoaktivitesine katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla oleoresinler bir baharatın tüm lezzet özelliklerini taşıdığı için baharat esansiyel yağlarına ve toz baharatlara göre daha avantajlı kullanım alanı sağlamaktadır (Ponce ve ark., 2008). Özellikle solvent ekstraksiyonu ile elde edilen oleoresinler, taze baharatlara daha yakın özellikler göstermektedirler. Bu durum oleoresini, gıda endüstrisinde kullanılmak üzere en uygun ve doğal katkı maddesi yapmaktadır. Ayrıca son üründe daha iyi bir dağılım sağlar ve daha az depolama alanı gerektirir (Shaikh ve ark., 2006; Kanakdande ve ark., 2007; Küçüközet and Uslu 2018).

Ceviz yeşil kabuğundan ultrases yardımıyla fenolik madde ekstraksiyonunda optimizasyon yapılmış, ekstraksiyon koşulları etanol konsantrasyonu, sıcaklık ve ultrases genliği olarak belirlenmiştir (Sarıtaş, 2018). Araştırmacılar, keten tohumu yağını, süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu ile ekstre etmiş ve ekstraksiyon kinetiği difüzyon kontrol yöntemi ile modellemiştir (Hoşgün, 2013). Ekstraksiyon verimi (%) üzerine en fazla sırasıyla basınç, akış hızı ve sıcaklık etki etmiştir. Bir diğer çalışmada *Dulavratotunun (Arctium lappa L.)* mikrodalga destekli ekstraksiyonunda optimum çalışma koşulları, cevap yüzey metodolojisi kullanılarak belirlenmiştir. Toplam antioksidan kapasite ve toplam fenolik içeriği üzerine ekstraksiyon sıcaklığının tüm operasyonel parametreleri arasında en önemli faktör olduğu bulunmuştur (Bekdeşer 2017). Geleneksel yöntemler (Eliasson ve ark, 2003; Johnsson ve ark, 2000), mikrodalga destekli ekstraksiyon (Fliniaux ve ark, 2014; Beejmohun ve ark, 2007; Zhang ve ark, 2009), veya enzimatik destekli ekstraksiyon (Milder ve ark, 2004; Renouard ve ark, 2010) kullanılarak değerli keten tohumu bileşiklerinin ekstraksiyonunu ve analizini optimize etmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yine birçok çalışma da (Chan ve ark 2007; Ding ve ark., 2012; Yeh ve ark., 2014) kullanılan ekstraksiyon yöntemi ve çözücünün; zencefilde ekstrakt kalitesini, antioksidan aktivite ve toplam fenolik içeriklerini değiştirebileceği gösterilmiştir.

Günümüzde çeşitli proseslerde en yüksek verimin en ekonomik şekilde elde edildiği koşulların belirlenmesi için yapılan optimizasyon yöntemleri bilimsel çalışmalar ve mühendislik problemlerinin çözümünde araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Matematiksel modellerin ve istatistiksel analiz yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bu modelleme teknikleri ile, yapılan deney sayıları azaltılmakta ve proseslerin kontrolü de kolay olmaktadır. Tepki Yüzey Metodu (Response Surface Methodology, RSM) ile araştırmacılar tüm denemeyi temsil edecek biçimde daha az deneme ünitesi ile daha hızlı bir biçimde sonuca ulaşabilmektedirler. Tepki yüzeyi metodu proses girdileri ile çıktıları arasındaki ilişkileri matematiksel modeller ile ortaya koymaktadır (Montgomery, 2001).

Her ne kadar zencefil ve keten tohumu ile ilgili çalışmalar olsa da, zencefil ve keten tohumu oleoresinlerinin ekstraksiyonu, ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi ve ekstrakte edilen bu oleoresinlerin biyolojik aktivitesinin araştırıldığı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. İçerisinde yeni teknolojilerin de bulunduğu biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu ile ilgili araştırmalar da giderek artmaktadır. Bu çalışmanın amacı ise, keten tohumu ve zencefilde yüksek biyoaktiviteye sahip oleoresinlerin ekstraksiyonu için

uygun koşulları tepki yüzey metodu kullanarak belirlemektir. Bu kapsamda DESIGN EXPERT v.11.0 yazılımı deneme sürümü kullanılmıştır. Deney parametrelerine göre de üç faktör-üç seviye Box-Behnken tepki yüzey deneme deseni oluşturularak ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ekstraksiyon aşamasında ekstraksiyon sıcaklığı, ekstraksiyon süresi ve örnek/çözücü oranı değişken parametre olarak belirlenmiştir ve bu değişken parametrelerin ekstraksiyon verimi, toplam fenolik madde miktarı ve radikal süpürücü güçleri üzerine etkisi incelenmiştir ve ekstraksiyon işlemi optimize edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Yapılan çalışmada bitkisel hammadde kaynağı olarak yerel piyasadan temin edilen zencefil ve keten tohumu kullanılmıştır. Yapılan literatür incelemelerine dayanarak hammadde kaynağı taze zencefilin dondurularak kurutulması planlanmıştır (Guinea ve ark., 2012). Taze olarak temin edilen ve ortalama % 90 nem içeriğine sahip zencefil küçük parçalar halinde liyofilizatörde (Labconco Freezone 2.5, Amerika) -52 °C'de vakum altında dondurularak kurutulmuştur. Keten tohumu ise kuru halde satın alınmıştır. Sabit tartıma gelip gelmediği test edilmiştir. Kullanılacak olan hammaddeler öğütülerek, +4°C'de analiz edilinceye kadar depolanmıştır. Kullanılan tüm kimyasallar, reaktifler ve solventler ise analitik saflıkta olup Merck, Sigma ve Carlo Erba firmalarından temin edilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Ekstraksiyon İşlemi ve Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu

Sunulan çalışmada organik çözücülerle yapılan ekstraksiyon yönteminde 2013/45 tarihli 28739 numaralı resmi gazetede yayınlanan 'Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerinin ve Gıda Bileşenlerinin Üretiminde Kullanılan Ekstraksiyon Çözücüleri Tebliği'ne göre seçilen ve gıdalarda kullanılmasına izin verilen organik çözücüler kullanılmıştır. Yapılan literatür incelemesine de dayanarak kurutulmuş zencefil ve keten tohumu oleoresinlerinin elde edilmesinde çözücü olarak etanol, aseton ve etil asetat kullanılmış ve yapılan ön denemeler ile kullanılacak çözücü ve oranları belirlenmiştir.

Bir bileşiğin ekstraksiyonu bitki materyalinin doğrudan ekstraksiyon çözücüsü ile polarite eşleşmesi ile ilgilidir. Ön denemelerde elde edilen ekstraksiyon verimi ve oleoresinin radikal süpürücü gücü göz önüne alındığında; zencefil oleoresinlerinin eldesi için; sırasıyla %40-%40-%20; etanol, etil asetat ve aseton karışımının, keten tohumu oleoresinleri eldesi için ise; %50 etanol-etil asetat karışımı organik çözücü olarak kullanılmıştır. Öğütülen örnekler farklı oranlarda (mL solvent/g bitki) solvent ile karıştırılmış ve farklı sıcaklık ve sürelerde ekstraksiyona tabi tutularak ekstraksiyon koşulları optimize edilmiştir. Ekstraksiyon süresi sonunda örnekler önce santrifüj (5000 rpm'de 10 dakika) sonra da filtre edilerek ekstraktlar elde edilmiş, solvent karışımı rotary evaporatörde uzaklaştırılmış ve elde edilen oleoresinler -18°C'de muhafaza edilmiştir.

2.2.2. Deneysel Tasarım ve Cevap Yüzey Metodu (Response Surface Methodology-RSM) ile Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu

Keten Tohumu ve zencefil oleoresinlerinin ekstraksiyonunda bağımsız değişkenler için belirlenen değer aralıklarının seçiminde örnek/çözücü oranı, sıcaklık ve süre optimize edilmiştir.

Deneme tasarımı seçerken ya 1. ya da 2. dereceden polinomiyal denklem kullanılmaktadır. Yanıt doğrusal ise 1. dereceden değil ise 2. dereceden polinomiyal sistemler kullanılabilir. 2. dereceden polinomiyal model eşitliği Eşitlik 1 deki gibidir. β_0 , β_1 , β_{ii} ve β_{ij} sabit, doğrusal terimlerin, karesel terimlerin ve interaksiyon terimlerin regresyon katsayılarıdır, X_i ve X_j bağımsız değişkenlerin kodlarıdır.

$$Y = \beta_0 \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

Bu denkleme göre 3 bağımsız değişken için modelin verdiği cevap için denklem ise aşağıda verildiği şekliyledir. Model uygunluğu testi ise (lack of fit) elde edilen verilerin regresyon modele uygunluğunun test edilmesi ile elde edilmektedir. Eşitlik 2'de Y bağımlı değişkenleri (ekstraksiyon verimi, toplam fenolik miktarı ve antioksidan aktivite) β_0 sabit, β_1 , β_2 ve β_3 lineer terimleri, β_4 , β_5 ve β_6 kuadratik terimleri ve X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. Design-Expert 10 (Stat-Ease Inc., Minneapolis) programı elde edilen dataların regresyon ve grafiksel analizi için kullanılmıştır. Oleoresin ekstraksiyonu için denenen bağımsız değişkenlerin değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

$$Y = f(x) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1^2 + \beta_5 X_2^2 + \beta_6 X_3^2 + \beta_7 X_1 X_2 + \beta_8 X_1 X_3 + \beta_9 X_2 X_3 \quad (2)$$

Tablo1. Oleoresin ekstraksiyonunda beirlenen bağımsız değişkenler

Bağımsız Değişkenler	RSM Seviyeleri		
	-1	0	1
Sıcaklık (°C)	30	40	50
Süre (dk)	10	20	30
Örnek/çözücü oranı	1/10	1/30	1/50

Ekstraksiyon Verimi

Ekstraksiyon işleminden sonra, ekstraktlar 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir ardından filtre edilmiştir. Elde edilen oleoresinden rotary evaporatör kullanılarak çözgen tamamen uzaklaştırılmıştır. Oleoresinlerin ekstraksiyon verimi gravimetrik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen ekstraktlar daha sonraki analizler için buzdolabı koşullarında saklanmıştır. Önerilen deney tasarımına göre elde edilen; 2 g toz zencefile ait oleoresinlerin 6 mL metanoldeki çözeltisi ile 2 g keten tohumuna ait oleoresinlerin 3 mL metanoldeki çözeltisi stok ekstraktlar olarak kullanılmıştır ve ilgili diğer analizlerin tamamı bu ekstraktlarda gerçekleştirilmiştir.

Antiradikal Aktivitenin Belirlenmesi

Antiradikal aktivite; DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) yöntemine göre belirlenmiştir. Yöntem radikal karakteristlik mor renginde meydana gelen renk değişikliğinin spektrofotometre ile ölçülmesi esasına dayanır. Antiradikal aktivite tayini Brand-Williams ve ark. (1995) tarafından önerilen yöntemde bazı değişiklikler uygulanarak yapılmıştır. Hazırlanan zencefil stok çözeltileri için, 10 µl örnek almarak üzerine 6 ml 0,1 mM DPPH radikali eklendikten sonra vorteks ile karıştırılıp oda sıcaklığında, karanlıkta 30 dakika bekletilmiştir. Hazırlanan keten tohumu stok çözeltileri için, 100 µl alınarak üzerine 3 ml 0,1 mM DPPH radikali eklendikten sonra vorteks ile karıştırılıp oda sıcaklığında, karanlıkta 30 dakika bekletilmiştir. Aynı işlem ekstre yerine çözücü içeren kör örnek için eş zamanlı olarak tekrarlanmıştır. Örneklerin absorbans değerleri 517 nm dalga boyunda spektrofotometre de (Agilent, Carry 60 UV-Vis, Amerika) okunmuş her bir örnek için ölçümler 4 kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Ekstre çözeltilerinin serbest radikal temizleyici etkisi DPPH absorpsiyonunun % inhibisyonu olarak belirtilmiştir. Bu değer aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Antiradikal Aktivite (\% İnhibisyon)} = 100 \times (1 - \frac{\text{Örnek Çözelti Absorbansı}}{\text{Kör Çözelti Absorbansı}}) \quad (3)$$

Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi

Zencefil ve keten tohumu için toplam fenolik madde miktarı Singleton and Rossi (1965) tarafından önerilen kolorimetrik bir yöntem olan Folin-Ciocalteu yöntemi üzerinde bazı modifikasyonlar yapılarak belirlenmiştir. Zencefil oleoresin örnekleri için, 2400 µl saf su, 30 µl ekstrakt, 2 N 200 µl Folin-Ciocalteu fenol ayırıcı, 600 µl %20' lik doymuş Na₂CO₃ çözeltisi ve 770 µl saf su ilave edilip karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında, karanlık bir ortamda 120 dakika bekletilmiştir. Keten tohumu oleoresin örnekleri için de, 2400 µl saf su, 50 µl ekstrakt, 2 N 200 µl Folin-Ciocalteu fenol ayırıcı, 600 µl %20' lik doymuş Na₂CO₃ çözeltisi ve 750 µl saf su ilave edilip karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında, karanlık bir ortamda 120 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda örneklerin absorbansı 765 nm dalga boyunda spektrofotometrede (Agilent, Carry 60 UV-Vis, Amerika) ölçülmüştür. Sonuçlar gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak hesaplanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yüksek oranda fenolik ve antioksidan aktivite içeren zencefil ve keten tohumu oleoresinlerin ekstraksiyonunda proses faktörlerinin (sıcaklık, süre ve çözücü oranı) oleoresinlerdeki toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve ekstraksiyon verimine etkisi yanıt yüzey metodolojisi ile Box- Benkhen tasarımı ile incelenmiştir. İncelenen koşullar ve elde edilen veriler Design Expert yazılımı tarafından analiz edilerek önerilen uygun fonksiyonlar belirlenmiştir. Bu belirleme yapılırken "Lack of fit" testleri yapılmış, her bir fonksiyon için standart sapma, R² (R-squared), düzeltilmiş R² ve öngörülen R² değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu değerler karşılaştırılarak en uygun fonksiyon yazılım tarafından belirlenmiştir.

3.1. Ekstraksiyon Verimi

Uygulanan ekstraksiyon sıcaklığı, ekstraksiyon süresi ve çözücü oranında yanıt yüzey yöntemi ile yapılan deneme desenine göre elde edilen cevap (oleoresinlerin ekstraksiyon verimi) üzerine etkisini ortaya koyan polinomial modele ait eşitlik, ANOVA tablosu ve yanıt yüzey grafikleri tablo ve şekillerde verilmektedir.

Zencefil ve keten tohumu için ayrı ayrı uygulanan Box- Benkhen tasarımında, doğrusal, kübik, kuadratik ve iki faktörlü etkileşim modelleri incelenmiştir. İnceleme neticesinde ekstraksiyon koşullarında her iki örnekte de elde edilen verileri en iyi açıklayan modelin kuadratik model olduğu belirlenmiştir. Bu modele ait varyans analiz sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Buna göre modele ait *p*-değerinin 0.05'den küçük olması ve uyum eksikliğinin önemsiz çıkması kuadratik modelin deneysel verilerle tatmin edici düzeyde uyumlu olduğunu göstermektedir.

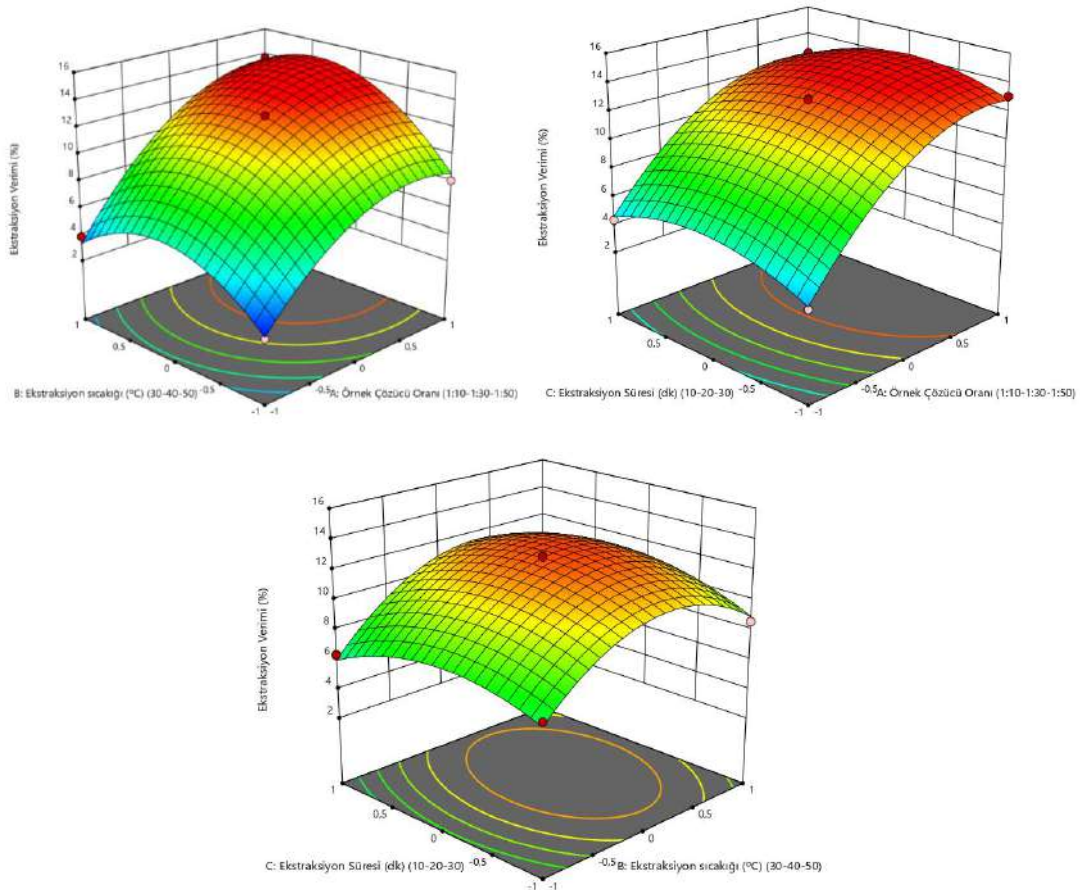
Tablo 2. Zencefil oleoresinlerinin ekstraksiyon verimine ait ANOVA Çizelgesi

Kaynak Source	Kareler toplamı Sum of squares	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Karelerin ortalaması Average of squares	F-değeri F-value	p-değeri p-Value
Model Model	228,95	9	25,44	106,90	< 0,0001 Önemli
Residual Residual	1,72	5	0,3438		
Uyum Eksikliği Lack of fit	1,15	3	0,3825	18,06	0,0529 Önemsiz
Hata Pure error	0,0424	2	0,0212		
Genel Total	230,13	14			

R²: 0.9948 Adj R²: 0.9855 C.V. % : 5.56

Zencefilden oleoresinlerin ekstraksiyonunda model çıktısı ANOVA tablosu (Tablo 2) ve ekstraksiyon verimi üzerine sıcaklık, süre ve çözücü miktarının etkisini gösteren cevap yüzey grafikleri (Şekil 1) incelendiğinde toplam ekstraksiyon verimi üzerine, örnek çözücü oranı en etkili ($p < 0.0001$) parametre olmuştur ve sıcaklık da yine istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bir parametre olarak bulunmuştur. Ekstraksiyon süresi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Regresyon analizi sonucunda ekstraksiyon veriminin (Y) hesaplanması için oluşturulan kuadratik polinomial denklem ise aşağıda gösterilmiştir.

$$Y = 12.80 + 4.18A + 1.53B + 0.0512C + 0.9550AB - 0.2812AC + 0.5162BC - 2.71A^2 - 3.17B^2 - 1.66C^2 \quad (4)$$



Şekil 1. Zencefil oleoresinlerinin ekstraksiyon verimine ait cevap yüzey grafikleri

Keten Tohumu

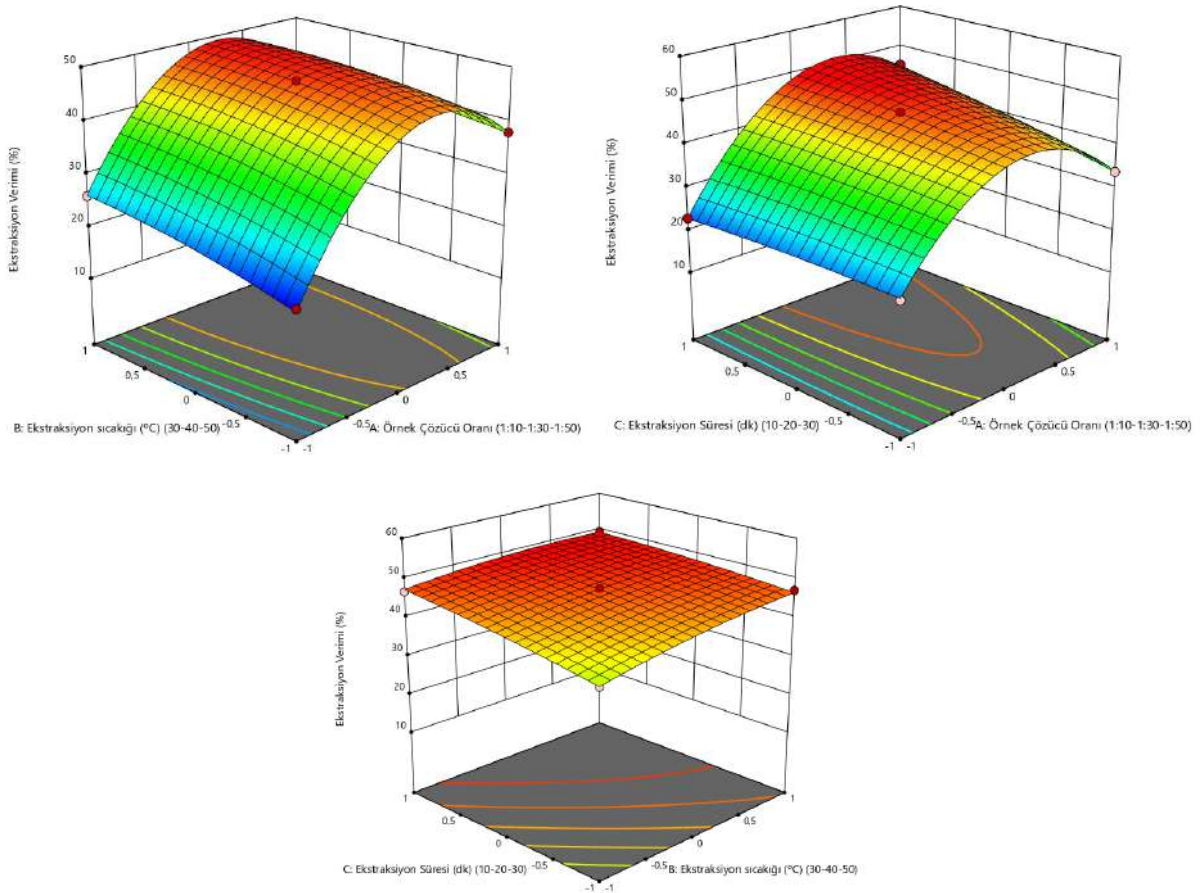
Tablo 3. Keten tohumu oleoresinlerinin ekstraksiyon verimine ait ANOVA Çizelgesi

Kaynak Source	Kareler toplamı Sum of squares	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Karelerin ortalaması Average of squares	F-değeri F-value	p-değeri p-Value
Model	1511,62	9	167,96	488,48	< 0,0001
Residual	1,72	5	0,3438		Önemli
Uyum Eksikliği Lack of fit	1,65	3	0,5505	16,27	0,0529
Hata Pure error	0,0677	2	0,0338		Önemsiz
Genel Total	1513,34	14			

R²: 0.9989 Adj R²: 0.9968 C.V. % : 1.53

Keten tohumundan oleoresinlerin ekstraksiyonunda model çıktısı ANOVA tablosu (Tablo 3) ve ekstraksiyon verimi üzerine sıcaklık, süre ve çözücü miktarının etkisini gösteren cevap yüzey grafikleri (Şekil 2) incelendiğinde, örnek çözücü oranı, sıcaklık ve ekstraksiyon süresinin toplam ekstraksiyon verimi üzerine etkisi ($p < 0.0001$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Regresyon analizi sonucunda ekstraksiyon veriminin (Y) hesaplanması için oluşturulan kuadratik polinomial denklem ise aşağıda gösterilmiştir.

$$Y = 47.26 + 7.99A + 2.13B + 2.52C - 1.07AB + 3.07AC - 1.12BC - 15.31A^2 - 1.03B^2 - 0.5253C^2 \quad (5)$$



Şekil 2. Keten tohumu oleoresinlerinin ekstraksiyon verimine ait cevap yüzey grafikleri

3.2. Antiradikal Aktivite

Keten tohumu ve zencefil için ayrı ayrı uygulanan Box- Benkhen tasarımında, doğrusal, kübik, kuadratik ve iki faktörlü etkileşim modelleri incelenmiştir. Ekstraksiyon koşullarında her iki örnekte de elde edilen verileri en iyi açıklayan modelin kuadratik model olduğu sonucuna varılmıştır. Bu modele ait varyans analiz sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'te gösterilmiştir. Buna göre antiradikal aktivitenin belirlenmesinde modellere ait p -değerinin 0.05'den küçük olması ve uyum eksikliğinin önemsiz çıkması kuadratik modelin deneysel verilerle tatmin edici düzeyde uyumlu olduğunu göstermektedir.

Zencefil

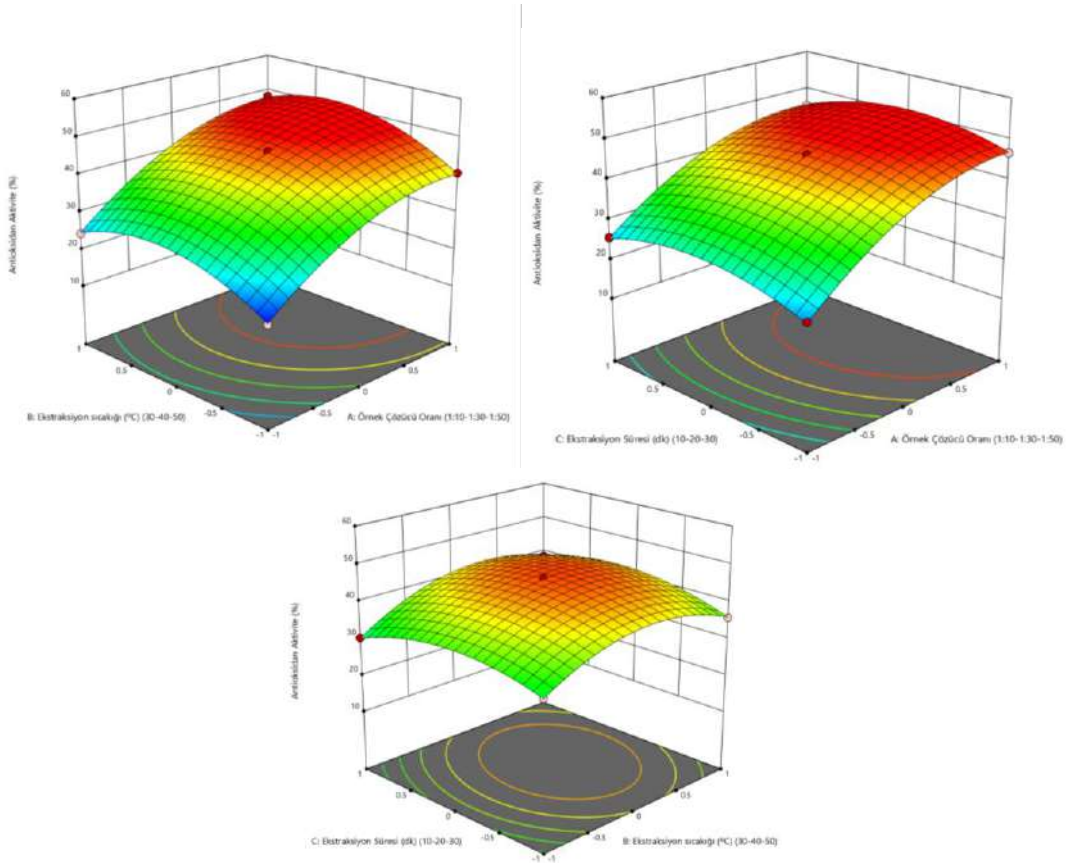
Tablo 4. Zencefil oleoresinlerinin antiradikal aktivite değerlerine ait ANOVA Çizelgesi

Kaynak Source	Kareler toplamı Sum of squares	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Karelerin ortalaması Average of squares	F-değeri F-value	p-değeri p-Value
Model Model	1369.98	9	152.22	845.93	< 0.0001 Önemli
Residual Residual	0.8997	5	0.1799		
Uyum Eksikliği Lack of fit	0.6499	3	0.2166	1.73	0.3860 Önemsiz
Hata Pure error	0.2498	2	0.1249		
Genel Total	1370.88	14			

R²: 0.9993 Adj R²: 0.9982 C.V. % : 1.16

Değerlendirme parametreleri antiradikal aktivite tahmininde model performansının yüksek olduğunu göstermektedir (R²: 0.9993). Şekil 3'de zencefilden elde edilen oleoresinlerin antiradikal aktivite üzerine sıcaklık, süre ve çözücü miktarının etkisini gösteren cevap yüzey grafikleri gösterilmiştir. Zencefilden oleoresinlerin ekstraksiyonunda model çıktısı ANOVA tablosu (Tablo 4) ve Şekil 3 incelendiğinde antiradikal aktivite üzerine, örnek çözücü oranı ve ekstraksiyon sıcaklığı en etkili ($p < 0.0001$) parametreler olmuşken; ekstraksiyon süresi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Regresyon analizinden elde edilen, antiradikal aktivitenin (Y) hesaplanması için oluşturulan kuadratik polinomial denklem ise aşağıda gösterilmiştir.

$$Y = 46.09 + 10.90A + 2.97B + 0.1245C - 0.8193AB - 0.6830AC + 1.25BC - 5.84A^2 - 6.95B^2 - 4.78C^2 \quad (6)$$



Şekil 3. Zencefil oleoresinlerinin antiradikal aktivite değerlerine ait cevap yüzey grafikleri

Keten Tohumu

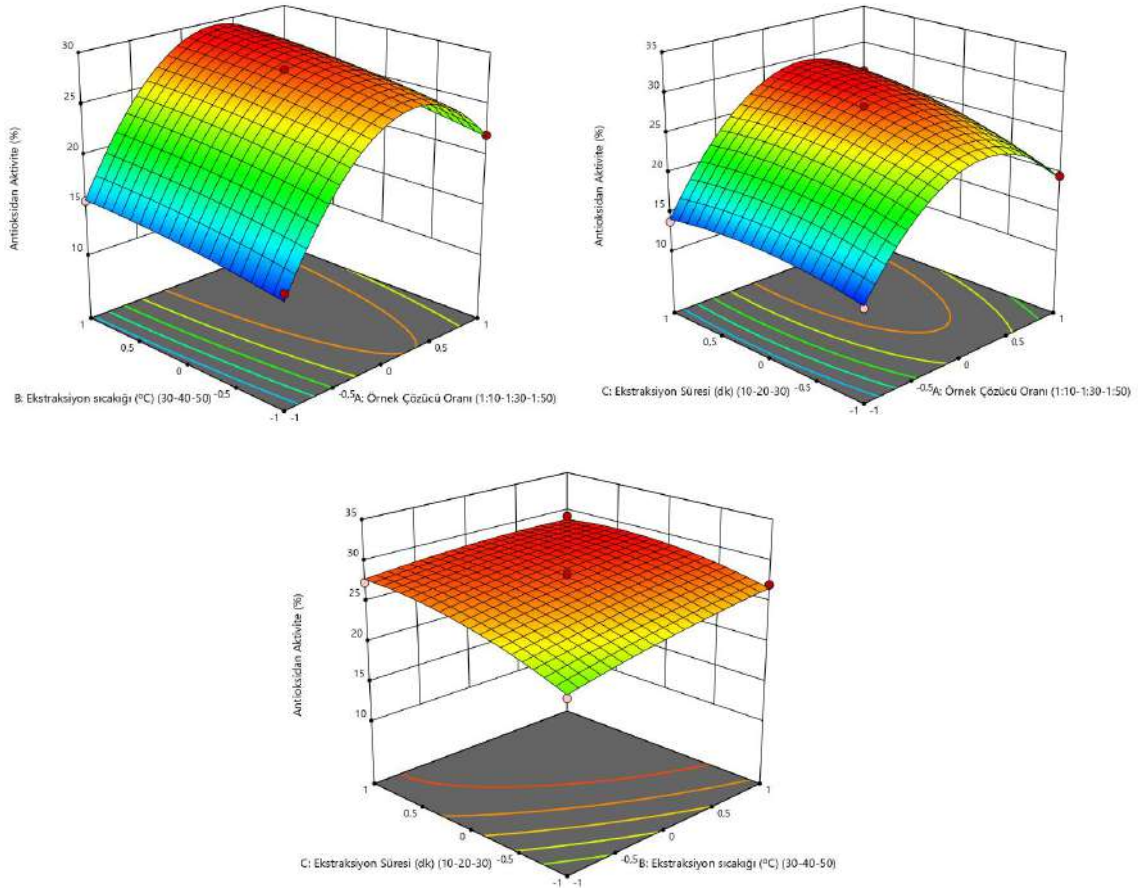
Tablo 5. Keten tohumu oleoresinlerinin antiradikal aktivite değerlerine ait ANOVA Çizelgesi

Kaynak Source	Kareler toplamı Sum of squares	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Karelerin ortalaması Average of squares	F-değeri F-value	p-değeri p-Value
Model	489,46	9	54,38	122,47	< 0,0001
Residual	2,22	5	0,4441		Önemli
Uyum Eksikliği Lack of fit	2,13	3	0,7100	15,73	0,0604
Hata Pure error	0,0903	2	0,0451		Önemli
Genel Total	491,68	14			

R²: 0.9955 Adj R²: 0.9874 C.V. % : 2.95

Değerlendirme parametreleri antiradikal aktivite tahmininde model performansının yüksek olduğunu göstermektedir (R²: 0.9955). Şekil 4'de keten tohumundan elde edilen oleoresinlerin antiradikal aktivite üzerine sıcaklık, süre ve çözücü miktarının etkisini gösteren cevap yüzey grafikleri gösterilmiştir. Keten tohumundan oleoresinlerin ekstraksiyonunda model çıktısı ANOVA tablosu (Tablo 5) ve Şekil 4 incelendiğinde toplam ekstraksiyon verimi üzerine, örnek çözücü oranı en etkili ($p < 0.0001$) parametre olmuştur ve süre de yine istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bir parametre olarak bulunmuştur. Ekstraksiyon sıcaklığı ise antiradikal aktivite üzerine istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Regresyon analizi sonucunda antiradikal aktivitenin (Y) hesaplanması için oluşturulan kuadratik polinomial denklem ise aşağıda gösterilmiştir.

$$Y = 28.13 + 4.43A + 1.26B + 1.81C - 0.2509AB - 1.45AC - 0.7750BC - 8.72A^2 - 0.4051B^2 - 1.24C^2 \quad (7)$$



Şekil 4. Keten tohumu oleoresinlerinin antiradikal aktivite değerlerine ait cevap yüzey grafikleri

3.3. Toplam Fenolik Miktarı

Zencefil ve keten tohumu için ayrı ayrı uygulanan Box- Benkhen tasarımında, doğrusal, kübik, kuadratik ve iki faktörlü etkileşim modelleri incelenmiştir. İnceleme neticesinde ekstraksiyon koşullarında her iki örnekte de elde edilen verilerin deneme desenine göre elde edilen cevap (toplam fenolik miktarı) üzerine etkisini en iyi açıklayan modelin kuadratik model olduğu belirlenmiştir. Bu modele ait varyans analiz sonuçları Tablo 6 ve Tablo 7’de gösterilmiştir. Buna göre modele ait p -değerinin 0.05’den küçük olması ve uyum eksikliğinin önemsiz çıkması kuadratik modelin deneysel verilerle oldukça uyumlu olduğunu göstermektedir.

Zencefil

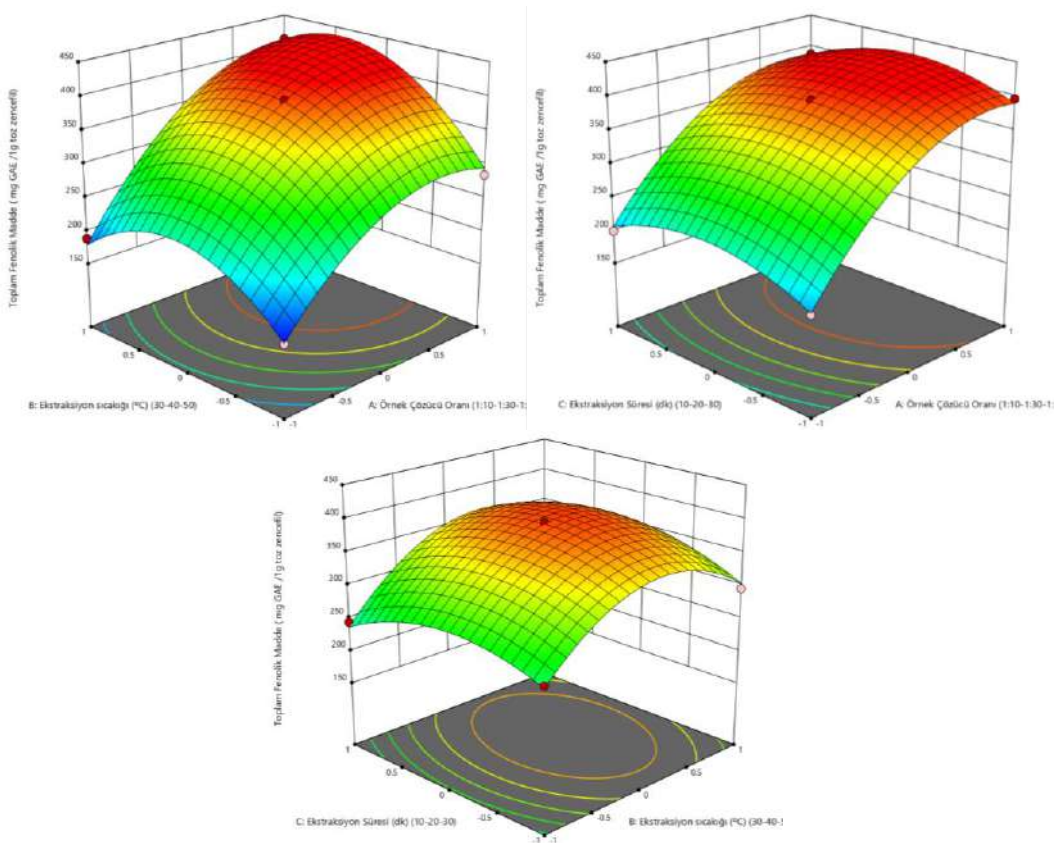
Zencefil oleoresinlerin ekstraksiyonunda model çıktısı ANOVA tablosu (Tablo 6) ve toplam fenolik madde miktarı üzerine sıcaklık, süre ve çözücü miktarının etkisini gösteren cevap yüzey grafikleri (Şekil 5) incelendiğinde toplam fenolik madde miktarı üzerine, örnek çözücü oranı ve ekstraksiyon sıcaklığı en etkili ($p < 0.0001$) parametre olurken; süre ise toplam fenolik madde miktarı üzerine istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Toplam fenolik miktarının (Y) hesaplanması için oluşturulan kuadratik polinomial denklem ise aşağıda gösterilmiştir.

$$Y = 392.57 + 92.63A + 34.26B + 0.7966C + 23.83AB - 3.18AC + 11.80BC - 59.63A^2 - 72.33B^2 - 38.04C^2 \quad (8)$$

Tablo 6. Zencefil oleoresinlerinin toplam fenolik değerlerine ait ANOVA Çizelgesi

Kaynak Source	Kareler toplamı Sum of squares	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Karelerin ortalaması Average of squares	F-değeri F-value	p-değeri p-Value
Model	1.141E+05	9	12681.24	132.83	< 0.0001
Residual	477.34	5	95.47		Önemi
Uyum Eksikliği Lack of fit	455.21	3	151.74	13.72	0.0687
Hata Pure error	22.13	2	11.06		Önemsiz
Genel Total	1.146E+05	14			

R²: 0.9958 Adj R²: 0.9883 C.V. % : 3.24



Şekil 5. Zencefil oleoresinlerinin toplam fenolik değerlerine ait cevap yüzey grafikleri

Keten tohumu

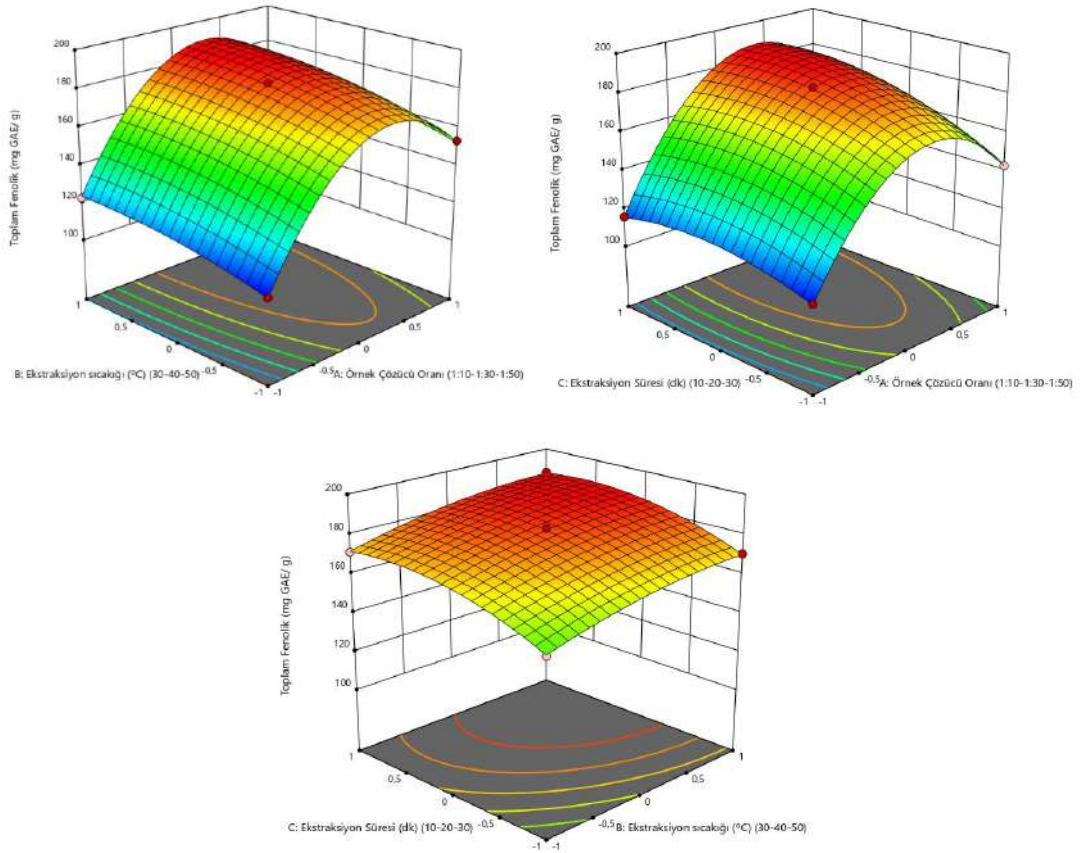
Keten tohumu oleoresinlerin ekstraksiyonunda model çıktısı ANOVA tablosu (Tablo 7) ve toplam fenolik madde miktarı üzerine sıcaklık, süre ve çözücü miktarının etkisini gösteren cevap yüzey grafikleri (Şekil 6) incelendiğinde, belirlenen tüm bağımsız değişkenlerin; örnek çözücü oranı, ekstraksiyon sıcaklığı ve ekstraksiyon süresinin ($p < 0.0001$) toplam fenolik madde miktarı üzerine önemli derecede etkili olduğu bulunmuştur. Toplam fenolik miktarının (Y) hesaplanması için oluşturulan kuadratik polinomial denklem ise aşağıda gösterilmiştir.

$$Y = 182.14 + 22.09A + 7.60B + 8.39C + 1.22AB + 6.07AC - 0.0753BC - 39.15A^2 - 3.76B^2 - 7.58C^2 \quad (9)$$

Tablo 7. Keten tohumu oleoresinlerinin toplam fenolik değerlerine ait ANOVA Çizelgesi

Kaynak Source	Kareler toplamı Sum of squares	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Karelerin ortalaması Average of squares	F-değeri F-value	p-değeri p-Value
Model Model	10821,13	9	1202,35	1406,05	< 0,0001 Önemli
Residual Residual	4,28	5	0,8551		
Uyum Eksikliği Lack of fit	2,63	3	0,8774	1,07	0,5169 Önemsiz
Hata Pure error	1,64	2	0,8216		
Genel Total	10825,40	14			

R²: 0.9996 Adj R²: 0.9989 C.V. % : 0.5958



Şekil 6. Keten tohumu oleoresinlerinin toplam fenolik değerlerine ait cevap yüzey grafikleri

Yapılan çalışmada gerçekleştirilen ekstraksiyon koşullarında zencefil için maksimum toplam fenolik miktarı 412,37 mg GAE/100g, keten tohumu için ise maksimum toplam fenolik miktarı 187,2 mg GAE/100g olarak bulunmuştur. Yeh ve arkadaşları (2014) Tayland da bulunan iki çeşit zencefil kökünün sulu ve etanolik ekstraktlarını kullanarak antioksidan özelliklerini ve biyoaktif bileşenlerini karşılaştırmışlardır. Her iki çözücüde de birtakım farklı sonuçlara ulaşmışlardır. Zencefilin etanolik ekstraktların antioksidan etkisi trolox eşdeğeri antioksidan kapasitede ve demir indirgeyici plazma kapasitesinde sulu özütlerden daha etkili bulunurken; aksine, zencefilin sulu ekstraktları serbest radikal süpürmede daha etkili olmuştur. Zancan ve arkadaşları (2002) zencefil oleoresinlerini süperkritik akışkan ekstraksiyonu ile ekstrakte etmişler ve ekstraksiyon koşullarının oleoresinin karakteristiği üzerine etkisini araştırmışlardır. Süperkritik akışkan ekstraksiyonunda işletme değişkenlerinin etkilerini (basınç, sıcaklık, çözücü tipi), zencefil oleoresinin kimyasal bileşimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre oleoresinin antioksidan aktivitesinin artırılması için etanol ya da izopropil alkol gibi bir çözücü desteğine ihtiyaç bulunmaktadır. Nile ve Park 2015, zencefil köklerinden seçici ekstraksiyon prosedürü ile farklı polarite çözücüler kullanarak çalışılan parametrelere karşı biyoaktivite farkını ortaya koymuşlardır. Etil asetat özü DPPH, FRAP ve H₂O₂ testi ile incelenen parametrelerde önemli antioksidan aktivite göstermiştir. Etanol ile yakın sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonraki sırada ise; dietileter ve n- bütanol ekstraktları gelmiştir. Kırmızı ve beyaz zencefilin antioksidan özelliklerinin incelendiği bir çalışmada askorbik asit içeriğinin sırasıyla 1,83 ve 0,91 mmol/ 100 g taze meyve, toplam fenolik madde miktarı sırasıyla 95,34 ve 61,89 mmol GAE/ 100 g taze meyve olarak bildirilmiştir (Oboh ve ark., 2012). Zencefilin yaprak, gövde ve kök kısımlarının antioksidan özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, Halia Bentong türü için fenolik madde içerikleri üç kısım için sırasıyla 33,0, 7,8 ve 10,22 mg GAE/ g km olarak bulunmuştur. 42.3 µg/mL metanol ekstraktı ile DPPH radikali giderme aktivitesi üzerinden hesaplanan antioksidan aktivite ise yaprak, gövde ve kök kısımları için sırasıyla %51.12, % 32.85 ve %51.41 olarak saptanmıştır (Ghasemzadeh ve ark., 2010). Bir çalışmada farklı çözücüler kullanan keten tohumundan ekstrakte edilen toplam flavonoid (TF) miktarları 190-480 mg CE / 100 g öz şeklinde değişmektedir. Saf metanol kullanarak en yüksek miktarda TF'yi (480 mg CE / 100 g) ekstrakte edilmiş daha düşük miktarlar saf etanol (190 mg CE / 100 g) ile elde edilmiştir (Anwar ve Przybylski, 2012).

4. Sonuç

Sonuç olarak deneysel veriler ve tahmin edilen veriler arasındaki uyumu gösteren ilişki katsayısı (R²) değeri tüm analizlerde >0.99 olarak elde edilmiştir. Bu değer; uygulanan model ile deneysel verilerin % 99 doğrulukta açıklanabileceğini ifade etmektedir. Bu sonuç 20 deneysel nokta kullanılarak elde edilen model denklemin oleoresin elde edilmesi için incelenen bağımsız değişken aralığında yüksek doğrulukta kullanılabilirliğini göstermektedir.

Zencefileden toplam fenolik miktarı, antiradikal aktivitesi ve ekstraksiyon verimi yüksek olan oleoresin elde edilmesinde; örnek çözücü oranı 1/40, sıcaklık 42,5°C ve ekstraksiyon süresi 22 dakika olarak optimize edilmiştir. Keten tohumundan elde edilen oleoresin için program cevaplarının maksimum değerde olduğu koşullar; örnek çözücü oranı 1/35, sıcaklık 41,3°C ve ekstraksiyon süresi 27 dakika olarak optimize edilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde oleoresinlerin elde edilmesinde ve aktivite belirlenmesinde elde edilen bulgular birbirinden farklılık göstermektedir. Bu da hammadde, çözücü ve kullanılan yöntemlerin farklılığından kaynaklanmaktadır. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar diğer çalışmalarla karşılaştırılabilir niteliktedir.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine MF061218L02 proje numarası ile finansal destek sağlayan Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Anwar, F., & Przybylski, R. (2012). Effect of solvents extraction on total phenolics and antioxidant activity of extracts from flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 11(3), 293-302.
- Beejmohun, V., Fliniaux, O., Grand, É., Lamblin, F., Bensaddek, L., Christen, P., ... & Mesnard, F. (2007). Microwave-assisted extraction of the main phenolic compounds in flaxseed. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 18(4), 275-282.
- Bekdeşer, B. Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak Dulavratotu (*Arctium Lappa*)'dan Antioksidanların Mikrodalga Destekli Ekstraksiyonunun Modellenmesi ve Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 655-662.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C., (1994). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 28, 25-30.
- Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., & Omar, M. (2007). Antioxidant and antibacterial activity of leaves of *Etilingera* species (Zingiberaceae) in Peninsular Malaysia. *Food chemistry*, 104(4), 1586-1593.
- Ding, S. H., An, K. J., Zhao, C. P., Li, Y., Guo, Y. H., & Wang, Z. F. (2012). Effect of drying methods on volatiles of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Food and bioproducts processing*, 90(3), 515-524.
- Eliasson, C., Kamal-Eldin, A., Andersson, R., & Åman, P. (2003). High-performance liquid chromatographic analysis of secoisolariciresinol diglucoside and hydroxycinnamic acid glucosides in flaxseed by alkaline extraction. *Journal of chromatography A*, 1012(2), 151-159.
- Fliniaux, O., Corbin, C., Ramsay, A., Renouard, S., Beejmohun, V., Doussot, J., ... & Roscher, A. (2014). Microwave-assisted extraction of herbacetin diglucoside from flax (*Linum usitatissimum* L.) seed cakes and its quantification using an RP-HPLC-UV system. *Molecules*, 19(3), 3025-3037.

- Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z., & Rahmat, A. (2010). Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 15(6), 4324-4333.
- Guiné, R. P. F., Henriques, F., & Barroca, M. J. (2012). Mass transfer coefficients for the drying of pumpkin (*Cucurbita moschata*) and dried product quality. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 176-183.
- Hao, M., & Beta, T. (2012). Development of Chinese steamed bread enriched in bioactive compounds from barley hull and flaxseed hull extracts. *Food Chemistry*, 133(4), 1320-1325.
- Hoşgün, E. Z., & Bozan, B. (2013). Ketten Tohumu Yağının Süperkritik Akışkan Ekstraksiyon Kinetiğinin Difüzyon Kontrol Metodu İle Modellenmesi. *Anadolu University of Sciences & Technology-A: Applied Sciences & Engineering*, 14(1).
- Johnsson, P., Kamal-Eldin, A., Lundgren, L. N., & Åman, P. (2000). HPLC method for analysis of secoisolariciresinol diglucoside in flaxseeds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(11), 5216-5219.
- Kajla, P., Sharma, A., & Sood, D. R. (2015). Flaxseed—a potential functional food source. *Journal of food science and technology*, 52(4), 1857-1871.
- Kanakdande, D., Bhosale, R. And Singhal, R.S. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydrate Polymers*, 67 (4): 536-541.
- Küçüközet, A. O., & Uslu, M. K. (2018). Cooking loss, tenderness, and sensory evaluation of chicken meat roasted after wrapping with edible films. *Food Science and Technology International*, 24(7), 576-584.
- Maizura, M., Aminah, A., & Wan Aida, W. M. (2011). Total phenolic content and antioxidant activity of kesum (*Polygonum minus*), ginger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) extract. *International Food Research Journal*, 18(2).
- Mercier, S., Mondor, M., Villeneuve, S., Marcos, B., & Moresoli, C. (2015). Assessment of the Oxidative Stability of Flaxseed-Enriched Lasagna Using the R ancimat Method. *Journal of food processing and preservation*, 39(6), 1729-1734.
- Milder, I. E., Arts, I. C., Venema, D. P., Lasaroms, J. J., Wähälä, K., & Hollman, P. C. (2004). Optimization of a liquid chromatography– tandem mass spectrometry method for quantification of the plant lignans secoisolariciresinol, matairesinol, lariciresinol, and pinoresinol in foods. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(15), 4643-4651.
- Montgomery, D. C. (2001). Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons. Inc., New York, 1997, 200-1.
- Nile, S. H., & Park, S. W. (2015). Chromatographic analysis, antioxidant, anti-inflammatory, and xanthine oxidase inhibitory activities of ginger extracts and its reference compounds. *Industrial Crops and Products*, 70, 238-244.
- Noguchi, C., & Nikki, E. (2000). Phenolic antioxidants: A rationale for design and evaluation of novel antioxidant drugs for atherosclerosis. *Free Radical Biology and Medicine*, 28, 1538–1546.
- Oboh, G., Akinyemi, A. J., & Ademiluyi, A. O. (2012). Antioxidant and inhibitory effect of red ginger (*Zingiber officinale* var. *Rubra*) and white ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) on Fe²⁺ induced lipid peroxidation in rat brain in vitro. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 64(1-2), 31-36.
- Ponce, A.G., Roura, S.I., Del Valle, C.E. And Moreira, M.R. 2008. Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: *in vitro* and *in vivo* studies. *Postharvest biology and technology*, 49 (2): 294-300.
- Renouard, S., Hano, C., Corbin, C., Fliniaux, O., Lopez, T., Montguillon, J., ... & Lainé, E. (2010). Cellulase-assisted release of secoisolariciresinol from extracts of flax (*Linum usitatissimum*) hulls and whole seeds. *Food chemistry*, 122(3), 679-687.
- Sarıtaş, N. (2018). *Ceviz yeşil kabuğundan ultrases yardımıyla fenolik madde ekstraksiyonu, kinetik modellenmesi ve optimizasyonu* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Scalbert, A., Johnson, I. T., & Saltmarsh, M. (2005). Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1), 215S-217S.
- Shaikh, J., Bhosale, R. And Singhal, R. 2006. Microencapsulation of black pepper oleoresin. *Food chemistry*, 94 (1): 105-110.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Visioli, F., Caruso, D., Plasmati, E., Patelli, R., Mulinacci, N., Romani, A., Galli, G., Galli, C. 2001. Hydroxytyrosol, as a component of olive mill waste water, is dose-dependently absorbed and increases the antioxidant capacity of rat plasma. *Free Radic. Res.* 34:301-305.
- Yeh, H. Y., Chuang, C. H., Chen, H. C., Wan, C. J., Chen, T. L., & Lin, L. Y. (2014). Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 329-334.
- Zancan, K. C., Marques, M. O., Petenate, A. J., & Meireles, M. A. A. (2002). Extraction of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) oleoresin with CO₂ and co-solvents: a study of the antioxidant action of the extracts. *The Journal of supercritical fluids*, 24(1), 57-76.
- Zhang, F., Yang, Y., Su, P., & Guo, Z. (2009). Microwave-assisted extraction of rutin and quercetin from the stalks of *Euonymus alatus* (Thunb.) Sieb. *Phytochemical analysis*, 20(1), 33-37.



Geleneksel Yatay Taşıyıcı Düzlemlerin Isıl Geçirgenlik Değerlerinin Günümüz Koşullarında İrdelenmesi

Güllü Mutlu¹, Merve Tuna Kayılı^{2*}

¹ Karabük Üniversitesi, Safranbolu MYO, Mimari Restorasyon Programı, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8118-9949) gullumutlu@karabuk.edu.tr

^{2*} Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3803-8229) mervetunakayili@karabuk.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 10 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.751828)

ATIF/REFERENCE: Mutlu, G. & Tuna Kayılı, M. (2020). Geleneksel Yatay Taşıyıcı Düzlemlerin Isıl Geçirgenlik Değerlerinin Günümüz Koşullarında İrdelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 614-622.

Öz

Günümüzde teknolojik ve yenilikçi malzemelerin yapı sektöründe yer almasıyla birlikte enerji kullanımı, zararlı salım ile biyotik ve abiyotik çevreyi tehdit eden zararlı atık miktarı artmıştır. Kimyasal işlemlerden geçirilerek üretilen yapay yapı malzemelerinin ısıl performansı yüksek olsa da çevresel performansının düşük olması dağal çevreyi olumsuz etkilemektedir. Geleneksel yapı sistemlerinde kullanılan malzemeler yere özgü ve kimyasal işlem görmemiş olmaları nedeniyle yüksek çevresel performansa ve geçirdiği işlem sayısı göz önünde bulundurulduğunda yüksek ısıl performansa sahiptir. Bu nedenle sürdürülebilir bir yapı kabuğu için geleneksel çözümleri irdelenmek, gelecekteki yapı kabuğunun tasarlanması için ilk adımdır. Bu bağlamda, çalışmada dört derece gün bölgesi özelinde yer alan şehirlerde üretilen geleneksel konutların yatay taşıyıcı düzlemleri incelenmiştir. Ulaşılan malzemelerin ısı iletkenlik hesap değerleri, bu konuda yapılan geniş bir literatür araştırmasından derlenmiş ve düzlemlerin ısıl geçirgenlik katsayıları belirlenmiştir. Elde edilen değerler TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nda yeni yapılar için önerilen tavan ısıl geçirgenlik değerleri ile karşılaştırılmış, geleneksel konut yatay taşıyıcı düzlemlerin ısıl niceliklerinin öneri değerlere uygunluğu tespit edilmiştir. Geleneksel mimaride katmanları oluşturan doğal malzemelerin günümüz koşullarında yeterliliklerinin saptanması hedefiyle yapılan çalışma sonucunda, birinci ve ikinci derece gün bölgelerinde üretilen geleneksel yatay taşıyıcı düzlemlerin ısıl geçirgenlik katsayılarının tavsiye edilen değerlere yakın değerler olduğu, üçüncü ve dördüncü derece gün bölgelerinde ise tavsiye edilen değerlerin üzerinde kaldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bu bölgelerde yapılacak restorasyon ya da renovasyon çalışmalarında döşeme katmanlarında artış ve ısı yalıtım malzemesinin eklenmesi tavsiye edilmiştir. Ayrıca geleneksel konutlarda, inşa edildikleri dönemin koşulları da göz önünde bulundurulduğunda, malzeme ve teknikte bilinçli seçimler yapıldığını söylemek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel yatay taşıyıcı düzlemler, Isıl geçirgenlik katsayısı, Isıl performans, Geleneksel malzemeler

Investigation of Thermal Transmittance Values of Traditional Horizontal Carrier Planes in Today's Conditions

Abstract

Today, with the inclusion of technological and innovative materials in the building sector, energy use, harmful emissions and the amount of harmful waste threatening the biotic and abiotic environment have increased. Although the thermal performance of artificial building materials produced by chemical processes is high, the low environmental performance affects the environment negatively. Since the materials used in traditional construction systems are ground-specific and chemically untreated, they have high environmental performance and high thermal performance considering the number of processes they have undergone. Therefore, examining traditional solutions for a sustainable building envelope is the first step in designing the future building envelope. In this context, the horizontal carrier planes of the traditional houses produced in the cities located in the four-degree day region were investigated. The thermal conductivity calculation values of the materials reached were compiled from a wide literature on this subject and the thermal transmittance coefficients of the planes were determined. The values obtained were compared with the ceiling thermal transmittance values recommended for new buildings in TS 825 Building Thermal Insulation Rules Standard, it has been determined whether the

* Sorumlu Yazar: mervetunakayili@karabuk.edu.tr

thermal quantities of conventional residential horizontal carrier planes comply with the suggested values. As a result of the study carried out with the aim of determining the adequacy of natural materials that form layers in traditional architecture, it has been determined that the thermal transmittance coefficients of the traditional horizontal carrier planes produced in the first and second degree day regions are close to the recommended values and remain above the recommended values in the third and fourth degree day regions. For this reason, in the restoration or renovation works to be done in these areas, it is recommended to increase the floor layers and add heat insulation material. It is also possible to say that in traditional residences, considering the conditions of the period they were built, conscious choices were made in materials and techniques.

Keywords: Traditional horizontal carrier planes, Thermal transmittance coefficients, Thermal performance, Traditional materials

1. Giriş

Çevre sorunlarının yaşanmasında, modern yaşamın getirdiği sanayileşme ve nüfus artışına bağlı yapı üretiminin payı büyüktür. Hızlı kentleşme, inşaat sektöründeki teknolojik gelişmeler ve enerji ihtiyacı, yapı malzemelerini de etkilemiş; kimyasal işlemlerden geçirilmiş, zararlı emisyonlar salan, çevre ve insan sağlığını tehdit eden yüksek ısı performanslı yapı malzemelerinin üretilmesine neden olmuştur. Bu durumda yüksek ısı performansına sahip fakat düşük çevresel performanslı yapı malzemeleri günümüz koşullarında üretilen yapılarda büyük oranda kullanılmaya başlanmıştır.

Dünyadaki sınırlı enerji kaynaklarının büyük bir kısmı, yapı malzemesinin üretilmesinden, yapı ömrünün tamamlanmasına kadar olan yaşam döngüsünde kullanılmaktadır. Bu durum karşısında bilinçli yapı üretici ve tasarımcıları, sürdürülebilirliği ön planda tutarak, az enerji gerektiren ve sağlıklı mekânlar sunan yapı tasarımını hedeflemektedir. Bu tasarım hedefinin, günümüz konutlarından ziyade (Dönmez vd, 2015) geçmişten günümüze kadar ulaşabilmiş geleneksel yapılarda büyük oranda sağlandığını görülmektedir. Mardin geleneksel konutları üzerinde yapılan çalışma, geleneksel konutların ve bu konutları oluşturan malzemelerin mekânsal ve ısı performansının günümüzde üretilen konutlara göre daha başarılı olduğunu göstermektedir (Manioğlu ve Yılmaz, 2008). Gaziantep geleneksel dokusunda yapılan diğer çalışma da geleneksel dokunun günümüzde üretilen apartmanların yer aldığı konut dokusuna göre iklim, topoğrafya ve kültürel yaşam şartlarına daha uygun olduğu yönündedir (Deringöl, 2015).

Geleneksel yapıların, doğaya zarar vermeden, yerel malzeme kullanılarak iklim ve topoğrafyaya uygun olarak tasarlanmaları sonucu enerji tasarrufu sağlamaları ve sağlıklı iç mekâna sahip olmaları, ekolojik mimarlık özelliklerine verilebilecek örnekler arasındadır. Kimyasal katkı malzemeleri olmayan, çevreden toplanan doğal taş, ahşap, ahşap lifi, saman, saz, hasır, ağaç kabuğu gibi doğal malzemeler kullanılarak üretilen geleneksel yapılarda yöreye özgü doğal malzemeler kullanılarak yapı kabuğunun ısı performansının artırılmaya çalışıldığı söylenebilir. Doğada bulunan malzemelerle sentetik veya kimyasal bir katkı maddesi kullanmadan yapının ısı performansının artırılması, sürdürülebilir yapı kabuğu ve malzeme ilişkisinin en önemli noktasıdır. Bu nedenle sürdürülebilir bir yapı kabuğu için geleneksel çözümleri irdelemek, gelecekteki yapı kabuğunun tasarlanması için ilk adımdır.

Bu çalışmada, Türkiye’de üretilmiş geleneksel yapıların yatay taşıyıcı düzlemleri olan tavan döşemelerinde kullanılan malzemeler TS825’te belirtilen dört derece gün bölgesine göre ayrıntılı çizimlerle incelenmiş, bu malzemelerin oluşturduğu yatay taşıyıcı düzlemlerin ısı iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Elde edilen ısı iletkenlik değerleri, TS825 standardında yeni yapılar için önerilen U tavan değerleri ile karşılaştırılmış,

geleneksel konut yatay taşıyıcı düzlemlerinin ısı niceliklerinin öneri değerlere uygunluk durumları tespit edilmiştir. Çalışma ile geleneksel mimaride katmanları oluşturan doğal malzemelerin günümüz koşullarında yeterliliklerinin saptanması hedeflenmiştir.

Geleneksel konutların döşeme ve düz örtü elemanları farklı kaynaklarda ele alınmakla birlikte, bu elemanların ısı konfor açısından incelendiği karşılaştırılmalı bir çalışma yapılmamıştır. Safranbolu evlerinin duvar ısı iletkenlik katsayısının hesaplandığı (Pehlivan ve Sedes, 2019), bir Safranbolu evi özelinde ısı konfor koşullarının analizinin yapıldığı (Harputlugil Ulukavak, 2005) ve restorasyon sonrası özgün malzeme kullanımının enerji etkinliği açısından önemini tartışıldığı (Süt ve Tuna Kayılı, 2017) yayınlar bu konuyla ısı yönden paralellik gösteren çalışmalardır. Bu çalışmanın, Türkiye’de geleneksel yapıların restorasyonu ya da renovasyonu gerçekleştirmeyi ve ekolojik yapılar tasarlamayı hedefleyen mimarlar için bir rehber olabileceği düşünülmektedir.

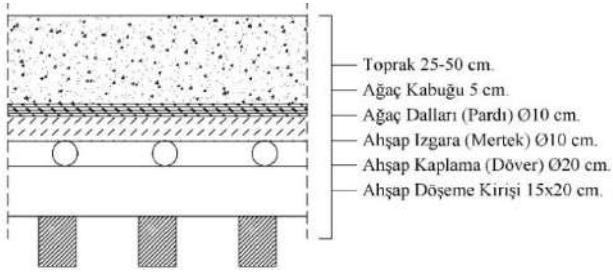
2. Geleneksel Konut Yatay Taşıyıcı Düzlemleri

Geleneksel konutların ara kat döşeme ve düz örtü elemanlarında malzeme ve teknik açıdan iklim bölgelerine göre farklılıklar gözlenmiştir. Anadolu’da “kara dam” olarak da nitelenen düz örtü, tarih öncesinden günümüze kadar uygulanmıştır. Düz örtü uygulamasının olduğu konutlarda ara kat döşemesinin düz örtü ile aynı katmanlara sahip olduğu, aralarındaki en önemli farkın düz örtü son katmanında kullanılan malzeme ve teknik olduğu gözlemlenmiştir. Düz dam uygulaması, bölgesel farklılıklar söz konusu olsa da ahşap döşeme kirişlerinin üzerine dik açıyla yerleştirilmiş çalı çırpı, ağaç dalları, saz, hasır gibi malzemelerin üzerine toprak tabakası konulması şeklinde özetlenebilmektedir. Toprağın çatlamasını ve yağışlarla sürüklenmesini önlemek amacıyla taş kırığı ile veya “çorak” adı verilen bir tür tuzlu ve killi toprak serilerek düz örtü tamamlanmaktadır. Son olarak loğ (yuvak) taşı denilen silindirik biçimindeki ağır bir taş dam üzerine serilen toprağın üstünde gezdirilerek, yüzeyin geçirimsiz sert bir katman haline gelmesi sağlanmaktadır. Özellikle yağışlardan sonra belirli aralıklarla bu işlemin yapılması için, bu taşın dam üstünde bırakıldığı bilinmektedir (Arıkan, 2003). Geleneksel yapılarda kullanılan düz örtü, yağışın az olduğu, ahşap malzemenin az bulunduğu bölgelerde daha çok tercih edilmiştir.

Geleneksel konutlarda ısı konforunun sağlanması için yapı kabuğunun etkin tasarlanması önem taşımakta ve bu açıdan yapının yatay taşıyıcı düzlemini oluşturan katman kalınlıkları ve önerilen malzemeler bölgesel farklılıklar göstermektedir. Bu farklar çalışma kapsamında bu bölümde, Türkiye’de bulunan dört derece gün bölgesi özelinde yazarlar tarafından kaynaklar eşliğinde düzlem kesitleri çizilerek ayrı ayrı sunulmuştur (Şekil 1-22/Resimler hariç). Seçilen malzemelerin kolay ulaşılabilir ve ekonomik malzemeler olduğu bilinmekle ısı iletkenlik hesap değerleri incelendiğinde ısı yönden etkili oldukları söylenebilir.

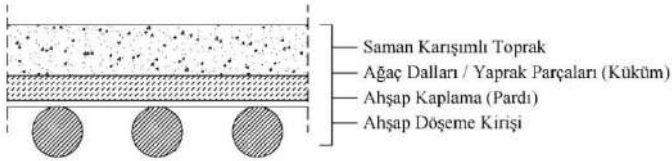
2.1. Birinci Derece Gün Bölgesi

Birinci derece gün bölgesinde yer alan Antalya ili ve Fethiye (Muğla) ilçesinin içinde bulunduğu Güneybatı Anadolu açık sofalı evlerinin düz örtü uygulamasında, daire kesitli ahşap elemanlar üzerinde, dikdörtgen kesitli kirişler ve onun üzerinde “döver” (börk) denilen daire kesitli ahşap elemanlar bulunmaktadır. Döverlerin üzerinde, önce belirli aralıklarla sıralanmış “mertekler”, onun üzerine de “pardı” denilen daire kesitli ahşap elemanlar yer almaktadır. Pardıların üzerinde ise çam kabuğundan bir katman ve elenmiş toprak tabakası yer almaktadır (Şekil 1). Bölgede taşıyıcı sistemde tercih edilen ahşap cinsi ardıç ve servidir. Bu tür ağaçların bünyesinde bulunan kokunun biyolojik bozulmaya karşı koruma sağladığı bilinmektedir (Kademoğlu, 1974). Kimyasal ilaçlamaya karşı, ağaç türüne ait özelliklerden yararlanılarak ekolojik bir yaklaşım güdülmüştür.



Şekil 1. Antalya ve Muğla / Fethiye geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Kademoğlu, 1974).

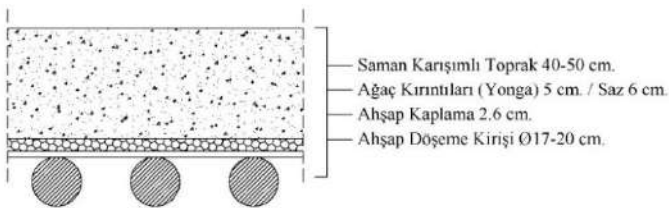
Mersin ili Bozyazı ilçesine bağlı Dereköy’de düz dam yapımında daire kesitli aşıkların üzerine “pardı” olarak ifade edilen daire kesitli ahşaplar yerleştirilmektedir. Bu katmanın üzerine “küküm” adı verilen ağaç dalları ve yaprak parçaları serilmektedir (Şekil 2). En üste saman karışımı toprak serilmesi ile düz örtü sistemi tamamlanmaktadır (Dağ Gürcan, 2017).



Şekil 2. Mersin / Bozyazı / Dereköy’de geleneksel konutlarda düz örtü kesiti (Dağ Gürcan, 2017).

2.2. İkinci Derece Gün Bölgesi

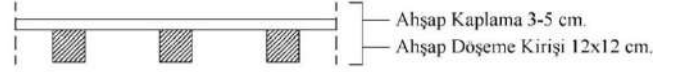
Diyarbakır ili ikinci derece gün bölgesindedir. Bölgede yaygın olan düz örtü uygulamasında ahşap döşeme kirişleri 30-50 cm aralıklarla yerleştirilmekte ve üzeri ahşap kaplama tahtaları ile kaplanmaktadır. Ahşap kaplamanın üzerine ince ve kaba ahşap kırıntılar (yonga), hasır veya saz döşenmektedir (Erginbaş, 1953).



Şekil 3. Diyarbakır geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Erginbaş, 1953).

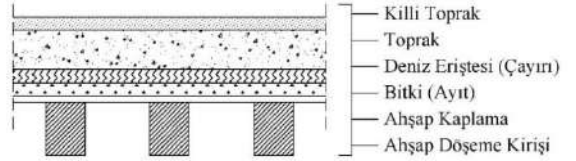
Bu malzemelerin kullanılma amacı ısı yalıtımı ve ahşabın su ile temasının kesilmesinin istenmesidir. Son katman ise toprak, saman ve tuz karışımının serilmesiyle elde edilmektedir (Şekil 3). Dam, yerel dilde “sivinek” adı verilen, duvardan 40-50 cm taşan bir saçakla son bulmaktadır (Erginbaş, 1953).

Artvin dışındaki bütün Doğu Karadeniz illeri ikinci derece gün bölgesinde yer almaktadır. Ordu, Trabzon, Rize, Giresun ve Artvin’de bulunan geleneksel konutlar, ahşap yığma veya ahşap karkas olarak inşa edilmiştir. Bölge yapılarında uygulanan ara kat döşemeleri ahşap döşeme kirişi üzerine ahşap kaplama tahtalarının çakılması yöntemi ile yapılmaktadır (Şekil 4) (Güler ve Güler, 2013).



Şekil 4. Doğu Karadeniz Bölgesi geleneksel konutlarında ara kat döşeme kesiti (Güler ve Güler, 2013).

Çanakkale iline bağlı Ayvıcık ilçesinde bulunan düz örtü uygulamasında ahşap döşeme kirişlerinin üzerine önce ahşap kaplama yapıldığı görülmektedir. Bu katmanın üzerine “ayıt” denilen bitkiler ve daha sonra deniz eriştisi (deniz çayırı) serilmiştir (Şekil 6). Son olarak toprak ve killi toprağın sıkıştırılması ile dam uygulaması tamamlanmaktadır (Şekil 5) (Kocabiçak, 2017).

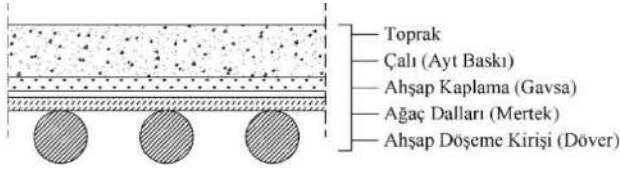


Şekil 5. Çanakkale / Ayvıcık geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Kocabiçak, 2017).



Şekil 6. Deniz eriştisi (çayırı) ve killi toprak (URL 1, URL 2).

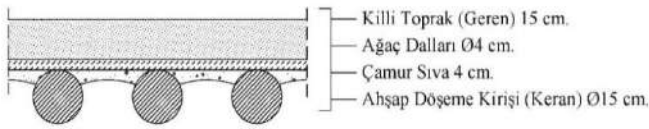
Manisa ilinin Saruhan, Kırkağaç, Soma ve Akhisar ilçelerinde yaygın olarak kullanılan düz örtü uygulamasında “döver” olarak ifade edilen ahşap kirişlerin üzerine, halk dilinde “mertek” olarak adlandırılan, kırıntıdan daha küçük kesitteki ağaç dalları yerleştirilmektedir. Bunun üzerine “gavsa” tabir edilen ahşap kaplama yapılmakta ve sonrasında “ayt baskı” denilen çalı çırpılar yerleştirilerek, son kat olarak toprak serilmektedir (Şekil 7). Gördes, Demirci, Selendi, Kula, Alaşehir ve Sarıgöl ilçelerinde ahşap kirişlerin (döver) üzerine konulan ağaç dalları (mertek), “pınar” adı verilen maki bitkileri ile kaplanarak, toprak katmanı ile bitirilmektedir (Deniz, 1992).



Şekil 7. Manisa'da geleneksel konutlarda düz örtü kesiti (Deniz, 1992).

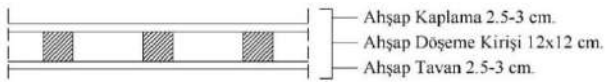
2.3. Üçüncü Derece Gün Bölgesi

Üçüncü derece gün bölgesinde olan Ankara, Eskişehir ve Afyon illerinde görülen düz örtü inşasına halk dilinde “keran” (börk) denilen daire kesitli ahşap döşeme kirişlerinin üzerine ağaç dallarının serilmesi ile başlanmaktadır. Bunun üzerine “geren” adı verilen killi toprak katmanı serilerek dam inşası üst bölümde tamamlanmaktadır (Şekil 8). Alt kısımda ise ahşap döşeme kirişlerinin aralıkları, çamur harcı ile kalın bir tabaka halinde sıvanmaktadır (Alioğlu, 1991).



Şekil 8. Ankara, Eskişehir ve Afyon geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Alioğlu, 1991).

Kırklareli geleneksel konutlarında ara kat döşemesi 40-60 cm aralıklarla konulan ahşap döşeme kirişlerine alttan ve üstten tavan ve döşeme kaplamalarının yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Bu bölgedeki bazı uygulamalarda, ara kat döşemesinde kaplama tahtalarının üstünün, ısı yalıtım özelliğini artırmak amacıyla toprakla kaplandığı bilinmektedir (Şekil 9) (Yüksek ve Esin, 2009).

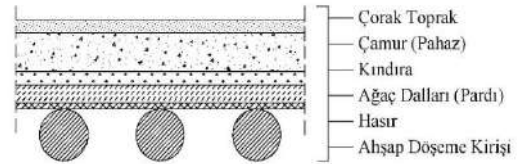


Şekil 9. Kırklareli geleneksel konutlarında ara kat döşeme kesiti (Yüksek ve Esin, 2009).

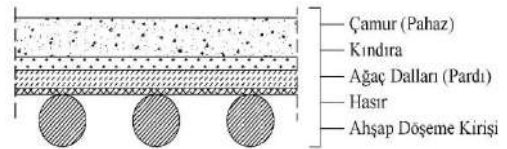
Konya geleneksel konutlarında düz örtü uygulaması çok yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır. Düz örtü ve ara kat döşeme yapımında ahşap döşeme kirişlerinin üzerine ekonomik duruma göre ahşap kaplama veya hasır serilmektedir. Bunun üzerine kamış tabakası veya “pardı” denilen daire kesitli ağaç dalları konulmakta ve üzerine kındıralar yerleştirilmektedir. Kındıra, bataklıklardan elde edilen 50-70 cm uzunluğa sahip, iğne biçiminde bir ottur (Şekil 10). Elenmiş toprak 2-3 gün bekletildikten sonra bu toprakla halk dilinde “pahaz” adı verilen bir çamur hazırlanarak, kındıraların üzerine dökülmektedir (Şekil 11, 12). Son olarak “çorak” adı verilen, bir tür kil olan toprak serilmektedir. Çorak bulunmadığı durumlarda, toprağa doymun tuzlu su emdirilmesiyle elde edilen karışım kullanılmaktadır. Ara kat döşemelerinde çorak tabakası bulunmayıp, diğer katmanları düz örtü ile aynıdır (Şekil 11) (Sözen ve Dülgerler, 1979).



Şekil 10. Kındıra ve hasır (URL 3, URL 4).

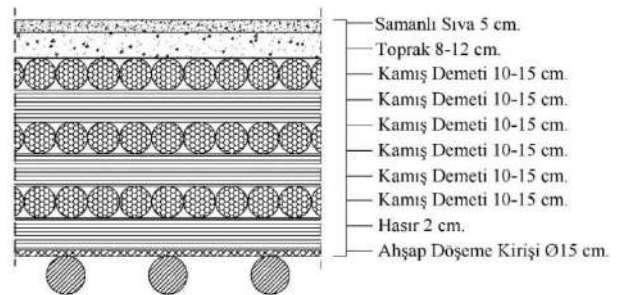


Şekil 11. Konya geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Sözen ve Dülgerler, 1979).



Şekil 12. Konya geleneksel konutlarında ara kat döşeme kesiti (Sözen ve Dülgerler, 1979).

Konya'nın Akşehir ilçesine bağlı Yeşilköy'de düz örtü uygulaması, ahşap döşeme kirişlerinin üzerine hasır serildikten sonra, 10- 15 cm çapında demetler halinde bir araya getirilip bağlanarak oluşturulan kamışlar, 1 ile 7 kat arasında, bir ters bir düz olacak şekilde yerleştirilerek yapılmaktadır (Şekil 14). Kamış demetlerinin üzerine toprak tabakası serilmekte ve bunun üzeri de son kat olarak samanlı çamur harcı ile sıvanmaktadır (Şekil 13) (Çelebi, 2012).

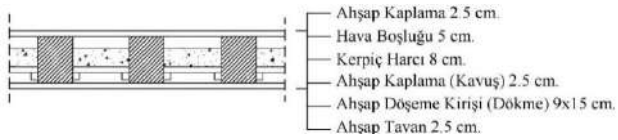


Şekil 13. Konya / Akşehir / Yeşilköy geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Çelebi, 2012).



Şekil 14. Konya / Akşehir / Yeşilköy geleneksel konutlarında kamışlı düz çatı örtüsü (Çelebi, 2012).

Karabük ili Safranbolu ilçesinde geleneksel konutların ara kat ve son kat döşemelerinde yöresel ismi “dökme” olan ahşap döşeme kirişlerinin üzeri, yörede “kavuş” adı verilen enli tahtalarla kaplanmaktadır. Döşeme ve tavan kaplamaları çakılırken hem yukarıdan toz dökülmemesi ve hem de ısı yalıtımı sağlanması için birleşim yerlerine alttan ince ahşap latalar yerleştirilmektedir. Kışlık evlerde altı hayat olan odalarda ahşap kirişlerin araları yaklaşık 8 cm kalınlığında (Canbulat, 2012) bir tabaka halinde samanlı çamur ile doldurulmaktadır (Şekil 15, 16). Isı ve ses yalıtımı sağlayan bu yöntem “bulgurlama” denilmektedir (Günay, 1998).



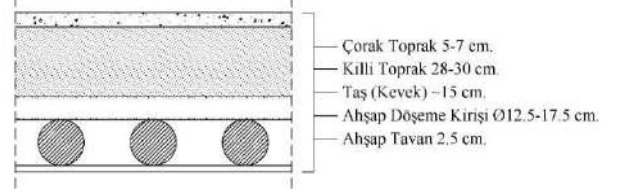
Şekil 15. Safranbolu geleneksel konutlarında ara kat döşeme kesiti (Günay, 1998).



Şekil 16. Safranbolu geleneksel konutların ara kat döşemesinde bulgurlama yapımı (Canbulat, 2012).

2.4. Dördüncü Derece Gün Bölgesi

Dördüncü derece gün bölgesinde olan Kayseri iline bağlı Ağırnas ilçesinde yapılan düz örtü uygulamasında ahşap döşeme kirişlerinin üzerine bir tür volkanik tüf olan ve yöresel dilde “kevek” adı verilen taşlar yerleştirilmektedir. Taşın üzerine kalın bir tabaka halinde killi toprak ve son olarak çorak toprak serilmektedir (Şekil 17, 18) (Alioğlu, 1991).

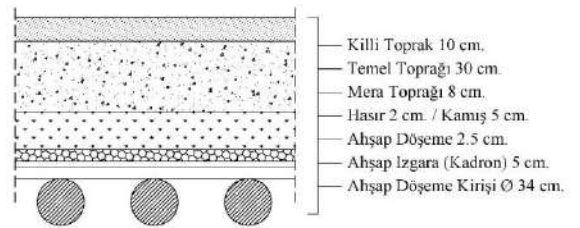


Şekil 17. Kayseri / Ağırnas geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Alioğlu, 1991).



Şekil 18. Kevek taşı (volkanik tüf) ve çorak (tuzlu) toprak (URL 5, URL 6).

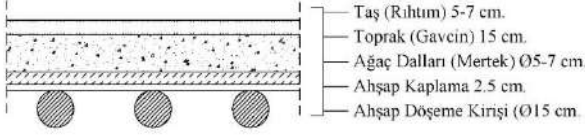
Erzurum ili düz örtü uygulamasında, ahşap döşeme kirişlerinin üzerine ahşap ızgaralar (kadron) konular ve bunların üzerine de ahşap kaplama tahtaları çakılmaktadır. Kaplama tahtalarının hemen üzerinde bölgede “cala” olarak adlandırılan hasır, kamış, ağaç kırıntıları (yonga) veya kamış yapraklarından meydana gelen 2-5 cm kalınlığında bir katman oluşturulmaktadır. Daha sonra, sazlıklardan elde edilen mera toprağına saman ve cala katılmasıyla elde edilen çamur kıvamındaki malzeme ile bir diğer katman meydana getirilmektedir. Mera çamurunun kullanılmasının nedeni, içeriye su sızmasını engellemektir. Bu malzeme yeterince ıslatılıp, çatlamadan kurutulursa, kemirgenlerin bile delemeyeceği bir mukavemete ulaşabilmektedir. Bu katmanın üzerine, içine saman katılmış hafif nemli temel toprağı serilmekte ve killi toprak serilerek örtü tamamlanmaktadır (Şekil 19) (Sağlam, 2019).



Şekil 19. Erzurum geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Sağlam, 2019).

Erzincan iline bağlı Kemaliye ilçesinde düz örtü, yerel isimle “yetme” olarak adlandırılmaktadır. Bölgedeki düz örtü uygulamasında ahşap döşeme kirişlerinin üzerine kaplama

tahtaları konulmakta ve üzerine de “mertek” olarak isimlendirilen 5-7 cm çapında ağaç dalları yerleştirilmektedir (Şekil 20). Yöresel olarak “gavcin”, “pur” gibi isimlerle ifade edilen toprak tabakasının üstü de “dere taşı” veya “rıhtım” olarak adlandırılan taşla kaplanmaktadır (Şekil 20, 21). Yörede damlar meyve sebze kurutma, oturma vb. işlevler için de kullanılmaktadır (Korkmaz ve Akdemir, 2015).

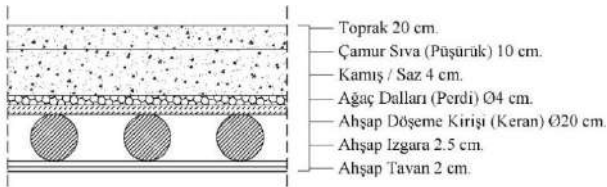


Şekil 20. Erzincan / Kemaliye geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Korkmaz ve Akdemir, 2015).



Şekil 21. Erzincan / Kemaliye geleneksel konut düz örtüsünde dere taşı (rıhtım) kaplaması (Akdemir ve Ekşi Akbulut, 2015)

Bitlis ili geleneksel konutlarında düz örtü uygulamasında, yerel dilde “keran” adı verilen ahşap döşeme kirişlerinin üzerine “mertek” veya “perdi” olarak isimlendirilen ağaç dalları yerleştirilmektedir. Perdi uygulamasında, ağaç dallarının farklı şekillerde dizildiği örnekler bulunmaktadır (Şekil 23). Ağaç dallarının üzeri kamış, saz veya ot ile kaplanarak, bu tabakanın üzerine de odun külü, kaya tuzu, saman ve çorak toprak karışımıyla elde edilen bir çamur (Öztürk, 2019) olan “püşürük” adı verilen bir malzeme serilmektedir. En üste de “sığ” denilen, tuzlanarak sıkıştırılmak suretiyle su geçirgenliği düşürülmüş bir toprak tabakası ile kaplanarak düz örtü elemanı tamamlanmaktadır (Şekil 22) (Sayan ve Öztürk, 2001).



Şekil 22. Bitlis geleneksel konutlarında düz örtü kesiti (Sayan ve Öztürk, 2001).



Şekil 23. Bitlis (solda) ve Van (sağda) geleneksel konutlarında döşeme üzerine ağaç dalı uygulama örnekleri (Payashoğlu ve Aksulu, 2016, Erdoğan, 2007).

3. Yatay Taşıyıcı Düzlemlerin Isıl Geçirgenlik Katsayısının Belirlenmesi

Bu bölümde yatay taşıyıcı düzlemlerin ısı geçirgenlik katsayılarının belirlenmesinde kullanılan yöntem ve malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına yer verilmiştir.

3.1. Malzeme ve Yöntem

Çalışma kapsamında geleneksel yatay taşıyıcı düzlemlerin ısı geçirgenlik katsayısının belirlenmesinde kullanılacak malzeme ısı iletkenlik hesap değerleri geniş bir literatür taraması sonucunda tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerin ısı iletkenlik hesap değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Yatay taşıyıcı düzlemlerin ısı geçirgenlik katsayısı Eşitlik 1 ve 2 yardımıyla hesaplanmıştır. Isıl geçirgenlik katsayısının hesaplamasında, derece gün bölgelerine göre seçilen geleneksel konutların yaygın olarak uygulanan yatay taşıyıcı düzlemlerinin Bölüm 2’de verilen mevcut çizimlerinden ve malzeme katmanlarının ölçüleri kullanılmıştır. Elde edilen ısı geçirgenlik katsayıları, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı’nda tavsiye edilen U_{tavan} değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Saman ve toprak karışımında karışım oranı bilinemediğinden, saman katkılı kerpicingin ısı iletim katsayısı kullanılmıştır. Bazı örneklerde, geçirimsizliği artırmak ve dam üzerinde bitki yetişmesini önlemek için, çorak toprağın bulunmadığı durumlarda toprağa tuz karıştırılmıştır. Bu karışımın oranları belli olmadığı için tuzlu bir toprak türü olan çorak toprağın ısı iletim katsayısı veri olarak değerlendirilmiştir (Tablo 1). Dördüncü derece gün bölgesinden Ağırnas (Kayseri) düz örtü (Şekil 17, 18) U_{tavan} katsayısı, volkanik bir tüf olan kevek taşının ısı iletim katsayısı aralığına göre iki şekilde hesaplanmıştır. Erzurum örneği (Şekil 19) kamış ve hasır kullanımına göre iki şekilde hesaplanmıştır. Kemaliye (Erzincan) örneğinde (Şekil 20), düz örtüde en son katmanda kullanılan dere taşının (Şekil 21) ısı iletim katsayısına ulaşamadığından (akarsuyun etkisi ile sürüklendiği ve gözenekli bir yapıya dönüştüğü düşünülerek) bunun yerine aynı bölgede kullanılan volkanik tüfün ısı iletim katsayısı kullanılmış ve katsayı aralığına göre iki şekilde hesaplanmıştır. Bitlis örneğinde (Şekil 22) düz örtü U_{tavan} değeri, saz ve kamış kullanımına göre iki şekilde değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 1. Geleneksel Konutlarda Yatay Taşıyıcı Düzlemlerde Kullanılan Geleneksel Malzemelerin Isı İletkenlik Katsayıları (λ) (W/mk)

Malzeme	Türü	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mk)
Toprak	Çorak Toprak (Tuzlu Toprak) (Balcıoğlu, 2013).	1.15
	Sıkıştırılmış Toprak (Balcıoğlu, 2013).	1.05
	Killi Toprak (Clarke vd, 1990).	0.80
	Mera Toprağı (Clarke vd, 1990).	1.20
Ağaç	İğne yapraklı (URL 7).	0.13
	Kayın/Meşe/Dişbudak vb. (URL 7).	0.20
	Ağaç Yaprağı (Jayalakshmy ve Jacop, 2010).	0.20-0.50
	Ağaç Kabuğu (Özsoyul ve İstek, 2018).	0.061-0.076
	Ağaç Kırıntıları (Yonga) (URL 9).	0.070
	Dal Parçası (URL 7).	0.20
Taş	Volkanik Tüf (URL 8).	0.08-0.20
	Taş Kırığı (Clarke vd, 1990).	0.96
Hava	Hava Tabakası (URL 7).	0.278
Bitki ve Bitki Artıkları	Hasır (URL 9).	0.055
	Saz (Kon, 2017).	0.045-0.056
	Yosun (Bakatovich ve Gaspar, 2019).	0.044-0.046
	Deniz Eriştesi (Çayırı) (Eriksen vd, 2008).	0.046
	Saman (Temiz ve Olgar, 2017).	0.058
	Sap (Clarke vd, 1990).	0.07
	Kamış (Clarke vd, 1990).	0.09
	Çalı (Mu vd., 2012).	0.82-0.92
Diğer	Çamur (Clarke vd, 1990).	0.72-0.94
	Saman Katkılı Kerpiç (Koçu, 2012)	0.40
	Tuz (Clarke vd, 1990).	0.24

$$R = (d_1 / \lambda_{h1}) + (d_2 / \lambda_{h2}) + \dots + (d_n / \lambda_{hn}) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

R= Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirenlik direnci

d_1, d_2, \dots, d_n = Yapı malzemesi kalınlıkları
 $(\lambda_{h1}, \lambda_{h2}, \dots, \lambda_{hn})$ = Yapı malzemelerinin ısı iletkenlik hesap değerleri

$$U = 1/R \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

U= Yapı bileşeninin toplam ısı geçirenlik katsayısı

R= Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirenlik direnci

3.2. Bulgular

Dört derece gün bölgesinde yer alan yörelere göre geleneksel yatay taşıyıcı düzlemlerin ısı geçirenlik değerleri belirlenmiştir. Bu bağlamda, Tablo 2'de görülebileceği gibi 1. derece gün bölgesine ait Antalya ve Fethiye şehirlerinin yerel yapım yöntemleri ve malzemeleri ile inşa edilen yatay taşıyıcı düzlemin ısı geçirenlik katsayısı 0.488 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Bu değer TS 825'in enerji performansı yüksek olabilecek yapılarda 1.bölgeye göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U katsayısına çok yakın bir değer olması nedeniyle önemlidir. Bu sonuç, 1. bölgede inşa edilen geleneksel yapılarda yer alan yatay taşıyıcı düzlem olan çatı örtüsünün günümüz koşullarına ayak uydurabildiği anlamına gelmektedir.

2. derece gün bölgesine ait olan Diyarbakır şehrinin yerel yapım yöntemleri ve malzemeleri ile inşa edilen yatay taşıyıcı düzlemin ısı geçirenlik katsayısı 0.383-0.467 W/m²K olarak hesaplanırken, Trabzon, Ordu, Rize ve Giresun gibi doğu Karadeniz şehirlerinde üretilen yapıda bulunan yatay taşıyıcı düzlemin ısı geçirenlik katsayısı 1,682-2,269 W/m²K olarak tespit edilmiştir. Bu farkın oluşmasına etki eden neden ahşap kirişler üzerine konan ahşap tavan kaplaması ile oluşturulan tavan kaplamasının katman kalınlığının az olması ve üzerinde herhangi bir yalıtım malzemesinin bulunmamasıdır. Yağış alan bir bölge olması nedeniyle döşeme üzerine konumlanan eğik çatı konstrüksiyonu ısının korunması açısından yardımcı olsa da döşemenin ısı performansının yüksek olmayacağı söylenebilmektedir. Buna rağmen Diyarbakır'da hesaplanan ısı geçirenlik katsayısı TS 825'in enerji performansı yüksek olabilecek yapılarda 2. bölgeye göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerine çok yakın bir değer olması nedeniyle öne çıkmaktadır.

3. derece gün bölgesine ait olan Ankara, Eskişehir ve Afyon şehrinin yerel yapım yöntemleri ve malzemeleri ile inşa edilen yatay taşıyıcı düzlemin ısı geçirenlik katsayısı 1.651 W/m²K olarak hesaplanırken, Akşehir Yeşilköy'de kullanılan kat kat kamışlama yöntemi düzlemin ısı performansını olağanüstü bir şekilde yükseltmiş ve 0.11 W/m²K ile tavsiye edilen değerlerin de altına indirmiştir. Safranbolu evlerinde ise bu değer 0.905 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Karasal iklime sahip olması ve nispeten 1.

ve 2. derece gün bölgelerine göre daha az güneşlenme gün sayısına sahip olan 3. derece gün bölgesinin tavsiye edilen U değeri geleneksel taşıyıcı düzlemler için düşük kalmıştır.

4. derece gün bölgesinde yer alan Kayseri'nin Ağırnas ilçesinde uygulanan döşeme yapım tekniği ile yatay taşıyıcı düzlemin ısıl geçirgenlik katsayısı 0.407-0.749 W/m²K iken, soğuk iklimi ile bilinen Erzurum şehrinin yerel yapım yöntemleri

ve malzemeleri ile inşa edilen yatay taşıyıcı düzlemin ısıl geçirgenlik katsayısı 0.753-0.88 W/m²K olarak belirlenmiştir. Ağırnas'ta elde edilen değerlerin tavsiye edilen değere yaklaşmasında katmanda kullanılan tüfün katkısı yüksektir. Kemaliye ve Bitlis'te elde edilen değerler birbirine yakın olmakla birlikte sırasıyla 0.672-0.964 W/m²K ile 0.679-0.889 W/m²K arasındadır.

Tablo 2. Geleneksel Konut Yatay Taşıyıcı Düzlemler İçin Hesaplanan Isıl Geçirgenlik Katsayıları

İklim Bölgesi	TS 825 U _{tavan} Katsayısı W/m ² K	Yerleşim Yeri	Hesaplanan U _{tavan} Katsayısı W/m ² K
1. Derece Gün Bölgesi	0.45	Antalya, Fethiye (Muğla)	0.488
2. Derece Gün Bölgesi	0.40	Diyarbakır	0.383-0.467
		Trabzon, Ordu, Rize, Giresun	1.682-2.269
3. Derece Gün Bölgesi	0.30	Ankara, Eskişehir, Afyon	1.651
		Kırklareli	1.448
		Yeşilköy (Akşehir, Konya)	0.11
		Safranbolu (Karabük)	0.905
4. Derece Gün Bölgesi	0.25	Ağırnas (Kayseri)	0.407-0.749
		Erzurum	0.753-0.88
		Kemaliye (Erzincan)	0.672-0.964
		Bitlis	0.679-0.889

4. Sonuç

Türkiye'de yer alan dört derece gün bölgesinde yer alan şehirlere ait geleneksel yapılarda yer alan yatay taşıyıcı düzlemler olan tavan döşemelerinin ısıl geçirgenlik katsayıları hesaplanmış ve TS825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nda tavsiye edilen U_{tavan} değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde birinci derece gün bölgesinde yer alan şehirlerde geleneksel yöntem ve doğal malzemelerle üretilen tavan döşemelerinin ilgili standartta birinci derece gün bölgesi için tavsiye edilen tavan ısıl geçirgenlik katsayısına yakın olduğu, teknolojik malzemeler olmadan geleneksel malzemelerle üretilen bu döşemelerin günümüz şartlarına uygun olduğu söylenebilmektedir.

İkinci derece gün bölgesinde yer alan Diyarbakır'da üretilen geleneksel tavan döşemesi incelendiğinde, standartta tavsiye edilen değerle uyumlu olduğu gözlenmiştir. Doğu Karadeniz bölgesinde üretilen ahşap karkas veya ahşap yığma konutlarda döşemelerin sadece ahşap kaplama yapılması sebebi ile sonuç tavsiye edilen U_{tavan} değerinden yüksek çıkmıştır.

Üçüncü derece gün bölgesinde bulunan Ankara, Eskişehir, Afyon şehirlerinde üretilen yatay taşıyıcı düzlemlerin hesaplanan ısıl geçirgenlik katsayısı, tavsiye edilen değerden yüksek bulunmuştur. Yapı elemanının katman kalınlıklarının yeterli düzeyde olmamasının bu sonuçta etkili olduğu düşünülmektedir. Özellikle bu bölgelerde yapılan restorasyon ya da renovasyon çalışmalarında yatay taşıyıcı düzlemlerde ısı iletkenlik değeri düşük geleneksel malzemelerle katman kalınlıklarının artırılması önerilmektedir. Zira aynı derece gün bölgesinde yer alan Yeşilköy (Akşehir, Konya) incelendiğinde, tavan ısıl geçirgenlik katsayısının tavsiye edilen değerden oldukça düşük bir değer

olduğu görülmektedir. 1 ile 7 kat arasında uygulanan kamış dizgesi bu değere ulaşılmasında oldukça etkili olmuştur. Safranbolu evlerinde hesaplanan değerlerin de tavsiye edilen değerden yüksek olması nedeniyle, yüksek oranda restorasyon uygulamalarının yapıldığı konutlarda döşeme katmanlarında kalınlık artışı ve ısı yalıtım malzemesi takviyesi önerilmektedir.

Dördüncü derece gün bölgesi diğer bölgelere göre güneşlenme gün sayısı en düşük olan şehirlerin yer aldığı bir bölgedir. Bu nedenle yüksek ısı korunumu ve düşük ısıl geçirgenlik katsayıları tavsiye edilmektedir. İncelenen örneklerde tavsiye edilen değerlerin üzerinde ısıl geçirgenlik katsayıları ile karşılaşılmıştır. Bu nedenle bu şehirlerde yapılan geleneksel yapı çalışmalarında üçüncü derece gün bölgesinde olduğu gibi döşeme katmanlarında kalınlık artışı ve ısı yalıtım malzemesi takviyesinin döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısının düşürülmesinde etkili olacağı düşünülmektedir.

Geleneksel konutlarda, inşa edildikleri dönemin koşulları da göz önünde bulundurulduğunda, malzeme ve teknikte bilinçli seçimler yapıldığını söylemek mümkündür. Sonuç olarak sürdürülebilir, çevreye duyarlı malzeme arayışlarının sürdüğü günümüz yapı endüstrisinde, bu çalışmada ele alınan geleneksel yapı malzemelerinin, ideale ulaşma kaygısı içinde geliştirilmesi ve kullanılması mümkündür. Yapılarda doğal malzeme kullanımının yaygınlaşması, ekolojik dengenin korunmasına da katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

Akdemir, M.Z. & Ekşi Akbulut, D. (2015). Taş Duvar Örgü Dili Bağlamında Kemaliye (Eğin) ve Koruma Olgusu. *Mimarlık Dergisi*, 383.

- Alioğlu, E. F. (1991). Geleneksel Yapı Elemanları. Basılmamış Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Restorasyon Programı, İstanbul.
- Arıkan, Y. (2003). Hitit Çivi Yazılı Belgelerinde Suhha-(Düz) Dam, Çatı ve Onun Dinsel ve Sosyal Hayattaki Yeri. *Anadolu Arşivleri*, 6 (1).
- Bakatovich, A. & Gaspar, F. (2019). Composite Material For Thermal Insulation Based On Moss Raw Material. *Construction and Building Materials*, 228, 116699.
- Balçoğlu, A. (2013). Geleneksel ve Modern Bağ Evi Örneklerinin Soğutma Enerjisi Korunumunda Etkili Olan Tasarım Değişkenleri Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Canbulat, İ. (2012). Gökçüler Konağı Restorasyonu ve bir Butik Otel Olarak Yeniden İşlevlendirilmesi. Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu, İstanbul, 75-88.
- Clarke J. A., Yaneske, P. P. & Pinney A. A. (1990). The Harmonisation of Thermal Properties of Building Materials. BRE Publication, BEPAC Research Report, 42.
- Çelebi, M. R. (2012). Anadolu Kerpiç Mimarlığı. İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Dağ Gürçan, A. (2017). Toroslar'da Kırsal Mimarlık: Bozyazı, Dereköy Örneği. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Deniz, B. (1992). Manisa Yöresi Köy Ev Mimarisi. *Arkeoloji-Sanat Tarihi Dergisi*, 6, 17-46.
- Deringöl, T. (2015) Sürdürülebilir Çağdaş Konut Tasarımında Gaziantep'in Yerel Mimarısından Öğrenilenler. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, FBE, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Konya.
- Dönmez, Y., Özyavuz, M. & Gökyer, E. (2015). Safranbolu Kentinin Konut ve Site Alanlarının Yeşil Alan Durumlarının Saptanması. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 5 (11), 1-12.
- Erdoğan, B. B. (2007). Van Yöresi Geleneksel Köy Mimarlığı. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Van.
- Erginbaş, D. (1953). Diyarbakır Evleri. Yayınlanmış Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Eriksen, M. S. H., Laursen, T. B., Rode, C., & Hansen, K. K. (2008). Hygrothermal Properties and Performance of Sea Grass Insulation. In Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries (pp. 481-488). Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering. DTU Byg Report, No. R-189
- Güler, K. & Güler, A. C. (2013). Doğu Karadeniz Ahşap Karkas Yapı Geleneği ve Koruma Sorunları. Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 2, İstanbul, 178-193.
- Günay, R. (1998). Türk Ev Geleneği ve Safranbolu Evleri. Yem Yayınları, İstanbul.
- Harputlugil, G. U. & Çetintürk, N. (2005). Geleneksel Türk Evi'nde Isıl Konfor Koşullarının Analizi: Safranbolu Hacı Hüseyinler Evi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (1).
- Kademoğlu, O. (1974). Güneybatı Anadolu'da Açık Sofalı Evler. *Mimarlık Dergisi*, 30-33.
- Kocacıcak, E. (2017). Ayvacık'a Bağlı Köylerde Yöresel Konut Analizi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kon, O. (2017). Ekolojik Sürdürülebilirlik Kapsamında Binalarda Kullanılan Çevre Dostu Isı Yalıtım Malzemeleri ve Bunlara Bağlı Yenilenebilir Enerji Kullanımı. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1 (3), 143-155.
- Korkmaz, E. & Akdemir, M.Z. (2015). Kemaliye ve Çevre Yerleşmelerinde Yer Alan Geleneksel Konutlarda Yerel Bilgi ve Deneyim Kullanılarak Uygulanan Koruma Müdahalelerinin Değerlendirilmesi. *Megaron*, 10 (4), 494-502.
- Manioglu, G. & Yılmaz, Z. (2008). Energy Efficient Design Strategies in the Hot Dry Area of Turkey. *Building and Environment*, Sayı 43, 7, 1301-1309.
- Mu, L., Shi, Y., Feng, X., Zhu, J. & Lu, X. (2012). The Effect Of Thermal Conductivity And Friction Coefficient On The Contact Temperature Of Polyimide Composites: Experimental And Finite Element Simulation. *Tribology International*, 53, 45-52.
- Payaslıoğlu Oğuz, G. & Aksulu, I. B. (2016). Geleneksel Bitlis Evleri: Koruma Sorunları ve Öneriler. *Megaron*, 11 (1), 63-77.
- Pehlivan, A. & Sedes, F. (2019). Safranbolu Evi Dış Duvar Çeşitlerinin Isıl Geçirgenlik Katsayılarının Analizi. *ABMYO Dergisi*, Sayı 55, 181-194.
- Sözen, M. & Dülgerler, O. N. (1979). Konya Evlerinden Örnekler. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 5 (1), 79-100.
- Süt, G. & Tuna-Kayılı, M. (2017). Özgün ve Özgün Olmayan Yapı Bileşenlerine Göre Geleneksel Yapıların Enerji Performansının Belirlenmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, TMMOB, (158), 21-28.
- Temiz, H. & Olgar, K. (2017). Doğal ve Yapay Liflerden Üretilen Panellerin Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (2), 608-618.
- Yüksek, İ. & Esin, T. (2009). Kırklareli Geleneksel Konut Örneklerinin Enerji Etkinliğinin Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 797-807.

URL1:

http://gokceadasualtiparki.org/index.php?option=com_content&view=article&id=42&catid=9&Itemid=215&lang=tr-tr

URL2: <https://www.thriftyfun.com/Improving-Clay-Soil-1.html>

URL3: <http://www.kayseriehaber.com/guncel-haber/kindira-kesimi-basladi-h36794.html>

URL4: <https://arkeofili.com/asikli-hoyukte-10000-yillik-hasir-bulundu/>

URL5: <https://bunyan38.blogspot.com/2017/08/basgolde-besir-aktekinin-muze-evi-ve.html>

URL6: <https://images.app.goo.gl/jbhXifdhyx9Wp7XQ8>

URL7: https://www.izoder.org.tr/hesap-makinesi/ts_825_yardim.pdf

URL8: <http://www.pomza.net/teknik-veriler>

URL9: <https://criticalconcrete.com/reed-in-architecture/>



Otomotiv Endüstrisinde Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Uygulaması Üzerine Bir Araştırma

Funda Kahraman ^{1*}, Mehmet Küçük ²

^{1*} Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1661-3376), fkahraman@tarsus.edu.tr

² Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği ABD, Tarsus, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9196-0784), mehmetkucuk1985@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 2 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 8 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.789424)

ATIF/REFERENCE: Kahraman, F. & Küçük, M. (2020). Otomotiv Endüstrisinde Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Uygulaması Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 623-631.

Öz

Son yıllarda; otomotiv sektöründeki firmalar, taşıtlarda yakıt tüketimini azaltacak ve enerji verimliliğini arttıracak yeni çalışmalara yönelmişlerdir. Araçların yakıt tüketimini ve buna bağlı olarak emisyon oranlarını azaltmada en etkili çözümlerden biri taşıt ağırlığında azaltılma yapılmasıdır. Tasarımı yapılan taşıt parçalarında malzeme dağılımının en iyi şekilde sağlanması için optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Yapısal optimizasyon ile tasarlanan taşıt parçalarının; boyut, şekil ve topoloji olarak en iyi hale getirilmesi amaçlanır. Yapısal optimizasyonun hedefleri; ağırlığı azaltmak, rijitliği arttırmak, stresi azaltmak, üretilebilirliği sağlamak, üretim maliyetlerini düşürmek olarak sıralanabilir. Topoloji optimizasyonu, uygulamalı matematik alanında geliştirilen bir yapısal optimizasyon yöntemidir. Topoloji optimizasyonu; makine, imalat, otomotiv, inşaat ve havacılık gibi birçok disiplinde uygulama alanı bulmaktadır. Bu makale, otomotiv endüstrisinde topoloji optimizasyonu ile ağırlık azaltma çalışmalarına genel bir bakış sunmaktadır. Standart optimizasyon yaklaşımlarına alternatif olarak topoloji optimizasyon yöntemi, verilen performans hedefleri açısından araç ağırlığını azaltmayı ve en uygun malzeme dağılımını bulmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Sonuç olarak, topoloji optimizasyon yöntemi kullanılarak parça tasarımında gerçek çalışma şartlarında karşılaşılan yükler ve zorlanmalar karşısında sınır şartları belirlenerek en ekonomik ve optimum ürünler geliştirilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Topoloji optimizasyonu, yapısal optimizasyon, ağırlık azaltma, otomotiv endüstrisi.

A Research on Weight Reduction Application with Topology Optimization in the Automotive Industry

Abstract

Recently, the companies in the automotive sector have tended towards the new studies decreasing fuel consumption and increasing energy efficiency in vehicles. One of the most effective solutions for reducing fuel consumption of vehicles in parallel with emission rates is to reduce vehicle weight. Optimization methods are used to ensure the best material distribution in the designed vehicle parts. It is aimed to optimize in size, shape and topology of vehicle parts designed with structural optimization. Structural optimization goals; can be listed as reducing weight, increasing stiffness, reducing stress, ensuring manufacturability, and reducing production costs. Topology optimization is a structural optimization method developed in applied mathematics. Topology optimization finds application in many disciplines such as manufacturing, automotive, construction and aerospace. This article provides an overview of topology optimization and weight reduction efforts in the automotive industry. As an alternative to standard optimization approaches, the topology optimization method is an approach that aims to reduce vehicle weight and find the optimal material distribution in terms of given performance targets. Consequently, the most economic and optimum products can be developed and designed by determining boundary conditions due to the stresses and forces in real time working conditions with using computer software and analysis.

Keywords: Topology optimization, structural optimization, weight reduction, automotive industry.

* Sorumlu Yazar: fkahraman@tarsus.edu.tr

1. Giriş

Bilgisayar destekli tasarım ve analiz, tüm sanayi dallarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarımda ve imalatta bilgisayarların kullanılması artan rekabet koşullarında, ürün özelliklerinin değiştirilmesi ve geliştirilmesi için hızlı tasarım ve üretim sağlamaktadır. Günümüz otomotiv endüstrisinde rekabet şartlarında dayanıklı tasarımlar ile firmalar üstünlük sağlayamamaktadır. Firmalar dayanıklı tasarımlara ek olarak hafif ve maliyeti az olan tasarımlar geliştirmek zorunda kalmıştır. Farklı malzemeler kullanarak daha hafif, daha dayanıklı ve az maliyetli tasarımlar üretilebilmesinin yanı sıra araştırmacılar malzemeyi değiştirmeden belirli kısıtlamalar kullanarak optimum tasarıma ulaşabilecekleri optimizasyon yöntemlerini geliştirmişlerdir.

Tasarımı yapılan taşıt bileşenleri için birçok imalat yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretime hazır modeller oluşturulurken malzeme dağılımının en iyi şekilde sağlanması için optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Optimizasyonun hedefleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Mühendisler tasarımlarda stresi artırmadan malzemeyi azaltmanın yöntemlerini araştırmaktadırlar. Optimizasyon teknikleri kullanışlılıkları ve geniş kapsamlı uygulanabilirliklerine karşın iyi bilinmediği ve anlaşılmadığından endüstriyel uygulamaları yeterli değildir (Cavazzuti vd., 2011). Daha verimli ve sürdürülebilir bir imalat için mühendisler tasarımlarında optimizasyon yöntemlerini benimsemelidir. Böylece, ham madde kullanımı, enerji tüketimi ve işletme maliyetleri düşmektedir. Dünyada maden ve enerji kaynakları sınırlıdır ve giderek tükenmektedir. Optimizasyon ile yeterli ham madde kullanımı ve enerji tüketimi kaynakların daha verimli kullanımına katkı sağlayacaktır.

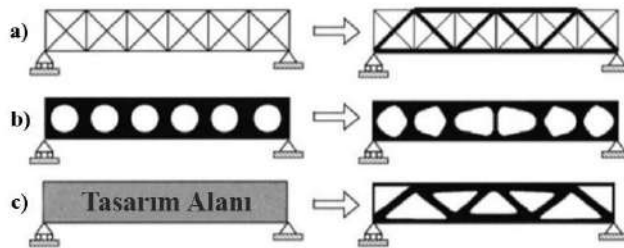


Şekil 1. Optimizasyonun hedefleri (Okudan, 2018)

Optimizasyon yöntemleri iki tür sürece ayrılabilir. İlk süreç, metodolojisi için çoğunlukla matematiksel bir temel kullanan yöntemler diğeri ise, sezgisel metodoloji kullanan yöntemlerdir. Matematiksel optimizasyon algoritmaları matematiksel olarak doğru çözümü bulma eğilimindeyken, sezgisel yöntemler daha pratik bir yaklaşım kullanır. Yinelemeli bir öğrenme yaklaşımının kullanıldığı sezgisel ve matematiksel yöntemleri temel matematiksel yöntemlerle birleştirmek de mümkündür (Sehmi vd. 2018). Optimizasyon problemlerinin çözümünde doğadaki kanunlardan ve canlıların davranışlarından ilham alan genetik algoritma, yapay arı kolonisi, karınca kolonisi ve parçacık sürü algoritmaları kullanılmaktadır. Optimizasyon bir problemin farklı çözümleri içinden en iyi sonuca ulaştıracak çözümün bulunmasıdır (Çelik vd., 2019). Optimizasyonda,

belirli kısıtlamalarda tanımlanan amaç fonksiyonu minimum değere ya da maksimum değere ulaşmalıdır.

Optimizasyon yöntemlerinin kullanımının artması tasarım süreçlerine de yansımıştır. Yapısal optimizasyon ile tasarlanan parçanın topoloji, boyut ve şekil olarak en iyi hale getirilmesi amaçlanır. Topoloji optimizasyonunda parçanın belirlenen bir tasarım alanında optimizasyon uygulanırken boyut ve şekil optimizasyonu parçanın ölçüsü ve şekli değiştirilerek uygulanmaktadır. Yapısal optimizasyonun, topoloji optimizasyonu ile şekil ve boyut optimizasyonu örnekleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Yapısal optimizasyonun hedefleri; ağırlık veya hacmi en aza indirmek, sertliği en üst düzeye çıkarmak, stresi azaltmak, üretilebilirliği sağlamak, üretim maliyetlerini düşürmek olarak sıralanabilir.



Şekil 2. Yapısal optimizasyon

a) Boyut optimizasyonu b) Şekil optimizasyonu c) Topoloji optimizasyonu (Bendsoe ve Sigmund, 2003)

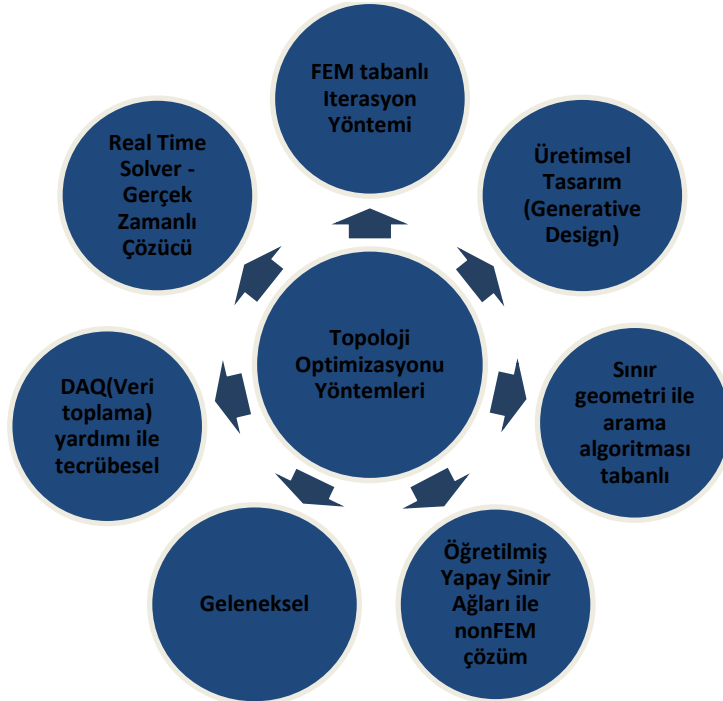
2. Topoloji Optimizasyonu

Topoloji optimizasyonu, uygulamalı matematik alanında geliştirilen bir yapısal optimizasyon yöntemidir. Topoloji optimizasyonu makine, malzeme, otomotiv, inşaat ve havacılık mühendisliği gibi birçok disiplinde uygulama alanı bulmaktadır. Topoloji optimizasyonunun temeli bir yapının tasarımına ve sınır

kısıtlamalarına göre optimum malzeme dağılımını bulmaktır. Topoloji optimizasyonu hakkında ilk makale, 1904 yılında A.G.M. Michell tarafından yayınlanmıştır (Rozvany, 2009; Tyflopoulos vd., 2018). Modern topoloji optimizasyon yöntemleri için öncü çalışmalar Tablo 1’de listelenmiş ve topoloji optimizasyon yöntemleri Şekil 3’te gösterilmiştir.

Tablo 1. Modern topoloji optimizasyon yöntemleri için öncü çalışmaların listesi (Tyflopoulos vd., 2018)

Yöntemler	Öncü Çalışmalar
Homojenizasyon	Bendsoe ve Kikuchi, 1988
SIMP (Solid Isotropic Microstructure with Penalization)	Bendsoe, 1989 Zhou ve Rozvany, 1991 Rozvany, 2001
LSA (Level Set Approach)	Osher ve Sethian, 1988 Michael Wang, Xiaoming Wang ve Guo, 2003 Jia vd, 2011
ESO (Evolutionary Structural Optimization)	Xie ve Steven, 1993 Zhou ve Rozvany, 2001 Xie ve Huang, 2010
BESO (Bidirectional Evolutionary Structural Optimization)	Querin, Young, vd., 2000 Huang ve Xie, 2007
AESO (Additive Evolutionary Structural Optimization)	Querin, Steven, ve Xie, 1998, 2000 Querin, Young, Steven, ve Xie, 2000
SKO (Soft Kill Option)	Baumgartner vd., 1992 Mattheck, 1998



Şekil 3. Topoloji optimizasyonu yöntemleri (Okudan, 2018)

Topoloji optimizasyonu için geliştirilen yazılımlar (TOP, Construct, Catapo, Optcom Optistruct) 1990’lardan itibaren

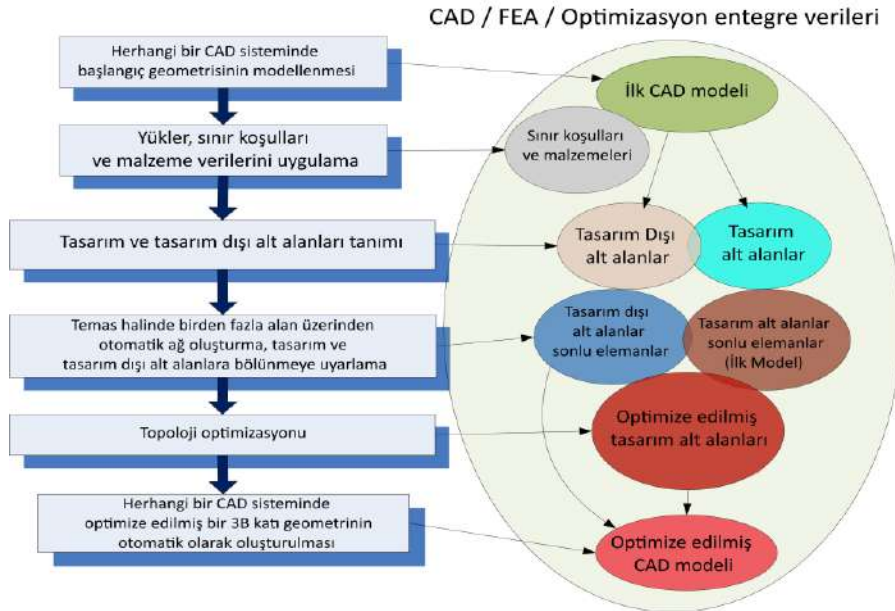
kullanıma başlamıştır. Optimizasyon için kullanılan programlar ve eğitim araçları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Optimizasyon için kullanılan yazılımlar ve eğitim araçları (Reddy vd., 2016)

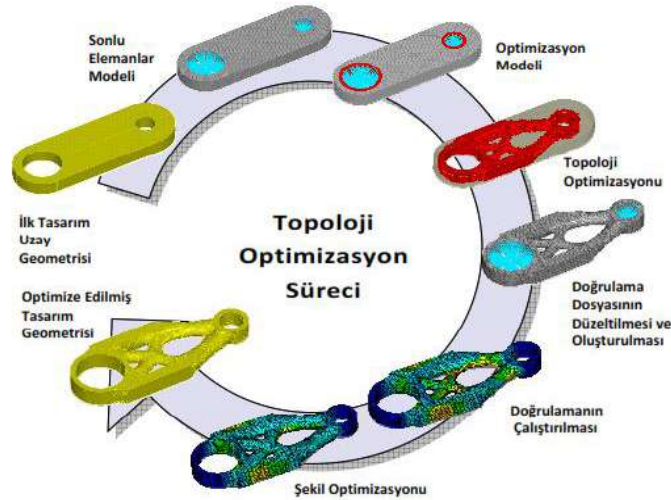
Yazılımlar	Eğitim Araçları
Altair Opti Struct	BESO 3D
Vanderplaats Genesis	Pareto Works
Simulia Tosca	CATOPTO
Abaqus ATOM (TOSCA)	Topo struct
MSC Nastran	Pro Top
Solid Thinking Inspire	Smart – DO
Within Enhance (Autodesk)	META4 ABQ
PERMAS – TOPO	To – Py
FEM tools Optimization	TRINITAS
OPTISHAPE TS	Top – Opt

Geometrik modelleme, otomatik ağ oluşturma ve topoloji optimizasyon yöntemlerinin gelişimi, topoloji optimizasyonunun ürün tasarım sürecine entegrasyonuna izin vermekte ve daha

geniş kullanımı için koşulları oluşturmaktadır (Şekil 4) (Cuillière vd., 2014). Topoloji optimizasyonu sürecinde tasarım aşamaları Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Topoloji optimizasyonunun tasarım ile entegrasyon şeması (Cuillière vd., 2014)



Şekil 5. Topoloji optimizasyonu sürecinde tasarım aşamaları (FEDesign, 2020)

3. Otomotiv Endüstrisinde Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma

Günümüzün araç tasarım gereksinimlerini karşılamak, maliyet ve yakıt verimliliğini artırmak için, hafif ve uygun maliyetli araç bileşenlerinin tasarımına olan ilgi giderek artmaktadır. Diğer yandan, ekonomik nedenler ve küresel ısınma nedeniyle otomotiv bileşenlerinin ağırlık olarak azaltılması gerekmektedir. Ağırlık; malzemeler, tasarım tekniği, imalat işlemleri ve optimizasyon gibi çeşitli teknolojik iyileştirmelerle azaltılabilir (Kaya vd., 2010; Zengin ve Köse, 2017). Otomobillerde ağırlığın azaltılması, otomotiv endüstrisinde sık araştırılan bir konudur. Otomotiv endüstrisinde topoloji optimizasyonu yöntemi ile ağırlık azaltma çalışmaları yapılmaktadır (Cavazzuti vd., 2011; Köse ve Mühürücü, 2018).

Güvenlik, yakıt tüketimi gibi verilen performans hedefleri açısından araç ağırlığını azaltılması son derece yararlıdır. 1300 kg ağırlığında bir otomobilde 100 kg ağırlık azaltıldığında, 100 km'de 0.35 lt yakıt tasarrufu ve 8.4 g CO₂/km egzoz emisyonunda azalma sağlanmaktadır. Başka bir ifadeyle, 100 km'de egzoz emisyonunu 1 g CO₂/km azaltmak için otomobilin ağırlığı yaklaşık olarak 12 kg azaltılmalıdır (Meyer-Pruessner, 2007).

Fren pedalının ağırlığını azaltmak için topoloji optimizasyon yöntemi uygulanmaktadır (Albak, 2019; Sudin vd., 2014; Ingale, 2019; Langnau, 2019; Beker, 2020; Top vd., 2019). Fren pedalı için topoloji optimizasyonu örnekleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Fren pedalı için topoloji optimizasyonu örnekleri

(a) Sudin vd., 2014 b) Ingale, 2019 c) Langnau, 2019 d) Beker, 2020 e) Albak, 2019)

Güleryüz ve Yılmaz (2019) ağır hizmet taşıtlarında kullanılan kampanalı frenin parçası olan bir tork plakasına topoloji optimizasyonunu uygulamış döküm ve işlenmiş parça ağırlıkları sırasıyla %11.9 ve %12.2 azalmıştır.

Jagtap ve Dhoke (2017) üretim kısıtlarını dikkate alarak egzoz montaj braketi için topoloji optimizasyonunu uygulamış ve ağırlığı %50 oranında azaltmıştır. Topaç vd. (2020) kamyonun arka aksında kullanılan bir bağlantı braketi için

topoloji optimizasyonunu uygulamış ve parçanın ağırlığı %63 azaltmıştır. Motor braketinin ağırlığını azaltmak için topoloji optimizasyonu çalışmalarında Öztürk (2016) %22.6, Wu vd. (2016) %40 ve Yıldız vd. (2004) %35 azalma sağlamışlardır.

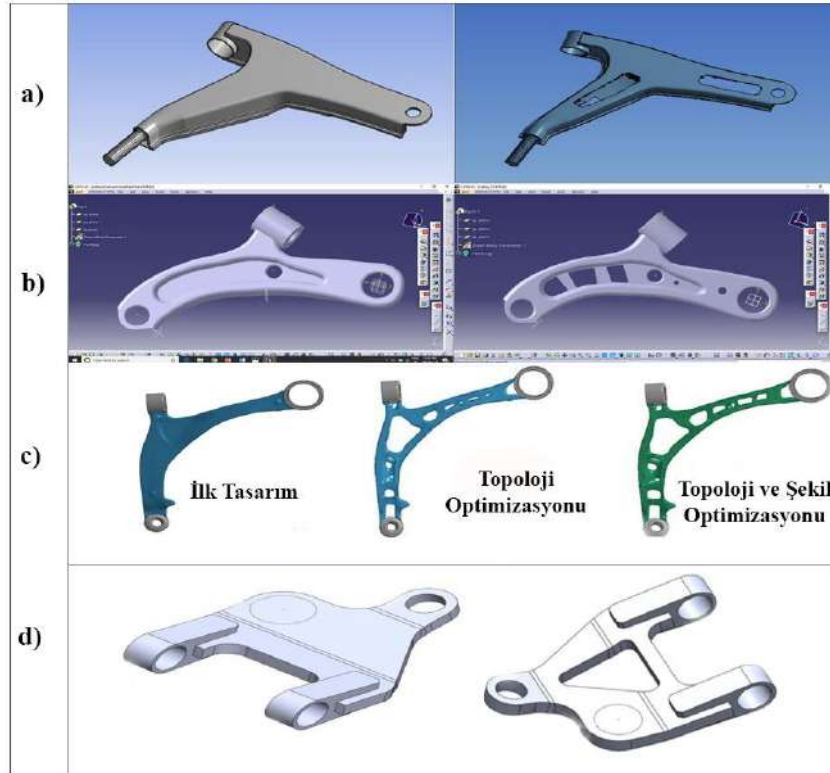
Deshmukh (2018) taşıt jantlarının ağırlığını azaltmak için topoloji optimizasyonunu uygulamıştır. Taşıt jantı için yapılan topoloji optimizasyonu örneği Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Jant için topoloji optimizasyonu örneği (Deshmukh, 2018)

Chaudhari ve Khairnar (2020) topoloji optimizasyonu çalışmasında tekerlek göbek bağlantısı için %24.09 ve mafsal için %16.30 ağırlık azalması sağlamıştır. Kaya vd. (2010) topoloji ve şekil optimizasyonu ile kavrama çatalını yeniden tasarlamış ve ağırlığı %24 azaltmıştır. Yenilmez vd. (2019) ve Yaşar vd. (2019) denge çubuğunda topoloji optimizasyonu uygulamışlar her iki çalışmada ağırlığı %50 azaltmışlardır. Kong vd. (2016) topoloji ve topografya optimizasyonlarını birlikte kullanmış ve helezon yaylı süspansiyon sisteminde kullanılan amortisör alt tablası için yeni tasarımın ağırlığını %36.5 azaltmıştır. Süspansiyon sisteminde kullanılan kontrol kolunun

ağırlığını azaltmak için topoloji optimizasyonu çalışmaları yapılmıştır. Bu yöntemle, Yende vd. (2019) %16.66, Yıldız vd. (2019) %18, Detwiler vd. (2015) %11, Swapnil vd. (2017) %17.5, Dhore ve Thorat (2019) %15.40, Yıldız (2017) %28, Topaç vd. (2017) %19.25 ağırlık azaltımı sağlamışlardır. Topaç vd. (2019) çoklu cisim sistemleri, sonlu elemanlar yöntemi ve topoloji optimizasyonu gibi farklı yaklaşımlar kullanarak süspansiyon sisteminin kavramsal tasarımını yapmıştır. Topoloji optimizasyonu uygulayarak ağırlığı %37 oranında azaltmıştır. Süspansiyon sisteminde kullanılan kontrol kolu için topoloji optimizasyonu örnekleri Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Süspansiyon kontrol kolu için topoloji optimizasyonu örnekleri

(a) Dhore ve Thorat, 2019 b) Yende vd., 2019 c) Detwiler vd., 2015 d) Topaç vd., 2017)

Mantovani vd. (2017) bir spor otomobil gösterge paneline topoloji optimizasyonunu uygulamıştır. Karaoğlan vd. (2016) hidrostatik tahrikli bir yol yıkama aracında optimizasyon çalışması ile uygun profil et kalınlığının belirlenmesi ve şasi üzerindeki gerilmenin az olduğu yerlerden ağırlığın azaltılması sonucu şaside %18.81 hafifleme sağlamıştır. Koçar vd. (2018) 26 ton kapasiteli açık kasa kuru yük dorse şasi ana taşıyıcısını incelemiş ve toplam ağırlığın 475.98 kg'dan 280 kg kadar azaltılabileceğini belirlemiştir. Höke ve Bozca (2019) sac levhadan üretilen motor traverslerinin tasarımında ağırlığı azaltmak için topoloji-topografya optimizasyonu bileşimi ve deneme-yanılma yöntemlerini kullanmışlardır. Yıldız (2012) otomotiv endüstrisinde tasarım optimizasyon problemini çözmek için Taguchi tasarım yaklaşımı ve parçacık sürü optimizasyon yöntemine dayanan yeni bir yaklaşım sunmuştur.

4. Sonuç

Otomotiv, makine, imalat ve havacılık gibi birçok üretim alanında; kalite iyileştirme, malzeme tasarrufu, zaman ve maliyet verimliliği için ürünlerin optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Yapısal optimizasyon ile tasarlanan taşıt parçalarının; boyut, şekil ve topoloji olarak en iyi hale getirilmesi amaçlanmaktadır Araçların yakıt tüketimini ve buna bağılı olarak da emisyon oranlarını azaltmada en etkili çözümlerden biri taşıt ağırlığında azaltılma yapılmasıdır. Günümüzde otomotiv endüstrisinde topoloji optimizasyon yöntemi ile ağırlık azaltma çalışmaları geniş çapta yapılmaktadır Topolojik optimizasyonun avantajları;

- Hafif ve üretime hazır ürünlerin oluşturulması,
- Ürünün analizlerinin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesini sağlayarak, test süreçlerini kısaltması
- Gerçek yük ve kısıtlamalar ile çalışması olarak sıralanabilir.

Sonuç olarak, topoloji optimizasyon yöntemi kullanılarak parça tasarımında gerçek çalışma şartlarında karşılaşılan yükler ve zorlanmalar karşısında sınır şartları belirlenerek en ekonomik ve optimum ürünler geliştirilebilmektedir.

Kaynakça

Albak, İ. (2019). Optimum design of brake pedal using topology optimization method intended for weight reduction on the formula SAE car. *Uluslararası Mühendislik Araştırma Ve Gelistirme Dergisi*, 328–334. doi:10.29137/umagd.467057

Baumgartner, A., Harzheim, L., & Mattheck, C. (1992). SKO (soft kill option): the biological way to find an optimum structure topology. *International Journal of Fatigue*, 14(6), 387–393. doi:10.1016/0142-1123(92)90226-3

Beker, S., (2020). Topoloji Optimizasyonu Yaklaşımıyla Ürün Geliştirme, 01.11.2020 tarihinde <https://www.polygonmuhendislik.com/blog/urun-gelistirme/topoloji-optimizasyonu-yaklasimi-ile-urun-gelistirme> adresinden edinilmiştir.

Bendsøe, M. P. (1989). Optimal shape design as a material distribution problem. *Structural Optimization*, 1(4), 193–202. doi:10.1007/bf01650949

Bendsøe, M. P., ve Kikuchi, N. (1988). Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 71(2), 197–224. doi:10.1016/0045-7825(88)90086-2

Bendsoe, M. P., & Sigmund, O. (2003). *Topology optimization: theory, methods, and applications*. Springer Science & Business Media.

Cavazzuti, M., Baldini, A., Bertocchi, E., Costi, D., Torricelli, E. ve Moruzzi, P. (2011). High performance automotive chassis design: a topology optimization based approach. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 44(1), 45-56.

Chaudhari, P. ve Khairnar, R. (2020). Weight optimization of hub and knuckle using topology optimization. *International Journal of Mechanical Engineering*, 7(6), 20–23. doi:10.14445/23488360/ijme-v7i6p103

Cuillière, J., Francois V., ve Drouet, J., (2014). Towards the Integration of Topology Optimization into the CAD Process, *Computer-Aided Design and Applications*, 11:2, 120-140, DOI:10.1080/16864360.2014.846067

Çelik, Y. Yıldız, İ. Karadeniz, A.T. (2019). A Brief Review of Metaheuristic Algorithms Improved in the Last Three Years. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı)*, 463-477.

Deshmukh, P., (2018). Topology Optimization of wheel rim of Heavy Vehicle, *International Journal of Current Advanced Research*, 07(6), pp. 13289-13291. DOI:http://dx.doi.org/10.24327/ijcar.2018.13291.2362

Detwiler, D., Nutwell, E., Loksha, D., (2015). Multistage optimization of automotive control arm through topology and shape optimization. 6th BETA CAE International Conference, 10-12 June 2015, Greece.

Dhore, R., Thorat, M.L, (2019). Experimental analysis and topology optimization of lower suspension arm of car. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 06(03), 7605-7609.

FEDesign, (2020). Design Process with ANSYS Workbench and TOSCA Structure <https://support.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/partner/FEDesign/fedesign-tosca-brochure.pdf> adresinden edinilmiştir.

Gülyüz, İ. ve Yılmaz, B. (2019). Ağır hizmet araçlarında kullanılan Z-kam kampanalı fren tork plakası ağırlık optimizasyonu. *Academic Perspective Procedia*, 2(3), 466-475.

Höke, Ö. ve Bozca, M. (2019). Topology Optimisation of Engine Cross Members for Lightweight Structure in Light Commercial Vehicles. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 21(3), 465–482. doi:10.1007/s12541-019-00228-4

Huang, X., ve Xie, Y. M. (2007). Convergent and mesh-independent solutions for the bi-directional evolutionary structural optimization method. *Finite Elements in Analysis and Design*, 43(14), 1039–1049. doi:10.1016/j.finel.2007.06.006

Ingale, P.M. (2019). Topology Optimization of an All-Terrain Vehicle Brake Pedal. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 8(6), 763-767.

Jagtap, M. ve Dhoke, A. (2017). Topology optimization of exhaust mounting bracket. In *Tech Mahindra, Altair Technology Conference*.

Jia, H., Beom, H. G., Wang, Y., Lin, S., ve Liu, B. (2011). Evolutionary level set method for structural topology optimization. *Computers & Structures*, 89(5-6), 445–454. doi:10.1016/j.compstruc.2010.11.003

Karaoğlan, M. U., Turnalı, Ö. Y. ve Kuralay, S. N. (2016). Hafif hizmet aracı şasi analizi ve optimizasyonu. *Deu Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik*, 18(54), 502–502. doi:10.21205/deufmd.2016185417

- Kaya, N., Karen, İ. ve Öztürk, F. (2010). Re-design of a failed clutch fork using topology and shape optimisation by the response surface method. *Materials and Design*, 31(6), 3008–3014. doi:10.1016/j.matdes.2010.01.002
- Koçar, O., Şen, Ş., Yaşar, M. (2018). Dorse tasarımında stres dağılım analizi ve topoloji optimizasyonu. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 8(1), 309-316.
- Kong, Y. S., Abdullah, S., Omar, M. Z. ve Haris, S. M. (2016). Topological and topographical optimization of automotive spring lower seat. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 13(7), 1388–1405. doi:10.1590/1679-78252082
- Köse, E., ve Mühürçü, A. (2018). Çeşitli kriterlere göre elektrikli otomobillerin karşılaştırılması. Presented at the 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018), ADANA
- Langnau, L., (2019). What is topology optimization? 1.11.2020 tarihinde <https://www.makepartsfast.com/what-is-topology-optimization> adresinden edinilmiştir.
- Mantovani, S., Presti, I. L., Cavazzoni, L. ve Baldini, A. (2017). Influence of manufacturing constraints on the topology optimization of an automotive dashboard. *Procedia Manufacturing*, 11, 1700-1708.
- Mattheck, C. (1998). Design in der Natur und nach der Natur. *Kreativität Als Chance Für Den Standort Deutschland*, 63–70. doi:10.1007/978-3-642-60292-4_9
- Meyer-Pruessner, R. (2007). Significant weight reduction by using topology optimization in volkswagen design development with emphasis on engine design [PDF Belgesi] 21.07.2020 tarihinde https://www.altairhyperworks.co.uk/html/en-GB/session1/Meyer-Pr%FCessner_Volkswagen.pdf adresinden edinilmiştir.
- Okudan, A. (2018, 6 Eylül). Topoloji optimizasyonu-101. 09.08.2020 tarihinde <https://tr.linkedin.com/pulse/topoloji-optimizasyonu-101-ahmet-okudan> adresinden edinilmiştir.
- Osher, S., ve Sethian, J. A. (1988). Fronts propagating with curvature-dependent speed: Algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations. *Journal of Computational Physics*, 79(1), 12–49. doi:10.1016/0021-9991(88)90002-2
- Öztürk, U. E. (2016). Döküm braketlerin bilgisayar destekli tasarım eniyilemesi için yeni bir yaklaşım. *Deu Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik*, 18(54), 521–521. doi:10.21205/deufmd.2016185419
- Querin, O. M., Steven, G. P. ve Xie, Y. M. (2000). Evolutionary structural optimisation using an additive algorithm. *Finite Elements in Analysis and Design*, 34(3-4), 291–308. doi:10.1016/s0168-874x(99)00044-x
- Querin, O. M., Steven, G. P., ve Xie, Y. M. (1998). Evolutionary structural optimisation (ESO) using a bidirectional algorithm. *Engineering Computations*, 15(8), 1031–1048. doi:10.1108/02644409810244129
- Querin, O. M., Young, V., Steven, G. P. ve Xie, Y. M. (2000). Computational efficiency and validation of bi-directional evolutionary structural optimisation. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 189(2), 559–573. doi:10.1016/s0045-7825(99)00309-6
- Reddy K, S. N., Ferguson, I., Frecker, M., Simpson, T. W., ve Dickman, C. J. (2016, August). Topology optimization software for additive manufacturing: A review of current capabilities and a real-world example. In *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (Vol. 50107, p. V02AT03A029)*. American Society of Mechanical Engineers.
- Rozvany, G. I. N. (2001). Aims, scope, methods, history and unified terminology of computer-aided topology optimization in structural mechanics. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 21(2), 90–108. doi:10.1007/s001580050174
- Rozvany, G. I. N. (2008). A critical review of established methods of structural topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 37(3), 217–237. doi:10.1007/s00158-007-0217-0
- Sehmi, M., Christensen, J., Bastien, C. ve Kanarachos, S. (2018). Review of topology optimisation refinement processes for sheet metal manufacturing in the automotive industry. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 58(1), 305-330.
- Sudin, M. N., Tahir, M. M., Ramli, F. R. ve Shamsuddin, S. A. (2014). Topology optimization in automotive brake pedal redesign. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 6(1), 398-402.
- Swapnil, S. K., Amol, N. P., ve Amol, B. G. (2017). Design optimisation of a lower control arm of suspension system in a LCV by using topological approach. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(6), 11657-11665.
- Top, N., Gökçe, H. ve Şahin, İ. (2019). Eklemeli imalat için topoloji optimizasyonu: el freni mekanizması uygulaması. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 18(1), 1-13
- Topaç, M. M., Bahar, E., Kaplan, A. ve Sarıkaya, E. Z. (2017). Topoloji optimizasyonu yardımıyla, askeri taşıt bağımsız ön süspansiyonu için alt salıncak tasarımı. *IDEFIS 2017: 2nd International Defence Industry Symposium 333-342*
- Topaç, M. M., Karaca, M., Aksoy, B., Deryal, U. ve Bilal, L. (2020). Lightweight design of a rear axle connection bracket for a heavy commercial vehicle by using topology optimisation: A case study. *Mechanics*, 26(1), 64-72.
- Topaç, M. M., Özmen, B., Deryal, U. ve Selbes, O. (2019). Özel tip bir yarı römork için bağımsız süspansiyon sistemi tasarımı: Kavramsal tasarım çalışmaları. *Journal of Polytechnic*. doi:10.2339/politeknik.399078
- Tyflopoulos, E., Tollnes, F. D., Steinert, M. ve Olsen, A. (2018). State of the art of generative design and topology optimization and potential research needs. *DS 91: Proceedings of NordDesign 2018, Linköping, Sweden, 14th-17th August 2018*.
- Wang, M. Y., Wang, X., ve Guo, D. (2003). A level set method for structural topology optimization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 192(1-2), 227–246. doi:10.1016/s0045-7825(02)00559-5
- Wu, P., Ma, Q., Luo, Y., ve Tao, C. (2016). Topology optimization design of automotive engine bracket. *Energy and Power Engineering*, 8(04), 230.
- Xie, Y. M., ve Huang, X. (2010). Recent developments in evolutionary structural optimization (ESO) for continuum structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 10, 012196. doi:10.1088/1757-899x/10/1/012196
- Xie, Y. M., ve Steven, G. P. (1993). A simple evolutionary procedure for structural optimization. *Computers & Structures*, 49(5), 885–896. doi:10.1016/0045-7949(93)90035-c
- Yaşar, A., Yılmaz, E., Şendur, P., (2019) Şantiye Kamyonlarında Denge Çubuğu Tasarımı ve Optimizasyonu. *Mühendis ve Makina Güncel*, Sayı32, 2-32.

- Yende, S. V., Tadamalle, A. P., ve Burande, D. H. (2019). Topology Optimization of Lower Control Arm for LMV. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 08(07), 829-834.
- Yenilmez, E., Yasar, A. ve Şendur, P. (2019). Şantiye kamyonlarında denge çubuğu tasarımı ve optimizasyonu, *Mühendis ve Makina Güncel*, Ağustos 2019, Sayı:32, 28-32.
- Yıldız, A. R. (2012). A new hybrid particle swarm optimization approach for structural design optimization in the automotive industry, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 226 (10), 1340-1351.
- Yıldız, A. R. (2017). Taşıt elemanlarının yapısal optimizasyon teknikleri ile optimum tasarımı. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 319-323.
- Yıldız, A. R., Kaya, N., Öztürk, F. ve Alankuş, O. (2004). Optimal design of vehicle components using topology design and optimisation. *International Journal of Vehicle Design*, 34(4), 387. doi:10.1504/ijvd.2004.004064
- Yıldız, A. R., Kılıçarpa, U. A., Demirci, E. ve Doğan, M. (2019). Topography and topology optimization of diesel engine components for light-weight design in the automotive industry. *Materials Testing*, 61(1), 27–34. doi:10.3139/120.111277
- Zengin, E., ve Köse, E. (2017). Standart bir otomobilin elektrikli otomobile dönüşümü üzerine gerçek bir uygulama. Presented at the 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017), ADANA.
- Zhou, M., ve Rozvany, G. I. N. (1991). The Coc Algorithm .2. Topological, Geometrical and Generalized Shape Optimization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 89(1-3), 309-336. doi:Doi 10.1016/0045-7825(91)90046-9
- Zhou, M., ve Rozvany, G. I. N. (2001). On the validity of ESO type methods in topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 21(1), 80–83. doi:10.1007/s001580050170



Sosyal Medya Reklamcılığının Tüketici Satın Alma Davranışı Üzerine Etkisinin Yapısal Eşitlik Modellemesi İle İncelenmesi

Sinem Sargin^{1*}, Burcu Oralhan², Ahmet Serkan Üvenç³

¹ Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7504-154X)

² Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8905-0140)

³ Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6989-0994)

(İlk Geliş Tarihi 10 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 8 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.793072)

ATIF/REFERENCE: Sargin, S., Oralhan, B. & Üvenç, A. S. (2020). Sosyal Medya Reklamcılığının Tüketici Satın Alma Davranışı Üzerine Etkisinin Yapısal Eşitlik Modellemesi İle İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 632-639.

Öz

Günümüzde mal ve hizmet sağlayıcılar açısından reklam oldukça önemli bir tutundurma faaliyeti haline gelmiştir. Bir reklam kampanyasının başarılı olabilmesi için etkin bir stratejinin ortaya konulması gereklidir. Firmanın geliştirdiği stratejiler ise bazı reklam araçları ile tüketicilere iletilmektedir. Sosyal medya reklamcılığı; firmaların, hedef pazardaki tüketicilerle, bir mobil cihaz veya ağ aracılığıyla etkileşimli bir biçimde iletişim ve ilişki kurmasını sağlayan eylemler dizisi olarak tanımlanmaktadır. Pazarlama araştırmacıları, tüketicilerin sosyal medya reklamlarına ilişkin tutum ve satın alma niyetlerini incelemek ve öncüllerini belirlemek için motivasyon teorisinden yararlanmışlardır. Dışsal motivasyon, algılanan yararlılığı ifade ederken; içsel motivasyon ise eylemin kendisine olan ilgiyi ifade etmektedir. Bu çalışma, motivasyon teorisinin ışığında, tüketicilerin sosyal medya reklamcılığına yönelik tutumlarını ve satın alma niyetlerini etkileyen faktörleri incelemektedir. Bu kapsamda bu çalışmanın amacı; dışsal ve içsel motivasyonun tüketicilerin sosyal medya reklamcılığına yönelik tutumları üzerindeki etkisini; bununla birlikte, tüketicilerin tutumlarının da satın alma niyetleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Araştırmanın ana kütlesi Kayseri’de ikamet eden tüketicilerden oluşmaktadır. Kolayda örnekleme yöntemiyle seçilen 354 tüketici üzerinde gerçekleştirilen çalışma nicel araştırma yöntemlerinden yüz-yüze anket yöntemi uygulanarak yapılmıştır. Araştırmanın hipotezlerini test etmek amacıyla, Yapısal Eşitlik Modeli kullanılmıştır. Güvenilirlik analizi ve frekans analizi SPSS; doğrulayıcı faktör analizi ve hipotez testleri ise AMOS istatistik programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Araştırmanın bulguları doğrultusunda, vakitlilik, yerleştirme ve kişiselleştirmenin dışsal motivasyon üzerinde; algılanan zevkin ise içsel motivasyon üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Fakat, tüketici yenilikçiliğinin içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte dışsal ve içsel motivasyonun tutum üzerinde; tutumun ise satın alma niyeti üzerinde etkili olduğu sonucu ortaya konmuştur. Bu çalışma sonuçlarının literatürde yer alan diğer çalışma sonuçlarını desteklediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tüketici Davranışı, Sosyal Medya, Reklam, Motivasyon, Yapısal Eşitlik Modellemesi

Investigation of the Effect of Social Media Advertising on Consumer Buying Behavior Using Structural Equation Modeling

Abstract

Today, advertising has become a very important promotion activity for goods and service providers. In order for an advertising campaign to be successful, an effective strategy must be put forward. The strategies developed by the company are communicated to consumers by some advertising tools. Social media advertising is defined as a series of actions that enable companies to communicate and interact with consumers in the target market via a mobile device or network in an interactive manner. Marketing researchers have used motivation theory to examine consumers' attitudes and purchase intentions towards social media ads and determine their premises. Extrinsic motivation expresses perceived usefulness; intrinsic motivation refers to the interest in the action itself. In the light

* Sorumlu Yazar: Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7504-154X, ssargin@nny.edu.tr

of motivation theory, this study examines the attitudes of consumers towards social media advertising and the factors affecting their purchase intentions. In this context, the purpose of this study is to examine the effect of extrinsic and intrinsic motivation on consumers' attitudes towards social media advertising and also the effect of consumers' attitudes on purchasing intentions. The main mass of the research consists of consumers residing in Kayseri. The study, which was carried out on 354 consumers selected by convenience sampling method was conducted by applying face-to-face questionnaire method, one of the quantitative research methods. In order to test the hypotheses of the research, the Structural Equation Model was used. Reliability analysis and frequency analysis were analyzed through SPSS; confirmatory factor analysis and hypothesis tests were analyzed through the AMOS statistic programs. In line with the findings of the research, timeliness, placement, and personalization have effect on extrinsic motivation; besides, perceived pleasure seems to have an effect on intrinsic motivation. However, it is concluded that consumer innovativeness does not have a significant effect on intrinsic motivation. Moreover, extrinsic and intrinsic motivation have effect on attitude and the attitude has an effect on the purchase intention. Review of the literature supported that the study results in these application were similar to those in other results.

Keywords: Consumer Behavior, Social Media, Advertising, Motivation, Structural Equation Modeling

1. Giriş

Küreselleşen dünyada mal ve hizmet sağlayıcılar için reklam çok önemli bir tanıtım aracı haline gelmiştir. Reklam ifadesi geniş uygulama alanı olduğu için birbiri arasında benzerlik ve farklılık gösteren pek çok tanıma sahiptir. En basit tanımıyla reklam, bir malın veya hizmetin belli bir bedel karşılığında genel yayın vasıtalarında tanıtılarak büyük hedef kitlelerine duyurulmasıdır (Ünsal, 1984, s. 12). Reklam birçok unsuru içinde barındırmasının yanında aynı zamanda ekonomik bir faaliyettir. Gündelik hayatla etkinleşmesi, satın alma tercihlerini etkilemesi ve tüketicilerin hayatını şekillendirmesi gibi unsurlardan dolayı reklam ekonomilerde önemli bir yer edinmiştir. Ekonomik yaşamda pazarlama faaliyetlerinin geniş kitle ve alanlara yayılmasını sağlayan temel eylemler, kuşkusuz öncelikle üretim, dağıtım, buna paralel olarak da satışı destekleyen çabaların varlığıdır. Reklam, bu yönüyle dağıtım eşlik eden ve üretime katkıda bulunan bir ekonomik karakter taşımaktadır. Bu nedenle işletmeler için hayati öneme sahiptir (Babacan, 2005, s. 31).

Günümüz tüketim toplumunda işletmeler, onların sunduğu hizmetler/ürünler ve markalar başrolü üstlenmektedir. Bir işletmenin hizmetini veya ürününü almak aynı zamanda bir statüyü de beraberinde edinmek anlamına gelmektedir. Bu statü ediniminde kullanılacak en etkili yöntem reklamdır. Bu reklam faaliyetleri yürütülürken sürekli iletişim halinde olunması gerekmektedir. Sürekli iletişimin olması müşterinin aklında daha uzun süre kalınması anlamına gelmektedir. Müşterinin aklında kalmanın en iyi yolu ise reklam iletişiminin sağlanmasıdır (Belch ve Belch, 2004).

Tüketiciler üzerinde istenen etkiyi oluşturabilmesi için bir reklam kampanyasının doğru tasarlanmış yaratıcı bir stratejiyi ortaya koyması gereklidir (Freze, 1983, s. 36). Bu stratejiler bazı reklam araçları ile müşteriye iletilebilmektedir. Reklam verenler reklam kanalları ile doğru mesajı hedef kitlelerine ulaştırırlar. İşletmelerin, müşteriyle iletişim kurarken farklı kanallardan birini veya bir kaçını seçmesi gerekmektedir. Günümüzde birçok reklam aracı mevcuttur. Farklı medya içerikleri televizyon, gazete, dergi, billboard, broşür vb. olarak sunulabilmektedir. İnsanların internette alternatif bir dünya ve bir toplum oluşturmasıyla internet ve sosyal medya reklamcılığının doğuşuna zemin hazırlanmıştır (Sinkovics, Pezderkab, & Haghirian, 2012). Sosyal medya reklamcılığı; işletmelerin, hedef kitleleriyle herhangi bir mobil cihaz veya ağ aracılığıyla etkileşimli bir şekilde iletişim ve ilişki kurmasını sağlayan eylemler dizisi olarak tanımlanmaktadır (Johnson vd., 2013).

Sosyal medya; yapısı, katılımcıları, algılanışı ve kullanım biçimi ile pek çok avantaj içermektedir. Sosyal medya katılımcılarına neredeyse hiç bir mecranın sunmadığı özgürlükler ve olanaklar sunar. Katılımcılarının istekleri doğrultusunda gelişir ve değişir. Katılımcılar sosyal medyada iletişim konusunda da neredeyse sınırsız olanaklara sahiptir. Diğer medya organları tek yönlü iletişim içerirken, sosyal medyada insanlar düşüncelerini belirtmeye fırsat bulabilmektedir. İnsanlar sosyal medyada kültürel rahatsızlar çekmemektedir çünkü sosyal medya toplumun kültüründen beslenir ve insanların kültürlerini besler. Kullanıcılar sosyal medyada farklı uçları birbirine bağlarlar ve kendilerine en uygun atmosferi yaratmayı çalışırlar. Bununla birlikte, diğer medya organlarının aksine sosyal medya dinamikdir; kolayca yorumlanıp geri bildirim verilebilir. Sosyal medya eleştiriler ışığında kendini sürekli günceller. En büyük avantajı ise, sosyal medyanın herkes tarafından ulaşılabilir ve kullanılabilir olmasıdır. (Shankar, Venkatesh, Hofacker, & Naik, 2010; Ghose & Han, 2011). Sosyal medyada reklamlar Facebook, Instagram, Twitter, LinkedIn, SnapChat, Swarm gibi birçok platform ile hedef kitlelere ulaşabilmektedir. Bu gibi avantajlarından dolayı sosyal medya platformlarında reklam yapmak ve tüketicilerin tutum ve davranışlarını etkileyebilmek cazip hale gelmiştir. Literatürde reklamların tüketici motivasyon tutum ve davranışlarını inceleyen birçok çalışma mevcuttur. Şimşek (2013)'ün çalışması kullanıcıların geleneksel mecralarda gördüğü reklamları sosyal ağlarda (Facebook, Twitter, Youtube) paylaşımları ile ilgili motivasyonlarını betimlemeyi ve hangi tür reklamların paylaşımına değer bulduklarını ortaya koymayı amaçlayan bir alan araştırmasıdır. Can ve Serhateri (2016)'nin çalışmasında sosyal medya reklamlarının markaya yönelik tutumlara etkisi incelenmiştir. Aktaş ve Aktan (2014), çalışmalarında Facebook'un bir reklam mecrası olarak tüketici tutumlarına nasıl etki ettiğini ve satın alma davranışı üzerindeki fonksiyonunu araştırmışlardır. KHang vd. (2012) ise, çalışmalarında reklamcılık, iletişim, pazarlama ve halkla ilişkilerde sosyal medya araştırmasını incelemişlerdir.

Pazarlama ve reklam araştırmacıları; tüketicilerin sosyal medya reklamlarına yönelik tutum ve niyetlerini ölçmek ve öncüllerini belirlemek için teknoloji kabul modeli, motivasyon teorisi, tahmin teorisi, gerekçeli eylem teorisi gibi birçok farklı teori uygulamışlardır. Motivasyon teorisi, hem dışsal hem de içsel motivasyonların insanların bilgi teknolojilerini kullanma niyetlerini etkilediği sonucuna ulaşmaktadır (Davis vd, 1992; Kim vd., 2007; Allam vd., 2019; Lu ve Su, 2009; Van der Heijden, 2004). Daha önce yapılan araştırmalar, tüketicilerin bilgi teknolojisini kabul etme davranışını açıklamak için yaygın olarak motivasyon teorisini kullanmıştır. Deci ve Ryan (1975),

tüketici davranışının altında yatan motivasyonları dışsal motivasyon ve içsel motivasyon olarak ikiye ayırmıştır. Bunun yanında, bilgi teknolojileri söz konusu olduğunda, bireylerin elde edilen içsel ödüller (zevk ve eğlence), algılanan faydalar (yararlılık) veya dış baskılar (sosyal baskı) nedeniyle motive edilebileceğini öne sürmüşlerdir (Deci ve Ryan, 1975). Dışsal motivasyon, algılanan yararlılığı ifade ederken; içsel motivasyon eylemin kendisine olan ilgiyi ifade etmektedir (Davis ve diğerleri, 1992). Birçok araştırmacı hem dışsal (yararlılık) hem de içsel (zevk alma) faktörlerin bilgi teknolojisi sistemlerini kullanma motivasyonunu etkilediğini öne sürmüştür. Wu ve Lu (2013) davranışsal niyet çalışmaları bağlamında, zevk ve kullanılabilirliğin sırasıyla en belirgin ve dışsal motivasyon unsurları olduğunu ifade etmiştir (Davis vd., 1992; Lin ve Lu, 2011; Kim ve diğerleri, 2007; Lin ve Bhattacharjee, 2008; Moon ve Kim, 2001; Teo, Lim, & Lai, 1999; van der Heijden, 2004; Lu ve Su, 2009). Motivasyon teorisini uygulayarak, iç ve dış motivasyon değişkenlerini belirleyen ve sosyal medya araştırmalarını ele alan birçok çalışma mevcuttur (Koo, Chung ve Nam, 2015; Chung ve Koo,2015; Akhlaq ve Ahmed,2013). Bu çalışmalardan biri olan Fagan vd. (2008) çalışmaları neticesinde, içsel motivasyon ile dışsal motivasyon arasında pozitif bir ilişki olduğunu bulmuştur.

Sosyal ağ platformlarının hem iç hem de dış motivasyonların davranışsal niyeti etkilediği ve tüketiciler tarafından algılanan faydaların motivasyon faktöründen kaynaklandığı tespit edilmiştir (Kim, Chan ve Gupta, 2007). Bu iki motivasyonun tüketicinin bilgi teknolojisini kullanma niyetini etkilediği ifade edilmiştir (Kim ve ark. 2007; Lin ve Lu, 2011). Tutum, gerçek davranışın ne kadar olumlu veya olumsuz olduğuna dair düşüncelerdir (Ajzen ve Fishbein, 1980). Bu nedenle, sosyal platformları kullanmaya yönelik tutum, bu tür araçları kullanmanın iyi bir fikir olup olmadığı ve platform kullanıcılarının ne kadarının bunları kullanmayı tercih ettiği konusundaki görüşleri içerir. Tutum, geçmiş deneyimlere ve mevcut duyuşsal ve bilişsel bilgilere göre şekillenir ve insanların belirli bir eyleme yönelik davranışları üzerinde etkisi olduğu söylenir. (Fishbein and Ajzen, 1975) Ayrıca, sosyal ağ platformlarının kullanımı bağlamında, önceki çalışmalar, motivasyonun, kullanıcının bu platformları kullanma niyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuştur (Dhir et al., 2018; Qin, Kim, & Tan, 2016; Mouakket, 2015; Sledgianowski & Kulviwat, 2009). Bu nedenlere dayanarak, bu çalışma da, tüketicilerin sosyal medya reklamcılığına yönelik tutum ve satın alma niyetlerine yönelik motivasyonu dışsal ve içsel olarak önmektedir.

Bu çalışmada, sosyal medya reklamlarının vakitliliği (zamanlaması), yerleştirilmesi ve kişiselleştirilmesi dışsal motivasyonun öncülleri olarak; tüketici yenilikçiliği ve algılanan zevk ise içsel motivasyonun öncülleri olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, reklamın yerleştirildiği alanın müşterilerin tepkilerini değiştirebildiğini öne sürerek sosyal medya reklamcılığındaki önemini vurgulamışlardır (Ho, 2012; Rajala & Westerlund, 2010). Ayrıca araştırmacılar yerleştirme ve vakitlilik açısından, tüketicilerle en uygun anda iletilen mesajların, doğru iletişimin kurulmasına imkan tanıdığını ifade etmişlerdir (Balasubramanian, Peterson ve Jarvenpaa, 2002, Hui, Inman, Huang ve Suher, 2013; Chung, Rust ve Wedel, 2009). Sosyal medya reklamcılığı, mobil cihazlar tüketicilerin kimlik bilgilerini taşıdığı için kişiselleştirme potansiyeli sağlamaktadır (Lee & Benbasat, 2003). Pazarlamacılar, müşterilerin tercihleri hakkında bilgi toplayabilirler. Bununda ötesinde; geri

bildirimlerini, şirketin gelecekteki ürün ve hizmetlerini iyileştirmek için, mesajlarını ve tekliflerini özelleştirmek için kullanabilirler (Stewart & Pavlou, 2002). Bu dışsal faktörlere ek olarak, tüketici yenilikçiliği (tüketicilerin yeni ürünlere, hizmetlere veya uygulamalara ne ölçüde açık oldukları) ve algılanan zevk (bir ürünü kullanma faaliyetinin ne ölçüde algılandığı) olmak üzere iki içsel motivasyon faktörü belirlenmiştir. Yenilik aramak, yenilikçi tüketicilerin doğasının bir parçasıdır (Allam vd, 2019; Ryan, Deci, Nix ve Manly, 1999). Önceki çalışmalar, tüketici yenilikçiliğinin, yeni teknolojilerin benimsenmesinin esas itici gücü olduğunu göstermektedir (Reis, 1994). Ayrıca reklamların kısa, öz ve eğlenceli olması alıcılar arasında keyif yaratması açısından önemlidir (Xu, 2006). Zevk, bir duygudur ve tüketicilerin reklamı yapılan ürüne ilgisini uyandırabilir (Altuna ve Konuk, 2009). Bu nedenle zevk, tüketicileri dışsal olarak baskılar veya ödüllerden ziyade eğlence amaçlı tavsiyeleri, ürün ve hizmetleri kabul etmeye motive eder (Reeve, 1989).

Özet olarak, bu çalışmanın temel araştırma sorusu şudur: Tüketicilerin sosyal medya reklamcılığına kabul etme motivasyonunu hangi faktörler artırmaktadır? İçsel ve dışsal motivasyonlarla ilgili faktörleri araştırarak bunların tüketicilerin sosyal medya reklamcılığına yönelik tutumları ve satın alma niyetleri üzerindeki etkileri nasıldır? Bu makalede giriş bölümü çalışma teorisini ve literatür araştırmasını içermektedir. Bir sonraki bölümde ise; mevcut çalışmanın amacı, önemi ve yöntemi, araştırma modeli ve hipotezleri açıklanmaktadır. Üçüncü bölüm, verilerin analizi ve sonuçlarını içermektedir. Dördüncü bölümde ise, bu çalışmanın çıkarımları ve sınırlamaları ile gelecek çalışmalar için olası öneriler özetlenmektedir.

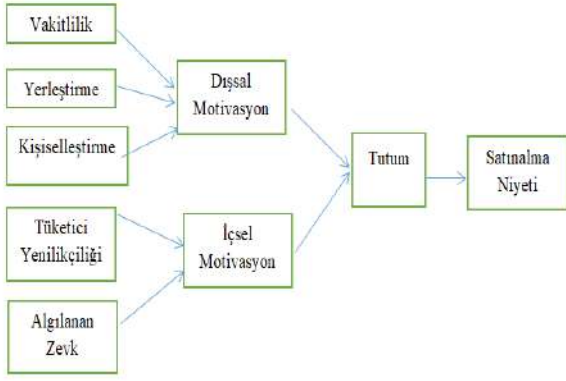
2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Günümüzde mobil cihazların her geçen gün biraz daha popüler hale gelmesi nedeniyle sosyal medya reklamcılığı da buna paralel olarak hızla yaygınlaşmaktadır. Bu çalışma, motivasyon teorisinden yararlanarak, tüketicilerin sosyal medya reklamcılığına yönelik tutumlarını ve satın alma niyetlerini etkileyen faktörleri incelemektedir. Reklam mesajının vakitliliği, yerleştirilmesi ve kişiselleştirilmesi dışsal motivasyonun öncülleri olarak; tüketici yenilikçiliği ve algılanan zevk ise içsel motivasyonun öncülleri olarak tanımlanmaktadır. Bu doğrultuda bu çalışmanın amacı; dışsal ve içsel motivasyonun tüketicilerin sosyal medya reklamcılığına yönelik tutumları üzerindeki etkisini, bununla birlikte, tüketicilerin tutumlarının da satın alma niyetleri üzerindeki etkisini araştırmaktır.

2.2. Araştırmanın Modeli ve Hipotezler

Araştırmanın amacı doğrultusunda araştırmanın modeli Şekil.1'deki gibi oluşturulmuştur. Önerilen model, motivasyon modelinin teorik bir kombinasyonu olarak geliştirilmiştir (Feng, Fu ve Qin, 2016; Lin ve Lu, 2011).



Şekil.1 Araştırmanın Modeli

Araştırmanın modeli kapsamında hipotezler aşağıda belirtildiği şekilde oluşturulmuştur:

H1: Vakitliliğin dışsal motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

H2: Yerleştirmenin dışsal motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

H3: Kişiselleştirmenin dışsal motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

H4: Tüketici yenilikçiliğinin içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

H5: Algılanan zevkin içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

H6: Dışsal motivasyonun tutum üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

H7: İçsel motivasyonun tutum üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

H8: Tutumun satın alma niyeti üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

2.3. Araştırmanın Yöntemi

Araştırmanın ana kütlesi Kayseri’de ikamet eden tüketicilerden oluşmaktadır. Örneklem yöntemi olarak kolayda örnekleme yönetimi kullanılmıştır. Kolayda örnekleme yöntemi ile veriler, ana kütlede kolay, hızlı ve ekonomik bir biçimde elde edilebilmektedir (Zikmund, 1997, s. 428). 30 tüketiciye uygulanan pilot çalışma sonrasında, Mart-Haziran 2019 tarihleri aralığında 354 tüketici üzerinde gerçekleştirilen çalışma nicel araştırma yöntemlerinden yüz yüze anket yöntemi uygulanarak yapılmıştır. Anket yöntemi kısa zamanda birçok cevaplayıcıya ulaşılabilmesi ve düşük maliyetli bir veri toplama yöntemi olması nedeniyle çoğunlukla tercih edilmektedir (Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2004, s. 51).

Uygulanan anket formu 2 bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölümde vakitlilikle ilgili 4, Yerleştirmeye ilgili 3, kişiselleştirmeye ilgili 3, tüketici yenilikçiliğiyle ilgili 3, algılanan zevkle ilgili 4 ifade yer almaktadır. Dışsal motivasyona ilişkin 4, içsel motivasyona ilişkin ise 3 ifadenin yer aldığı bu bölümde, tutumu ölçen 4 adet ifade ve satın alma niyetiyle ilgili de 3 ifade bulunmaktadır. Toplam 31 ifadenin yer aldığı bu bölümde kullanılan vakitlilik, kişiselleştirme ve yerleştirme ifadeleri Pihlstrom ve Brush (2008); Ducoffe (1996), Merisavo vd. (2007) ve Feng vd. (2016); tüketici yenilikçiliği ifadeleri

Feng vd. (2016), Goldsmith ve Hofacker (1991) Citrin vd. (2000); algılanan zevk ifadeleri Feng vd. (2016), Ducoffe (1996); içsel ve dışsal motivasyon ifadeleri Vallerand vd. (1992), Pelletier vd.(1995), Feng vd. (2016); tutum ifadeleri Feng vd. (2016); satın alma niyeti ifadeleri ise Putrevu ve Lord (1994) tarafından geliştirilen ölçeklerden uyarlanarak hazırlanmıştır. Anket formunun ikinci bölümünde ise; katılımcıların demografik özelliklerini belirlemeye yönelik 9 adet ifade yer almaktadır.

Anket formunda yer alan ifadeler cevaplayıcıların kolayca anlayabileceği şekilde düzenlenmiştir. Ölçeklerde yer alan ifadeler, "kesinlikle katılmıyorum" (1) ile "kesinlikle katılıyorum" (5) arasında puanlamanın yapıldığı 5’li likert ölçeği kullanılarak hazırlanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Araştırma verilerinin analiz edilmesi aşamasında öncelikle cevaplayıcıların demografik özelliklerini belirlemeye yönelik frekanslar incelenmiştir. Ardından araştırmada yer alan ölçeklerin güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Ölçeklerin boyutları arasında yeterli düzeyde bir ilişki var olup olmadığını ve bu boyutların modeli yeterince ifade edemediğini incelemek maksatlı doğrulayıcı faktör analizi gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın hipotezlerini test etmek amacıyla ise, yapısal eşitlik modeli kullanılmıştır. Güvenilirlik analizi ve frekans analizi SPSS, doğrulayıcı faktör analizi ve hipotez testleri ise AMOS istatistik programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Araştırmada yapılan analizler ve elde edilen bulgular aşağıda yer alan ilgili tablolarda verilmiş ve yorumlanmıştır.

Uygulanan anketlerden elde edilen veriler sonucunda Tablo.1’de görüldüğü üzere, katılımcıların %47,7’sinin 25-35 yaş aralığında, %44,9’unun üniversite mezunu, %52,8’inin kadın, %47,2’sinin erkek, %52,5’unun bekar olduğu; %36,7’sinin gelirinin ise 2021-3500 TL aralığında bulunduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo.1 Katılımcılardan Elde Edilen Demografik Bilgiler

Demografik Özellikler	n	%	Demografik Özellikler	n	%		
Yaş	14-18	31	8,8	Cinsiyet	<i>Kadın</i>	187	52,8
	18-24	85	24		<i>Erkek</i>	167	47,2
	25-35	169	47,7	Toplam	354	100	
	36-45	43	12,1	Medeni Durum	<i>Evli</i>	168	47,5
	46-55	14	4		<i>Bekar</i>	186	52,5
	55 üzeri	12	3,4	Toplam	354	100	
Toplam	354	100	Gelir	<i>0-1000 TL</i>	36	10,2	
Öğrenim Durumu	<i>İlköğretim</i>	46		13	<i>1001-2020 TL</i>	115	32,5
		<i>Lise ve Dengi</i>		131	37	<i>2021-3500 TL</i>	130	36,7
<i>Üniversite</i>	159			44,9	<i>3501-5500 TL</i>	59	16,7
	<i>Lisansüstü</i>	18		5,1	<i>5501-8500 TL</i>	11	3,1
Toplam		354		100	<i>8500 TL üzeri</i>	3	0,8
	Toplam				354	100	

3.1. Güvenilirlik Analizi

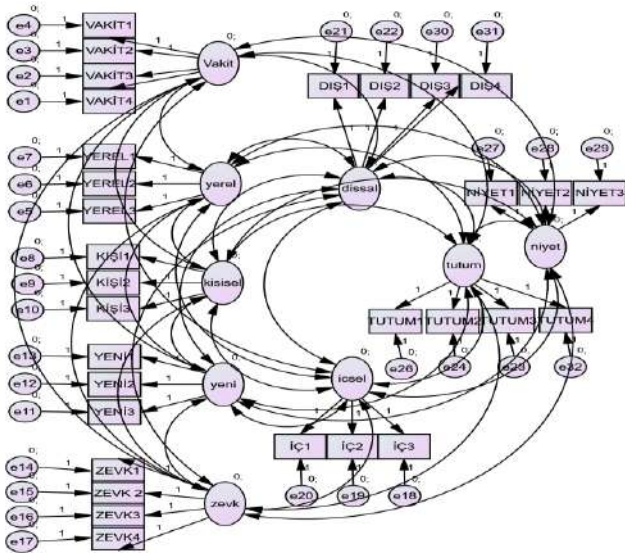
Araştırmada kullanılan ölçeklere yapılan güvenilirlik analizi sonucunda elde edilen Cronbach Alpha Katsayıları Tablo.2'de gösterilmektedir. Güvenilirlik analizi sonucu elde edilen cronbach alpha katsayıları değerlendirildiğinde, anket formunda bulunan ifadelerin yüksek düzeyde güvenilir olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Ölçeklerin güvenilir olduğunu tespit edebilmek için alpha değerinin 0,70 ve yukarısında olması gerekmektedir (Nunnally, 1978).

Tablo.2 Araştırmada Kullanılan Ölçeklerin Güvenilirlikleri

Ölçekler	Cronbach Alpha Katsayıları
Satın Alma Niyeti Ölçeği	,943
Algılanan Zevk Ölçeği	,936
Vakitlilik Ölçeği	,933
Dışsal Motivasyon Ölçeği	,927
İçsel Motivasyon Ölçeği	,915
Yerleştirme Ölçeği	,895
Tüketici Yenilikçiliği Ölçeği	,895
Kişiselleştirme Ölçeği	,886
Tutum Ölçeği	,797

3.2. Doğrulayıcı Faktör Analizi

Doğrulayıcı faktör analizi, ölçeklere ait faktörler arasında yeterli düzeyde bir ilişki bulunup bulunmadığını ve faktörlerin modeli açıklamak açısından yeterli olup olmadığını test etmek amacıyla yapılmaktadır (Bayram, 2010). Bu şekilde, faktör yapıları ve yükleri değerlendirilmekte ve anket formunda yer alan ölçeklerin geçerli olup olmadıkları test edilmektedir. Analiz edilen model Şekil.2'de yer almaktadır.



Şekil.2 Doğrulayıcı Faktör Analizi Modeli

Ölçüm sonucu ulaşılan uyum iyiliği değerleri, araştırma modeli ve kabul edilebilir değerler Tablo.3'de verilmiştir. Uyum iyiliği değerlerinin kabul edilebilir sınırlarını elde etmek için Bentler ve Bonett, 1980'in çalışmalarından faydalanılmıştır.

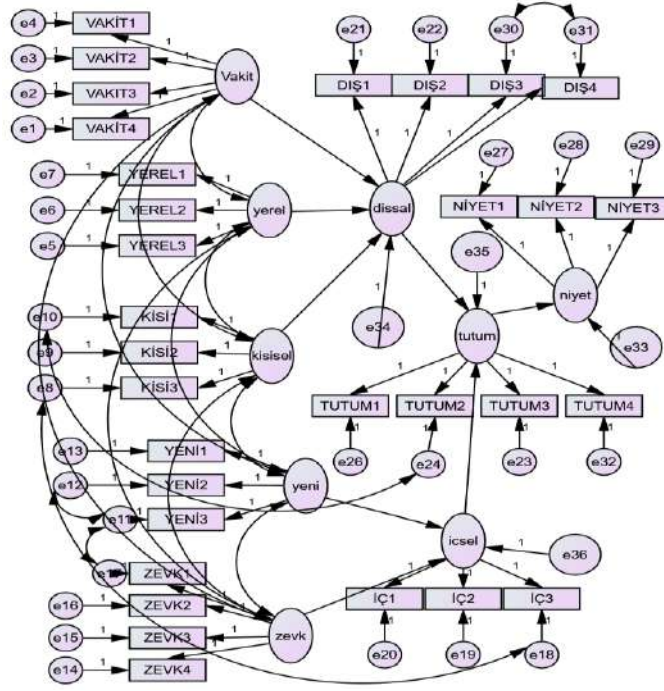
Tablo.3 Model ile Veriler Arasındaki Uyumun İncelenmesi

Uyum İndeksleri	Araştırma Modeli (N=354)	Kabul Edilen Değerler	Kısaltmalar
χ^2 Değeri	1436,786	,000	CMIN
Serbestlik Derecesi	418	0	DF
P	,000	<,005	P
χ^2/df	3,437	<5	CMIN/DF
Normlaştırılmış Uyum İyiliği İndeksi	,900	,90≤NFI≤,95	NFI
Artırmalı Uyum İndeksi	,923	,90≤IFI≤,95	IFI
Karşılaştırmalı Uyum İndeksi	,923	,90≤CFI≤,95	CFI
Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü	,083	,05≤RMSEA≤,08	RMSEA

Veriler ile model arasında uyum bulunup bulunmadığını inceleyen istatistiklerden en çok kullanılanlardan biri ki-kare istatistiğidir (Bayram, 2010). Ölçüm sonuçları incelendiğinde ki-kare istatistiğinin anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (p=0,000). Standart ki-kare değeri ise ki-kare değerinin serbestlik derecesine oranını ifade etmektedir. Standart ki-kare değerinin 3,437 olduğu görülmektedir. Bu değer 5'in altında bir değer olması, kabul edilebilir bir değer olduğunu göstermektedir (Chen ve Tsai, 2007). Tablo.4 'de yer alan uyum iyiliği değerleri ve kabul edilebilir değerlere bakıldığında, verinin modelle uyumlu bir veri olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Doğrulayıcı faktör analizi sonucu modelde yer alan değişkenlerin regresyon katsayıları Tablo.4'de yer almaktadır.

Tablo.4 Modelde Yer Alan Değişkenlerle İlgili Faktör Yükleri

Değişkenler	Faktör Yükleri	Değişkenler	Faktör Yükleri
Satın Alma 3	,927	İçsel Motivasyon 3	,880
Satın Alma 2	,919	Algılanan Zevk 1	,879
Satın Alma 1	,907	Dışsal	,877
		Motivasyon 2	
Algılanan Zevk 3	,903	Tüketici	,874
		Yenilikçiliği 3	
Vakitlilik 2	,893	Vakitlilik 1	,867
Tüketici Yenilikçiliği 2	,889	Kişiselleştirme 2	,865
İçsel Motivasyon 2	,888	Dışsal	,865
		Motivasyon 1	
İçsel Motivasyon 1	,888	Tutum 1	,864
Tutum 3	,888	Yerleştirme 3	,862
Dışsal Motivasyon 3	,888	Yerleştirme 1	,862
Tutum 4	,886	Dışsal	,859
		Motivasyon 4	
Algılanan Zevk 2	,885	Yerleştirme 2	,858
Tüketici Yenilikçiliği 1	,884	Kişiselleştirme 1	,852
Algılanan Zevk 4	,884	Kişiselleştirme 3	,833
Vakitlilik 4	,883	Tutum 2	,519
Vakitlilik 3	,882		



Şekil.3 Yapısal Eşitlik Modeli

Şekil.3’de yer alan yapısal eşitlik modelinin test edilmesi neticesinde elde edilen uyum iyiliği değerleri ve kabul edilebilir değerler Tablo.5’de yer almaktadır.

Tablo.5 Yapısal Eşitlik Modelinin Test Edilmesi Sonucu Elde Edilen Uyum Değerleri

Uyum İndeksleri	Araştırma Modeli	Kabul Edilen Değerler	Kısaltmalar
X^2 Değeri	1485,022	,000	CMIN
Serbestlik Derecesi	429	0	DF
P	,000	<,005	P
X^2/df	3,462	<5	CMIN/DF
Uyum İyiliği İndeksi	,889	,90≤GFI≤,95	GFI
Düzeltilmiş Uyum İyiliği İndeksi	,856	,85≤AGFI≤90	AGFI
Normlaştırılmış Uyum İyiliği İndeksi	,897	,90≤NFI≤,95	NFI
Artırmalı Uyum İndeksi	,925	,90≤IFI≤,95	IFI
Karşılaştırmalı Uyum İndeksi	,924	,90≤CFI≤,95	CFI
Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü	,084	,05≤RMSEA≤,08	RMSEA

Modelin uyum iyiliği değerleri incelendiğinde, bütün değerlerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer aldığı ve modelin geçerli bir model olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Uyum değerlerinin incelenmesinin ardından, yapısal eşitlik modelinde yer alan regresyon katsayılarının da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tablo.6 Değişkenler Arasında Oluşturulan Yapısal Eşitlik Modeli Regresyon Katsayıları

Hipotez	Değişkenler	Tahmi n	Standart Hata	P
H1	Vakitlilik → Dışsal Motivasyon	1,277	,371	,000
H2	Yerleştirme → Dışsal Motivasyon	1,739	,592	,003
H3	Kişiselleştirme → Dışsal Motivasyon	1,500	,287	,000
H4	Tüketici Yenilikçiliği → İçsel Motivasyon	,124	,106	,244
H5	Algılanan Zevk → İçsel Motivasyon	1,114	,104	,000
H6	Dışsal Motivasyon → Tutum	,562	,068	,000
H7	İçsel Motivasyon → Tutum	,415	,067	,000
H8	Tutum → Satın Alma Niyeti	1,034	0,030	,000

Tablo.6’da bulunan dışsal motivasyonu etkileyen değişkenler incelendiğinde, vakitliliğin, yerleştirmenin ve kişiselleştirmenin dışsal motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Bu kapsamda, H1, H2 ve H3 olarak oluşturulan hipotezler kabul edilmiştir. İçsel motivasyon kaynakları incelendiğinde ise tüketici yenilikçiliğinin içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını tespit edilmiştir ($p>0,05$). Bu kapsamda, H4 hipotezi reddedilmiştir. Algılanan zevkin değişkeninin ise içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Bu kapsamda, H5 hipotezi kabul edilmiştir.

Dışsal motivasyonun ve içsel motivasyonun tutum üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu da görülmektedir ($p<0,05$). Bu sebeple H6 ve H7 hipotezleri kabul edilmiştir. Tutum faktörünün satın alma niyeti üzerinde anlamlı bir etkisinin de bulunduğu da gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Sonuç olarak H8 hipotezi de kabul edilmiştir.

4. Sonuç

Mobil teknoloji günümüz dünyasında çok önemli bir yer edinmiş durumdadır. Bu sebeple hem işletmeler, hem tüketiciler tarafınan reklamcılık kanallarından biri olması kaçınılmaz hale gelmiştir. Geniş kitlelere zaman ve maliyet açısından faydalar sağlayan bu teknoloji ile reklamlar tüketicilerle buluşmaya her geçen gün biraz daha artarak devam edecektir. Bu çalışma, motivasyon teorisinden yararlanarak, tüketicilerin sosyal medya reklamcılığına yönelik tutumlarını ve satın alma niyetlerini etkileyen faktörleri incelemektedir. Motivasyon teorisinde yer alan içsel ve dışsal motivasyon kaynaklarını oluşturan literatürde belirlenen öncüllerin etkisi ve tüketici tutumları, sosyal medya reklamcılığı üzerinden incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yapılan analizlere göre belirlenen hipotezlerin özet sonuçları Tablo.7’de sunulmuştur.

Tablo.7 Hipotez Sonuçları

H1: Vakitliliğin dışsal motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.	Kabul
H2: Yerleştirmenin dışsal motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır	Kabul
H3: Kişiselleştirmenin dışsal motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır	Kabul
H4: Tüketici yenilikçiliğinin içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır	Red
H5: Algılanan zevkin içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi vardır	Kabul
H6: Dışsal motivasyonun tutum üzerinde anlamlı bir etkisi vardır	Kabul
H7: İçsel motivasyonun tutum üzerinde anlamlı bir etkisi vardır	Kabul
H8: Tutumun satın alma niyeti üzerinde anlamlı bir etkisi vardır	Kabul

Tablo.7’de kabul ve red edilen hipotezler bulunmaktadır. Araştırmanın bulguları doğrultusunda, vakitlilik, yerleştirme ve kişiselleştirmenin dışsal motivasyon üzerinde; algılanan zevkin ise içsel motivasyon üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Geçmiş çalışmalarda yerleştirmenin, vakitlilik ve kişiselleştirmenin müşterilerin tepkilerini değiştirebildiğini öne sürerek sosyal medya reklamcılığındaki önemini vurgulanmıştır (Ho, 2012; (Balasubramanian, Peterson ve Jarvenpaa, 2002, Chung, Rust ve Wedel, 2009; Hui, Inman, Huang ve Suher, 2013; Rajala & Westerlund, 2010). Bu açıdan da hipotezler literatürle desteklenmektedir. Fakat, tüketici yenilikçiliğinin içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Önceki çalışmalarda bu çalışmadan farklı sonuçlara ulaşılmış olup, tüketici yenilikçiliğinin içsel motivasyon üzerinde etkisinin olduğu ifade edilmektedir (Reis, 1994, Feng, Fu & Qin, 2016). Bu çalışmada tüketici yenilikçiliğinin içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmamasının nedeninin kolayda örnekleme yönteminin bir dezavantajı olarak ortaya çıkmış olabileceği düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda tesadüfi örnekleme yöntemlerinden biri veya farklı örneklem büyüklükleri kullanılarak farklı sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir. Algılanan zevkin ise içsel motivasyon üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmektedir ve hipotez kabul edilmiştir ($p < 0,05$). Literatürde de reklamların kısa, öz ve eğlenceli olmasının alıcılar arasında keyif yaratması açısından önemli olduğu üzerinde duran çalışmalar mevcuttur (Xu, 2006; Altuna ve Konuk, 2009; Reeve, 1989). Bununla birlikte dışsal ve içsel motivasyonun tutum üzerinde; tutumun ise satın alma niyeti üzerinde etkili olduğu sonucu ortaya konmuştur. Önceki çalışmalar da bulguyu destekler niteliktedir (Dhir et al., 2018; Mouakket, 2015; Qin, Kim, & Tan, 2016; Sledgianowski & Kulviwat, 2009).

Bu çalışmada bazı sınırlılıklar mevcuttur. İlk olarak, ankete katılanlar çoğunlukla Kayseri ilinde yaşayan kişilerdir. Aktif olarak cep telefonu kullanan bireyler olsalar bile daha farklı bölgelerden, ülkelerden katılımcıların dahil edilmesi araştırmayı daha güçlü kılacaktır. Ayrıca bu çalışmaya reklamların özellikleri, türleri, formatları, reklam sağlayıcılar ve markalar gibi birçok farklı değişken de eklenerek araştırma genişletilebilecektir. Farklı analizlerle araştırma desteklenerek sonuçların irdelenmesi ve bakış açılarının değiştirilebilmesi mümkündür. Bu sayede tüketicilerin motivasyon faktörleri, tutumları ve niyetlerine yönelik davranışlarının daha kapsamlı bir şekilde anlaşılabilmesine imkan sağlanmış olacaktır.

Kaynakça

- Ajzen, I., Fishbein, M., & Heilbroner, R. L. (1980). *Understanding attitudes and predicting social behavior* (Vol. 278). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-hall.
- Akhlaq, A., & Ahmed, E. (2013). The effect of motivation on trust in the acceptance of internet banking in a low income country. *International journal of bank marketing*.
- Aktaş, H., & Aktan, E. (2014). *Sosyal medya reklamları ve tüketici tutumları: Bir reklam mecrası olarak Facebook*. Dijital İletişim Etkisi Uluslararası Akademik Konferans Bildiri Kitabı, İskenderiye Kitap, İstanbul, 422-434.
- Allam, H., Bliemel, M., Spiteri, L., Blustein, J., & Ali-Hassan, H. (2019). Applying a multi-dimensional hedonic concept of intrinsic motivation on social tagging tools: *A theoretical model and empirical validation*. *International Journal of Information Management*, 45, 211-222.
- Altuna, O. K., & Konuk, F. A. (2009). Understanding Consumer Attitudes Toward Mobile Advertising And Its Impact On Consumers Behavioral Intentions: A Crossmarket Comparison Of United States And Turkish Consumers. *International Journal of Mobile Marketing*, 4(2).
- Babacan, M. (2005). *Reklamcılık temel kavramlar*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Balasubraman, S., Peterson, R. A., & Jarvenpaa, S. L. (2002). Exploring the implications of m-commerce for markets and marketing. *Journal of the academy of Marketing Science*, 30(4), 348-361.
- Bayram, N. (2010). *Yapısal eşitlik modellemesine giriş AMOS uygulamaları*. Ezgi Kitabevi.
- Belch, G. E., & Belch, M. A. (2004). *Advertising and promotion: An integrated marketing communications perspectives* (8th. Ed.). New York: McGraw-Hill
- Bentler, P. M., & Bonett, D. G. (1980). Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structures. *Psychological bulletin*, 88(3), 588.
- Can, L., & Serhateri, A. (2016). Sosyal medya reklamlarının markaya yönelik tutuma etkisi: facebook üzerinde bir uygulama. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(3), 16-28.
- Chen, C. F., & Tsai, D. (2007). How destination image and evaluative factors affect behavioral intentions?. *Tourism management*, 28(4), 1115-1122.
- Chung, N., & Koo, C. (2015). The use of social media in travel information search. *Telematics and Informatics*, 32, 215-229.
- Chung, T. S., Rust, R. T., & Wedel, M. (2009). My mobile music: An adaptive personalization system for digital audio players. *Marketing Science*, 28(1), 52-68.
- Citrin, A. V., Sprott, D. E., Silverman, S. N., & Stem, D. E. (2000). Adoption of Internet shopping: the role of consumer innovativeness. *Industrial management & data systems*.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. *Management Science*, 35(8), 982e1003.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*, Springer Science & Business Media
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1995). *Human autonomy. In Efficacy, agency, and self-esteem* (pp. 31-49). Springer, Boston, MA.
- Dhir, A., Kaur, P., & Rajala, R. (2018). Why do young people tag photos on social networking sites? Explaining user intentions. *International Journal of Information Management*, 38(1), 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.07.004>.
- Ducoffe, R. H. (1996). Advertising value and advertising on the web-Blog@ management. *Journal of advertising research*, 36(5), 21-32.
- Fagan, M. H., Neill, S., & Wooldridge, B. R. (2008). Exploring the intention to use computers: An empirical investigation of the role of intrinsic motivation, extrinsic motivation, and perceived ease of use. *Journal of Computer Information Systems*, 48(3), 31-37.
- Feng, X., Fu, S., & Qin, J. (2016). Determinants of consumers' attitudes toward mobile advertising: The mediating roles of intrinsic and extrinsic motivations. *Computers in Human Behavior*, 63, 334-341.

- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1977). *Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research*.
- Ghose, A., & Han, S. P. (2011). An empirical analysis of user content generation and usage behavior on the mobile Internet. *Management Science*, 57(9), 1671-1691.
- Goldsmith, R. E., & Hofacker, C. F. (1991). Measuring consumer innovativeness. *Journal of the academy of marketing science*, 19(3), 209-221.
- Ho, S. Y. (2012). The effects of location personalization on individuals' intention to use mobile services. *Decision Support Systems*, 53(4), 802-812.
- Hui, S. K., Inman, J. J., Huang, Y., & Suher, J. (2013). The effect of in-store travel distance on unplanned spending: Applications to mobile promotion strategies. *Journal of Marketing*, 77(2), 1-16.
- Johnson P., Plummer J., Bregman M., Clark B., Clarck D. (2013). *Mobile Marketing Economic Impact Study*, Mobile Marketing Associations. USA.
- Khang, H., Ki, E. J., & Ye, L. (2012). Social media research in advertising, communication, marketing, and public relations, 1997–2010. *Journalism & Mass Communication Quarterly*, 89(2), 279-298.
- Kim, H. W., Chan, H. C., & Gupta, S. (2007). Value-based adoption of mobile internet: an empirical investigation. *Decision support systems*, 43(1), 111-126.
- Koo, C., Chung, N., & Nam, K. (2015). Assessing the impact of intrinsic and extrinsic motivators on smart green IT device use: Reference group perspectives. *International Journal of Information Management*, 35(1), 64-79.
- Lee, Y. E., & Benbasat, I. (2003). Interface design for mobile commerce. *Communications of the ACM*, 46(12), 48-52.
- Lin, C. P., & Bhattacharjee, A. (2008). Elucidating individual intention to use interactive information technologies: The role of network externalities. *International Journal of Electronic Commerce*, 13, 85-108.
- Lin, K. Y., & Lu, H. P. (2011). Why people use social networking sites: An empirical study integrating network externalities and motivation theory. *Computers in human behavior*, 27(3), 1152-1161.
- Lu, H. P., & Su, Y. J. P. (2009). Factors affecting purchase intention on mobile shopping web sites. *Internet Research*, 19, 442-458.
- Merisavo, M., Kajalo, S., Karjaluoto, H., Virtanen, V., Salmenkivi, S., Raulas, M., & Leppäniemi, M. (2007). An empirical study of the drivers of consumer acceptance of mobile advertising. *Journal of interactive advertising*, 7(2), 41-50.
- Moon, J. W., & Kim, Y. G. (2001). Extending the TAM for a World-Wide-Web context. *Information & Management*, 38, 217-230.
- Mouakket, S. (2015). Factors influencing continuance intention to use social network sites: the Facebook case. *Computers in Human Behavior*, 53, 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.06.045>.
- Nix, G. A., Ryan, R. M., Manly, J. B., & Deci, E. L. (1999). Revitalization through self-regulation: The effects of autonomous and controlled motivation on happiness and vitality. *Journal of experimental social psychology*, 35(3), 266-284.
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric Theory*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Pelletier, L. G., Tuson, K. M., Fortier, M. S., Vallerand, R. J., Briere, N. M., & Blais, M. R. (1995). Toward a new measure of intrinsic motivation, extrinsic motivation, and amotivation in sports: The Sport Motivation Scale (SMS). *Journal of sport and Exercise Psychology*, 17(1), 35-53.
- Pihlström, M., & Brush, G. J. (2008). Comparing the perceived value of information and entertainment mobile services. *Psychology & Marketing*, 25(8), 732-755.
- Putrevu, S., & Lord, K. R. (1994). Comparative and noncomparative advertising: Attitudinal effects under cognitive and affective involvement conditions. *Journal of Advertising*, 23(2), 77-91.
- Qin, L., Kim, Y., & Tan, X. (2016). *Understanding the intention of using mobile social networking apps*.
- Rajala, R., & Westerlund, M. (2010, January). Antecedents to consumers' acceptance of mobile advertisements—A hierarchical construct PLS structural equation model. In 2010 43rd *Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 1-10). IEEE.
- Reeve, J. (1989). The interest-enjoyment distinction in intrinsic motivation. *Motivation and emotion*, 13(2), 83-103.
- Reis, H. T. (1994). Domains of experience: Investigating relationship processes from three perspectives. *Theoretical frameworks for personal relationships*, 87-110.
- Shankar, V., Venkatesh, A., Hofacker, C., & Naik, P. (2010). Mobile marketing in the retailing environment: current insights and future research avenues. *Journal of interactive marketing*, 24(2), 111-120.
- Sinkovics, R. R., Pezderka, N., & Haghirian, P. (2012). Determinants of consumer perceptions toward mobile advertising—a comparison between Japan and Austria. *Journal of Interactive Marketing*, 26(1), 21-32.
- Sledgianowski, D., & Kulviwat, S. (2009). Using social network sites: The effects of playfulness, critical mass and trust in a hedonic context. *Journal of Computer Information Systems*, 49, 74-83.
- Solomon, M. R. (2004). *Consumer behaviour: buying, having and being* (6th eds).
- Stewart, D. W., & Pavlou, P. A. (2002). From consumer response to active consumer: Measuring the effectiveness of interactive media. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 30(4), 376-396.
- Şimşek, G. (2013). Kişisel mecralarda reklam yayını: Kişilerin sosyal medyada reklam paylaşım motivasyonları. *Akademik İncelemeler Dergisi (AİD)*, 8(3), 213-239.
- Teo, T. S. H., Lim, V. K. G., & Lai, R. Y. C. (1999). Intrinsic and extrinsic motivation in Internet usage. *Omega: International Journal of Management Science*, 27, 25-37
- Ünsal, Y. (1984). *Bilimsel Reklamcılık ve Pazarlamadaki Yeri*. İstanbul: Tivi.
- Vallerand, R. J., & Blssonnette, R. (1992). Intrinsic, extrinsic, and amotivational styles as predictors of behavior: A prospective study. *Journal of personality*, 60(3), 599-620.
- van der Heijden, H. (2004). User acceptance of hedonic information systems. *MIS Quarterly*, 28, 695-704.
- Wu, J., & Lu, X. (2013). Effects of extrinsic and intrinsic motivators on using utilitarian, hedonic, and dual-purposed information systems: A meta-analysis. *Journal of the Association for Information Systems*, 14(3), 1.
- Xu, D. J. (2006). The influence of personalization in affecting consumer attitudes toward mobile advertising in China. *Journal of computer information systems*, 47(2), 9-19.
- Yazıcıoğlu, Y., & Erdoğan, S. (2004). *SPSS uygulamalı bilimsel araştırma yöntemleri*. Detay Yayıncılık, Ankara, (s 53).
- Zikmund, W. G. (1997). *Business Research Methods*, 5. Edition, The Dryden Press, Orlando.



Genetic Diversity of Emmer Wheats Using IPBS-Retrotranspozon Markers

Fatih Demirel^{1*}

^{1*} Iğdir University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Iğdir, Turkey (ORCID: 0000-0002-6846-8422), drfdemirel@gmail.com

(First received 2 October 2020 and in final form 19 November 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.814537)

ATIF/REFERENCE: Demirel, F. (2020). Genetic Diversity of Emmer Wheats Using IPBS-Retrotranspozon Markers. *European Journal of Science and Technology*, (20), 640-646.

Abstract

The genetic diversity among totally 21 wheat genotypes (16 *Triticum dicoccum* L. called emmer wheat and 5 *Triticum durum* L. called durum wheat) were investigated using 7 iPBS primers. iPBSs used in the current study generated 134 polymorphic from out of 136 bands for wheat genotypes. Characterization of the iPBS primers were performed by calculation mean polymorphism information content (PIC= 0.19), heterozygosity (H= 0.23), polymorphism ratio (P%= 97.92) and number of average polymorphic (19.14). Jaccard's diversity index varied between 0.0222 and 0.7843 with a mean 0.4677 for wheat genotypes. According to the sum of AMOVA, genetic diversity in emmer and durum wheats was significantly high with 77% variation within the population. On the other hand, genetic variation among populations was moderate with a value of 23%. Genetic diversity of populations were calculated by parameters including the mean number of alleles per locus (Na=1.269), effective allele number (Ne=1.31), Shannon information index (I=0.29), Nei's genetic diversity level (h=0.19), and Nei's unbiased genetic diversity level (uh=0.218). Results obtained from this study showed that iPBS molecular markers could be useful in determination of genetic relationships among wheat genotypes.

Keywords: Durum wheat, *Triticum dicoccum* L., *Triticum durum* L., AMOVA, Polymorphism, Breeding.

Bazı Gernik Buğdaylarında IPBS Retrotranspozon Markörleri Kullanılarak Genetik Çeşitlilik Analizi

Öz

Toplam 21 buğday genotipi (emmer buğdayı olarak adlandırılan 16 *Triticum dicoccum* L. ve durum buğdayı olarak adlandırılan 5 *Triticum durum* L.) arasındaki genetik çeşitlilik 7 iPBS primeri kullanılarak araştırılmıştır. Mevcut çalışmada kullanılan iPBS'ler, buğday genotipleri için 136 banttan 134'ünü polimorfik olarak üretmiştir. Çalışmada kullanılan 7 iPBS primerinin karakterizasyonu ortalama polimorfizm bilgi içeriği (PIC = 0.19), heterozigotluk (H = 0.23), polimorfizm oranı (P% = 97.92) ve polimorfizm (19.14) değerleri hesaplanarak belirlenmiştir. Jaccard'ın çeşitlilik değeri, buğday genotipleri için ortalama 0.4677 olarak hesaplanmış ve 0.0222 ile 0.7843 arasında değiştiği saptanmıştır. AMOVA sonucuna göre gernik ve makarnalık buğdaylarındaki genetik çeşitlilik, popülasyon içinde %77 varyasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, popülasyonlar arasındaki genetik varyasyon %23 değeriyle orta düzeyde olduğu bulunmuştur. Popülasyonların genetik çeşitliliğini belirlemek için lokus başına ortalama alel sayısı (Na = 1.269), etkili alel sayısı (Ne = 1.31), Shannon bilgi indeksi (I = 0.29), Nei'nin genetik çeşitlilik seviyesi (h = 0.19) i parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca, Nei'nin tarafsız genetik çeşitlilik seviyesi (uh) 0.218 olarak saptanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre iPBS moleküler markörlerinin buğday genotipleri arasındaki genetik ilişkilerin belirlenmesinde faydalı olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekmeklik buğday, *Triticum dicoccum* L., *Triticum durum* L., AMOVA, Polimorfizm, Islah.

* Corresponding Author: drfdemirel@gmail.com

1. Introduction

The cultivated wheat and its close relative species are included in the *Poaceae* (*Graminea*) family, the genus *Triticum* (Matsuoka, 2011). The genus *Triticum* has species in different polyploidy levels such as diploid, tetraploid and hexaploid species (Provan et al., 2004). While cereal species/types were a single ancestral plant about 13 million years ago, they started to separate from each other as a result of natural mutations and environmental interactions. Diploid wheat species, *Triticum monococcum* and *Triticum urartu*, separated from each other about 0.5-1 million years ago and they existed in the world as two separate species. The results of morphological, cytological and genetic studies have shown that *Triticum turgidum* and *Triticum timopheevii* wheat species having respectively AABB and AAGG genome have emerged after *T. monococcum* and *T. urartu* separation from each other (Matsuoka, 2011; Peng et al., 2011a). After wild wheat (*Triticum urartu*, $2n = 14, A^uA^u$) and wild grass (*Aegilops speltoides*, $2n = 14, BB$) have experienced natural hybridization with each other and chromosome folding approximately 300-500 thousand years ago, wild *Triticum dicoccoides* ($2n = 28, A^uA^uBB$) called as emmer wheat has arisen. Cultured emmer wheat (*Triticum dicoccum*, $2n = 28$ chromosomes and A^uA^uBB) has been domesticated as a result of natural-artificial selection made from the *Triticum dicoccoides* species (Peng et al., 2011a; Peng et al., 2011b).

Understanding genetic diversity is essential to improve crop in plant breeding. A popular hypothesis is that a long period of plant breeding and intensive selection further reduces genetic diversity between varieties and narrows the germplasm base available for future breeding advances (Tanksley and McCouch, 1997). Although wheat leads in all cereal grain crops in terms of production, consumption and acreage, its genetic diversity in current varieties is quickly reduced due to the replacement of the landraces having high diversity by pure line varieties (Frankel and Bennett, 1970). This is particularly important problem since narrow genetic variation causes handicaps in breeding to cope with biotic and abiotic stress such as diseases, drought, and climate change (Uddin and Boerner, 2008). Currently, breeders have been mainly focused on increasing genetic diversity of wheat species.

Several molecular marker systems have been used for determine genetic variation in different cereals such as rice, chickpea, lentil, barley, wheat and oat (Tarang et al., 2020; Andeden et al., 2013; Khazaee et al., 2016; Hou et al., 2005; Gurcan et al., 2017; Boczkowska et al., 2014). Recently, iPBS molecular markers developed based on retrotransposons (RTNs) have been used by several researchers for determination of genetic diversity in various plant species (Yıldız et al., 2015; Sipahi and Yumurtacı, 2020; Shirmohammadli et al., 2018; Öztürk et al., 2020; Karik et al., 2019; Hossein-Pour et al., 2019; Borno et al., 2017; Ali et al., 2019). Inter-primer binding site (iPBS) markers based on retrotransposon have advantages compared with other

retrotransposon markers because of universal markers depends upon the presence of tRNA as a reverse transcriptase primer binding site, cost-effective and high efficiency (Kalendar et al., 2010; Nadeem et al., 2018).

The aim of the current study was to assess the genetic diversity in totally 21 wheat genotypes including emmer and durum wheat populations using iPBS markers.

2. Material and Method

2.1. Plant Material

16 emmer wheats (*Triticum dicoccum* L.) and 5 durum wheats (*Triticum durum* L.) which are used as material in the study was provided by Field Crops Department of Agriculture Faculty, Iğdır University.

2.2. DNA Isolation and PCR Stages

Total genomic DNA of genotypes was isolated from leaf samples after a modification of the cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) extraction protocol (<http://primerdigital.com/dna.html>). The quality and concentration of genomic DNA was checked spectrophotometrically with Nanodrop (BioSpec-nano Shimadzu Biotech). iPBS analysis was performed using the markers given Table 1 and reported by Kalendar et al. (2010). PCR reactions for iPBS analyzes were performed in 25 µl reactions containing 20 ng genomic DNA, 1x Taq PCR buffer including MgCl₂, 1 µM primer, 0.2 µM for each dNTP and 1 U Taq DNA polymerase. PCR reactions were carried out in 0.2 ml PCR tube strips. The amplification profile comprised of an initial denaturation at 94°C for 5 min, followed by 40 cycles at 95°C for 15 s, 45°C to 60°C for 30 s, 72°C for 90 s and a final extension of 5 min at 72°C. After amplification, PCR product were separated by electrophoresis using 2.5% agarose staining with ethidium bromide in 1x TBE buffer with steady voltage of 120 V for 2.5 hour. The pattern of DNA bands was imagined under UV light, photographed with a gel documentation system

2.3. Data Analysis

After gel visualized, data matrix was generated by scoring manually the present (1) and absent (0) iPBS bands in individual lines for each primer. The H (gene diversity) and PIC (polymorphism information content) values of iPBS markers used with binary data matrix were calculated using the PowerMarker V3.25 program (Liu and Muse, 2005). The similarity matrix among emmer wheats was calculated with Jaccard's coefficient (Jaccard, 1912). PCA analysis was performed using NTSYS-pc V2.11 program (Rohlf, 2000). Dendrogram to classify genotypes was created using the MEGA program (Kumar et al., 2016). I (Shannon information index), h (diversity) and AMOVA results of the populations were calculated using the GENALEX V6.5 program (Peakall and Smouse, 2006)

3. Results and Discussion

iPBS markers have been used for revealing genetic diversity in different plants, such as wheat (Ghonaim et al., 2020),

safflower (Ali et al., 2019), guava (Mehmood et al., 2016), potato (Demirel et al., 2018), chickpea (Andeden et al., 2013), pea (Baloch et al., 2015) and rice (Shirmohammadli et al., 2018). Here we have used iPBS markers for determination of genetic variation

among 21 wheat genotypes. Totally 7 iPBS primers were used and they generated robust and reproducible band patterns. The primers produced 136 bands and 134 of them were polymorphic. The number of polymorphic amplification products per iPBS primer varied from 9 for iPBS-2375 to 29 for iPBS-2219 with an average 19.14. The average polymorphic alleles number per locus is quite higher than demonstrated in wild emmer wheats by Fahima et al. (1998). Average of polymorphism ratio (P%) of iPBS primers was 97.92. Average of gene diversity (H) and polymorphism information content (PIC) belonging to markers were 0.23 and 0.19, respectively. The iPBS-2377 and iPBS-2271 have the highest (0.31) and lowest (0.14) gene diversity (H), respectively (Table 1). Khaled et al. (2015) reported that 46 of 117 bands of ISSR markers and 50 of 95 bands RAPD markers were polymorphic in bread wheat lines. Moreover, they demonstrated that average PIC values of ISSR and RAPD markers were 0.10 and 0.15, respectively. In another study of ISSR markers in bread

wheat lines in Iranian, mean of polymorphic loci, P% value and H value were 9.7, 83% and 0.36 (Dashchi et al., 2012). In the present study, the total number of bands (136) was higher than reported by Andeden et al. (2013), but was lower than shown by Arystanbekkyzy et al. (2019). The efficiency of polymorphic loci to search genetic diversity with markers is evaluated by the PIC value (Mir et al., 2012). The average PIC value determined by using 7 iPBS marker in 16 emmer and 5 durum wheats was lower than previous studies conducted using different marker systems Salem et al. (2008), Najaphy et al. (2011), Yagdi (2012) and Moragues et al. (2007). However, average PIC value in the present study was higher than reported by Khaled et al. (2015). The variation in PIC values may be due to the use of different marker systems or the different number of genotypes and markers.

Table 1. Seven iPBS markers used to determine diversity among 21 wheat genotypes

Marker Name	Sequence	Temperature	Number of Bands		Diversity Parameters		
			TB	PB	P%	H	PIC
2378	GGTCCTCATCCA	45	20	20	100	0.27	0.22
2377	ACGAAGGGACCA	45	19	19	100	0.31	0.25
2375	TCGCATCAACCA	45	10	9	90	0.20	0.17
2278	GCTCATGATACCA	45	18	18	100	0.24	0.20
2271	GGCTCGGATGCCA	55	22	21	95.45	0.14	0.12
2270	ACCTGGCGTGCCA	60	18	18	100	0.20	0.16
2219	GAACCTATGCCGATACCA	57	29	29	100	0.24	0.20
Total			136	134			
Average			19.42	19.14	97.92	0.23	0.19

TB: Total band number, PB: Polymorphic band number, P%: Polymorphism ratio, H: Gene diversity, PIC: Polymorphism information content

Evaluation of genetic diversity is one of the critical steps in breeding studies to be carried out to improve different crop characteristics such as quality and yield. To determine genetic relationships among emmer genotypes, Jaccard similarity index was calculated (Table 2). The dendrogram and PCA analysis were also performed as based on this similarity coefficient. According to the Jaccard similarity index, G5 and G8 genotypes were found to have the highest degree of relationship with 0.7843. G1 and G16 genotypes are the most distant genotypes with a Jaccard similarity index of 0.0222. The average of Jaccard similarity index was 0.4677. Given Jaccard coefficient of all genotypes revealed significantly variation between 16 emmer and 5 durum genotypes. Carvalho et al. (2009), reported that Jaccard similarity values ranged from 0.32 to 0.85 in their study to reveal genetic diversity using ISSR markers in Portuguese bread and durum wheats. Burkhamer et al. (1998) reported that similarity values between wheat accessions varied between 0.34 and 0.81. Hazen et al. (2002) showed that the mean Jaccard coefficient based on genetic distance matrix was 0.507 among all 46 wheat accessions. Results of similarity analysis (Jaccard's coefficient) showed that there is considerably genetic variation among all genotypes used in present study.

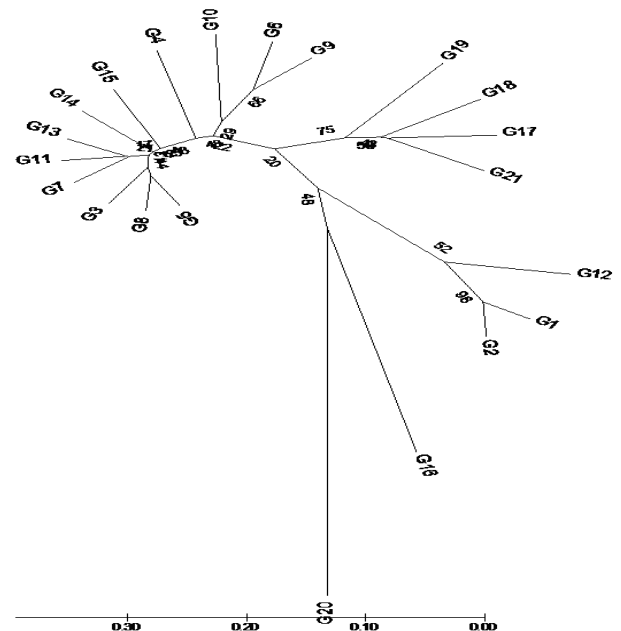


Figure 1. Dendrogram of cluster analysis for all wheat genotypes with bootstrap

A dendrogram based on Jaccard similarity index was generated with Bootstrap analysis by using MEGA7 version to visualize relationships among all wheat populations (Figure 1). The dendrogram classified into six groups all genotypes, the first group consist of twelve genotype (G5, G8, G3, G7, G11, G13,

G14, G15, G4, G10, G6 and G9). The second group includes three emmer wheat genotype; G1, G2, and G12. While G17 (Aydın93), G18 (Şahinbey), G19 (Diyarbakır81) and G21 (Fırat93) of durum wheat genotypes formed clusters among themselves (fourth

group), G20 (Sarıçanak) created a separate cluster by separating from all other genotypes (fifth group). Finally, the sixth group involve one emmer wheat called as G16.

Table 2. Jaccard similarity coefficients based on the similarity matrix of 21 wheat genotype used

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
G2	0.4762	1																		
G3	0.2308	0.2619	1																	
G4	0.3056	0.3000	0.5536	1																
G5	0.2368	0.3000	0.7400	0.5088	1															
G6	0.2778	0.2439	0.6585	0.4255	0.7632	1														
G7	0.1905	0.1957	0.6667	0.6481	0.6481	0.5909	1													
G8	0.2093	0.2667	0.7358	0.5424	0.7843	0.6364	0.6786	1												
G9	0.1944	0.2632	0.6250	0.4545	0.6842	0.6154	0.5952	0.5682	1											
G10	0.2000	0.2045	0.5370	0.4643	0.4643	0.4783	0.5455	0.5000	0.6250	1										
G11	0.2308	0.2326	0.6604	0.5818	0.7400	0.7436	0.7308	0.7358	0.7105	0.5370	1									
G12	0.2692	0.2667	0.2941	0.4444	0.2745	0.3947	0.3333	0.2727	0.3889	0.3864	0.3469	1								
G13	0.2500	0.2791	0.6852	0.6071	0.6981	0.5909	0.7547	0.6964	0.6341	0.5926	0.7500	0.3019	1							
G14	0.2174	0.1961	0.6842	0.5833	0.6379	0.5833	0.7500	0.7241	0.4898	0.5424	0.6552	0.2542	0.7069	1						
G15	0.2041	0.2308	0.6500	0.5806	0.6610	0.6122	0.6557	0.6885	0.6522	0.5161	0.7368	0.2833	0.7288	0.6719	1					
G16	0.0222	0.0408	0.3387	0.2615	0.3226	0.2692	0.3710	0.3385	0.3696	0.3220	0.3175	0.1731	0.3438	0.3382	0.3239	1				
G17	0.1667	0.2000	0.5172	0.4032	0.4746	0.5000	0.5517	0.4839	0.5714	0.4821	0.4667	0.2941	0.4918	0.5000	0.5000	0.3387	1			
G18	0.1364	0.1957	0.4590	0.3333	0.4194	0.4583	0.4677	0.4308	0.5952	0.4483	0.4590	0.2642	0.4839	0.4265	0.4706	0.3770	0.6182	1		
G19	0.1591	0.2444	0.5254	0.3692	0.5085	0.4490	0.4603	0.4688	0.6190	0.4167	0.5000	0.2364	0.5246	0.4412	0.5303	0.3710	0.5517	0.5965	1	
G20	0.1061	0.2000	0.4805	0.3951	0.4487	0.4091	0.5263	0.4750	0.4063	0.4342	0.4074	0.2267	0.4810	0.4699	0.4881	0.2529	0.5405	0.4935	0.4146	1
G21	0.1707	0.2619	0.4333	0.3281	0.4407	0.4783	0.4426	0.4516	0.5116	0.4464	0.4333	0.2800	0.4833	0.3824	0.4058	0.3279	0.6226	0.6111	0.5172	0.5342

The principal component analysis (PCA) of 21 wheat genotypes was performed based on Jaccard similarity matrix to establish relationships among genotypes. Two-dimensional and

three-dimensional graphs generated by PCA showed result of according with dendrogram to a large extent (Figure 2).

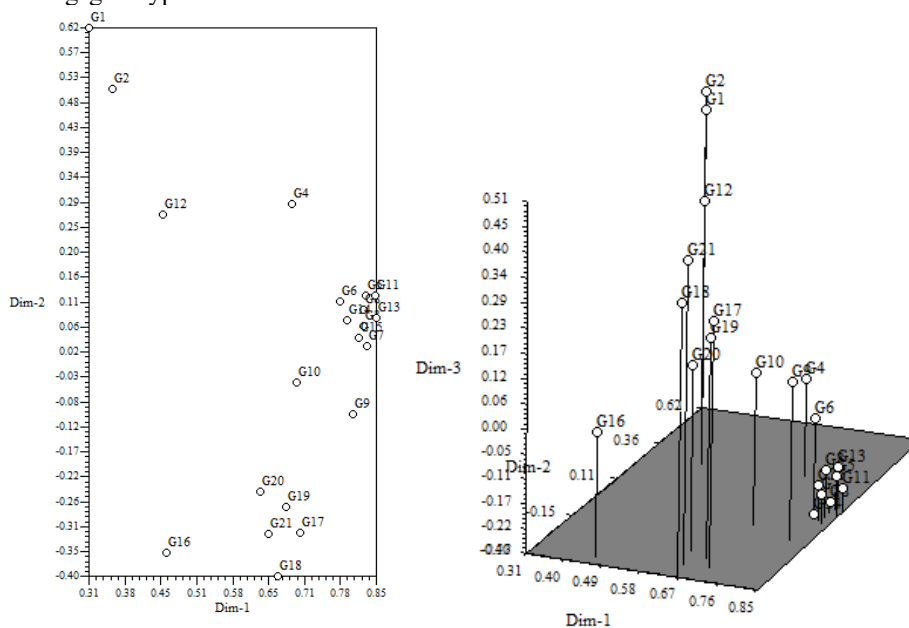


Figure 2. Two-dimensional and three-dimensional graphs generated by PCA analysis

In the study, emmer and durum wheats were examined as two separate populations. The genetic similarity value between the emmer and durum populations was determined as 0.886 in our study according to the method reported by Nei (1987). According to the results of molecular variance analysis (AMOVA), while variation within the population was 77%, the variation between populations was 23% (Table 3). Etminan et al. (2016) reported

that the result of AMOVA analysis using ISSR primers in durum wheat are that the variation among populations is low (10%) and the variation within population is high (90%). The estimated variation value among population and within population was 4.269 and 14.588, respectively. In present study, genetic variation within populations was significantly high.

Table 3. Analysis of molecular variance (AMOVA) based on 134 iPBS polymorphic loci

Source	df	SS	MS	EV	Value (%)
Among population	1	47.111	47.111	4.269	23
Within population	19	277.175	14.588	14.588	77
Total	20	324.286		18.857	100

df: Degrees of freedom, SS: Sum of square, MS: Mean squared deviations, EV: Estimated variation

Sum of genetic diversity parameters in two different populations consisting of emmer and durum wheats is given in Table 4. Observed alleles number (Na) changed from 1.127 with 0.078 standard deviation for durum population to 1.410 with 0.079 for emmer population. The highest effective alleles number (Ne) belonged to the emmer population with 1.331. The highest and the lowest Shannon's information index (I) for emmer and durum populations was 0.317 and 0.024 respectively. The maximum Nei's genetic diversity (h) detected for the emmer

population was 0.204. Nei's unbiased measure of genetic diversity (uh) was slightly different for two populations. This genetic diversity parameters of populations were moderately lower than defined by Etminan et al., (2016) in landraces and breeding lines of durum wheat. A study examining the variation between *Triticum turgidum* and *Triticum durum* species showed that h and I values was 0.1739 and 0.2552 in *T. turgidum* populations, respectively, was 0.3030 and 0.4539 in *T. durum* populations (Carvalho et al., 2009).

Table 4. Genetic diversity values for populations

		N	Na	Ne	I	h	uh
Emmer population	Average	16	1.410	1.331	0.317	0.204	0.217
	SE		0.079	0.030	0.022	0.016	0.017
Durum population	Average	5	1.127	1.289	0.263	0.176	0.219
	SE		0.078	0.029	0.024	0.017	0.021
Total	Average	10.50	1.269	1.310	0.290	0.190	0.218
	SE	0.337	0.056	0.021	0.016	0.011	0.013

N: Sample number, Na: Number of observed alleles, Ne: Number of effective alleles, I: Shannon's index, h: Genetic diversity, uh: Unbiased genetic diversity, SE: Standard error

4. Conclusions and Recommendations

Knowledge related to the level of genetic variation and relationships in crops is prerequisite in breeding programs to improve them. The iPBS marker system generated adequate polymorphism and reproducible band profiles to assess genetic diversity in wheat genotypes. The current study illustrated that iPBS markers are a powerful tool to detect the genetic variation in emmer wheats. The genetic diversity data obtained from present study can be used by breeders to develop new varieties and in selection of parents for crossing in breeding programs.

References

- Ali, F., Yilmaz, A., Nadeem, M. A., Habyarimana, E., Subaşı, I., Nawaz, M. A., ... & Chung, G. (2019). Mobile genomic element diversity in world collection of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) panel using iPBS-retrotransposon markers. *PLoS one*, 14(2), e0211985.
- Andeden, E. E., Baloch, F. S., Derya, M., Kilian, B., & Özkan, H. (2013). iPBS-Retrotransposons-based genetic diversity and relationship among wild annual *Cicer* species. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 22(4), 453-466.
- Arystanbekkyzy, M., Nadeem, M. A., Aktas, H., Yeken, M. Z., Zencirci, N., Nawaz, M. A., ... & Baloch, F. S. (2019). Phylogenetic and taxonomic relationship of turkish wild and cultivated emmer (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*) revealed by iPBSretrotransposons markers. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21(1), 155-63.
- Baloch, F. S., Alsaleh, A., de Miera, L. E. S., Hatipoğlu, R., Çiftçi, V., Karaköy, T., ... & Özkan, H. (2015). DNA based iPBS-retrotransposon markers for investigating the population structure of pea (*Pisum sativum*) germplasm from Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*, 61, 244-252.
- Boczkowska, M., Nowosielski, J., Nowosielska, D., & Podyma, W. (2014). Assessing genetic diversity in 23 early Polish oat cultivars based on molecular and morphological studies. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61(5), 927-941.
- Borna, F., Luo, S., Ahmad, N. M., Nazeri, V., Shokrpour, M., & Trethowan, R. (2017). Genetic diversity in populations of the medicinal plant *Leonurus cardiaca* L. revealed by inter-
- primer binding site (iPBS) markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64(3), 479-492.
- Burkhamer, R. L., Lanning, S. P., Martens, R. J., Martin, J. M., & Talbert, L. E. (1998). Predicting progeny variance from parental divergence in hard red spring wheat. *Crop Science*, 38(1), 243-248.
- Carvalho, A., Lima-Brito, J., Maças, B., & Guedes-Pinto, H. (2009). Genetic diversity and variation among botanical varieties of old Portuguese wheat cultivars revealed by ISSR assays. *Biochemical Genetics*, 47(3-4), 276-294.
- Dashchi, S., Abdollahi Mandoulakani, B., Darvishzadeh, R., & Bernousi, I. (2012). Molecular similarity relationships among Iranian bread wheat cultivars and breeding lines using ISSR markers. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(2), 254-260.
- Demirel, U., Tindas, I., Yavuz, C., Baloch, F. S., & Çaliskan, M. E. (2018). Assessing genetic diversity of potato genotypes using inter-PBS retrotransposon marker system. *Plant Genetic Resources*, 16(2), 137.
- Etminan, A., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Ahmadi-Rad, A., Noori, A., Mahdavian, Z., & Moradi, Z. (2016). Applicability of start codon targeted (SCoT) and inter-simple sequence repeat (ISSR) markers for genetic diversity analysis in durum wheat genotypes. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(6), 1075-1081.
- Fahima, T., Röder, M. S., Grama, A., & Nevo, E. (1998). Microsatellite DNA polymorphism divergence in *Triticum dicoccoides* accessions highly resistant to yellow rust. *Theoretical and Applied Genetics*, 96(2), 187-195.
- Frankel, O. H., & Bennett, E. (1970). Genetic resources in plants-their exploration and conservation. *Genetic resources in plants-their exploration and conservation*. Oxford. 1970;469-489.
- Ghonaim, M. M., Mohamed, H. I., & Omran, A. A. (2020). Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) salt stress tolerance using physiological parameters and retrotransposon-based markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1-16.
- Gurcan, K., Demirel, F., Tekin, M., Demirel, S., & Akar, T. (2017). Molecular and agro-morphological characterization of ancient wheat landraces of turkey. *BMC plant biology*, 17(1), 171.

- Hazen, S. P., Leroy, P., & Ward, R. W. (2002). AFLP in *Triticum aestivum* L.: patterns of genetic diversity and genome distribution. *Euphytica*, 125(1), 89-102.
- Hossein-Pour, A., Haliloglu, K., Ozkan, G., & Tan, M. (2019). Genetic diversity and population structure of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) using iPBS-retrotransposon markers. *Applied Ecology And Environmental Research*, 17(2), 1899-1911.
- Hou, Y. C., Yan, Z. H., Wei, Y. M., & Zheng, Y. L. (2005). Genetic diversity in barley from west China based on RAPD and ISSR analysis. *Barley Genetics Newsletter*, 35(1), 9-22.
- Jaccard, P. (1912). The distribution of the flora in the alpine zone. *New Phytol.* 11(2):37-50.
- Kalendar, R., Antonius, K., Smýkal, P., & Schulman, A. H. (2010). iPBS: a universal method for DNA fingerprinting and retrotransposon isolation. *Theoretical and Applied Genetics*, 121(8), 1419-1430.
- Karık, Ü., Nadeem, M. A., Habyarimana, E., Ercişli, S., Yildiz, M., Yilmaz, A., ... & Baloch, F. S. (2019). Exploring the genetic diversity and population structure of turkish laurel germplasm by the iPBS-Retrotransposon marker system. *Agronomy*, 9(10), 647.
- Khaled, A. G. A., Motawea, M. H., & Said, A. A. (2015). Identification of ISSR and RAPD markers linked to yield traits in bread wheat under normal and drought conditions. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 13(2), 243-252.
- Khazaei, H., Caron, C. T., Fedoruk, M., Diapari, M., Vandenberg, A., Coyne, C. J., ... & Bett, K. E. (2016). Genetic diversity of cultivated lentil (*Lens culinaris* Medik.) and its relation to the world's agro-ecological zones. *Frontiers in plant science*, 7, 1093.
- Kumar S., Stecher G., and Tamura K. (2016). MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution* 33:1870-1874. Liu, K., & Muse, S. V. (2005). PowerMarker: an integrated analysis environment for genetic marker analysis. *Bioinformatics*, 21, 2128-2129.
- Matsuoka, Y. (2011). Evaluation of polyploid *Triticum* wheats under cultivation: The role of domestication, natural hybridization and allopolyploid specification in their diversification. *Plant and Cell Physiology*, 52(5), 750-764.
- Mehmood, A., Luo, S., Ahmad, N. M., Dong, C., Mahmood, T., Sajjad, Y., ... & Sharp, P. (2016). Molecular variability and phylogenetic relationships of guava (*Psidium guajava* L.) cultivars using inter-primer binding site (iPBS) and microsatellite (SSR) markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63(8), 1345-1361.
- Mir, R. R., Kumar, J., Balyan, H. S., & Gupta, P. K. (2012). A study of genetic diversity among Indian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars released during last 100 years. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(5), 717-726.
- Moragues, M., Moralejo, M., Sorrells, M. E., & Royo, C. (2007). Dispersal of durum wheat [*Triticum turgidum* L. ssp. *turgidum* convar. durum (Desf.) MacKey] landraces across the Mediterranean basin assessed by AFLPs and microsatellites. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(5), 1133-1144.
- Nadeem, M. A., Nawaz, M. A., Shahid, M. Q., Doğan, Y., Comertpay, G., Yildiz, M., ... & Özkan, H. (2018). DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 32(2), 261-285.
- Najaphy, A., Parchin, R. A., & Farshadfar, E. (2011). Evaluation of genetic diversity in wheat cultivars and breeding lines using inter simple sequence repeat markers. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 25(4), 2634-2638.
- Nei, M. (1987). Molecular evolutionary genetics. Columbia University Press, New York. 512 p.
- Öztürk, H. İ., Dursun, A., Hosseinpour, A., & Haliloğlu, K. (2020). Genetic diversity of pinto and fresh bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm collected from Erzincan province of Turkey by inter-primer binding site (iPBS) retrotransposon markers. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(4), 417-427.
- Peakall, R. O. D., & Smouse, P. E. (2006). GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular ecology notes*, 6(1), 288-295.
- Peng, J., Sun, D., & Nevo, E. (2011a). Wild emmer wheat, '*Triticum dicoccoides*', occupies a pivotal position in wheat domestication process. *Australian Journal of Crop Science*, 5(9), 1127.
- Peng, J. H., Sun, D., & Nevo, E. (2011b). Domestication, evaluation, genetics and genomics in wheat. *Molecular Breeding*, 28, 281-301.
- Provan, J., Wolters, P., Caldwell, K. H., & Powell, W. (2004). High-resolution organellar genome analysis of *Triticum* and *Aegilops* sheds new light on cytoplasm evolution in wheat. *Theoretical and applied genetics*, 108(6), 1182-1190.
- Rohlf, J.F. (2000). NTSYS-pc: Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. Exeter Software, Setauket, New York.
- Salem, K. F. M., El-Zanaty, A. M., & Esmail, R. M. (2008). Assessing wheat (*Triticum aestivum* L.) genetic diversity using morphological characters and microsatellite markers. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(5), 538-544.
- Shirmohammadli, S., Sabouri, H., Ahangar, L., Ebadi, A. A., & Sajjadi, S. J. (2018). Genetic diversity and association analysis of rice genotypes for grain physical quality using iPBS, IRAP, and ISSR markers. *Journal of Genetic Resources*, 4(2), 122-129.
- Sipahi, H., & Yumurtacı, A. (2020) Retrotranspozon temelli moleküler belirteçler kullanılarak Türk arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşitlerinin genomik karakterizasyonu. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 33(2), 275-283.
- Tanksley, S. D., & McCouch, S. R. (1997). Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *science*, 277(5329), 1063-1066.
- Tarang, A., Kordrostami, M., Kumleh, A. S., Chaleshtori, M. H., Saravani, A. F., Ghanbarzadeh, M., & Sattari, M. (2020). Study of genetic diversity in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars of Central and Western Asia using microsatellite markers tightly linked to important quality and yield related traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(6), 1537-1550.
- Uddin, M. S., & Boerner, A. (2008). Genetic diversity in hexaploid and tetraploid wheat genotypes using microsatellite markers. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 18(1), 65-73.
- Yagdi, E. A. C. K. (2012). Study of genetic diversity in wheat (*Triticum aestivum*) varieties using Random Amplified

Polymorphic DNA (RAPD) analysis. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(1), 91-95.
Yıldız, M., Koçak, M., & Baloch, F. S. (2015). Genetic bottlenecks in Turkish okra germplasm and utility of iPBS

retrotransposon markers for genetic diversity assessment. *Genetics and Molecular Research*, 14(3), 10588-1060.



Muhasebe Meslek Mensuplarının Kurumsal Yönetim ile İlgili Kavramlara İlişkin Düşünceleri: Borsa İstanbul'da Bir Uygulama

Emin Yürekli^{1*}, Fatih Faydalı²

¹ Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü (ORCID: 0000-0001-7845-0878), eyurekli@pau.edu.tr

¹ Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, fatihfaydali@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 1 Mayıs 2020 ve Kabul Tarihi 5 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.836240)

ATIF/REFERENCE: Yürekli, E. & Faydalı, F. (2020). Muhasebe Meslek Mensuplarının Kurumsal Yönetim ile İlgili Kavramlara İlişkin Düşünceleri: Borsa İstanbul'da Bir Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 647-655.

Öz

Kurumsallaşma tüm dünyada finansal krizlerden sonra yoğun bir şekilde uygulanmaya başlanmış veya kullanma gayreti içerisinde olmuşlardır. Kurumsal yönetim kavramının önemi sadece işletmelerin net nakit akışları değil aynı zamanda yabancı yatırımcıları işlet ve ülkelere çekebilme anlamında önem arz etmektedir. Ülkemizde Kurumsallaşma anlamında çok yer önemlilere gelmiş Borsa İstanbul'daki İş Kurumsal Yönetim Kavramlarına bir takım sorular sorulmuş olup bu çalışmalar SPPS 21 programında analiz edilerek ayrıntılı olarak açıklanmıştır. İşletmeden elde edilen sonuçlara göre; muhasebe meslek mensuplarının kurumsal yönetim kavramına önem vermeleri finansal tablolara olan güvenin artmasının kurumsal yönetim ilkelerinden şeffaflık ve kamuyu aydınlatmada doğrudan muhasebe uygulamaları olduğu görülmüştür. Ayrıca kurumsal yönetim sisteminin uygulanabilirliği, muhasebe meslek mensuplarının muhasebe ilkelerine ve alınmış muhasebe standartlarına uygun hareket etmeleri ile mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kurumsal Yönetim, Muhasebe Meslek Mensupları, Borsa İstanbul.

Opinions of Accounting Professionals on Concepts Related to Corporate Governance: An Application in Borsa Istanbul

Abstract

Institutionalization started to be applied intensively after the financial crises all over the world or they were in an effort to be used. The importance of the concept of corporate governance is not only important in terms of net cash flows of businesses, but also in terms of attracting foreign investors to businesses and countries. A number of questions have been asked to the Business Corporate Governance Concepts in Borsa Istanbul, which has become very important in terms of Institutionalization in our country, and these studies have been analyzed and explained in detail in the SPPS 21 program. According to the results obtained from the business; It has been observed that the emphasis of the professional accountants to the concept of corporate governance, and the increased confidence in financial statements are transparency among corporate governance principles and direct accounting practices in public disclosure. In addition, it has been concluded that the applicability of the corporate management system is possible if the professional accountants act in accordance with the accounting principles and the received accounting standards.

Keywords: Corporate Governance, Accounting Professionals, Borsa İstanbul.

1. Giriş

Kurumsal organizasyonların yönetiminde güven ve şeffaflık ihtiyacı özellikle küresel kriz ile beraber artmıştır. Bu ihtiyaç, özellikle hesap verebilirlik ve ekonomik performans ile ilgili olarak, modern şirketlerin kurumsal yönetim uygulamalarına olan ilginin artmasına neden olmuştur. Kurumsal yönetim, kurumsal yönetim hedeflerine ulaşılması yönündeki faaliyetlere ilişkin bilgilendirilme, bunların yönlendirilmesi, yönetilmesi ve izlenmesi için yönetim kurulu tarafından uygulanan süreç ve yapıların birleşimidir. Muhasebe meslek mensuplarının kurumsal yönetim konusunda sorumluluğu bulunmaktadır ve bu doğrultuda kurumsal yönetim ilkelerinin mesleğin işleniş sırasında dikkate alınması, bu konuda bir sistemin geliştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte muhasebe skandalları sonucunda finansal raporlara olan güvenin sarsılması, muhasebe meslek mensuplarının da kurumsal yönetim uygulamalarını temel almaları zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Çalışma kapsamında da muhasebe meslek mensuplarının kurumsal yönetim konusundaki sorumlulukları incelenecektir.

2. Kavramsal Çerçeve

Bu kısımda genel hatlarıyla kurumsal yönetimin anlamı, gelişimi ve temel ilkeleri değerlendirilecektir.

2.1. Kurumsal Yönetim ve Kurumsal Yönetimin Gelişimi

Genel olarak, kurumsal yönetim kavramı, yönetim kavramından daha geniş bir anlama sahiptir. Kurumsal yönetim, hissedar haklarını güvence altına almak, rekabet düzeyini artırmak, küresel ortamda optimal sermaye seviyesi standartlarına ulaşmak, bilgi şeffaflığını ve ekonomik büyümeyi güvence altına almak için işletmelerin yönlendirilmesi, izlenmesi ve kontrol edilmesi ile ilgili yönetmelik ve kuralları içermektedir.

OECD (2014: 11) tarafından yapılan tanıma göre kurumsal yönetim, bir şirketin yönetimi, kurulları, hissedarlar ve diğer paydaşlar arasındaki ilişkileri içermektedir. Aysan (2007: 17)'a göre ise kurumsal yönetim, ekonomik ve sosyal hedefler ile işletme hedeflerinin dengesinin kurulması için alınacak önlemler ve bunun gerektirdiği insan kaynakları, araçlar ve yönetim prosedürlerini içine alan bir kavramdır. Kurumsal yönetim aynı zamanda hissedarların hissedarlar dâhil şirket tarafından yürütülen faaliyetlerle doğrudan veya dolaylı olarak ilgili herkesin haklarını korumayı ve herhangi bir işletmede, işletme yönetiminin yükümlülüklerini ortaya koymayı amaçlayan bir yönetim felsefesidir (Burak, Erdil ve Altındağ, 2017: 9).

Bushman ve Smith (2003: 65) kurumsal yönetimin amaçlarını işletmelerin gerçek değeri konusunda doğru ve güvenli bilgiye ulaşmanın yanı sıra yöneticilerin işletmenin değerini arttırmak için çalışmaları olarak sıralamıştır. Kurumsal yönetim, ekonomik verimliliği arttırmak ve cazip bir yatırım ortamı oluşturmak için kilit bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Uygulamanın en önemli faydaları arasında kaynakların verimli kullanımı, işletmeler için sermaye maliyetini azaltmak, yöneticilerin ihtiyarlı tutumlarını yeniden gözden geçirmeleri ve yolsuzluk seviyesinin azaltılması yoluyla yatırımcıların güvenini arttırmak sayılmaktadır (Boghea, Hlaciuc ve Boghea, 2010: 832).

Kurumsal yönetim ile ilgili çalışmalar 90'larla beraber ivme kazanmıştır. Bu kapsamda OECD kurumsal yönetim ilkeleri 27-

28 Nisan 1998'deki Konsey toplantısında, diğer uluslararası kuruluşlar, hükümet temsilcileri ve özel sektör ile ortaklaşa çabanın ürünü olarak kabul edilmiştir. İlkeler kabul edildiğinden beri, hem OECD hem de OECD üyesi olmayan ülkelerde kurumsal yönetim girişimlerinin temelini oluşturmuştur (OECD, 2004: 9). Türkiye de dünya ile paralel bir şekilde 6102 Sayılı Türk Ticaret Kanunu'nda kurumsal yönetim ilkelerini kapsamıştır ve tüm paydaşların haklarının korunması, rekabetçiliğin artırılması, yönetim kurullarının doğru karar yeteneklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir (Yılmaz ve Kaya, 2014: 17).

2.2. Kurumsal Yönetim İlkeleri

Kurumsal yönetimin başarılı bir şekilde uygulanması, hesap verebilirlik, şeffaflık, adil davranma ve sorumluluk ilkeleri yardımıyla sağlanmaktadır.

Kurumsal yönetim, bir kuruluş içindeki üretim, karar verme ve kontrol ile ilişkili yapılar ve süreçlerle ilgilidir. Hesap verebilirlik, hissedarların ve diğer paydaşların çıkarları doğrultusunda hareket etmelerini sağlamak için organizasyon temsilcilerinin izlenmesi, değerlendirilmesini ve kontrolünü içermektedir. Kurum ve kuruluşların üstlendikleri faaliyet ve aldıkları kararlardan etkilenen taraflara yönelik hesap verebilirliğinin olması, kurumsal yönetimin ve demokrasinin temellerinden olduğu gibi kurumun kendi içerisinde de daha etkin olması için önemli bir araçtır (Yeşil, 2019: 4). Hesap verebilirlik ilkesi ayrıca yönetim kurulunun yetki ve sorumluluklarının sorgulanabilirliğini de içermektedir (Yılmaz & Kaya, 2014: 22).

Kurumsal yönetim şeffaflık ilkesi, işletmelerin finansal durumu, performansı, sahiplik statüsü ve yönetim kurulları yanı sıra ücretleri de dâhil olmak üzere, şirket ile ilgili her önemli konu için hızlı açıklama yapılmasını garanti etmektedir. Bu ilke ayrıca yıllık denetimlerin bağımsız denetçiler tarafından yapılması da öngörmektedir. Yatırımcılar ve piyasa katılımcıları ile yakın temaslara ve ilişkilere devam etmek için şirketler, bu adil muamele ilkesinin ihlal edilmemesini sağlamalıdır (OECD, 2004: 56).

Kurumsal sorumluluk kapsamında adillik ilkesi, şirket yönetiminin faaliyetlerini sürdürürken aldığı kararlardan doğrudan veya dolaylı olarak etkilenen tüm kesimlere eşit mesafede durmasını ifade etmektedir. Bu ilke ile kurumun geleceği ile ilgili olarak tüm tarafların fikirleri dengeli şekilde değerlendirilebilecektir. Adillik ilkesi, kurumsal yönetimin tüm faaliyetlerinde ve potansiyel çıkar çatışmalarının önlenmesinde hissedarlara ve paydaşlara eşit muamele edilmesi gerekliliğini de ortaya koymaktadır (Burak, Erdil ve Altındağ, 2017: 10).

İşletmelerin tüm kararlarında ve faaliyetlerinde yasal mevzuatlara ve şirket düzenlemelerine uymasını, bunların denetlenmesini ifade eden sorumluluk, işletmede yönetim kurulu ve üst kademe yönetimin görev tanımları ve sorumluluklarını açık bir şekilde açıklanmasını içermektedir. İşletmelerin aynı zamanda hissedarlar dışında yasalara ve topluma karşı da yükümlülükleri bulunmaktadır ve kurumsal yönetim açısından sorumluluk ilkesi, faaliyetlerin kurallara ve ahlaki değerlere uygun olmasını önermektedir (Menteş, 2009: 51).

2.3. Kurumsal Yönetimin Muhasebe Açısından Önemi

Kurumsal yönetimi benimseyen ve uygulamak isteyen işletmelerin çıkar gruplarına karşı görev tanımlamaları daha

belirginleşmektedir. Kurumsal yönetim anlayışında bahsedilen konulardaki başarı oranını yükseltebilmenin en önemli unsurları ise dürüst, güvenilir, tarafsız ve yeterli bir muhasebe sisteminin oluşturulmasıdır (Yılmaz ve Kaya, 2014: 26).

2008 ekonomik krizi ve bunun öncesinde ortaya çıkan muhasebe skandalları, kurumsal yönetimin önemini arttırmıştır. Yaşanan skandalların ardından bilginin değer kazanması, işletme süreçlerinden muhasebede de değişimlere neden olmuştur. Çünkü günümüzde işletmelerin rekabet üstünlüğü, daha çok bilgi temellidir ve kaliteli bilgi, başarı açısından büyük etki göstermektedir (Dinç ve Abdioğlu, 2009: 158). Bu çerçevede muhasebe bilgi sistemleri, özellikle finansal planlama, finansal değerlendirme ve buna uygun tedbirlerin alınması amacıyla ihtiyaç duyulan bilginin üretilmesini hedeflemektedir (Dinç ve Abdioğlu, 2009: 158).

Shil (2008)'e göre muhasebe, herhangi bir işletmenin belirli bir dönem sonunda farklı paydaşlara yönelik raporlama için bilgi derleme işlemidir. Muhasebenin temel amacı, hayati ekonomik kararlar almak için karar vericilere faydalı bilgiler sunmaktır (Aničić, Aničić ve Majstorović, 2017: 46). Bu haliyle muhasebe, kurumsal yönetimin sağlanması ve sürdürülmesi için hayati bir rol oynamaktadır. Muhasebe, uluslararası bir disiplin haline geldiğinden ve muhasebe uygulaması paydaşların çeşitli ihtiyaçlarına göre uyumlu hale getirildiğinden, kurumsal bir ortamda iyi yönetim sağlamak için bir araç olarak kullanılabilir (Shil, 2008: 23).

2.4. Muhasebe Meslek Mensuplarının Kurumsal Yönetim Sorumlulukları

Son yıllarda muhasebe skandallarının, ülkelerin ekonomileri üzerinde belirleyici hale gelmesi, muhasebe meslek mensuplarının muhasebenin etik kurallarına uyumunu da yeniden gündeme getirmiştir. Özellikle muhasebenin hazırladığı finansal raporların doğru ve şeffaf bir şekilde düzenlenmesi, işletmenin kendisinin ve paydaşlarının kararlarında yanılma payını düşürecektir. Bu kapsamda kurumsal yönetim ilkelerinin ve muhasebe meslek mensuplarının sorumluluklarının özellikle doğru bilgi üretme temelinde birleştiği kabul edilmektedir (Yılmaz ve Kaya, 2014: 17).

2.4.1. Adil Davranma

Adillik ilkesi, muhasebenin temel ilkelerinden olan tarafsızlık ve belgelendirme ile organik bir ilişki içerisindedir. Muhasebe bakımından adillik ilkesi ayrıca sosyal sorumluluk, işletmenin sürekliliği ve tam açıklama kavramları ile de bağlantı içerisindedir (Burak ve Öztaş, 2015: 13).

Muhasebe meslek mensupları, işletme faaliyetleri hakkında verilerin toplanmasından ve kaydedilmesinden sorumlu iken, yönetim de planlama, uygulama ve kontrol için gerekli bilgileri muhasebe meslek mensuplarından sağlamaktadır. Dolayısıyla bu bilginin doğru ve güvenilir olması, işletme içerisinde tüm tarafların haklarının adil davranma ilkesi çerçevesinde değerlendirilmesini sağlayacaktır (Dölen, 2012: 141).

2.4.2. Kamuyu Aydınlatma ve Şeffaflık

Vishwanath ve Kaufmann (2001: 42)'a göre şeffaflık, işletmeler açısından kredi kullananların güvenilirliği, devletin kamu görevlerini yerine getirilmesi ve uluslararası kuruluşların etkinlikleri ile ilgili doğru, ekonomik, sosyal ve siyasi bilgi akışının ortaya konulmasını ifade etmektedir. Şeffaflık ilkesinin tam anlamıyla uygulanması, uluslararası kabul görmüş muhasebe standartlarının kullanılması ve tüm hissedarlar ve potansiyel

yatırımcılar için kolayca anlaşılabilir şekilde gösterilmesi ile mümkündür (Menteş, 2009: 45).

Kurumsal yönetim ilkelerinden olan şeffaflık kavramı, halkın bilme hakkı ile işletmenin saklama hakkının kesiştiği noktada oluşmaktadır. Şeffaflık kavramı aracılığı ile, bir yandan işletmelerin bağımsız kontrolleri ve düzenleyici heyetlere ulaştırmak mecburiyetinde buldukları açıklamalarda etkili varlık pazarlarının belkemiği meydana getirilirken, aynı zamanda hem yatırımcıların yorumlamalarına hem de yöneticilerin kendi işletmelerine ait kararlarında dayanak oluşturulmaktadır. Bu açıdan bakıldığında şeffaflık kavramı ile, muhasebenin temel kavramlarından tam açıklama ve tarafsızlık ve belgelendirme kavramları ile doğrudan bağlantı kurulabilmektedir. Ayrıca şeffaflık kavramı taşıdığı anlam itibarıyla, işletmenin sürekliliği ve sosyal sorumluluk kavramlarını da dolaylı yoldan etkileyen bir ögedir (Burak ve Öztaş 2015: 12). Bu doğrultuda muhasebe meslek mensupları, kamu çıkarlarının korunması konusunda da sorumluluğa sahiptir. Buna göre kamuoyunca muhasebeye duyulan güvenin artması, kurumsal yönetimin uygulanabilirliğini sağladığı gibi muhasebe bilgilerinin tarafsız ve güvenilir olması ile ekonomik kaynak kaybının önüne geçmektedir (Dölen, 2012: 143).

2.4.3. Hesap Verebilirlik

Hesap verebilirlik ilkesinin ifa edilmesindeki hedeflerden biri, işletmenin devam ettirilebilirliğinin sağlanması olmaktadır. Bu nedenle hesap verebilirlik kavramı, muhasebenin temel kavramları arasında yer alan işletmenin süreklilik kavramı ile ilişkilendirilebilmektedir (Burak ve Öztaş 2015: 13).

Muhasebe, işletmenin dili olduğundan, muhasebe bilgileri yalnızca muhasebenin hesap verebilirliğinin korunmasına bağlı olarak güvenilir, ilgili ve tutarlı bilgiler üretilmesi durumunda faydalı olacaktır. Hesap verebilirlik, yönetimin fonksiyonları ve sorumluluklarının açıklanması, hissedarların ve yönetimin taleplerinin sıralanması ve yönetim kurullarının nesnel kararları takip etmesi anlamına gelmektedir. Böylece hesap verebilirlik, çıkar grupları ile ilgili konuları ve işletme ile çıkar grupları arasındaki ilişkileri düzenleyen kuralları açıklamaktadır (Dinç ve Abdioğlu, 2009: 160).

2.4.4. Sorumluluk

Kurumsal yönetim kapsamında sorumluluk ilkesi, işletmenin faaliyetlerinin tüm yasal mevzuata, sözleşme ve şirket içi düzenlemelere uygunluğunu ifade etmektedir ve muhasebe meslek mensupları da muhasebe meslek mensubu mevzuatı ve şirket için düzenlemeleri yakından takip etmek durumundadır (Dölen, 2012: 146).

Sorumluluk ilkesinin taşıdığı anlam itibarıyla, muhasebenin temel kavramlarının hemen hemen hepsiyle bağlantılı olduğu söylenebilmektedir. Tam açıklama kavramı ile direkt bağlantı kurabilen sorumluluk ilkesi; özün önceliği, ihtiyatlılık, tutarlılık, maliyet esası kavramı ile beraber değerlendirilebilmektedir. Son olarak sorumluluk ilkesi, tarafsızlık ve belgelendirme, işletmenin sürekliliği ve sosyal sorumluluk kavramları ile de ilişki içerisindedir (Burak ve Öztaş 2015: 13).

Yasalara karşı sorumluluklarının yanı sıra, şirketlerin hissedarlara ayrıntılı finansal bilgiler vermeleri de gerekmektedir. Şirket kararları, hissedarların şirket hisselerindeki hisselerini alıp tutmalarını veya satmalarını etkiler. Hisse sahipleri, hem kendileri hem de şirket için en akıllı kararları vermek üzere muhasebe meslek mensupları tarafından derlenen finansal tablolara güvenmektedir. Dolayısıyla muhasebe meslek mensuplarının

mevzuatı ve yeni gelişmeleri takip etmesi ve bunları şirket paydaşlarına sunması gerekliliğinden hareketle, sürekli olarak mevzuatı takip etmesi ve eğitimlere katılması gerekmektedir (Dölen, 2012: 148).

Muhasebe meslek mensupları, dürüstlük, tarafsızlık, mesleki yeterlilik ve gizlilik ile mesleği geliştirmektedir. Bu kapsamda muhasebe meslek mensuplarının şu etik ilkelere uymaları da beklenmektedir (Avram ve Tangoe, 2012: 246-247):

- Güvenilirlik - muhasebe meslek mensubu, özellikle kurumsal yönetim olmak üzere kamuya güvenilir bilgiler sağlamalıdır.
- Profesyonellik - muhasebe meslek mensupları tarafından verilen hizmetler mesleki eğitim, kalite, etik, muhasebe ve denetim standartlarına uygun olmalıdır.
- Hizmet kalitesi - muhasebe meslek mensuplarından alınan hizmetlerin en yüksek performans standartlarına göre yürütülmesi gerekir.

- Güven - muhasebe meslek mensupları, görevlerinin gerekliliklerini yerine getirme ve doğru mesleki davranış standartları uygulamak yoluyla güven vermelidir.

3. Uygulama

3.1. Bulgular ve Yorum

Borsa İstanbul üretim işletmelerinde yer alan şirketlerle yüz yüze ve telefon yöntemleriyle yapılan görüşmeler yardımıyla, muhasebe meslek mensuplarının kurumsal yönetim konusundaki uygulamaları ve sorumlulukları araştırılmıştır. Çalışmamız kapsamında 62 firma ile görüşmeler hedeflenmiştir ancak 12 firma katılmak istemediğini belirttiği için, toplamda 50 görüşme ile çalışma tamamlanmıştır. Uygulamamıza katılmayı kabul eden meslek mensuplarının demografik özelliklerinden çalışma durumu, ünvan, tecrübe ve eğitim durumu değişkenlerine ilişkin sonuçlar bu bölümde yer almaktadır.

Tablo 1. Meslek Mensuplarının Demografik Özellikleri

	Gruplar	Frekans	Yüzde
Çalışma Durumu	Bağımlı Muhasebeci	17	34.0
	Bağımsız Muhasebeci	33	66.0
Unvan	Serbest Muhasebeci	12	24.0
	Serbest Muhasebeci Mali Müşavir	16	32.0
	Yeminli Mali Müşavir	22	44.0
Mesleki Tecrübe	2 - 5 Yıl	5	10.0
	5 - 10 Yıl	16	32.0
	10 - 20 Yıl	16	32.0
	20 Yıl ve fazla	13	26.0
Eğitim Düzeyi	Ön lisans	12	24.0
	Lisans	22	44.0
	Lisansüstü	16	32.0
	Toplam	50	100.0

Yukarıdaki tabloya bakıldığında, meslek mensuplarının %66'sının Bağımsız Muhasebeci, %34'ünün ise Bağımlı Muhasebeci olduğu görülmektedir. Katılımcıların unvanlarına bakıldığında, %44'ü Yeminli Mali Müşavir, %32'si Serbest Muhasebeci Mali Müşavir, %24'ü ise serbest muhasebecidir. Mesleki deneyim dağılımına bakıldığında ise en yüksek payların %32'lik oran ile 5-10 yıl ve 10-20 yıl gruplarında olduğu

görülmektedir. Katılımcıların %44'lük bir kesimi lisans, %32'si ise lisansüstü mezundur.

Meslek mensuplarının kurumsal yönetim ile ilgili genel kavramlara ilişkin verdikleri yanıtlar aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 2. Meslek Mensuplarının Kurumsal Yönetim ile İlgili Kavramlara İlişkin Düşünceleri

	Evet	Hayır	Fikrim Yok
Kurumsal yönetim uygulamaları hakkında bilgi sahibi misiniz?	45	5	-
Kurumsal yönetim uygulamaları şirketler için önemli midir?	45	-	5
Mükellefleriniz arasında kurumsal yönetimi uygulayan şirketler var mı?	45	5	-
Kurumsal yönetim anlayışı ve ilkeleri (SPK ve OECD Kurumsal Yönetim İlkeleri, İMKB düzenlemeleri) sizce şirketlerce uygulanmalı mıdır?	45	-	5
Kurumsal yönetim ilkelerinin şirketlerce benimsenmesini muhasebe bilimi sağlar mı?	39	-	11

Çalışmamıza katılan meslek mensuplarının, %90'ı kurumsal yönetim uygulamaları hakkında bilgi sahibi ve şirketler için önemli olduğu düşüncesindedir. Mükellefler arasında kurumsal yönetimi uygulamayan şirketlerin oranı %10 olarak görülmekte.

Katılımcıların %90'ı, kurumsal yönetim anlayışının ve ilkelerinin şirketlerce uygulanması gerektiği düşüncesindedir. Kurumsal yönetim ilkelerinin şirketlerce benimsenmesini muhasebe biliminin sağlaması gerektiğinin düşünenlerin oranı ise %78'dir.

Tablo 3. Meslek Mensuplarının Demografik Özellikleri

	Gruplar	Frekans	Yüzde
Mükelleflerinizi olan şirketlerin kurumsal yönetim ilkelerini uygulama derecesi nedir?	Tamamen Uyumlu	11	22.0
	Kısmen Uyumlu	34	68.0
	Uyumsuz	5	10.0

Mükelleflerin, kurumsal yönetim ilkelerini uygulama derecesine bakıldığında %68'inin kısmen uyumlu, %22'sinin tamamen uyumlu olduğu görülmektedir. İncelenen sonuçlar doğrultusunda mükellef şirketlerin %10'unun ise adil davranma, kamuyu aydınlatma, şeffaflık, hesap verilebilirlik, sorumluluk gibi ilkelerin uygulanması hususunda uyumsuz olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Muhasebecilerin kurumsal yönetim ile ilgili ilkelere ilişkin görüşleri aşağıdaki ifadelere katılım seviyeleri ile ölçülmüştür. Bu yanıtlardan elde edilen ortalama değerler, her bir kriter bazında aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 4. Kurumsal Yönetim ile ilgili İfadeleri Ortalama Değerleri

İfadeler	Ortalama
Muhasebe sisteminden sağlanan bilgiler, kurumsal yönetim ilkelerinin uygulanma sonuçlarının ölçümünde bir araçtır.	3.90
Kurumsal yönetim ilkelerini dikkate alarak gerçekleştirilen muhasebe mesleği kurumsal yönetim faaliyetlerine doğrudan katkı sağlamaktadır.	3.70
Muhasebe uygulayıcıları kurumsal yönetim uygulamalarının gelişmesi ve yaygınlaşması için muhasebe standartlarına önem vermelidirler.	3.90
Yeni TTK ile kamuyu aydınlatma ve şeffaflık için işletmeler sınıflandırılarak, her bir sınıf açısından farklı bir muhasebe düzeni getirilmesi kurumsal yönetimin uygulanmasına katkı sağlayacaktır.	3.80
Muhasebe manipülasyonları ve finansal raporlama hilelerinin azaltılması muhasebe meslek mensuplarının muhasebe standartlarını uygulamaları ile sağlanacaktır.	3.98
Kurumsal yönetim ilkelerinden şeffaflık ve kamuyu aydınlatma doğrudan muhasebe uygulamaları ile ilişkilidir.	4.04

Yukarıdaki tabloya genel olarak bakıldığında, kurumsal yönetim ile ilgili her bir ifadeye katılım seviyesinin yüksek olduğu, yani muhasebe mensuplarının bu ifadeler katıldıkları sonucuna ulaşılmıştır. Katılım seviyesinin en yüksek olduğu 4.04 ortalama ile kurumsal yönetim ilkelerinden şeffaflık ve kamuyu aydınlatma unsurlarının, doğrudan muhasebe uygulamaları ile ilişkili olduğu görüşü hakimdir. Aynı şekilde 3.98 ortalama ile muhasebe manipülasyonlarının ve finansal raporlama hilelerinin azaltılmasının muhasebe meslek mensuplarının muhasebe standartlarını uygulamaları ile sağlanması gerektiği görüşüne

katılım seviyesi yüksektir. Benzer şekilde, 3.90 ortalama seviyesi ile katılımcılar, muhasebe uygulamalarının gelişmesi ve yaygınlaşması için muhasebe standartlarına önem verilmesi gerektiği ve muhasebe sisteminden sağlanan bilgilerin yönetim ilkelerini uygulama sonuçlarının ölçülmesinde bir araç olduğu düşüncesindedirler. İfadeler arasında en düşük katılım seviyesi ise 3.70 ortalama ile kurumsal yönetim ilkelerini dikkate alarak gerçekleştirilen muhasebe mesleği kurumsal yönetim faaliyetlerine doğrudan katkı sağlanması gerektiği görüşü olmuştur.

Tablo 5. Kurumsal Yönetime İlişkin Görüşler

	Evet	Hayır	Fikrim Yok
Muhasebe meslek mensuplarının kurumsal yönetim kavramına önem vermeleri finansal tablolara olan güvenin artmasını sağlar mı?	42	-	8
Muhasebe meslek mensuplarının meslek etiğini dikkate almaları kurumsal yönetim uygulamalarına katkı sağlar mı?	40	-	10
Muhasebe meslek mensupları ile kurumsal yönetim uygulamalarının hayata geçirilmesi arasında güçlü bir bağ vardır.	43	-	7

Meslek mensuplarının, finansal tablolara olan güven, kurumsal yönetim uygulamaları ve hayata geçirilmesine ilişkin ifadeler hakkında ne düşündükleri sorgulanmıştır. Buna göre katılımcıların %84'ü, kurumsal yönetim kavramına önem vermenin finansal tablolara olan güvenin artmasını sağlayacağı,

%80'i meslek etiğini dikkate almalarının kurumsal yönetim uygulamalarına katkı sağlayacağı, %86'sı ise kurumsal yönetim uygulamalarının hayata geçirilmesi arasında güçlü bir bağ olduğu düşüncesindedir.

Tablo 6. Muhasebecilerin Kurumsal Yönetim Konusundaki Sorumluluklara İlişkin İfadelere katılım ortalamaları

İfadeler	Ortalama
Muhasebe meslek mensupları, kurumsal yönetimin uygulanmasına yönelik muhasebe uygulamalarında kullanılan bilginin niteliğine ve güvenilirliğine dikkat etmelidir.	3.96
Kurumsal yönetim anlayışına işlerlik kazandırmak muhasebe meslek mensuplarının sosyal sorumluluğundadır.	3.86
Muhasebe meslek mensupları kurumsal yönetim uygulamalarını güçlü bir finansal bilgi ve raporlama sistemi ile desteklemelidir.	3.88
Kurumsal yönetimin eş zamanlı bir biçimde kamunun kullanımına sunulmasında, muhasebe meslek mensuplarının sorumlulukları vardır.	3.84
Kurumsal yönetim sisteminin uygulanabilirliği, muhasebe meslek mensuplarının muhasebe ilkelerine ve yayınlanmış muhasebe standartlarına uygun hareket etmeleri ile mümkündür.	3.86
Şirketlerin kurumsal yönetim uygulamalarında muhasebe meslek mensuplarının temel sorumluluğu, bilgileri gerçeğe uygun hazırlamak ve ilgililerin kullanımına sunmaktır.	3.92
Yönetimin sorumluluklarını yerine getirmeleri ve işletme performansı hakkında yatırımcılara bağımsız bilgiler sunma işlevi muhasebe sistemine aittir.	3.82

Muhasebecilerin Kurumsal Yönetim Konusundaki Sorumluluklara ilişkin ifadeler katılım seviyelerine bakıldığında, tüm ifadeler katılımın yüksek seviyede olduğu görülmektedir. En yüksek katılım seviyesi 3.96 ortalama ile, kurumsal yönetimin uygulanmasına yönelik muhasebe uygulamalarında kullanılan bilginin niteliğine ve güvenilirliğine dikkat edilmesi gerektiği

olurken, en düşük katılım ortalamasının yönetimin sorumluluklarını yerine getirmeleri ve işletme performansı hakkında yatırımcılara bağımsız bilgiler sunma işlevi muhasebe sistemine aittir ifadesidir. Ancak genel olarak sonuçlar incelendiğinde, tüm ifadeler katılım seviyesinin “katılıyorum” düzeyinde yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 7. Muhasebe meslek mensubu olarak, sorumluluklarınızı yerine getirirken dikkate alınan kriterlerin önem ortalamaları

İfadeler	Ortalama
Muhasebe standartları	4.52
Muhasebe bilgi sistemi	4.48
Meslek etiği	4.56
Kurumsal yönetim ilkeleri	4.16
Genel kabul görmüş muhasebe ilkeleri	4.44

Yukarıdaki tabloya bakıldığında, muhasebe meslek mensubu olarak, sorumluluklar yerine getirilirken, en önem verilen kriterin 4.56 ortalama ile meslek etiği olduğu görülmektedir. Sonrasında ise 4.52 ortalama ile muhasebe standartları, 4.48 ortalama ile muhasebe bilgi sistemi, 4.44 ortalama ile genel kabul görmüş muhasebe ilkeleri önem taşımaktadır. Kriterler arasında önem seviyesi en düşük olan ise kurumsal yönetim ilkeleridir, ancak genel değerlendirme olarak, tüm kriterler için önem seviyesinin çok yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Muhasebecilerin Kurumsal Yönetim Konusundaki Sorumluluklara ilişkin 7 maddelik ifade setinin uygun olup olmadığının değerlendirilmesinde ise KMO testi veya Bartlett testi sonuçlarına bakılabilir. Kaiser-Meyer istatistiğinin 0.60'dan büyük çıkması örneklem sayısının yeterli olduğunu göstermektedir (Tablo 4.8). Bartlett küresellik testi sonuçları da aynı şekilde verilerin faktör analizi için uygunluğunu test eder. Dolayısıyla mevcut veriler için verilerin faktör analizine uygun olduğu söylenebilir ($p < 0.05$).

Tablo 8. Kaiser-Meyer-Olkin Örneklem Yeterliliği

Kaiser-Meyer-Olkin Örneklem Yeterliliği		0,686
Bartlett Küresellik Testi	Ki kare değeri	54.931
	Sd	21
	Sig.	.000

Ortak varyans, bir değişkenin analizde yer alan diğer değişkenlerle paylaştığı varyans miktarıdır (Hair, 1998). Yapılan faktör analizinde tüm değişkenlerin sahip olduğu ortak varyans 0,40'dan büyük olduğu için analizden çıkartılmadan faktör

analizine devam edilmiştir. Her bir maddenin ortak varyans değeri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir ve tüm değerler 0,50'den büyüktür.

Tablo 9. Ortak Varyans

	Initial	Extraction
Muhasebe meslek mensupları, kurumsal yönetimin uygulanmasına yönelik muhasebe uygulamalarında kullanılan bilginin niteliğine ve güvenilirliğine dikkat etmelidir.	1.000	.533
Kurumsal yönetim anlayışına işlerlik kazandırmak muhasebe meslek mensuplarının sosyal sorumluluğundadır.	1.000	.505
Muhasebe meslek mensupları kurumsal yönetim uygulamalarını güçlü bir finansal bilgi ve raporlama sistemi ile desteklemelidir.	1.000	.559
Kurumsal yönetimin eş zamanlı bir biçimde kamunun kullanımına sunulmasında, muhasebe meslek mensuplarının sorumlulukları vardır.	1.000	.415
Kurumsal yönetim sisteminin uygulanabilirliği, muhasebe meslek mensuplarının muhasebe ilkelerine ve yayınlanmış muhasebe standartlarına uygun hareket etmeleri ile mümkündür.	1.000	.647
Şirketlerin kurumsal yönetim uygulamalarında muhasebe meslek mensuplarının temel sorumluluğu, bilgileri gerçeğe uygun hazırlamak ve ilgililerin kullanımına sunmaktır.	1.000	.512
Yönetimin sorumluluklarını yerine getirmeleri ve işletme performansı hakkında yatırımcılara bağımsız bilgiler sunma işlevi muhasebe sistemine aittir.	1.000	.523

Çalışmada kullanılan 7 maddelik ifade seti 50 bireye uygulanmıştır. Uygulama sonunda ölçme aracının geçerliğinin

araştırılmasında varimax döndürme yöntemiyle faktör analizi yapılmıştır ve sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 10. Açıklanan Varyans Tablosu

Faktör	Öz değerler			Varimax döndürme sonucu Faktör yüklerinin kareleri toplamı		
	Toplam	Açıklanan Varyans %	Birikimli Varyans %	Toplam	Açıklanan Varyans %	Birikimli Varyans %
1	2.489	35.553	35.553	2.096	29.941	29.941
2	1.206	17.228	52.781	1.599	22.841	52.781
3	.985	14.064	66.846			
4	.745	10.644	77.490			
5	.635	9.064	86.554			
6	.545	7.786	94.340			
7	.396	5.660	100.000			

Açıklanan toplam varyans incelendiğinde, 7 madde için 1 özdeğerinden büyük 2 faktörün bulunduğu ve bu 2 faktörlü ölçme aracı ile ölçülen özelliğin %52,7'sinin ölçüldüğü söylenebilir. Bir başka deyişle, özdeğer istatistikleri 1'den büyük olan faktörlerin anlamlı olarak belirlendiği ve faktör sayısının 2 olduğu görülmektedir. Faktör analizi sonucunda 1. faktörün açıkladığı

varyans (%29.94), 2. faktörün tek başına açıkladığı varyans (%22.84)'tür.

Faktör Analizi sonucunda faktörlere düşen maddelerin döndürülmüş faktör yük değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 11. Faktör Yük Değerleri

	Faktör 1	Faktör2
Yönetimin sorumluluklarını yerine getirmeleri ve işletme performansı hakkında yatırımcılara bağımsız bilgiler sunma işlevi muhasebe sistemine aittir.	.721	
Muhasebe meslek mensupları, kurumsal yönetimin uygulanmasına yönelik muhasebe uygulamalarında kullanılan bilginin niteliğine ve güvenilirliğine dikkat etmelidir.	.721	
Muhasebe meslek mensupları kurumsal yönetim uygulamalarını güçlü bir finansal bilgi ve raporlama sistemi ile desteklemelidir.	.711	
Kurumsal yönetim anlayışına işlerlik kazandırmak muhasebe meslek mensuplarının sosyal sorumluluğundadır.	.630	
Kurumsal yönetim sisteminin uygulanabilirliği, muhasebe meslek mensuplarının muhasebe ilkelerine ve yayınlanmış muhasebe standartlarına uygun hareket etmeleri ile mümkündür.		.766
Şirketlerin kurumsal yönetim uygulamalarında muhasebe meslek mensuplarının temel sorumluluğu, bilgileri gerçeğe uygun hazırlamak ve ilgililerin kullanımına sunmaktır.		.666
Kurumsal yönetimin eş zamanlı bir biçimde kamunun kullanımına sunulmasında, muhasebe meslek mensuplarının sorumlulukları vardır.		.624

Faktör yük değerinin 0.45 ya da daha yüksek olması, madde seçimi için iyi bir ölçüdür. Ancak uygulamada az sayıda madde elemesi için bu sınır değer 0.30'a kadar indirgenmelidir

(Şener Büyüköztürk, 2006). Araştırmada faktör yük değerleri için sınır değerin 0.50 alındığı düşünülürse tüm

maddelerin faktör yük değerlerinin 0.50 değerinden yüksek olduğu görülmektedir.

Faktörlere düşen maddeler göz önüne alınarak faktör tanımlamaları yapılmıştır ve bu faktörlere düşen maddelerin iç **Tablo 12.** Faktör maddelerin güvenirlik katsayıları

Faktörler	Madde Numaraları	Madde Sayısı	Güvenirlik Katsayısı
Faktör 1	s22, s23, s24, s28	4	0.678
Faktör 2	s25, s26, s27	3	0.507
Tüm Ölçek	s22, s23, s24, s25, s26, s27, s28	7	0,676

Güvenirlik katsayısı, 0 ile +1 arasında değişkenlik gösterir. Güvenirlik katsayısının 1'e yakın değerler alması güvenirliğin yüksek olduğu, maddeler arasında iç tutarlılığın yüksek olduğu anlamına gelir ve istenilen bir durumdur. Güvenirlik katsayısının madde sayısı 3 ve üzeri olan ölçeklerde 0,60'den yukarı, madde sayısı 2 olan ölçeklerde ise 0,50 ve üzeri olması istenilen bir sonuçtur. Dolayısıyla ifade setindeki altboyutların güvenirliği istenilen şekilde sırasıyla 0,678 ve 0.507 bulunmuştur.

Bağımsız Örnekler için t Tesi (Mann Whitney U Tesi)

T testi, iki örneklem grubu arasında ortalamalar açısından fark olup olmadığını, bir başka deyişle bir gruptaki ortalamanın diğer gruptaki ortalamadan önemli derecede farklı olup olmadığını araştırmak için kullanılır. Bağımsız iki örnek t testi, iki farklı örneklem grubunun ortalamalarını karşılaştırır, bu iki grubun üyeleri birbirinden farklıdır ve kesinlikle ortak üye yoktur. Çalışmamızda incelenen kategorilere düşen gözlem sayısı düşük

tutarlılık anlamındaki güvenirlik katsayısı incelenmiştir. Faktör tanımlaması ve bu faktörlere düşen maddeler ve maddelerin iç tutarlılık anlamındaki güvenirlik katsayıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

olduğundan ($n < 30$) bağımsız örnekler için t testinin parametrik olmayan alternatifi olan Mann-Whitney U Tesi kullanılmıştır.

Çalışmamızda belirlenen faktör1 ve faktör2 parametreleri çalışma durumu değişkeni bazında ortalamalar arasında farklılık olup olmadığı incelenmiştir. Rank tablosunda her bir faktörün ilgili kategorilerde betimsel istatistikleri yer almaktadır. Test statistics tablosunda ise sig. değerleri gruplar arasında farklılık olup olmadığını sonucunu göstermektedir. Analiz sonuçlarına geçmeden önce hipotezler şu şekilde kurulur;

H0: Grup ortalamaları arasında farklılık yoktur.

H1: Grup ortalamaları arasında farklılık vardır.

Test istatistiği tablosunda sig. değeri 0.05'ten küçük olduğu durumlarda H0 hipotezi reddedilerek, ilgili değişken bazında gruplar arasında farklılık olduğu ve bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılır.

Ranks				
	Çalışma Durumu	N	mean	sig
Faktör1	Bağımlı Muhasebeci	17	3.85	0.877
	Bağımsız Muhasebeci	33	3.89	
Faktör2	Bağımlı Muhasebeci	17	3.90	0.716
	Bağımsız Muhasebeci	33	3.85	

Analiz sonuçlarına bakıldığında sig. değerleri 0.05 hata payından büyük olduğu için faktör1 ve faktör2 parametre ortalamaları çalışma durumu değişkeni bazında farklılık göstermemektedir.

Çalışmamıza katılan firmaların görüşme sonlanmadan önce kurumsal yönetim hakkındaki düşünceleri irdelenmiştir. Açık uçlu olarak verilen yanıtlar derlendiğinde, özellikle kurumsal yönetim ile ilgili yeterli bilgisi olmayan katılımcılar, bazı araştırmalardan bilgi edinmeye çalıştıklarını ve uygulamada farklılaşan bir süreç olduğu inancında olduklarını belirtmişlerdir.

Katılımcılardan kurumsal yönetim ilkesi uygulayan veya bu yönde çalışma yapan firmalar ise, uygulama zorluklarından bahsederken özellikle aile şirketlerinde zorlukların yaşandığı, şirket reflekslerinin kısıtlandığı ve muhasebe verilerinin kurumsal yönetim sürecinde kritik olduğunu ifade etmiştir.

Buna ek olarak İş-Sosyal yaşam süreçlerinin iç içe geçmesi ile kurumsal yönetim ilkelerini aile şirketlerinde uygulamada uygulayıcıların zorlandığı ve bunlardan etkilenenine ise muhasebesel süreç yöneticilerinin olduğu belirtilmiştir.

Kurumsal yönetim ilkelerini uygulama sürecinde denetleyici bir mekanizmanın Türkiye'de yerleşik olmadığı veya yetersiz görüldüğü ifade edilmiştir. Rekabet koşulları ve ortaklık sayısı gibi diğer etkenlerin de kurumsal yönetim ilkelerinin etkin yönetilememesine neden olduğu belirtilmiştir.

Sonuç

Muhasebe meslek mensupları, kurumsal yönetim konusunda da sorumluluklara sahip meslek profesyonelleri olarak değerlendirilmektedir. Çünkü geleneksel olarak muhasebe meslek mensuplarının görev tanımı kapsamında bulunan mali hesap verebilirlik dışında da sorumlulukları bulunmaktadır. Muhasebe meslek mensubu, küreselleşmenin neden olduğu taleplere, kurumsal yönetimde oynadığı temel role ve finansal muhasebe bilgilerini hazırlamadaki rolüne bağlı olarak mesleki faaliyetlerini etik kurallar çerçevesinde uygulamak durumundadır.

Muhasebe, kurumsal yönetim için belirleyici unsurlardan biri durumundadır. Muhasebe sayesinde işletmeler harcamalarını ve gelirlerini takip edebilir ve genel finansal durumlarını doğru bir şekilde değerlendirebilir. Bu nedenle muhasebe, işletmelerin

sürdürülebilir büyümesi ve başarısı için bir temel oluşturarak etik ve yasal bir zeminde çalışmalarına yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla işletmelerin kurumsal yönetim ilkeleri de muhasebe ile ilişkili durumdadır.

Kaynakça

- Aničić, J., Aničić, D. ve Majstorović, A. (2017) Accounting and financial reports in the function of corporate governance. *Journal of Process Management – New Technologies*, International Sayı 5, No 2, 45-54.
- Avram, M. ve Togoe, G.D. (2012) Professional accountants' ethics in the context of corporate governance. *Annals of University of Craiova-Economic Sciences Series*, Sayı 2, No 40, 245-250.
- Aysan, M.A. (2007) Muhasebe ve kurumsal yönetim. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, Sayı 35, 17-24.
- Boghean, F., Hlaciuc, E. ve Boghean, C. (2010) The role of the accountant professional in the context of the corporate governance and externalisation of the accounting function. *Annals of Faculty of Economics University of Oradea*, Sayı 1, No 2, 832-838.
- Burak, E. ve Öztaş, S. (2015) Kurumsal yönetim ilkelerinin muhasebenin temel kavramları açısından değerlendirilmesi. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 4, Sayı 1, 1-17.
- Burak, E., Erdil, O. ve Altındağ, E. (2017) Effect of corporate governance principles on business performance. *Australian*

Journal of Business and Management Research, Sayı 5, No 7, 8-21.

- Bushman, R. ve Abbie, J. S. (2003). "Transparency, financial accounting information and corporate Governance". *Economic Policy Review*, Sayı 9, No 1, 65-87.
- Dinç, E. ve Abdioğlu, H. (2009) İşletmelerde kurumsal yönetim anlayışı ve muhasebe bilgi sistemi ilişkisi: IMKB-100 şirketleri üzerine ampirik bir araştırma. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 12, Sayı 21, 157-184.
- Dölen, T. (2012) *Muhasebe meslek mensuplarının kurumsal yönetim konusundaki sorumlulukları*. Yayımlanmış doktora tezi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Konya.
- Menteş, A. (2009) *Kurumsal Yönetişim ve Türkiye Analizi*, İstanbul: Derin Yayınları.
- OECD (2004). *OECD Principles of Corporate Governance*, Paris. OECD Publications.
- Shil, N.C. (2008) Accounting for good corporate governance. *JOAAG*, Sayı 3. No 1, 22-31.
- Vishwanath, T. ve Kaufmann D. (2001), Towards transparency in finance and governance. *The World Bank Research Observer*, Sayı 16, No 1, 41-57.
- Yeşil, A. (2019) Finansal yönetimde hesap verebilirliğin ve iç kontrolün önemi. *Uluslararası Akademik Yönetim Bilimleri Dergisi*, Cilt 5, Sayı 6, 1-12.
- Yılmaz, R.ve Kaya, M. (2014) Kurumsal yönetim ilkelerinin muhasebe etik kuralları ile ilişkisi. *İşletme Bilimi Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, 17-35.



Şanlıurfa Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi*

Ömer Demirci^{1*}, Numan Bildirici²

^{1*}Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri, Van, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0368-567X), omer_demirci@hotmail.com

²Yüzüncü Yıl Üniversitesi Gevaş Meslek Yüksek Okulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Gevaş, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3587-8561),

(İlk Geliş Tarihi 18 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 05 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.754332)

ATIF/REFERENCE: 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.

ÖZ

Bu araştırma Türkiye’de tescilli edilmiş on dört nohut çeşidi (Azkan, Gökçe, İnci, Tavas, Arda, Aksu, Çağatay, Canitez, Diyar-95, Işık- 05, Yaşa-05, Çakır, Akça ve Hisar) ile Şanlıurfa ekolojik şartlarında verim ve verim unsurlarını belirlemek amacıyla 2017 yılında yapılmıştır. Deneme, Tesadüf Blokları Deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmada çeşitlerin çiçeklenme süresi, fizyolojik olum, bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, dal sayısı, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, yüz tane ağırlığı ve tane verimi parametreleri incelenmiştir. Araştırma bulgularına göre çeşitlerin çiçeklenme süresi 47.3-53.6 gün (Arda-Azkan), fizyolojik olum 72-79.3 gün (Akça-Azkan), bitki boyu 39.-48.3 cm (Çağatay-Hisar), ilk bakla yüksekliği 28.8-38.8 cm (Çakır-Hisar), dal sayısı 2-3.3 adet/bitki (Tavas-Arda), bakla sayısı 6.9-13 adet/bitki (Aksu-Çakır), baklada tane sayısı 0.9-1.2 adet/bakla (Arda-Çağatay), yüz tane ağırlığı 39.8-29.5 g (Işık 05-Diyar 95) tane verimi 140.6-398.7 kg/da (Diyar 95-Akça), aralıklarında belirlenmiştir. Araştırma sonunda elde edilen veriler göre tane verimi yönünden en yüksek değere sahip olan Akça ve Yaşa 05 çeşitleri bölge için kültürü yapılması tavsiye edilebilir. Ancak daha sağlıklı karar verebilmek için ekim zamanı, bitki sıklığı ve gübrelemeye dayalı ayrıntılı bilimsel çalışmalarla desteklenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Nohut, Çeşit, Verim, Verim özellikleri

Determination of Yield and Yield Components of Some Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Varieties Grown in the Şanlıurfa Ecological Conditions

Abstract

This research registration made in Turkey fourteen chickpea varieties (Azkar, Gökçe, İnci, Tavas, Arda, Aksu, Çağatay, Canitez, Diyar-95, Işık-05, Yaşa-05, Çakır, Akça and Hisar) with a yield of Şanlıurfa ecological conditions and it was done in 2017 to determine efficiency factors. The experiment was carried out in three replications according to the Randomized Blocks Trial pattern. In the study, flowering time, physiological maturity, plant height, first pod height, number of branches, number of pods per plant, number of seeds per pod, hundred-grain weight and grain yield parameters were investigated. According to the research findings, the flowering period of the varieties is 47.3-53.6 days (Arda-Azkan), physiological maturity 72-79.3 days (Akça-Azkan), plant height 39.-48.3 cm (Çağatay-Hisar), first pod height 28.8-38.8 cm (Çakır -Hisar), the number of branches 2-3.3 pieces/plant (Tavas-Arda), the number of pods 6.9-13 pieces / plant (Aksu-Çakır), the number of seeds per pod is 0.9-1.2 pieces/pod (Arda-Çağatay), hundred grain weight the grain yield of 39.8-29.5 g (Işık 05-Diyar 95) was determined in the range of 140.6-398.7 kg/da (Diyar 95-Akça). According to the data obtained at the end of the research, it can be recommended to culture the Akça and Yaşa 05 varieties, which have the highest value in terms of grain yield, for the region. However, in order to make a healthier decision, it should be supported with detailed scientific studies based on planting time, plant density and fertilization.

Key Words: Chickpea, Variety, Yield, Yield components

*Sorumlu Yazar: omer_demirci@hotmail.com

1. Giriş

Türkiye’de tarla bitkileri üretimi yapılan toplam alanın yaklaşık %74’ünü oluşturan tahıllar birinci, % 8.3’ünü oluşturan yemlik tane baklagiller ise ikinci sırada yer almaktadır (TÜİK 2018). İnsan beslenmesindeki önemi; cins, tür, çeşit ve yetiştirme yöntemlerine göre değişmekle birlikte, kuru taneleri % 18–36 protein içerir. Bu oran, yazlık yetiştirilenlerde, kışlık ekilenlerden daha yüksek olmakta (Tahıl (% 9-12)’ların 2–3 katı); ayrıca A, B ve D vitaminlerince de zengin bir yapı göstermektedirler (Ulukan, 2012). Son yıllarda hareketliliği azalan insanların beslenmesinde yağ ile birlikte bulunmadığı için diyet yemeği olarak hayvansal proteinlere karşı tercih edilmekte; ayrıca hayvanlarca tüketildiklerinde, proteinleri çok daha iyi değerlendirilmektedir. Proteinleri insan beslenmesi için amino asitlerle dengeli olup içlerinden olmazsa olmaz olan “alınması zorunlu amino asitler” bakımından (Örneğin “isoleucine, leucine, phenylalanine v.b.”) zengindir. Nohut iyi bir protein ve karbonhidrat kaynağı olması, bazı mineralleri (kalsiyum, magnezyum, çinko, potasyum, demir, fosfor) ve tiamin ile niasin gibi vitaminleri içermesi bakımından besin olarak büyük bir öneme sahiptir (Kaur ve ark., 2005). Ayrıca nohut insan ve hayvanlar için çok önemli bir gıda kaynağı olmasının yanında, özellikle düşük yağlı ya da yağsız almayan bölgelerde toprak verimliliğinin sürdürülmesinde önemli rol oynamaktadır (Saxena, 1990). Nohudun tane verimini etkileyen önemli faktörlerden biri de ekim zamanıdır. Optimal olarak ekim zamanından sapma iklim ve çevre koşullarındaki değişim nedeniyle, bitki gelişmesini ve büyümesini olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Kıyı bölgeleri dışında karasal iklime sahip iç bölgelerde ekim yazlık olarak Şubat ayından Mayıs ayına kadar değişen zamanlarda yapılmaktadır. Erken ekimde toprakta fazla nem bulunduğundan, aşırı vejetatif büyüme olmakta ve toprağın suyla fazla doyması sonucu hastalıklar yaygınlaşmakta ve tane verimi düşmektedir. Buna karşılık geç ekimde artan sıcaklıklar nedeniyle sınırlı toprak nemi çimlenmeyi olumsuz yönde etkilemekte ve optimum bitki sıklığından daha az bitki çıkış yapmakta, vejetatif ve generatif dönemlerin kısalması ile verim azalmaktadır. Doğu Anadolu gibi kışı sert ve uzun geçen ve genellikle yıllık yağışı düşük bölgelerde ekimin geç yapılması, toprakta nemin azalması ve generatif dönemin yüksek sıcaklıklara rastlaması nedeniyle verimi düşürmektedir. Yetiştiricilerin nohut ekimini Mayıs ayına kaydırmalarının nedeni antraknoz hastalığından kaçınmaktır. Böyle durumlarda bitki yeterli vejetatif büyüme yapmadan generatif devreye girmekte ve dolayısıyla verimde önemli düşmeler meydana gelmektedir (Açıkgöz, 1987). Drenajı iyi olan, verimli, kumlu, organik madde bakımından zengin ve pH’sı 5.5-8.6 arasında değişen topraklar nohut yetiştiriciliği açısından oldukça uygundur. Ülkemizde bazı kıyı bölgelerimiz hariç, özellikle Orta Anadolu’da sulanmadan kuru koşullarda yetiştirilmektedir ve verim doğrudan ekolojik koşulların etkisi altındadır (Babaoğlu, 2003). Toprak neminin azalması ve yetiştirme süresinin kısalması gibi nedenlerden dolayı bilhassa geç ekimlerde verim % 26-68 oranında düşmektedir (Üstün, 1994). Yemlik tane

baklagillerin taneleri ve sapları hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır. Hayvancılıkta kaba yem ihtiyacı işletme giderlerinin yaklaşık % 70’ini oluşturmaktadır. Bir ton tahıl sapında 70.5 kg protein, 1 ton baklagil sapında 137.4 kg protein bulunmaktadır (Azkan, 1999). Yemlik baklagiller içerisinde dünyada en fazla ekimi yapılan nohut (*Cicer arietinum* L.) hem *Rhizobium ciceri* bakterileri sayesinde havanın serbest azotunu köklerinde bulunan nodüller yardımıyla toprağa bağlayarak toprağın azotça zenginleşmesini sağlamakta ve böylece sürdürülebilir tarım yapılmasına yardımcı olmakta, hem de nadas alanlarının daraltılmasında ekim nöbeti bitkisi olarak tarımsal üretim sistemlerinin çeşitlendirilmesini sağlamaktadır (Gan ve ark., 2005). Türkiye’de 1980’li yıllarda uygulamaya konulan Nadas Alanlarının Daraltılması projesi çalışmalarıyla özellikle nohut ve mercimeğin tahıllarla ekim nöbetine giren ve en fazla gelir sağlayan bitkiler olduğunun saptanmış olması sonucu, daraltılan nadas alanlarının %65-70’lik kısmını nohut ve mercimek ekimi kaplamıştır (Yeşilgün 2006). Nohut bitkisi topraktaki *Rhizobium ciceri* bakterisi vasıtasıyla dekara 8 kg saf azot bağlayabilmektedir. Ülkemizde 2018 yılı verilerine göre 8.879.229 dekar alanda baklagiller (nohut, mercimek, fasulye, bakla, börülce, bezelye) yetiştirilmektedir. Ekiliş alanı bakımından baklagiller, tahıllardan sonra en önemli yeri tutmaktadır. Bu çalışmada 2018 yılı verilerine göre, yemlik tane baklagil cinslerinin içerisinde yaklaşık 5.144.159 dekar ekim alanı ile nohut ilk sırayı almakta nohudu 2.772.277 dekar ile mercimek, 848.045 dekar ile fasulye, 47.722 dekar ile bakla, 13.553 dekar ile börülce ve 9.065 dekar ile bezelye takip etmektedir. Şanlıurfa ilinin 2018 verilerine göre nohut ekim alanı 15.671 dekadır. Üretim 1.956 ton, verim ise 125 kg/da olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2018). Farklı on dört nohut çeşitlerinin Şanlıurfa ekolojik koşullarında yetiştirilen bazı nohut çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi ve bölgedeki çiftçilere katkı sağlamak amacıyla çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma materyali; Türkiye’de tescilli yapılmış on dört farklı nohut çeşidi (Azkan, Gökçe, İnci, Tavas, Arda, Aksu, Çağatay, Canitez, Diyar-95, Işık- 05, Yaşa-05, Çakır, Akça ve Hisar) Şanlıurfa Güneydoğu Tarımsal Araştırma Enstitüsü ve Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsünden temin edilmiştir. Şanlıurfa ekolojik koşullarında yetiştirilen bazı nohut çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi amacıyla yaptığımız bu çalışma 2017 yılında Şanlıurfa ilinin Hilvan ilçesinde yapılmıştır. Çalışma alanına ait iklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi uzun yıllar (2000-2016) ait ve 2017 yılına ait verilerdeki ortalama sıcaklık bakımından en soğuk ay Şubat, en sıcak ay ise Haziran’dır. Uzun yıllar ortalaması (2000-2016) göre ortalama nispi nem değeri en yüksek Şubat, en düşük ise Haziran ayı, 2017 yılına ait ortalama nispi nem değeri en yüksek ise Mart, en düşüğü Haziran ayıdır. Uzun yıllar ortalaması (2000-2016) göre ortalama yağış değeri en yüksek olan ay Şubat, en düşük ay ise Haziran, 2017 yılına ait ortalama yağış değeri en yüksek ay Nisan, en düşük ay ise Haziran’dır.

Çizelge 2.1. Şanlıurfa ilinin uzun yıllara (2000-2016) ve 2017 yılına dair ortalama sıcaklık, nispi nem ve yağış değerleri

Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)		Ort. Nispi Nem		Yağış (mm)	
	UYO	2017	UYO	2017	UYO	2017
Şubat	7.83	7.5	67.1	45.6	67.72	1.8
Mart	12.81	12.7	57.78	56.8	44.71	55.2
Nisan	17.2	16.5	53.81	50.9	40.78	79.3
Mayıs	22.81	22.5	41.72	39.3	20.02	7.2
Haziran	27.44	29.6	32.94	27.8	5.75	0
Ortalama	17.61	17.76	50.67	44.08	35.79	28.7

UYO: Uzun Yıllar Ortalaması

Arazi toprağın 0-30 cm derinliğinden alınan örneklerin analizi Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü laboratuvarında analiz edilmiştir. Çizelge 2.2'deki sonuçlara bakıldığında; toprak hafif alkali özellikte, kireç oranı ile orta

dereceli, organik madde yönüyle orta dereceli, EC değeri bakımından 4 ds m^{-1} az olduğu için asidik bir toprak, kum, kil ve silt oranlarını tekstür üçgeninde bakıldığında killi bir bünye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 2.2. Deneme alanı toprağının (0-30 cm) bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Özellik	Sonuç	Değerlendirme
Organik madde(%)	2.7	Orta
Kireç(%)	5.07	Orta
EC (%)	1.12	Asidik
Kum(%)	1.92	Düşük
Kil (%)	67.97	Yüksek
Silt	30.16	Düşük

Çalışma 2017 yılında üç tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre kurulmuş olup, toplamda 42 parselden oluşmuştur. Tüm parsellerde ekim alanı $5.0 \times 1.5=7.5 \text{ m}^2$ 'dir. Her parsel beşer sıra olarak ekim yapılmıştır. Deneme parsellerinde sıra arası mesafe 30 cm, parseller arası mesafe 1 m ve bloklar arası mesafe ise 2 m şeklinde olmuştur. 1 m^2 alana 33 adet tohum atılmıştır. Tohum ekiminden önce dekara 3 kg saf azot, 8 kg P_2O_5 denk gelecek şekilde DAP gübresi verilmiştir. Hasatta her parsel başından 0.50 m ve parsel yanlarından birer sırada bulan bitkiler gözlem dışında bırakılmıştır. İnceleme ve hesaplamalar kenar tesiri dışında kalan $4 \text{ m} \times 0.90 \text{ m}= 3.6 \text{ m}^2$ 'lik alanından yapılmıştır (Şehirli, 1988). Çalışma alanında ön hazırlık olarak traktörle derin sürüm işlemi yapıldıktan sonra kültivatör aracılığıyla tohum yatağı hazırlanmıştır. Ekim markörü kullanılarak 26 Şubat 2017 tarihinde yapılmıştır. Deneme alanı yabancı ot mücadelesi 3 kez mekanik olarak yapılmıştır. Hasat işlemi 15-28 Haziran 2017 tarihleri arasında elle yapılmıştır. Hasat edilen bitkilerde ölçüm, sayım ve harmanlama işlemleri yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Araştırmada kullanılan nohut çeşitlerinin verim ve verim öğeleri açısından aralarındaki farklılığın belirlenmesinde tesadüf blokları deneme deseni ve Duncan varyans analizi metodu programı kullanılmıştır. Ortalama değerler arasında oluşan grupların belirlenmesinde ise LSD (%5) Çoklu Karşılaştırma Testi'nden (Düzgüneş ve ark., 1987) ve Costat paket programından faydalanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çiçeklenme Süresi

Araştırmada elde edilen nohut çeşitlerine ait çiçeklenme süresi özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinin çiçeklenme süresi istatistiksel analiz sonuçları % 1 düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi çiçeklenme süresi 47.3-53.6 gün arasında değişmekte olup; en düşük değer 47.3 gün ile Arda, en yüksek değer ise 53.6 gün ile Azkan çeşidinde bulunmuştur. Yapılmış farklı çalışmalarda çiçeklenme süresi ise; 76.2-84.6 gün Biçer ve Anlarsal (2004), 44 gün Beysarı (2012), 55 gün, Erdemci (2012), 57.5- 65.5 gün Uzun ve ark. (2012), 57-62.3 gün Karakan Kaya (2014), 56.5 gün Bayrak ve ark.(2015) olarak tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada çiçeklenme süresi önceki çalışmaların bazıları ile benzerlik gösterirken bazıları ile farklılık göstermemektedir. Bu farklılığın nedenleri ise kullanılan genotipler ve çevre koşullarında etkilendiği düşünülmektedir.

3.2. Fizyolojik Olum

Araştırmada elde edilen nohut çeşitlerine ait fizyolojik olum özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinin fizyolojik olum istatistiksel analiz sonuçları % 1 düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi fizyolojik olum

69.33-79.33 gün arasında değişmekte olup; en düşük değer 69.3 gün ile Arda, en yüksek değer ise 79.33 gün Azkan çeşidinde bulunmuştur. Yapılmış farklı araştırmalarda fizyolojik olum ise; 79 gün Beysarı (2012), 70.3-72.3 gün Karakan Kaya (2014), 78.5-89 gün Güngör ve Dumlupınar (2018), 71.7-84.7 gün Ercan ve ark. (2019) olarak tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada fizyolojik olum önceki çalışmaların bazıları ile benzerlik gösterirken bazıları ile farklılık göstermemektedir. Bu farklılığın nedenleri ise kullanılan genotipler ve çevre koşullarında etkilendiği düşünülmektedir.

3.3. Bitki Boyu

Araştırmada elde edilen nohut çeşitlerine ait bitki boyu özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinin bitki boyu istatistiksel analiz sonuçları % 1 düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi bitki boyu 39-48.3 cm

arasında değişmekte olup; en düşük değer 39 cm ile Çağatay, en yüksek değer 48.3 cm ile Hisar çeşidinde bulunmuştur. Yapılmış farklı çalışmalarda bitki boyu ise; 33.5-51.4 cm Akman (1993), 34-49.7 cm Türk ve Koç (2003), 32.8 cm Bakoğlu ve Ayçiçek (2005), 42.6-49.7 cm Babagil (2011), 34.-40.2 cm Uzun ve ark. (2012), 43.2 cm Bayrak ve ark.(2015), 38.2-41.9 cm Yalçın ve ark. (2018), 30.5-47.4 cm Ercan ve ark. (2019) olarak tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada bitki boyu önceki çalışmaların bazıları ile benzerlik gösterirken bazıları ile farklılık göstermemektedir. Farklılık sebepleri ise kullanılan genotiplerin ve çevresel koşullardan etkilendiği düşünülmektedir. Bitki boyu kısa olan çeşitlerin makineli hasatta önemli oranda tane kayıplarına yol açabileceğinden uzun boylu çeşitlerin tercih edilmesi büyük önem arz eder (Bakoğlu ve Memiş, 2002). Bitki boyunun uzun olması makineli hasatta tane kaybının aza inmesine imkan sağlamaktadır.

Tablo 1. Farklı nohut çeşitlerine ait çiçeklenme süresi (ÇS), fizyolojik olum(FO), bitki boyu (BB), ilk bakla yüksekliği(İBY), bitkide dal sayısı (BDS), bitkide bakla sayısı (BBS), baklada tane sayısı (BTS), bitkide tane sayısı (BİTS), yüz tane ağırlığı (YTA), tane verimi (TV)

Çeşit	ÇS (gün)	FO (gün)	BB (cm)	İBY (cm)	BDS (adet)	BBS (adet)	BTS (adet)	YTA (g)	TV (kg)
Azkan	53.6 a	79.3 a	40.9 bc	34.2 ad	22.3	7.73 cd	1	34.2 abc	198 e
Gökçe	50 bcd	74.6 de	40.6 bc	30.1 de	22.3	10.1 ac	1	38.6 a	334.6 bc
İnci	52.6 a	76.3 b	41.1 bc	37.8 ab	22.6	8.3 cd	0.9	30. c	288 cd
Tavas	49.3 de	72.6 f	39.8 bc	32.2 cde	22	9.3 bd	1	35.3 abc	356 b
Arda	47.3 f	69.3 g	42.6 bc	37 abc	33.3	8 cd	0.9	34.9 abc	270.6 d
Aksu	49.6 cd	74 e	42.3 bc	34.1 ad	22.6	6.9 d	1.1	35.2 abc	337.6 bc
Çağatay	50.6 bc	74.6 de	39 c	32.5 cde	22.6	9.9 ad	1.2	38.9 a	318 c
Canitez	51 b	75.3 bcd	40.5 bc	34.2 ad	22.6	10 ac	1.1	38.7 a	386.6 a
Diyar-95	48.3 ef	70.3 g	40.3 bc	33.2 be	33	8.2 cd	0.9	29.5 c	140.6 f
Işık-05	51 b	74 e	43.2 bc	35.7 abc	33	10.4 ac	0.9	39.8 a	338 bc
Yaşa-05	50.3 bcd	74.3 de	43.5 b	34.8 ad	22.6	9.8 bd	1.1	38.8 a	389 a
Çakır	52.6 a	76 bc	39.4 bc	28.8 e	33	13. a	1	36.9 ab	379.3 ab
Akça	49.3 de	72 f	42.9 bc	34 ad	33	11.6 ab	1.1	39 a	398.7 a
Hisar	51 b	75 cde	48.3 a	38.8 a	33	7.3 cd	1.1	32.3 bc	266 d
Ortalama	50.4	74.1	41.7	34.1	26.09	9.3	1	35.8	314.3

* Aynı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemli değildir.

3.4. İlk Bakla Yüksekliği

Araştırmada elde edilen nohut çeşitlerine ait ilk bakla yüksekliği özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinin ilk bakla yüksekliği istatistikî analiz sonuçları % 1 düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi ilk bakla yüksekliği 28.8-38.8 cm arasında değişmekte olup; en düşük değer 28.8 cm ile Çakır, en yüksek değer 38.8 cm ile Hisar çeşidinde bulunmuştur. Yapılmış farklı çalışmalarda ilk bakla yüksekliği ise; 10.7-14.4 cm Türk ve Koç (2003), 16 cm Bakoğlu ve Ayçiçek (2005), 24.9 cm Erdin ve Kulaz (2014), 24.4-35.1 cm Karakan Kaya (2014), 19.1-25.3 cm Dinç (2014), 29.5 cm Bayrak ve ark.(2015) olarak tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada bitki boyu önceki çalışmaların bazıları ile benzerlik gösterirken bazıları ile farklılık göstermektedir. Bu farklılığın kullanılan genotipler ve çevre koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tarafından makineli hasat için ilk meyve yüksekliğinin 26-30 cm olması gerektiği bildirilmiştir Zeren ve ark. (1991). Çeşitlerinin ilk bakla yüksekliklerinin fazla olması makineli hasatta tane kaybının en aza inmesine imkan sağlamaktadır.

3.5. Bitkide Dal Sayısı

Araştırmada elde edilen nohut çeşitlerine ait bitkide dal sayısı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinin bitkide dal sayısı açısından çeşitler arasındaki farkın önemli olmadığı görülmüştür. Yapılan LSD testi sonucuna göre bitkide dal sayısı ortalamaları arasındaki fark önemsiz çıktığı için gruplandırılmanın oluşmadığı görülmüştür. Tablo 1'de görüldüğü gibi bitkide dal sayısı 2-3.3 adet/bitki arasında değişmekte olup; en düşük değer 2 adet/bitki ile Tavas, en yüksek değer 3.3 adet/bitki ile Arda çeşidinde bulunmuştur. Yapılmış farklı çalışmalarda bitkide dal sayısı ise; 2.4-3.8 adet/bitki Akman (1993), 2.5-3.2 adet/bitki Kaçar ve ark. (2005), 2.6-3.3 adet/bitki Yiğitoğlu (2006), 2.8-3.3 adet/bitki Babagil (2011), 2.5 adet/bitki Beysarı (2012), 2.4 adet/bitki Erdemci (2012), 3.3 adet/bitki Dinç (2014), 1.7-2.7 adet/bitki Ercan ve ark.(2019) olarak tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada bitkide dal sayısı önceki çalışmalarla benzerlik gösterirken bazıları ile farklılıklar göstermektedir. Farklılık sebepleri ise kullanılan genotiplerin ve çevresel koşullardan etkilendiği düşünülmektedir.

3.6. Bitkide Bakla Sayısı

Araştırmada elde edilen nohut çeşitlerine ait bitkide bakla sayısı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinin bitkide bakla sayısı istatistikî analiz sonuçları % 1 düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi çeşitlerin bitkide bakla sayısı 6.9-13 adet/bitki arasında değişmekte olup; en düşük değer 6.9 adet/bitki ile Aksu, en yüksek değer 13 adet/bitki ile Çakır çeşidinde bulunmuştur. Yapılmış farklı çalışmalarda bitkide bakla sayısı ise; 9.5-16.2 adet/bitki Akman (1993), 6.5-18.4 adet/bitki Çiftçi ve ark. (2004), 12.4 adet/bitki Bakoğlu ve Ayçiçek (2005), 7.5 adet/bitki Vural ve Karasu (2007), 5.5-8.3 adet/bitki Dinç (2014) olarak tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada bitkide bakla sayısı önceki çalışmalar ile benzerlik göstermiştir. Farklılık sebepleri ise kullanılan genotiplerin ve çevresel koşullardan etkilendiği düşünülmektedir. Özellikle nohutta dallanma ve bakla bağlama döneminde yapılan sulamanın verimde ciddi artışlara neden olduğu bildirilmektedir (Yağmur ve Engin 2005).

3.7. Baklada Tane Sayısı

Araştırmada elde edilen nohut çeşitlerine ait baklada tane sayısı özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinin baklada tane sayısı açısından çeşitler arasındaki farkın önemli olmadığı görülmüştür. Yapılan LSD testi sonucuna göre baklada tane sayısı ortalamaları arasındaki fark önemsiz çıktığı için gruplandırılmanın oluşmadığı görülmüştür. Tablo 1'de görüldüğü gibi bitkide tane sayısı 0.9-1.2 adet/bakla arasında değişmekte olup; en düşük değer 0.9 adet/bakla ile Diyar-95, en yüksek değer 1.2 adet/bakla ile Çağatay çeşidinde bulunmuştur. Yapılmış farklı çalışmalarda bitkide dal sayısı ise; 1-1.2 adet/bakla Karasu (1993), 1 adet/bakla Beysarı (2012), 1 adet/bakla Erdemci (2012), 1.01-1.03 adet/bakla Ceran (2014), 0.8-1 adet/bakla Patan (2014) 0.9-1.07 adet/bakla Karakan Kaya (2014), 0.93-0.97 adet/bakla Ercan ve ark.(2019) olarak tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada baklada tane sayısı önceki çalışmalarla benzerlik göstermemektedir. Baklada tane sayısı bitkide bakla sayısı ile direkt ilişkilidir. Özellikle nohutta dallanma ve bakla bağlama döneminde yapılan sulamanın verimde ciddi artışlara neden olduğu bildirilmektedir (Yağmur ve Engin 2005).

3.8. Yüz Tane Ağırlığı

Araştırmada elde edilen nohut çeşitlerine ait yüz tane ağırlığı özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinin yüz tane ağırlığı istatistikî analiz sonuçları % 1 düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi çeşitlerin yüz tane ağırlığı 29.5-39.8 g arasında değişmekte olup; en düşük değer 29.5 g ile Diyar-95, en yüksek değer 39.8 g ile Işık-05 çeşidinde bulunmuştur. Yapılmış farklı çalışmalarda yüz tane ağırlığı ise; 24-40 g Engin(1989 a), 30-42 g Engin (1989 b), 26.7-37.5 g Anlarsal ve ark. (1999) , 25.7-36.4 g Mart ve Anlarsal (2001), 33.8-46.7 g Türk ve Koç (2003), farklı sıra arası üzerine yaptıkları çalışmada 47.3-49.9 g Bildirici ve ark. (2007a), 39.3 g Öztaş ve ark. (2007), 37.6-51.5 g Karaköy (2008), 29.7-38.7 g Ercan ve ark. (2019) tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada yüz tane ağırlığı önceki çalışmaların bazıları ile benzerlik gösterirken bazıları ile farklılık göstermemektedir. Farklılık sebepleri ise kullanılan genotiplerin ve çevresel koşullardan etkilendiği düşünülmektedir.

3.9. Tane Verimi

Araştırmada elde edilen nohut çeşitlerine ait tane verimi özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinin tane verimi istatistikî analiz sonuçları % 1 düzeyinde önemli olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi çeşitlerin tane verimi 140.6-398.7 kg arasında değişmekte olup; en düşük değer 140.6 kg/da ile Diyar-95, en yüksek değer 398.7 kg/da ile Akça çeşidinde bulunmuştur. Yapılmış farklı çalışmalarda tane verimi ise; 121.5-166.6 kg/da Biçer ve Anlarsal (2003), 177.5-362.4 kg/da Kaçar ve ark.(2005) 221-374 kg/da Bildirici ve ark. (2007b), farklı sıra arası üzerine yaptıkları çalışmada 198.4-278 kg/da Bildirici ve ark. (2007a), 141.7-277.4 kg/da Doğan (2014), 168.5-302.2 kg/da Erdemci ve ark.(2019) tespit etmişlerdir. Tane verimindeki artışların ortaya çıkmasında sulama ve yeterli gübre uygulamalarının etkisinin önemli olduğu belirtilmiştir (Bildirici ve ark., 2007b). Özellikle nohutta dallanma ve bakla bağlama döneminde yapılan sulamanın verimde ciddi artışlara neden olduğu bildirilmektedir (Yağmur ve Engin 2005).

4. Sonuç

Denemede kullanılan çeşitler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda bazı çeşitlerin bölge ekolojisine uygunluğu açısından öne çıktığı görülmüştür. Bu çeşitlerden bitki boyu bakımından en yüksek değer Hisar (48.3 cm) ve Yaşa-05 (43.5 cm) çeşitlerinde, en düşük değer ise Çağatay (39 cm) çeşidinde gözlemlenmiştir. Bakla sayısı bakımından en yüksek ortalama değerler ise Çakır (13 adet) ve Akça (11.6 adet) çeşitlerinden, en düşük ise Aksu (6.9 adet) çeşidinden elde edilmiştir. En yüksek yüz tane ağırlığı Işık-05 (39.8 g) ve Akça (39 g) çeşidinde tespit edilirken en düşük değer ise Diyar-95 (29.5 g) çeşidinde tespit edilmiştir.

Dekara tane verimi olarak en yüksek verim değeri 398.7 kg/da ile Akça çeşidinden en az verim ise 140.6 kg/da ile Diyar-95 çeşidinden elde edilmiştir. Çalışmanın kuru koşullarda yürütülmesi ve vejetasyon döneminde düşen yağışın miktarının düşük olması gibi sebeplerden dolayı bazı çeşitlerin dekara tane verimleri ülkemiz ortalamasının altında oluşmuştur. Bu nedenle imkânlar dâhilinde nohudun suya en çok ihtiyaç duyduğu çiçeklenme ve bakla bağlama döneminde yapılacak olan sulamanın verimi artıracak düşünülmemektedir.

Bölgede nohut yetiştiriciliğinin daha iyi duruma getirebilmek için, bu çalışmanın en az bir yıl süreyle tekrarlanması ve bölge için öne çıkan çeşitlerle (Akça ve Yaşa 05) ekim zamanı, bitki sıklığı ve gübreleme gibi bilimsel çalışmaların da yapılması gerekmektedir.

5. Teşekkür

Çalışmanın her safhasında yakın ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Numan BİLDİRİCİ'ye, tohumları temininde her türlü yardımı sağlayan Güneydoğu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Yüksek Ziraat Mühendisi Sayın Mahmut GAYBERLİ'ye, istatistiki analizlerde bana yardımını esirgemeyen Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Melahat AVCI'ya, çalışma sırasında bana maddi ve manevi desteğini esirgemeyen dayım Dr. İbrahim Halil ADAK'a özellikle her türlü yardım ve desteklerinden dolayı çok değerli sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- Açıkgöz, N., 1987. *Nohut Tarımı*, T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Ege Bölge Zirai Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, No: 76:21.
- Akman, B. 1993. *Bursa Ekolojik Koşullarına Uyan Nohut (Cicer arietinum L.) Hatlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Anlarsal, A.E., C. Yücel ve D. Özveren. 1999. Çukurova Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum L.*) Hatlarının Verim ve Verimle İlgili Özelliklerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. *Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi*, 15-18 Kasım, Cilt III, Çayır Mera Yem Bitkileri ve Yemlik Tane Baklagiller, s. 342-347
- Anonim, 2016a. www.tuik.gov.tr. 04.11.2016 Anonim, 2018. http://www.tuik.gov.tr. 22.08.2019
- Azkan, N., 1999. *Yemlik Tane Baklagiller*, Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Notları; 40:107.

- Babagil, G.E., 2011, Erzurum Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum L.*) Çeşitlerinin Verim ve Verim Özelliklerinin İncelenmesi, *Anadolu Tarım Bilim Dergisi*, 26(2):122-127.
- Babaoğlu, M., 2003. *Nohut ve Tarımı (Cicer arietinum L.)*, Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü., Edirne Blum, A. 1986.
- Bakoğlu A., Memiş, A. 2002. Farklı Oranlarda Ekilen Adi Fiğ (*Vicia sativa L.*) ve Arpa (*Hordeum vulgare L.*) Karışımlarında Tohum Verimi ve Bazı Özelliklerin Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1): 29-35.
- Bakoğlu, A. ve 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.
- Beysarı, V., 2012. *Bazı Nohut (Cicer arietinum L.) Çeşitlerinin Bingöl Koşullarındaki Verim ve Adaptasyon Koşullarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Biçer, B.T., Anlarsal, A. E., 2004. Bazı nohut (*Cicer arietinum L.*) köy çeşitlerinde bitkisel ve tarımsal özelliklerin belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, Cilt 10(4):389-396
- Bildirici, N., Çiftçi, V., Doğan, Y., 2007a. Van-Gevaş sulu koşullarında farklı sıra aralıklarının nohut (*Cicer arietinum L.*)'da verim ve bazı verim öğelerine etkisi. *Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi*, 25-27 Haziran, Erzurum.
- Bildirici, N., Çiftçi, V., Doğan, Y., 2007b. Van-Gevaş sulu koşullarında DAP (Diamonyumfosfat) gübre dozlarının Canitez-87 nohut (*Cicer arietinum L.*) çeşidinde verim ve bazı verim öğelerine etkisi. *Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi*, 25-27 Haziran, Erzurum, Türkiye.
- Ceran, F., 2015. *Farklı Zamanlarda Ekilen Nohut (Cicer arietinum L.) Çeşitlerinin Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Çiftçi, V., Doğan, Y., Togay, N., Karakuş, M., 2004. Türkiye'de Tescil Edilmiş Bazı Nohut (*Cicer arietinum L.*) Çeşitlerinin Van Ekolojik Koşullarında Verim Ve Verim Öğelerinin Belirlenmesi, *Ç.Ü.Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2):105-110
- Dinç, A., 2014. *Türkiye'de Tescil Edilmiş Bazı Nohut (Cicer arietinum L.) Çeşitlerinin Van Koşullarında Verim ve Verim Öğelerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Doğan Y., 2014 Mardin Kızıltepe Ekolojik Koşullarında Kışlık Olarak Yetiştirilebilecek Nohut (*Cicer arietinum L.*) Çeşitlerinin Belirlenmesi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 31(1). 37-46
- Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O., Gürbüz, F., 1987. Araştırma ve Deneme Metotları (İstatistik Metotları-II). *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları*: 1021:295
- Engin, M. 1989 a. Çukurova Koşullarında Yüksek Verimli Nohut Çeşitlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4 (6):93-103.
- Engin, M. 1989 b. Çukurova Koşullarında Yüksek Verimli ve Makinalı Hasada Uygun Kışlık Nohut (*Cicer arietinum L.*)

- Çeşitlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4 (6):75-83.
- 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.
- Erdemci, İ., 2012. *Güneydoğu Anadolu Bölgesi Koşullarında Farklı Nohut (Cicer arietinum L.) Genotiplerinin Yazlık Ve Kışlık Ekimlerinde Bazı Tarımsal ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Erdin, F., Kulaz, H., 2012. Van-Gevaş ekolojik koşulların da bazı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinin ikinci ürün olarak yetiştirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1, 910- 914
- Gan, Y. T., Siddique, K.H.M, MacLeod, W.J., Jayakumar, P., 2005. *Management options for minimizing the damage by ascochyta blight (Ascochyta rabiei) in chickpea (Cicer arietinum L.)*. *Field Crops Res.*, 97; 121-134
- Güngör, H., Dumlupınar, Z., (2018). Bazı nohut çeşit ve hatlarının verim ve verim unsurları bakımından değerlendirilmesi, *Derim* 35(2):194-200
- Kaçar O., Göksu E., Azkan N., 2005. Bursa'da Kışlık Olarak Yetiştirilebilecek Nohut (*Cicer arietinum* L.) Hatlarının Belirlenmesi *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (2): 33-45.
- Karaköy, T., 2008. *Çukurova ve Orta Anadolu Bölgelerinde Toplanan Bazı Yerel Nohut (Cicer arietinum L.) Genotiplerinin Verim Ve Verimle İlgili Özelliklerin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karakan Kaya, F., 2014. *Bazı Nohut (Cicer arietinum L.) Çeşitlerinin Elazığ Koşullarındaki Verim ve Adaptasyon Yeteneklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karasu, A. 1993. *Bazı Nohut Çeşitlerinin (Cicer arietinum L.) Agronomik ve Teknolojik Karakterleri Üzerine Bir Araştırma*. Doktora Tezi ,Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 122 s.
- Kaur, M., Singh, N., Sodhi, N. S., 2005. Physicochemical, cooking, textural and roasting characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L) cultivars. *Journal of Food Engineering* 69, 511-517.
- Mart, D. ve A. E. Anlarsal. 2001. Çukurova Koşullarında Nohutta (*Cicer arietinum* L.) Bazı Önemli Özellikler Yönünden HatxÇevre İnteraksiyonları ve Uyum Yeteneklerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. *Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi*, 17-21 Eylül, Cilt I, Tahıllar ve Yemeklik Tane Baklagiller, s. 321-331.
- Öztaş, E., Bucak, B., Al V., Kahraman, A., 2007. Farklı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinin harran ovası koşullarında kışa dayanıklılık, verim ve diğer özelliklerinin belirlenmesi, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(3/4):87-85
- Patan, F., 2014. *Tescilli Bazı Nohut (Cicer arietinum L.) Çeşitlerinin Erzurum Ekolojik Koşullarına Adaptasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Saxena, M.C., 1990. *Status of Chickpea in the Mediterranean Basin*. CIHEAM Options Méditerranéennes-Série Séminairesn., 9; 17-24
- Şehirali, S., 1988. *Yemeklik Tane Baklagiller*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara
- Türk, Z., Koç, M., 2003. Diyarbakır koşullarında kuru ve sulu olarak yetiştirilen nohut (*Cicer arietinum* L.)'un verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi*, 13-17 Ekim, Diyarbakır
- Ulukan, H., 2012. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Yaz Okulu Ders Notları: 6, Ankara
- 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., 1994. Kuzey-Geçit bölgesinde nohut verimliliğini artırma yolları. *Tarım ve Köy Dergisi*, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı
- Yağmur, M., Engin, M., 2005. Farklı fosfor ve azot dozları ile bakteri aşılamanın nohut (*Cicer arietinum* L.)'un tane verimi ve bazı verim öğeleri ile ham protein oranı üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi*, 15(2): 93-102.
- Yalçın F, Mut Z, Erbas Kose OD (2018). Afyonkarahisar ve Yozgat Koşullarında Yüksek Verim Sağlayacak Uygun Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Belirlenmesi. *JAFAG*, 35 (1), 46-59.
- Yeşilgün, S., 2006. *Çukurova Bölgesinde Bazı Kışlık Nohut (Cicer arietinum L.) Hat ve Çeşitlerinin Bitkisel Ve Tarımsal Özelliklerinin Saptanması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yığıtoğlu, D., (2006). *Kahramanmaraş Koşullarında Farklı Bitki Sıklıklarının Kışlık ve Yazlık Ekilen Bazı Nohut Çeşitlerinde (Cicer arietinum L.) Verim ve Verim ile İlgili Özelliklere Etkisi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Vural, H., Karasu, A., "Agronomical characteristics of several chickpea ecotypes (*Cicer arietinum* L.) grown in Turkey", *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*, Vol. : 35, Issue : 2, 2007.
- Zeren, Y., Özcan, T., Işık, A., "Nohut hasat ve harman mekanizasyonu üzerine bir araştırma", *Turkish Journal Of Agriculture and Forestry*. 15: 215-238, 1991.



Kavramsal Saha Modelleme Çalışması Bağlamında Düzce 1.Organize Sanayi Bölgesinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi

Nuri Bingöl^{1*}, Rüştü Uçan², Mustafa Cüneyt Gezen³, Melike Haksoy⁴

¹ Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6208-7277), nuri.bingol@uskudar.edu.tr

² Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2389-8231), rustu.ucan@uskudar.edu.tr

³ Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6352-0087), mgezen@outlook.com

⁴ Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7716-5987),

melike.haksoy@st.uskudar.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 27 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 17 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.774404)

ATIF/REFERENCE: Bingöl N., Uçan, R. Gezen M. C. & Haksoy M. (2020 Kavramsal Saha Modelleme Çalışması Bağlamında Düzce 1.Organize Sanayi Bölgesinin İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 663-671.

Öz

Kavramsal saha modellemesi, şüphe bulunan sahada yetkililerle birlikte bütün yönlerinin kolay algılanabilmesi veya kavranabilmesini sağlayabilmek için, birinci aşama olan değerlendirme aşamasında toplanan bilgiler ile başlayan, ikinci aşamada saha içinde elde edilebilecek kirliliklerin kaynakları, kirleticinin kaynak dışına yayılma mekanizmasını, kirleticilerin çeşitlerini, kirleticilerin dağılım yerleri veya taşınma güzergâhı, kirlilik kaynaklı tehlike altında muhtemel alıcıların ve alıcı noktalarının veya ortamlar ve mevcut olan belirsizliklerin ve zaman içinde elde edilecek fiziksel, kimyasal ve hidrojeolojik bilgilerinde kapsanacağı şekilde, saha ve etrafındaki çevresel koşulları dinamik bir sürecin içinde tanımlanmasını sağlayan bir çalışmadır. İş sağlığı ve güvenliği; işin gerçekleşmesi esnasında çalışma alanındaki fiziksel çevre şartları nedeniyle çalışanların maruz kaldığı sağlık sorunları, meslek tehlikelerinin ortamdaki kalkması ve azalmasıyla aynı anda iş kazalarının önlenmesiyle ilgilidir. Kavramsal saha modellemesinde belirlenen riskler çevremizi ve çalışanları birlikte ilgilendirdiği için iş sağlığı ve güvenliği tedbirleriyle çalışmalar birbirini tamamlamalıdır. Bu kapsamda yapılan kavramsal saha modellemesi çalışması ile Düzce 1. Organize Sanayi Bölgesi'nde, kirleticilerden kaynaklı riskler analiz edilerek proaktif önlemler belirtilmiş ve bu önlemlerin hayata geçirilmesi ile sanayi bölgesinde çalışanların maruz kaldığı risklerin neden olduğu mesleki hastalıklar ortadan kaldırılarak çalışanların bu hastalıklardan korunması amaçlanmıştır. Araştırmanın kapsamı Düzce 1. Organize Sanayi Bölgesi içerisinde sanayi firmalarının kavramsal saha modellemesi ile sınırlandırılarak yaklaşık 7500 çalışanın araştırmadan direkt olarak etkileneceği düşünülmektedir. Bununla birlikte Dünya genelindeki sanayi sitelerinde çalışanların sayısı düşünüldüğünde mevcut çalışmanın diğer sanayi sitelerinde de uygulanması ve geliştirilecek bilgi sistemlerinin risk analizlerine uzaktan erişim ve çevrimiçi entegre edilmesi ile beraber çevresel endüstriyel kirleticilerin de bu riskler kapsamına alınması halinde çok büyük bir çalışan nüfusunun olumlu yönden etkileneceği araştırmanın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kavramsal Saha Modellemesi, İş Güvenliği, Kirleticiler, Mesleki Hastalıklar

Evaluation of Düzce 1st Organized Industrial Zone in Terms of Occupational Health and Safety in The Context of Conceptual Field Modeling

Abstract

Conceptual field modeling is the study of the suspected field and the environment around it in a dynamic process starting with the information gathered in the evaluation stage, the types of pollutants, the dispersion of pollutants and the transport route, and is a study that enables the identification of potential buyers and receiving points or environments and the uncertainties present in the environment and the physical, chemical and hydrogeological information to be acquired over time so as to be covered in the physical, chemical and hydrogeological information that can be obtained in the field in the second stage.

Occupational health and safety is concerned with the health problems faced by the employees due to the physical environmental conditions in the work area during the realization of the work with the prevention of occupational hazards and the reduction of

* Sorumlu Yazar: Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6208-7277), nuri.bingol@uskudar.edu.tr

occupational hazards at the same time. Since the risks identified in conceptual field modeling concern our environment and employees together, workplace health and safety measures and studies should complement each other. With the conceptual field modeling study carried out in this context, proactive measures were determined by analyzing the risks arising from pollutants in Düzce 1st Organized Industrial Zone, and with the implementation of these measures, it was aimed to eliminate the occupational diseases caused by the risks faced by the employees in the industrial zone and to protect the employees from these diseases. The scope of the research is limited to the conceptual field modeling of industrial companies in Düzce 1st Organized Industrial Zone, and it is thought that approximately 7500 employees will be directly affected by the research. However, considering the number of employees working in industrial sites around the world, the application of the current study in other industrial sites and remote access and online integration of the information systems to be developed, together with the remote access and online integration of the environmental industrial pollutants into these risks, the research will affect a very large working population positively. shows that it is important.

Keywords: Conceptual Field Modeling, Occupational Safety, Pollutants, Occupational Diseases

1. Giriş

Sanayileşme ile birlikte, ivmesel şekilde artan üretim, aynı ivme ile çevresel kirlenmeye de yol açmıştır. Sanayi tesisleri çok fazla miktarlarda tehlikeli kimyasalların kullanıldığı, ürünlerin ve atıkların oluşturulduğu yerlerdir (Girgin S. ve ark. 2008). Günümüzde ülkemiz dâhil birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede organize sanayi bölgeleri kurulumunun, kalkınma amaçlı üretim hızlanması, iş yaratılması ve ekonomik refahın yükseltilmesi adına önü açılmıştır. Bu sanayileşme ile özellikle sanayi bölgeleri ve çevrelerinde kirleticilerin çevreye yayılmasına ve kirlilik kaynaklarının da bu çevrelerde belirmesine başlamıştır. Şüpheli kirliliğe uğradığı düşünülen veya kirlenen bu şekildeki alanların tespit edilebilmesi sistematik olarak yapılmalı, kayıt altına alınmalı, çevre ve insan sağlığı üzerine etkilerinin ortaya çıkaracağı risklerin belirlenip, en uygun şekilde temizlenerek izlenmesi günümüzün koşulları adına bir ihtiyaçtır (Girgin S. ve ark. 2008). Endüstri işlerinin yoğun olduğu bölgeler, iller ve organize sanayi siteleri endüstriyel kirleticilerin en yoğun ortaya çıktığı kaynaklar olarak görülmektedir (Varol, Z., ve Boyraz E, D., 2020). Hâlbuki bu sitelerin kurulurken ve sonraki denetlemelerinde ve işletilmelerinde sıkı düzenlemeler bulunmakta, çoğu kritik tesiste Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından çevrimiçi olarak sürekli izleme şeklinde denetlemeleri bile olabilmektedir.

Endüstriyel kirleticilerin yoğun olarak yer aldığı, bu tarz organize sanayi sitelerinde çalışanlar birçok meslek hastalığına yakalanmaktadır. Ne yazık ki kimi nedenlerden dolayı bu tür meslek hastalıklarının birçoğu kayıt altına alınamamış durumdadır. Meslek hastalığı bildirimleri düşük olsa da, bunların önemli bir miktarı çok uzun sürelerde kronik şekilde ortaya çıktığından ve bazılarının kişilerin çalışma yaşamları biterek, emeklilik dönemlerine denk geldiğinden, üstelik de modern çağın hastalıkları olarak görülen bir takım hastalıklar meslek hastalığı ile bağının kişilerin bazında kurulamamasından kaynaklı olabilmektedir. Ancak, bu demek değildir ki bir takım endüstriyel kirleticilerin meslek hastalıklarında ki rolü azdır. Aksine meslek hastalıklarına yol açtığı ve kimyasal ve fiziksel diğer etkenler ile birlikte etkisinin potansiyalizasyona uğrayarak katlandığı bilimsel veriler ile ortaya konulmuştur.

Kavramsal saha modellemesi üzerinden kirlilik kaynakları ve çevreye etkileri iş sağlığı ve güvenliği bağlamında araştırılmış, meslek hastalıklarına yol açan faktörler irdelenmiştir. Kavramsal saha modellemeleri şüpheli kirleticiler sahalarının bulunduğu çalışma alanlarında, toplanan veriler ışığında kirlilik kaynakları, bunların yayılımı ve dağılımı, bu dağılım çerçevesindeki etkileri, kirleticilerin kaynak dışı yayılım göstermesi ve yayılımın

mekanizması ve güzergâhı gibi konuların ele alınarak ilerideki etkilerinin de ele alınmasını sağlayan dinamik çalışmalardır.

İş sağlığı ve güvenliği açısından bu kirleticilerin yol açabileceği meslek hastalıklarını kavramsal saha modellemesi ile öngörerek proaktif önlem alınmasını sağlamak, bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır. Düzce organize sanayi bölgesi örneğinde yapılan bu kavramsal modelleme çalışması ile bu bölgede çalışanların meslek hastalığı riskleri ele alınarak, proaktif tedbirlerin tanımlanması amaçlanmaktadır.

1.1 Düzce İli Coğrafyası

Düzce Batı Karadeniz bölgesinde yeşillikler içinde bir ilimizdir. Çevresindeki bazı iller ile sınırlarında doğal sınırlar vardır. Bu sınırlar kuzeybatısında Melen Çayı ile Sakarya, batısında ve güneyinde dağların kuzey kısımlarından oluşur. Deniz seviyesine göre yüksekliği 160 metre kadar vardır. Karadeniz'in yeryüzü şekil özelliklerini de yansıtmaktadır. Dağları Karadeniz kıyılarına paralel olarak sıralar şeklinde uzar. O nedenle kıyısında liman oluşumu yoktur (Akman 1999). İçeri kısımlarda yeri olan ovanın etrafı dağ ile çevrili bulunmaktadır. Dağlar ovaların kuzey ve güney tarafında çok arızası olmayan sıra şeklinde uzanır Ovanın kuzeyinde Kaplandede dağı ile uzantılarını Orhan dağı oluşturmaktadır. Ovada en önemli çıkışın kapısı melen vadisiyle boğazı ile Sarıbayır geçidindedir. O geçit ile Zonguldak şehrine ulaşır. Ovanın kabadan güneybatı tarafı Efteniye gölü var olmaktadır. Gölün seviye yüksekliği yüz on sekiz metredir (Şener, Ş., & Kırılancık, E., 2014). Başka göller; Kaynaşlı ilçesi sınırı içindeki ufak göllerdir. Akçakoca Melenagzi köyünden denize dökülmektedir. Bu akarsu üstünde Düzce-Yığılca arasında Hasanlar Barajı kuruludur. Bu baraj sulama amacıyla yapılmış olup sonra hidroelektrik üretimi başlamıştır. Diğer akarsular dere şeklinde ve sık bir ağ oluşturur. Hepsi Karadeniz'e sularını boşaltmaktadır. Kış ve ilkbahar zamanlarında bol su geçirir. Bu akarsulardan önemli olan; Deredibi, Değirmendere ve Küpler dereleridir. Akçakoca sınırında Gümüşova'da Handere ve Kuzderelerin birleşmesiyle Delice suyu oluşmaktadır. Bu dere de Melen Çayıyla birleşmektedir. Karadeniz Bölgesi sınırları içerisinde kaldığında genel özellikleriyle Karadeniz iklimi etkisi görülmektedir. Fakat, Karadeniz ikliminin yanında Akdeniz ve Karasal iklimleri arası geçiş özellikleri gösterir (Kaplan A, Serbes A., 2014).

1.1.1. İlin Jeomorfolojik Özellikleri

Düzce havzası ve ovası, oluşumu sebebi, asıl yapısında kum-silt-kil bulunur. Kum ve kil seviyeleri sıklıkla tekrarlanır (Şener, Ş., ve Kırılancık, E., 2014). 1999 depremi sonrasındaki zamanda kum zemin üzerinde olan binalarda "sıvılaşma" olayı, kil bulunan zeminler olanlar "taşınma kapasitesi yenilmesi" olaylarına bağımlı

olaraktan yıkılmıştır. O sebeple, örnek olarak aynı sokakta ve caddede olan binaların ayrı şekillerde hasar aldığı görülmüştür. Düzce havzası içinde depremde hasar görmemiş yerleşim alanları, kayaların üstüne, havzanın kenarında önceki alüvyalli tortulların üstüne kurulmuş bulunanlardır. Depremde hasar görmüş ve görmemiş alanların karşılaştırılması ile hemen meydana gelen gerçekler, başka yerleşimlere alüvyon ve ova içinde düzlükten kaçmak gereklidir (Dosb,2019).

1.1.2. Hidrografiya

Düzce ovası ile dolan ve kalınlığı iki yüz altmış metreye ulaşan alüvyonlu karakteri itibariyle çok karışık olarak içinde serbestçe veya basınçla akifer gelişi olmuştur. Geçirimliliği farklı malzemeler karışmasıyla düzce ovasının büyük alanında birleşmiş hidrolikli sistemi oluşturur. Düzce ovasında yeraltı suları derinlikleri çok sığ olup genelde beş altı metre arasında değişir. Su tablalarındaki mevsim kaynaklı değişimler başka lokasyonda 0.8 ile 3.4 m. arasında değişim göstermektedir (Ünsal ve Çelik, 2010).

1.1.3. Toprak Özellikleri

Düzce ovasının akarsuları çevresi haricinde olan tabanın kısmının hepsi topografisi olarak çok alanlı ve ona göre eğimi az olan tabanlı arazi karakterinde olarak, I. sınıfta bulunan alüvyal topraklarla örtülüdür. Bunun haricinde, akarsuyun çevresi kum, çakıl ve molozlu ırmak taşkın yatakları ve kolüvyal topraklarla çevrilidir (Ünsal ve Çelik, 2010). Bugün bu miktar daha azalmıştır. Alüvyal topraklar ova çevresinde bulunan akarsu ile önceki zamanda bulunduğu yere depolanmış ve 336 km² yer içeren toprakları görünmektedir. Toprak şekillendirip toprağın bir özellik veren olaylar için gerekli vakit olmadığından, yeni toprak horizon profili mevcut değildir. Ovanın tabanında olan alüvyalli toprağın çoğu birinci sınıf olduğundan, bütün tarım şekillerine uygundur. Sadece buraların arasından Doğanlı köyünün kuzeyinden ikinci derece, Büyük Melen'in ovadın aktığı yerden üçüncü derece, batısındaki Aksu deresinde ovanın içine geçtiği bölümden dördüncü yetenek sınıfından araziler mevcuttur. 1. Yetenek sınıfındaki araziler toprak ile ilgili hiçbir sorun bulunmazken, diğer yetenek sınıfında bulunan aralarda drenaj, yüksek taban suyu ve su baskını tehlikeleri, Aksu deresinin etrafında bunlara ek olarak toprak yapısından kaynaklı sorunlar meydana gelmektedir. Ova tabanındaki I. Sınıf alüvyal toprak, genel olarak su ile gerçekleşen tarım arazilerinde oluşmaktadır. (Şener, Ş., ve Kırılgaç, E., 2014). Fakat şimdilerde bu araziler, ulaşım ağının ovanın tam ortasında bulunması ile geçişinden ve mevcut eğimin nerdeyse yok sayılacak kadar az olması sebebiyle yerleşim ve endüstri tesisleri ile işgal edilmiştir. Ova içinde küçük yerlerde olan, değişik yetenek sınıflarından alüvyal topraklarda Doğanlı Köy kuzeyinde olan orman, diğerleri de susuz tarım maksatlı kullanılmaktadır (Düzce İli Tabiat Turizmi Master Planı (2016-2019)).

1.2. Su Kaynakları

2.2.1. Yüzeysel Sular

Düzce şehrindeki önemli akarsular; Küçük Melen, Asar Suyu, Uğur Suyu, Aksu Deresi ve Büyük Melen çayıdır. Düzce şehrinin Akçakoca kıyı kesimleri haricinde bulunan bölgede yer alan akarsuyun tamamı. Efteni havzası ismi ile de anılan Batı Karadeniz havzasının bir alt havzası olan Melen Havzasına ait olmaktadır. Ayrıca, İstanbul'a içme suyu sağlayan Büyük Melen

Projesi havzasını da Melen Su Toplama Havzası oluşturmaktadır. Akçakoca beldesi dışında bu ilin tümü Büyük Melen Projesi havzası içerisinde bulunmaktadır (Uzun, O., ve Yılmaz O., 2003).

2.4 Su Kaynaklarının Kirlilik Durumu

Su kaynaklarının verimli kullanılması ile Türkiye, kendine yetebilen bir ülke olarak anılmasına karşılık, kentleşme ve beraberindeki sanayileşme süreciyle alt yapı yetersizliklerinin, plansız ve hazırlıksız bir süreç izlenmesinin de sonuçları ile temiz suyun ve su kaynaklarının korunmasında pek çok sıkıntıyla karşılaşmaktadır. (Yılmaz, M. ve ark., 2017).

Ülkemizin doğal kaynakları; ekolojik verilerin yerine politik yaklaşımlar ile endüstriyel kaynakların yer alan kullanımı için yer seçimleri kararlarında tercih edilmesi ile olumsuz etkilenmiştir. Bu sebeple endüstriyel tesislerin plansız artışlarının engellenmesinin yanında doğal kaynaklara da daha az zarar oluşturan endüstri kolları kurulmasına önem gösterir. Yer seçim kriterleri de bu noktalara dikkat edilir. Böylece endüstri kuruluşlarında toprak, su, hava ve gürültü kirlilikleri oluşturan riskler en aza indirilip ve çevreye verilen zararların önlenmesi de gerçekleşmiş olur. Düzce ilimizde kurulmuş ve kurulacak sanayi sektörlerinin yapımı süregelen 1. ve 2. Organize Sanayi Bölgesinde Atık su Arıtma Tesisi mevcut değildir. Endüstriyel atık su oluşumu olan mevcut fabrikalarında atık suları OSB içindeki kanalizasyon altyapısı ile gelmekte ve kanalizasyon şebekesi Düzce Belediyesi'nin Merkezi Atık su Arıtma Tesisiyle bitmektedir. Düzce Belediyesi Merkezi AAT tesisinde arıtımı yapılan atık sular deşarj edilmektedir (Düzce İl Çevre Durum Raporları, 2018).

2. Materyal ve Metot

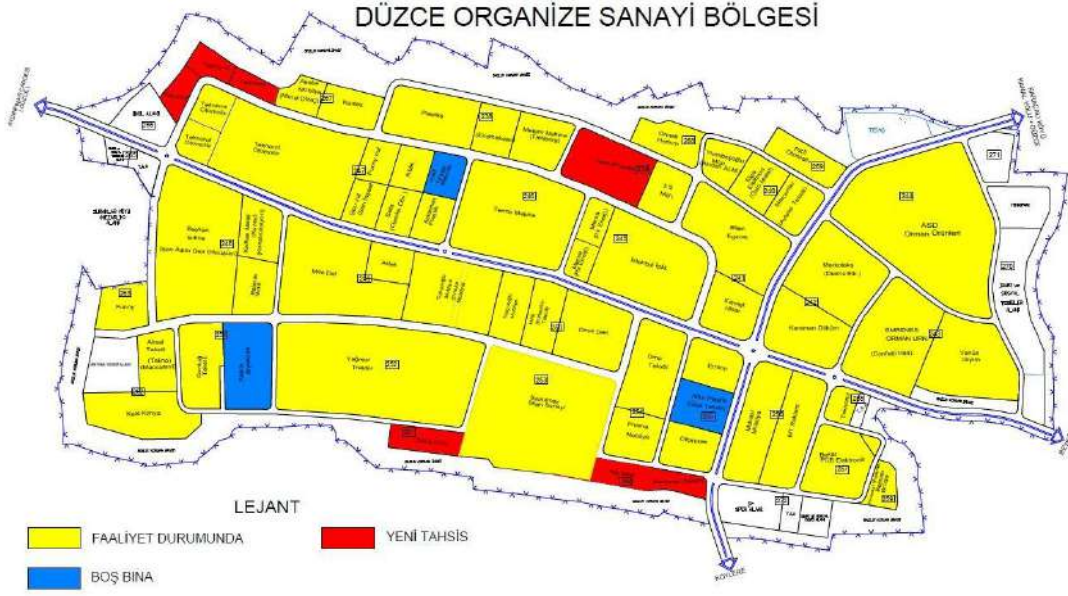
Kavramsal saha modellemesi karma bir araştırma yöntemi olarak içerisinde nicel ve nitel araştırma yöntemlerini enstrümanlarını barındırmaktadır. Bu nedenle veri toplama ve analiz aşamasında nicel araştırma yöntemlerinden betimleyici saha çalışması yöntemi benimsenmiştir. Analiz sonucu ortaya çıkan olgular ise nitel olarak değerlendirilerek gereksinim saptam yöntemi ile çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Kavramsal saha modellemesi üzerinden belirlenen örnek alanda bulunan ve çalışan firma ve tesisler üzerinden veriler elde edilmiş, bu firmaların yaptıkları faaliyetler ve işgal konuları belirlenerek, muhtemel kirleticilerin etkileri ve yayılımları sahadaki tesislerin yerleşim planları dâhilinde incelenmiştir. Sonrasında ise bu planlar üzerinden kirleticilerin yayılım yön ve şekilleri ve taşınım yolları üzerinden maruziyet etkileri analiz edilmiştir. Çevresel etkiler ile birlikte çalışanlar üzerindeki olumsuz etkiler bu analizler çerçevesinde iş sağlığı ve güvenliği üzerinden değerlendirilmeye çalışılmıştır.

2.1. Saha Hakkında Bilgi: Düzce Birinci Organize Sanayi Bölgesi

1996 yılında 174 hektar arazi üstüne yapılmasına başlanan I.OSB 2005 yılında tamamlanıp, 60 sanayi parseli 59 firma üzerine tahsis edilmiştir. Şekil 1 de görüldüğü üzere, halen 49 sanayi kuruluşunda üretim faaliyetleri sürmekte, 10 tane tesis üretimine ara vermiş, 2 parsel proje aşamasında, 1 adet parsel boş durmaktadır. Üretimde olan 49 tesiste yaklaşık 6.000 kişi istihdam edilmekte olup, firmaların tamamı faaliyete geçtiğin zaman

yaklaşık olarak 7.500-8.000 kişiye istihdam sağlaması beklenmektedir.



Şekil 1: Düzce 1. Organize Sanayi Bölgesi Yerleşim Planı (<http://www.duzceosb.org.tr/yatirim-sureci/yatirim-sureci-asamalari>, e.t. 13.06.2019)

Düzce 1. Organize Sanayi Bölgesi şehir merkezinin güneyinde merkeze 7,5 km uzaklıkta Beyköy ve Konaklı köyleri arasında kalmış olup birinci derece deprem bölgesidir. 1. Organize sanayi bölgesinin olduğu alanın tümü 100 metreden daha çok kalınlığa sahip olan alüvyonlardan oluşmaktadır. Alüvyon kil, kum, çakıl ve bunların değişik oranlarda karışımlarından oluşur. Alüvyon üzerinde 0-2 m kalınlığında bitkisel toprak mevcuttur. Saha alanında aktif heyelan olayı veya kaya düşmesi mevcut olmadığı gibi akma, kabarma ve yayılma gibi tabii zeminden kaynaklanmış anormallikler olmamaktadır (Doşb, 2019). Saha olarak seçilen 1. Organize Sanayi Bölgesi'nde üretim yapılan sektörler; orman, metal, gıda, otomotiv, plastik, tekstil, döküm, mobilya, inşaat, kimya, endüstriyel yağ gibi sektörlerdir.

2.1.1. Düzce 1. Organize Sanayi Bölgesi Firma Listesi

- 1.A.S.D Orman Ürn. Paz. San. Tic. A.Ş
- 2.Artek Ağır Yük. Raf. ve Teknik Sis. San. Tic. Ltd. Şti
- 3.Balarısı Gıda San. Tic. A.Ş
- 4.Bilen Egzost San. Tic. A.Ş
- 5.Desu Deri San. Tic. A.Ş
- 6.Elga Elektrot ve Gaz altı Kaynak Teli San. Tic. Ltd. Şti
- 7.Ermop Sanayi Ürünleri Üretim Ltd. Şti
- 8.GENTUĞ Tekstil Ürünleri ve San. Tic. A.Ş
- 9.İstanbul İplik İnşaat A.Ş
- 10.Kısmet Hisar Döküm San. Ltd. Şti
- 11.Mobsar Mobilya A.Ş
- 12.Prisma Mobilya Deri San. Ltd. Şti

- 13.Termo Makine San. Ve Tic. A.Ş
- 14.Teknorot Otomotiv Ürn. San. Tic. A.Ş
- 15.Sarsılmaz Silah San. A.Ş
- 16.Baykan Isı Sistemleri San ve Tic. A.Ş
- 17.Akabe Mobilya ve Dekorasyon San. Tic. Ltd. Şti
- 18.Demka Dövme Çelik İmalat San. Tic. Paz. Ltd. Şti
- 19.Özlu Metal San. Tic. Ltd. Şti
- 20.Ofçaysan Tarım Ürünleri Entegre Tesis San ve Tic. A.Ş
- 21.Sarı İnşaat Malzemeleri San. Tic. Ltd. Şti
- 22.TGM Kule Vinç San. Ve Dış Tic. Ltd. Şti
- 23.Tekno Maccaferi Çevre Teknolojileri Müh. Ve San Tic. A.Ş
- 24.Topçuoğlu Grup Mobilya San. Tic. Ltd. Şti
- 25.Funny Pazarlama Gıda San. Ve Tic. A.Ş
- 26.MT Reklam A.Ş
- 27.Venus Giyim San ve Tic. A.Ş
- 28.Bateks Dış Ticaret ve Tekstil San. A.Ş
- 29.Kale Kimya Kimyevi Maddeler San ve Tic. A.Ş
- 30.Endmaksan Mühendislik Makine İnş. San. Tic. Ltd. Şti
- 31.Mas-Daf Makine San. A.Ş
- 32.3S Müh. Müş. San. Ve Tic. A.Ş
- 33.Belinda Brode Tekstil İth. İhr. San. Tic. Ltd. Şti
- 34.Ormak Hortum San. Ve Tic. Ltd. Şti
- 35.Kabardan Tekstil San. Ve Tic. A.Ş

36.Yağmur Tarım Makine San. Ve Tic. A.Ş

37.Plastaş Kalıp ve Plastik San. Ve Tic. A.Ş

38. ALFOR Plastik San. Ve Tic. A.Ş

39.Aslanhan Plastik Bilimum Hurdacılık Geri Dön. Mad. Nak. San. Tic. Ltd. Şti

45.Trelleborg İstanbul Endüstriyel Hortumlar San. Ve Tic. A.Ş (Dosb,2019).

40.Karaman Döküm San. Ve Tic. Ltd. Şti

41.Kautek Otomotiv A.Ş

42.RMK Resins San. Ve Tic. A.Ş

43.Omo Tekstil San. Ve Tic. Ltd. Şti

44.Emrenes Orman Ürn. San. Tic. Ltd. Şti

2.1.2.Sahada Bulunması Beklenen Kirleticiler

Tablo 1: Çalışma sahası ile ilgili Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmeliğin Ek-2

Tablo-2 'sinde yer alan faaliyetler.

Nace Kodu	Endüstriyel Faaliyet	Endüstriyel Faaliyet Özel Kirlilik Parametreleri
13	Metal madenciliği	TOX, TPH, As, Ba, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn
15	Gıda ve içecek imalatı	TOX, TPH, Hg, Cd
18.1	Deri giyim eşyası imalatı	TPH, Cd, Cr
26.1	Cam ve cam ürünleri imalatı	TOX, TPH, Ag, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, Tl, Zn, Ph
36.1	Mobilya imalatı	TOX, TPH, As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
93.01	Tekstil ve kürk ürünlerinin yıkanması kuru temizleme	TOX, TPH, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn
25.2	Plastik ürünleri imalatı	TOX, TPH, Cd, Hg, Pb, Zn
26.1	Ana kimyasal maddelerin imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn
26.51	Çimento imalatı	TOX, TPH, As, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Pb, Sb, V, Zn
26.62	İnşaat amaçlı alçı ürünleri	TOX, TPH, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
26.65	Lifli çimento imalatı	Asbest
20.1	Ağacın hazırlanması planyalanması ve emprenye edilmesi	TOX, TPH, As, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn
50.2	Motorlu taşıtların bakım ve onarımı	TOX, TPH, BTEX, TVOCs, Ba, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
34	Motorlu kara taşıtı, römork ve yarı römork imalatı	TPH, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
15.4	Bitkisel ve hayvansal sıvı ve katı yağların imalatı	TOX, TPH, Cu, Yağ gress

Kirleticiler ile ilgili yönetmelik kapsamında sahada bulunabilecek kirleticilerin listesi tablo 1 de görülmektedir. Bu bağlamda, ilgili sanayi sitesi içerisinde yer alan firmalar ve yaptıkları iş, kullandıkları kimyasalalar ve üretimleri bağlamında

tablo 2 de listelenen kirleticilerin kirletme potansiyeli açısından sahada bulunması muhtemel görülmektedir. Bu kirleticilerin çok zararlı etkileri bulunmakta ve modelleme olarak bu kirleticilerin yayılımı ve maruziyetleri temelinde ele alınmıştır.

Tablo 2: Sahada bulunması muhtemel kirleticiler

Kirleticiler	Cas Numarası	Kirleticiler	Cas Numarası
Benzen	71-43-2	Nikel	7440-02-2
Toluen	108-88-3	Kurşun	7439-92-1
Arsenik	7440-38-2	Titanyum	7440-32-6
Baryum	7440-39-3	Talyum	7440-28-0
Kobalt	7440-48-4	Çinko	7440-66-6
Kadmiyum	7440-43-9	Selenyum	7782-49-2
Bakır	7440-50-8	Antimon	7440-36-0
Cıva	7439-97-6	Vanadyum	7440-62-2

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Kirletici Etkileri

İz elementler mikro minerallerdir ve iz elementler özellikle bitki büyümesi için önemlidir. (Hutjens M.F., 1999) Atomik ağırlığı demirden yüksek olan elementlere ağır metal denir. Arsenik ve selenyum çevresel olarak çevre kalitesini çok etkileyen iz elementlerdir. Ağır metal olmamalarına rağmen çoğu kaynaktan ağır metal olarak adlandırılırlar. İz elementlerin insan sağlığına etkileri besin zinciri yoluyla meydana gelir (Ahalya, N. et al., 2003). İz elementlerin besin zincirindeki konumları değişiklik gösterebilir. Örneğin kadmiyum, bitkiler tarafından topraktan yüksek konsantrasyonlarda alınır. Kadmiyum muhtevası fazla olan bitki ürün tüketimi kemik kaybı ve lokal ağrılara neden olur. Cıva özellikle solunum yoluyla insan vücudunda toksik etkiye sebep olur. Arsenik ise halsizlik, kas ağrıları, çocuklarda duyma kaybına ve deri kanserine neden olur. Arsenik genellikle su içiminden insan bünyesine geçse de pestisit kullanımı sonucu toprağa ve oradan da bitkilere geçerek besin

zincirine ulaşır. Molibden ve Selenyum toksisiteyi temel olarak yerel ve vahşi hayvan sağlığını tehdit eder. Fitotoksisiteye neden olan iz elementler ise Bor, Bakır, Nikel ve Çinko'dur. Fitotoksisite toprak veriminin azalması sonucu bitki ölümleriyle sonuçlanan bir süreçtir (Alloway, B. J., 2012).

Tekstil sektöründe kullanılan azo ve antrakinon boyalar ile birlikte metal-kompleks boyaların suya ve güneş ışığına karşı yüksek direnç oluşturması için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tip boyalar uzun yıllar boyunca süren yaşam evrelerine sahip olup, nehirler, göller ve toprakta tespit edilmişlerdir (Copaciu, F. et al, 2016).

Petrol ürünleri, çözücü ve endüstriyel sentetik organik maddeler organik toprak kirleticileri sınıfına girerler. BTEX aromatik hidrokarbonları içeren petrol ürünleri benzen, tolüen, etilbenzen, alkenler ve polinükleer aromatik hidrokarbonlardır (PAH). Yeraltı depolarından sızıntı yoluyla birçok petrol ürünü toprak ortamına geçiş yapar (Watts, R. J., 1998). Bu kirlenmelerin temizlenmesi çeşitli yasal düzenlemeler ile zorunludur (Watts, R. J. et al., 2000), (Anonim, 2010).

3.2 Saha Yerleşimi



Şekil 2: Risk Faktörlerinin Oluşum Yerleri (Anonim, 2019).

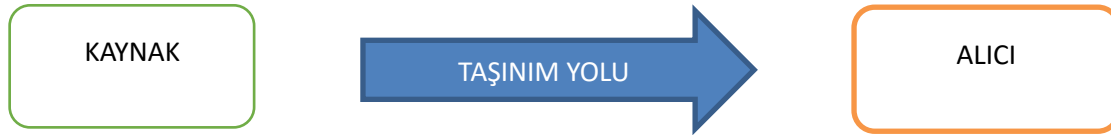


Şekil 3: Saha Genel Yerleşimi (Anonim, 2019).

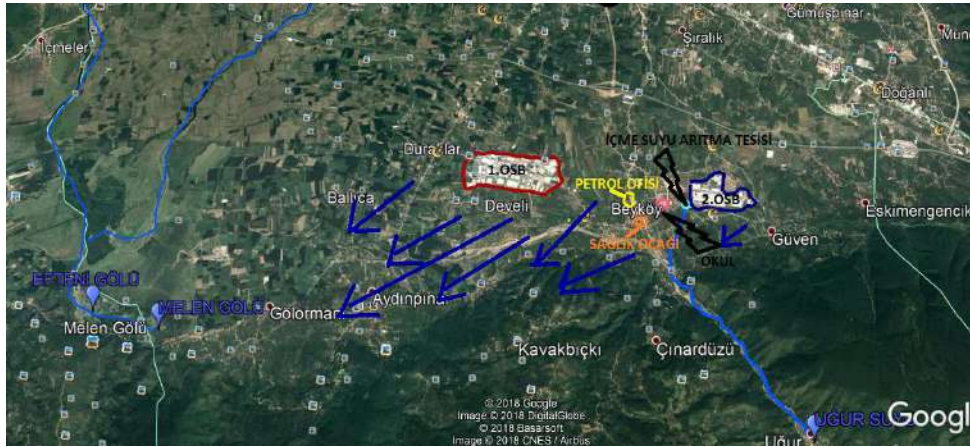
Şekil 2 ve şekil 3 de Risk faktörlerinin oluşum yerlerini ve saha genel yerleşim durumu görülebilmektedir. Ayrıntılara bakıldığında saha yakınında 2. Organize Sanayi Bölgesi ve petrol istasyonu gibi muhtemel başka kirlenici kaynakları bulunmaktadır. Ayrıca bölge içerisindeki okul, hastane yerleşim yerleri ve tarım arazileri görülmektedir.

3.3 Kavramsal Saha Modeli

Aşağıda Şekil 4 te basit şekilde gösterilen kimyasal etkenlerin kaynak ve alıcı üzerinden taşınım, yayılım ve hatta dağılım yolları analiz edilerek belirlenen kirlenicilerin çevre dâhil etkileri I. Düzce Organize Sanayi Sitesi temelinden analiz edilmeye çalışılmıştır. Burada kaynak konumunda olan bahse konu sanayi sitesinin kirlenicilerinin çeşit ve etkileri ele alınmıştır. Yüzeysel toprak, yüzey altı toprak, yüzey suyu ve yüzey altı suyu bağlamında kirlenici etkileri görülmektedir.



Şekil 4: Taşınım yolu



Şekil 5: Kavramsal Saha Etkileşim Modeli (Anonim, 2019).

Bir kimyasal çevreye verildiğinde aşağıda verilen şekillerde yayılımı gerçekleşir.

- Atmosfere buharlaşabilir
- Toprağa yapışabilir (adsorpsiyon)
- Nehir ve göllere akabilir

- Yeraltı suyu sızabilir
- Su tablası üzerinde yüzebilir.

Kirlenici maruziyeti konusunda Tablo3 de görüldüğü üzere; kimyasalın taşınımı, akıbeti, akifer karakterizasyonu, yeraltı suyu akışı, meteorolojik parametreler, hâkim rüzgâr yönü, saha

etrafındaki tarım arazisi, sosyal yaşam alanları, saha içi ve dışında çalışan işçiler dikkate alınmaktadır.

İnsan sağlığı üzerinde bir kirleticinin, olumsuz etkiler oluşturabilmesi için; kirletici kaynağı, kirletici ile temas meydana geleceği maruziyet noktası (maruziyet içinde kalınan çevresel ortam) ve maruziyet yoluna ihtiyaç vardır. Bu üç temel öğenin birarada bulunduğu taşınım yoluna ise eksiksiz taşınım yolu denmektedir (Kalcı Kirleticiler, 2017).

Tablo 3 Eksiksiz taşınım yolları

İkincil kaynak	Çevresel ortam	Maruz kalınan çevresel ortam	Maruziyet yolu	Alıcı
Yüzey toprağı	Hava(toz) Hava (uçucu) Yüzey toprağı	Hava (toz) Yüzey toprağı Hava(uçucular) iç ve dış ortam	Soluma (katı faz) Dermal temas	İşçi Ziyaretçi
Yeraltı suyu	Yüzey suyu	Balık Yüzey suyu Bitki Yeraltı suyu	Soluma (gaz faz) Dermal temas	Yerleşik halk Ziyaretçi
Yüzey altı toprağı	Hava (uçucular)	Hava (uçucular) iç ve dış ortam	Soluma	İşçi Ziyaretçi
Yüzey suyu	Yeraltı suyu	Balık Yüzey suyu Bitki Yeraltı suyu	Soluma (gaz faz) Dermal temas	Yerleşik halk Ziyaretçi

Şekil 5 te görülen inceleme konusu sahada kadmiyum ve benzen gibi kanser yapma riski yüksek kirleticiler ile antimon, kadmiyum, nikel gibi başka hastalıklara sebep olan kimyasallar vardır. İşçilerin sahada çalışması durumunda yüzey toprağında bulunan kirleticilere maruz kalmaları, toprağa deri yoluyla temas etmeleri, topraktan buhar veya partikül halde taşınan kirleticileri soluma yoluyla almaları muhtemeldir.

Saha yakınında bulunan tarım arazilerinde çalışacak olan çiftçilerin kirleticilere maruz kalma durumları ise yüzey toprağı ve yeraltı suyu kaynaklı olabilir. Benzen gibi uçucu özellikteki kirleticilerin buharlaşması diğerlerinin partikül formunda solunması ve deri temasıyla çiftçilere ulaşabilir.

Aynı bölgedeki sağlık ocağı ve okulda çalışanlar, okula gelmekte olan çocuklar, hastalar ve aileleri de buharlaşmaya eğilimi fazla olan kirleticilere solunum yoluyla maruz kalabilirler (Ünlü K., 2009).

4. Sonuç

Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklı toprak kirliliğini önlemek için yer seçimi çok önemli rol oynamaktadır. Saha seçiminde etraftaki muhtemel alıcı kaynakları iyi araştırılmalı ve geniş açılı düşünceyle yaklaşmak gerekmektedir. Etraftaki yerleşim yerleri. Hastane, okul, park, tarım alanları gibi yerler eksiksiz tespit edilmeli kirletici çeşitlerine göre yayılım yolları iyi belirlenmeli

Kavramsal saha modellemelerinde ilk olarak saha ve kirlilik karakterizasyonu yapılır. Daha sonra jenerik ve sahaya özgü risk değerlendirmesi yapılır. Saha ve kirlilik karakterizasyonunda ön değerlendirme çok önemlidir. Saha yapısı hakkında tüm bilgiler bu bölümde toplanmaktadır ve detaylı şekilde inceleme gerektirir.

Ayrıca Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesince desteklenen bir çalışmada, Sakarya ilimizin tarım alanlarında PAH düzeyleri (naftalin, fenantren, piren ve fluoranten) ve arsenik, kadmiyum, bakır, krom, nikel, kurşun, çinko gibi ağır metal derişimleri raporlanmıştır. Anılan çalışmada, bölgenin 12 değişik yöresinde 33 adet tarımsal toprak örneğinin incelendiği ve Geyve yöresindeki örneklerde en çok 140,0 ng/g PAH ve 108,2 mg/kg bakır, 219,9 mg/kg nikel ve 173,1 mg/kg krom tespit edildiği ve bu ağır metal derişimleri Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde anılan sınır değerlerin 2-7 kez üzerinde olduğu belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada, Kocaeli ilimizde, toprakta 20,34 ng/g naftalin kirliliğinin tespit edildiği bildirilmiş olup, adı geçen bölgelerin ülkemizdeki tarım alanları içerisinde çok değerli olduğu ve meyve üretiminde önemli bir yeri bulunduğu belirtilerek, çalışmada anılan kirleticilerin meyve ve sebze türü tarımsal ürünlere bulaşmaması yönünden gerekli önlemlerin alınması önerisinde bulunulmuştur (İşleyen M. ve ark, 2019).

Yapılan risk değerlendirmeleri sahadaki kirleticileri dikkatle incelenmesi ile olası tüm etkilerinin göz önünde bulundurulmasıyla yapılmalıdır. Her bir hedef kirleticiden kaynaklanan kanser riskleri ayrıca belirlenecek ve değerlendirilecektir. Bu bölümde sektörlere göre iş sağlığı güvenliği tehlikelerine bolca önem verip, sektörlere göre belirlenen kirleticilerin ve insan sağlığı ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri birlikte düşünülmelidir. Kirleticilerin kanser yapma riskleri dışında su, hava ve toprak yoluyla insanlara ulaşım yolları dikkatle incelenmesi olası tüm senaryolar kurularak etkileri en aza indirmek için gerekli önlemler belirlenmektedir. Tesis bazındaki yaklaşımlardan global bazda yaklaşımlar ile toplu korunmanın da ötesinde bütünsel bir yaklaşım ile global korunmayı sağlamış oluruz. Alınacak önlemler bazında ise; yine tümünden gelim yaklaşımı ile mikro ölçekte ilgili spesifik kirleticiler özelinde tesis üzerine geri dönüş sağlanarak gerekli tedbirlerin daha da etkili alınması sağlanmış olacaktır.

Tüm bu risklere özel sektörlere göre meydana gelebilecek her türlü tehlike düşünülerek gerekli iş güvenliği önlemlerinin alınması ve olası bir tehlike durumunda uygulanacak temizlik planları Çevre ve Şehircilik bakanlıkları ve il müdürlükleri nezdinde hazırlanmıştır. İnsan sağlığı ve çevre sağlığı birbirinden ayıramayan iki parçadır. Sadece iş yerinde çalışanlar için alınan önlemler yeterli olmamakla birlikte kavramsal saha modellemesiyle çevreye taşınım yolları eksiksiz planlanıp, hem çalışan işçileri hem de çevre sağlığını bir arada düşünebilmekteyiz. Çevresel zararlı etkilerin minimize edilmesi, çalışanlar üzerindeki zararlı etkileri de önemli ölçüde azaltacaktır. Çalışanlar vasıtası ile olabilecek taşınım da ayrıca engellenmiş olacaktır.

bu yapılırken bölgenin iklimi, coğrafyası, jeomorfolojik özellikleri ve toprak yapısı, bölgedeki su kaynaklarının durumu yeraltı suyu akışı mutlaka göz önüne alınmalıdır. Böylece muhtemel kirlilik yayılımı iyi tespit edilebilir ve önlemler ona göre alınabilir. Sahadaki sektörler dikkatlice incelenmeli sektörlerle yönelik iş sağlığı ve güvenliği önlemleri alınmalıdır. Böylelikle muhtemel kazalar en aza indirilerek çalışan sağlığı korunurken kazalardan meydana gelebilecek çevresel zararlar da

azaltılmış olur. Geliştirilen bilgi sistemleri ve yazılımlar ile uzaktan erişim şeklinde ve çevrimiçi, raporlama ile değerlendirme yapabilen sistemleri kullanmakla; bunları risk analizlerine adapte ederek, çevresel endüstriyel kirleticileri de bu risklerin içine dâhil ederek sağlıklı çalışanlar, bireyler ve sağlıklı çevreye ulaşılabilir.

Kaynakça

- Ahalya, N., Ramachandra, T. V., & Kanamadi, R. D. (2003). Biosorption of heavy metals. *Res. J. Chem. Environ*, 7(4), 71-79.
- Akman, Y. (1999). İklim ve Biyoiklim (Biyoiklim Metodları ve Türkiye İklimleri), Kariyer Matbaacılık, Ankara.
- Alloway, B. J. (Ed.). (2012). Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (Vol. 22). Springer Science & Business Media.
- Anonim RG, (2010), Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik. 08.06.2010 Tarih ve 27605 Sayı. http://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/b2e0431f51f996d_ek.pdf (Erişim tarihi: 18.09.2019)
- Anonim, (2019) <https://www.google.com/maps/place/duzce> (Erişim tarihi: 18.09.2019)
- Copaciu, F., Oprea, O., Niinemets, Ü., & Copolovici, L. (2016). Toxic influence of key organic soil pollutants on the total flavonoid content in wheat leaves. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(6), 196.
- DOSB, (2019), Düzce Organize Sanayi Sitesi Web Sayfası <http://www.duzceosb.org.tr> (Erişim tarihi: 13.06.2019)
- Düzce İl Çevre Durum Raporları (2018), Düzce Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/duzce_2018_cdr_rev-ze-20.190.806.102.512.pdf (Erişim tarihi: 15.08.2019)
- Düzce İli Tabiat Turizmi Master Planı (20016-2019), T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma Ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü 9. Bölge Müdürlüğü, http://ankara.ormansu.gov.tr/9bolge/planlar/duzce_il_tabiat_turizm_master_plani.pdf (Erişim tarihi: 15.08.2019)
- Girgin, S., Güvener, M., Polat, Ş., Büyüker, B., Yetiş, Ü., Dilek, F. & Ünlü, K. (2008), Endüstriyel Kaynaklı Kirlenmiş Sahaların Yönetimi İçin Bilgi Sistemi Geliştirilmesi, İTÜ 11. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu https://kalicikirleticiler.com/sunumlar/20-03-2017/14.00_15.30_2.asama-ve-rehberler-sunumu.pdf. (2017). Presentation (Erişim tarihi 11.09.2019).

- Hutjens M.F., (1999), “ Importance of trace Minerals in Dairy Heifer, Dry Cow, and Lactating Cow Rations”, *Dairy Cattle Illinois Livestock Trail*, <http://livestocktrail.illinois.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=551> (Erişim tarihi: 15.07.2019)
- Isleyen M, Akpınar A, Eren B, Ok G. Heavy Metal Profiles of Agricultural Soils in Sakarya, Turkey; *Environmental Engineering Research* 2019; 24(3): 427-433. DOI: <https://doi.org/10.4491/eeer.2018.274>
- Kaplan, A., & Serbes, A. B. (2014). Düzce İli Atmosferinin Polen Ve Spor Dağılımının İncelenmesi. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 4(2), 46-58.
- Uzun, O. & Yılmaz, O. (2003). Düzce Asarsuyu havzası peyzaj değerlendirmesi ve yönetim modelinin geliştirilmesi.
- Şener, Ş., & Kırılmaç, E. (2014). Efteni Gölü (Düzce) Sulak Alanı ve Çevresinin Hidrojeoloji İncelemesi. *Afyon Kocatepe University Journal of Science & Engineering*, 14(2).
- Toprak Kirliliği Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, (2010) <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100608-3.htm> (Erişim tarihi: 12.08.2019)
- ÜNLÜ K., (2009) , Kirlenmiş Saha Etüt Teknik Rehberi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara. https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/ks_rsk_degerlend-rme_tek-rehber--20180201150131.pdf (Erişim tarihi:12.08.2019)
- Ünsal N. and Çelik, M., 2010. Hydrogeochemistry and Water Quality Evaluation along the Flow Path in the Unconfined Aquifer of the Düzce Plain, Northwestern Turkey. *Acta Geologica Sinica - English Edition*, 84, 213–222.
- Varol, Z., ve Boyraz E, D. (2020). Çorlu deresi ve yakın çevresi (Çerkezköy-Çorlu hattı) topraklarının ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi. *Toprak Bilimi Ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(1), 26-35. <https://doi.org/10.33409/tbbbd.756996>
- Watts, R. J. (1998). Hazardous wastes: sources, pathways, receptors.
- Watts, R. J., Haller, D. R., Jones, A. P., & Teel, A. L. (2000). A foundation for the risk-based treatment of gasoline-contaminated soils using modified Fenton's reactions. *Journal of hazardous materials*, 76(1), 73-89.
- Yılmaz, M., Bolu, F., Mayda, A. S., & Poyraz, B. (2017). Düzce'de Satılan Şişe Suları İle Musluk Sularının Ağır Metal Düzeylerinin İncelenmesi. *Konuralp Medical Journal/Konuralp Tıp Dergisi*, 9(1).



Optimization of Extraction Parameters by Response Surface Methodology in Handling Tea Extract From Fibrous Tea Waste

Mustafa Mortas^{1*}, Nour Awad²

^{1*} Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Food Engineering Department, Samsun, Turkey (ORCID: 0000-0002-0316-7768) mustafa.mortas@omu.edu.tr

² Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Food Engineering Department, Samsun, Turkey (ORCID: 0000-0003-3441-9080) awadnur5@gmail.com

(First received 4 September 2020 and in final form 11 November 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.790454)

ATIF/REFERENCE: Mortas, M., & Awad, N. (2020). Optimization of Extraction Parameters by Response Surface Methodology in Handling Tea Extract From Fibrous Tea Waste. *European Journal of Science and Technology*, (20), 672-684.

Abstract

In Turkey, the extraction parameters of tea extract from the fibrous tea waste left after harvesting the tea crop is gaining an interest in the last few years. The handled tea waste extract can be used for ice tea and teabag production as a flavor and color enhancer. Therefore, the industry needs to implement a more efficient and cost-effective extraction protocol. At this point, optimizing the extraction parameters is the main goal of the study. Eight different response factors (Extract yield-EY, color measurements L^* , a^* , b^* , C (Chroma) and h (hue angle), total phenolic compounds-TTC, antioxidant activity by 2,2-diphenyl-1-picryl hydrazil radical (DPPH)- assay) were used with three of process parameters (tea waste/water ratio, temperature and time) and its predictive power has been demonstrated. In the formed model, the mean values for eight different responses as EY, L^* , a^* , b^* , C, h, TPC, DPPH were $2.37\pm 0.83\%$, 1.42 ± 0.35 , 0.77 ± 0.51 , 6.64 ± 0.41 , 96.42 ± 5.75 mg gallic acid/100g, 49.99 ± 21.74 mg Trolox/g, respectively. The prediction model using the available responses was determined to be suitable only for L^* and TPC. As a result of the modeling, for the optimum estimation point, tea waste/water ratio, temperature, and time parameters were determined 8%, 94.95°C, and 60 minutes, respectively. Besides, the desirability of the model was calculated by 0.839. Thus, the estimation of tea waste color and functionality parameters may aid in low-cost tea extract production. However, the large amount of generated tea waste could be used to produce both cold tea and teabags.

Keywords: Tea waste, Tea Extraction, Response Surface Methodology

Lifli Çay Atıklarından Çay Özütü Eldesinde Yanıt Yüzey Metodolojisi ile Ekstraksiyon Parametrelerinin Optimizasyonu

Öz

Türkiye'de yüksek miktarlarda çay üretimine bağlı olarak ortaya çıkan lifli çay atığının, ekstraksiyon işlemi ile çay özütü eldesindeki ekstraksiyon parametreleri son yıllarda önem kazanmaktadır. Elde edilen çay özütü ise buzlu çay üretiminde ve poşet çay üretiminde renk ve tad destekleyicisi olarak kullanılmaktadır. Bundan dolayı daha verimli ve maliyeti düşük bir ekstraksiyonun uygulanması endüstri açısından önemlidir. Bu noktada ise ekstraksiyon parametrelerinin optimize edilmesi, çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır. Söz konusu parametrelerinden 3 tanesi (çay atığı/su oranı, sıcaklık ve süre) Yanıt Yüzey Metodolojisi kullanılarak sekiz farklı yanıt faktörü (Ekstrakt verimi-EY, L^* , a^* , b^* , C (Chroma) ve h (hue angle), toplam fenolik madde-TPC, antioksidan aktivite 2,2-diphenyl-1-picryl hydrazil radical (DPPH) üzerinde modellenerek tahmin gücü ortaya konulmuştur. Oluşturulan 20 deneme deseni özelinde parametrelerin değer aralıkları çay atığı/su oranı, sıcaklık ve süre için sırasıyla 0.5-10%, 50-95°C, 1-50 dakika şeklinde belirlenmiştir. Oluşturulan modelde sekiz farklı yanıt özelinde ortalama değerler ise EY, L^* , a^* , b^* , C, h, TPC, DPPH için sırasıyla $2.37\pm 0.83\%$, 1.42 ± 0.35 , 0.77 ± 0.51 , 6.64 ± 0.41 , 96.42 ± 5.75 , 49.99 ± 21.74 mg gallic acid /100g ve 35.89 ± 17.82 mgTrolox/g şeklinde bulunmuştur. Mevcut yanıtların kullanıldığı tahminleme modeli sadece L^* ve TPC için uygun olarak tespit edilmiştir. Modelleme sonucunda ise optimum tahminleme noktası (R^2) için çay atığı/su oranı 8%, sıcaklık, 94.95°C, süre 60 dakika olarak tespit edilmiş ve istenirliği 0.839 olarak hesaplanmıştır. Böylece çay atığının ilgili değişkenler özelinde elde edilecek renk ve fonksiyonelliğinin tahmin edilmesi ile birlikte daha az maliyet ve sürede çay özütü elde edilebilecektir. Böylece çay atığı rengi ve işlevsellik parametrelerinin tahmini, düşük

* Corresponding Author: Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Food Engineering Department, Samsun, Turkey, ORCID: 0000-0002-0316-7768, mustafa.mortas@omu.edu.tr

maliyetli çay ekstresi üretimine yardımcı olabilir. Bununla birlikte, ortaya çıkan büyük miktardaki çay atığı hem soğuk çay hem de poşet çay üretimi için kullanılabilir. Anahtar Kelimeler: Çay atığı, Çay Ekstraksiyonu, Yanıt Yüzeysel Metodolojisi.

1. Introduction

Tea (*Camellia sinensis*), which has a growing habit of consumption, is one of the most consumed beverages in the world today (Groosman, 2011). Although coffee consumption has become popular until the beginning of the 20th century in Turkey (Tozlu, 2014), tea was known in the early 1600s (Ozdemir and Gokalp, 1989; Tekeli, 1976). On the other hand, the first serious attempt of the cultivation of the tea plant in Turkey was in 1888 (Kacar, 1987), and after that Turkey became one of most tea consuming countries all over the world (Tozlu, 2014). In 2015, the amount of tea production in the world was 5,305,000 tons (Zhao et al., 2018). As well as in the same year, the consumption of tea per capita was 3.2 kg in Turkey and the high production of tea meets the mentioned high consumption (1.327.934 tons) in different cities as Rize (%68), Trabzon (%20), Artvin (%10), Giresun (%2) and Ordu located in the Black Sea Region (TUIK,2016).

During the processing of tea, the mixture comprising of main four components 1) tea fiber, which is separated by electrostatic separators in dried black tea production, 2) tea litter originating from leaf stalk, 3) leaf veins that cannot turn into tea, 4) thick leaves is called 'tea waste' (Demir, 2015). Although this volume of waste is about 3-5 percent compared to the weight of wet leaves, due to the non-standard collection of green tea in the Eastern Black Sea Region, it rises to 17-18 percent. (Kacar, 1987). However, it's estimated that Black Sea tea factories produce about 40,000 tons of tea wastes every year. Since those large amounts of tea wastes might cause environmental problems when dumped in the environment or landfilled, nowadays, there is a new perspective of getting economic benefits from those waste and prevent pollution (Tutus et al. 2015)

Recently the researchers investigated some novel methods for the processing of tea waste into various non-food materials. For example, it has been reported that using tea waste could be effective in increasing the hardness of concrete by filling the gaps (Kara, 2018), organic tea waste as a growing media for vegetable cultivation (Karatas and Buyukdinc, 2017), for paper production (Kazaskeroglu, 2012), for the production of sound isolation materials (Kaya and Dalgac, 2017), cleaning absorber materials (Cubuk et al., 2014), biofuel in pellet form (Yolcu, 2019; Bilgin et al., 2016), gel film (Tasar, 2018), compost material (Asik, 2012), activated carbon (Gundogdu, 2010), sound absorber materials (Ekici et al., 2012), tea gel materials (Oskuei, 2009), and for the preparation of microcrystalline cellulose (Zhao et al. 2018). While tea has high production volumes, there are very limited studies relating to tea waste as a food component. For instance, the possibility of tea waste for producing valuable chemicals, especially caffeine and catechins, was evaluated by Serdar et al., (2017).

Tutus et al. (2015) investigated the chemical composition (%) of tea wastes collected from tea factories operating in the Black Sea region of Turkey. Data showed high holocellulose (60.8±1.14), cellulose (29.42±0.57), and lignin (36.94±0.34) contents. However, lignin works as an adhesive that binds cellulose together in the fiber. When the lignin content is low, the fiber becomes stronger and harder to break. Thus, tea waste can be used as supporting material for ice tea and tea-bag production. In literature, the studies are limited to constant

parameters. In a published study, the preparation of tea extract from tea waste has been carried out at five different sample amounts in the range of 7-25%, five different temperatures in the range of 25-95 °C, and with constant temperature extraction at 25°C (Safi, 2018). In another research, tea extraction has occurred at 4°C for 6 hours with 4 grams tea/50 mL water ratio (Demir, 2011).

The aim of this study was to investigate the optimum extraction parameters points for fibrous tea waste. In our study, the effect of temperature, duration time, and tea waste sample/water ratio on the final extraction process has been estimated by surface response methodology.

2. Material and Method

2.1. Material

The tea waste samples for this study have been obtained from a tea company in Rize/Turkey. It was collected after the separation (sieving) procedure during the tea production process. The photograph of the tea waste taken (Nikon Coolpix L820) can be easily seen at Figure 1.



Figure 1. Sample of tea fibrous waste

2.2. Methods

2.2.1. Moisture Content

For determining moisture content in the tea waste, 2 grams of tea waste sample is weighed and dried in the oven until a constant scale is reached at 103°C (Gürses and Artık, 1987).

2.1.2. pH Measurements

The pH measurements for all extracted tea samples were carried out in triplicate using a pH meter (Toledo AG, China), calibrated at (pH=4.0 and pH=7.0).

2.1.3. Extract Yield

The model was taken following the parameters determined in the pattern, 15 mL of the samples obtained from the extraction was transferred to the pre-tared petri dishes and then dried at 65°C until the weighing was fixed in the oven. Extract yield was calculated on a dry matter (Hanay, 2011).

2.1.4. Color Measurements

The color values of the samples were measured with the color measurement device (Minolta Chroma Meter, CR-400, Osaka, Japan). L^* (darkness-lightness), a^* (green-redness), b^* (blue-yellowness) parameters of the samples were measured.

2.1.5. Total Soluble solids (TSS-°Brix)

Brix measurements were carried out on all the samples treated with different extraction parameters. Before taking the

measurements, the refractometer surface was cleaned with cotton and then calibrated with distilled water.

2.1.6. Determination of total phenolic content (TPC)

The TPC of tea extracts was measured using the Folin-Ciocalteu method as described by (Zannou and Koca 2020) with slight modification. Briefly, an aliquot of 150 µL of the diluted extract was mixed 750 mL of 10% Folin-Ciocalteu reagent. The mixture was shaken for 1 min before adding 600 mL of 7.5% sodium carbonate solution. The mixture was shaken again and placed in the dark for two hr before reading the absorbance. The absorbance was read at 760 nm using a UV-spectrophotometer (Agilent Technologies, USA), and the TPC was calculated from a calibration curve using gallic acid as a standard. The results were given as mg gallic acid equivalent (GAE) g⁻¹ DW (Dry weight) (Zannou and Koca 2020).

2.1.7. Determination of the DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl hydrazil radical) radical scavenging activity

The DPPH radical scavenging was determined using a modified method as described by (Zannou and Koca, 2020). Briefly, an aliquot of a 50 µL sample was added with a 1 mL DPPH solution (0.06 mM in 80% methanol). The mixture was shaken and left to stand in the dark for one hr until the reaction was completed. After that, the absorbance at 517 nm was recorded. The DPPH solution was used as control. The reduction ratio of DPPH was determined with the following equation:

$$\text{Reduction\%} = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \quad (1)$$

where A_c = Absorbance of control and A_s = Absorbance of extract. The DPPH radical scavenging activity in each extract was calculated from a calibration curve using Trolox as a standard. The results were given as mg Trolox equivalent (TE) g⁻¹ dw (Dry weight).

2.1.8. Response Surface Methodology

The extracting conditions for tea waste were optimized with central composite design (CCD) using the responses of the sample/water ratio, extraction temperature, and time.

To facilitate mathematical operations in the model pattern, actual values were coded;

$$x_i = \frac{z_i - 0.5(z_{i,max} + z_{i,min})}{0.5(z_{i,max} - z_{i,min})} \quad (2)$$

calculated by the mentioned equation. The z-real value, x-coded values in the equation, min. and max. expressions show the minimum and maximum values. Besides, the Central Composite Rotatable Design, which is used in the experimental design to reveal combinations of extraction factors, is rotatable, enabling equal estimation in all directions with the α values selected for optimum point detection (Montgomery, 2008). In the model design, the endpoints can be divided into -1, +1, - α , and + α , while 0 is the center point (Table.1). Thus, the answers required by the system are obtained with 20 different combinations, including minimum and maximum regions in the model pattern (Table 2).

In the model pattern of the water extraction process applied to tea, the sample/water ratio varies between 1-10%, extraction temperature between 50-95 °C, and extraction time between 1-60 minutes. Optimum production variables were estimated

using the desirability method using Design-Expert (Version 7.0, Minneapolis, USA). Regression analysis, response surface graphics, and contour lines were also prepared with the same program.

2.1.9. Statistical Analyses

Tea waste extraction parameters design was selected as Central Response Surface Design (CCRD), and the optimum points were determined with Design Expert 7.0 (State-Ease, Minneapolis, USA) (Trial Version). Multiple comparison tests were performed with the Duncan test based on a 95% confidence interval using the SPSS package program (SPSS 16.0), and analyses were carried out in triplicate for each replicate.

3. Results and Discussion

3.1. Moisture Content

To estimate the amount of moisture content obtained from tea waste, dry matter/moisture analysis was carried out to be used in the calculations. The range of the moisture content of the dried black tea was stated as 1.5-7.0% (Safi, 2018). Besides, the moisture content of the tea waste was found in other researches as 4,61% (Yakupoglu and Peksen, 2011), 8,4%, (Yilmaz et al., 2016), 6,54% (Kırbaslar et al., 2001). In this study, the moisture content of the fibrous tea waste sample was found as 5.51%, and this value is similar to other tea waste samples at other researches. This value is important to be used in the calculation of the extraction yield.

3.2. pH

The pH is another indicator of the extraction parameter's effects. Liang (2001) stated that the pH effect on the solid extraction yield of tea was significant in increasing instant tea yield. Additionally, they claimed that the behavior of tea extracted at extreme pH levels might be of great interest yield. The low pH levels can ensure stability for green tea compounds like catechins, purine alkaloids, flavonoids, and phenolic acids (Jang et al., 2014). Zimmerman et al. (2011) found that low pH level is a decisive factor rather than adding chemicals for extractions of some compounds from green tea. The pH value of green tea extract was found slightly acidic as 5.92-6.22 by Das and Eun (2018). We found that similar acidic values at the trials. At the end of the trials, the pH values of the samples were found in a range between 4.25 (0,5-sample/water ratio, 72,5°C, 30 minutes) and 5.46 (8-sample/water ratio, 60°C, 50 minutes) (Table 4). Similar pH values were measured at a similar sample weight. When the sample ratio and extraction time parameters were getting higher and longer, the values decreased.

3.3. Extraction Yield

Extraction yield can be recommended as an indicator for water-soluble solid contents of the tea, and it is a criteria for the quality of dried black tea (Salman et al., 2019). While tea contains approximately 300-450 g/kg extractable solids, instant tea contains about 200 g/kg tea in the production scale (Chen, 1979). According to ISO-9768 for tea standards, this value should be 32% based on dry matter (Salman et al., 2019). Many studies on Turkish tea show that extract yield values are lower (Ozdemir et al., 1993). In literature, the researchers have already performed some studies on tea extraction and discussed different conditions. Torun et al., (2008) used the extraction

parameters as 60-80°C temperature, 0.5-300 minutes and only tea sample: water ratio 2:98 g/mL and they found the highest extraction value at 75°C and 80°C. In another study, extraction efficiencies of the samples were calculated as at 92-94°C during 15 minutes, and in addition to that, other trials at the same temperature during 20 minutes extraction were found as 31.63-36.05%. Extraction time for tea was not statistically important in the study, and this finding was supported by Salman et al., (2019). They stated the values were valid for Turkish type brewing infusions. Dincer et al., (2008) were investigated time and temperature effects on tea infusion. For this purposes, the researchers selected the parameters for temperature as (60, 65, 70, 75, 80 °C) and for time as (0.5, 1, 1.5, 2, 3, 5, 10, 15, 20 minutes). They found that increasing the temperature and time parameters for infusion have an effect on the extract yield (Salman et al., 2019). The main reason for the extraction yield increasing with temperature is that water-soluble compounds transfer from tea to the brewing water getting higher at high temperatures (Suteerapatarnon et al., 2008). Although temperature and time parameters have an effect on extraction yield for both tea and tea waste, tea harvesting conditions are important for extraction yield (Salman et al., 2019). Hanay et al. (2011) stated that the extraction time has a direct positive effect on the extraction yield. A total of 24.14% increasing in extraction yield was found from 3 minutes to 30 minutes at the mentioned study. Golukcu et al. (2014) found a negative relationship between time and temperature parameters at the mountain tea infusion process.

Extraction yield is undesirable to be less than 32% in teas, but it is normal to be less than that value for tea waste. In literature, Bindes et al. (2019) found fewer values in their study. Consequently, the extraction yield of fibrous tea waste was not higher than black tea. It can be used for supporting material for teabag consumption in terms of aroma and color. The extraction steps must be carried out with the most extraction yield and with the lowest production cost. At one phase, water-based extraction, water-soluble dry matter amount is directly related to extraction yield. When the amount of the tea extract produced from tea waste in terms of extraction yield is high, it has a positive economic effect on ice tea and teabag. In literature, some tea extraction studies were performed by the researchers. Still, our research was different from the others in terms of tea waste extraction yield by using Response Surface Methodology.

In our study, the lowest extraction yield (6.63±1.29%) was found at 0.5% (g/mL) sample ratio at 72.5°C and 30 minutes during extraction, whereas the highest extraction yield (83.21±2.67%) was found at 10 % (g/mL) at 72.5°C and 30 minutes during extraction (Table 4). As seen in Table 6, the mean value and standard deviation of the extraction yield response was calculated as 2.37±0.83. The extraction yield's coefficient of variation (CV) value, a mean-dependent measure of the residual variation in experimental data, was found 34.95%. At that point, 'adeq precision' measures the signal to noise ratio, and it is desirable that the ratio greater than 4. The adeq precision value of the response was calculated as 5.698, and the value was greater than the limit value as 4. The regression coefficient of the model was found 0.6519, and the p-value of the model was found as 0.1345. As a result, low values of R² and Adj-R² indicates deviation from the mean value. According to the mentioned statistical parameters, the extraction yield response for the extraction model was not statistically important for the model (0.05<p).

The obtained result was normal because the tea waste material has a fibrous and heterogeneous structure since it leaves different fiber and high cellulose content on the sieve during the separation process.

3.4. Total Soluble Solids (TSS)

The TSS is as important as the extraction yield for tea waste infusion, and it is another parameter that should be measured. Both of the parameters are important for the extraction process, and they are directly related to each other. Total soluble solids of the different Indian black tea were determined at the range of 18-30 (Khanum et al., 2017). For green tea, total soluble solids values were found at the range of 5.60 and 7.55 (Ozunlu and Ergezer, 2019). In our study, the extraction with a sample/water ratio of 10% and a temperature of 72.5°C and a duration of 30 minutes reached the highest Brix value (2.15±0.07), while the extraction with a sample/water ratio of 0.5% and a temperature of 72.5°C and a duration of 30 minutes was reached lowest Brix value (0.10 ± 0.00). The main reason for finding different values is related to many factors such as tea preparation technique, temperature, time, and concentrations of other added ingredients that affect the Brix value (Ozunlu and Ergezer, 2019).

In our study, the lowest total soluble solid value (0.30±0.00 Brix) was found at 0.5% (g/mL) sample ratio at 72.5°C and 30 minutes during extraction, besides that the highest total soluble solid value (2.15±0.07 %) was found at 10 % (g/mL) at 72.5°C and 30 minutes during extraction (Table 4).

For the TSS response, the mean value and standard deviation of the TSS response were calculated as 1.19±0.46. The coefficient of variation (CV) value of the response, a mean-dependent measure of the residual variation in experimental data, was found 38.65%. At that point, 'adeq precision' measures the signal to noise ratio, and it is desirable that the ratio greater than 4. The adeq precision value of the response was calculated as 4.634, and the value was greater than the limit value as 4. Regression coefficient of the model was found 0.5646, and the p-value of the model was found as 0.2879. As a result, low values of R² and Adj-R² indicates a deviation from the mean value. According to the mentioned statistical parameters, the total soluble solid response for the extraction model was not statistically important for the model (0.05<p) (Table 6).

3.5. Color Measurement

The L*- lightness, a*- redness-greenness, b*- yellowness-blueness, C (Chroma), and h (hue angle) color parameters have been estimated. The color parameters are important to indicate the effects of different extraction conditions on the color. The color properties of the tea waste were similar to black tea ones. However, this property can support teabag production theory from these tea wastes. Golukcu et al. (2013) found the L*, a*, b*, C and h parameters of mountain tea infusions as 21.16-24.21, 1.46-2.85, 5.16-7.52, 5.60-7.67 and 61.69-78.43, respectively. Whereas, a* values have been increased as extraction temperature increasing. Some studies concern a relation between extraction yield and color parameters (Golukcu et al., 2013; Dincer et al., 2008)

The color parameters of the tea waste extract were investigated in terms of L*, a*, b*, C and h values at the study. According to our results, the lowest value for L* (23.03±2.03) was at 2.5% (g/mL) sample ratio at 60°C and 50 minutes, for a* (-2.26±0.01) and for C (5.56±0.13) at 0.5% (g/mL) sample

ratio at 72.5°C and 30 minutes, for b^* (5.54±0.14) at 5% (g/mL) sample ratio at 95°C and 30 minutes, for h (89.51±1.73) at 5% (g/mL) sample ratio at 72.5°C and 30 minutes. On another hand, the highest values for L^* (25.39±0.01) at 0.5% (g/mL) sample ratio at 72.5°C and 30 minutes for a^* (-0.11±0.01) at 8% (g/mL) sample ratio at 85°C and 50 minutes, for b (7.59±0.89) at 8% (g/mL) sample ratio at 60°C and 50 minutes, for C (7.75±0.46) for h at 5% (g/mL) sample ratio at 72.5°C and 60 minutes (Table 4).

According to color measurement results, mean values and standard deviations of the L^* , a^* , b^* , C and h parameters as -24.48±1.42, 0.51±0.71, 6.64±0.41, 6.76±0.69, and 96.42±5.75, respectively. The coefficient of variation (CV) values of the responses, a mean-dependent measure of the residual variation in experimental data, were found 1.42%, 66.83%, 6.21%, 10.15%, and 5.97%, respectively. Also, 'adeq precision' values of the responses should be greater than four, and the values were calculated for L , a , b , C and h responses as 9.763, 4.870, 6.383, 2.299 and 2.344. As a result, low values of R^2 and Adj- R^2 indicates a deviation from the mean value. According to the mentioned statistical parameters, color measurement responses were not statistically important, except L response (0.05<p) (Table 6). All of the statistical parameters of the L^* response were statistically important for the model. According to the model, the equation of the response with the extraction parameters as sample/water ratio, extraction temperature and extraction time was given as;

$$L = +24.58 - 0.18X_1 - 0.22X_2 + 0.22X_3 + 0.036X_1X_2 - 0.39X_1X_3 - 0.32X_2X_3 - 0.31X_1^2 + 0.092X_2^2 + 0.076X_3^2 \quad (3)$$

X_1 : Sample/water ratio (%), X_2 : Extraction temperature (°C), X_3 : Extraction time (minutes)

3.6. Total phenolic content (TPC)

It can be stated that there is an increase in product functionality (total phenolic substance, antioxidant activity) with increasing temperature and time of extraction (Golukcu et al., 2014), and similar results were found by Hanay (2011). Thus, there are many published researches that discussed the extracted phenolic compounds of tea at different parameters (water: tea ratio, temperature and minutes) (Bindes et al., 2019; Sousa et al., 2016; Kumar et al., 2012; Zhang et al., 2012; Rou et al., 2011). Golukcu et al. (2013) were found phenolic compounds of the tea as 195.81 mg/kg for 70°C and 211.64 mg/kg for 100 °C. According to the study, extracted phenolic content was increased concerning increasing time at every temperature stages. Bindes et al. (2019), Hanay (2011), and (Horzic et al., 2009) stated similar findings as the time and temperature parameters directly affect the phenolic compounds' extraction.

The lowest total phenolic content value (21.87±2.17) was found at 2.5% (g/mL) sample ratio at 60°C and 12.5 minutes of extraction, whereas the highest total phenolic content value (139.12±4.11) was achieved at 5% (g/mL) at 72.5°C and 30 minutes of extraction conditions (Table 4).

For the TPC response, the mean value and standard deviation of the TPC response were calculated as 49.99±21.74. The coefficient of variation (CV) value of the response, a mean-dependent measure of the residual variation in experimental data, was found as 43.49%. At that point, 'adeq precision' measures the signal to noise ratio, and it is desirable that the ratio greater than 4. The adeq precision value of the response was calculated as 6.599, and the value was greater than the limit value as 4. The regression coefficient of the model was found

0.7846, and the p-value of the model was found at 0.0200. As a result, low values of R^2 and Adj- R^2 indicates a deviation from the mean value. Moreover, the lack of fit value of the response was determined as 0.2132, and the value was not statistically important (Table 6). Therefore, the situation is desirable for a model, and the equation of the TPC value can determine the following equation;

$$TPC = +36.37 - 5.66X_1 - 16.36X_2 - 12.90X_3 - 0.012X_1X_2 - 7.44X_1X_3 + 30.38X_2X_3 + 3.15X_1^2 + 14.35X_2^2 + 2.44X_3^2 \quad (4)$$

X_1 : Sample/water ratio (%), X_2 : Extraction temperature (°C), X_3 : Extraction time (minutes)

The parameters of the extraction for the TPC response were shown in Figure .3.

3.7. DPPH

The ORAC, TEAC, FRAP, and DPPH methods can be used for antioxidant activity determination in foods (Huang et al., 2005), and in this study, the DPPH assay have been applied. In our study, the lowest antioxidant activity (10.55±0.24 mg Trolox/g) was found at 2.5% (g/mL) sample ratio at 60°C and 12.5 minutes during extraction, whereas the highest value (57.48±0.33 mg Trolox/g) was achieved at 2.5 % (g/mL) at 85°C and 50 minutes during extraction (Table 4).

For the DPPH response, the mean value and standard deviation of the DPPH response were calculated as 35.89±17.82 mg Trolox/g (Table 4). It was stated that the functionality of the product (tea) is getting higher with time and temperature increasing. (Golukcu et al., 2013; Golukcu et al., 2014) found the total phenolic compounds of tea as 195.81 mg/kg for 70°C and 211.64 mg/kg for 100°C. According to the study, extracted phenolic content was increased for increasing time at every temperature stages. Tekeli et al., (1976) found IC_{50} value as 0.07 mg/mL and 0.123 mg/mL at *Sideritis* species (mountain tea) as *Sideritis phrygia* and *Sideritis bilgerana*, respectively. In another mountain tea study, different solvents (methanol, ethyl acetate, acetone) were used and calculated the IC_{50} range as 50.9 66.2 µg/ml, respectively (Erkan et al., 2011). In another study, temperature and DPPH value relation was investigated, and the DPPH values at different extraction temperatures (70°C-80°C-90°C-100°C) evaluated as 0.56 mg/mg, 0.48 mg/mg, 0.49 mg/mg, 0.44 mg/mg, respectively Golukcu et al. (2013). The time and temperature parameters have direct effect on the extraction and similar results between TPC and DPPH (Hanay, 2011). Contrastly, the both parameters had no direct relation between each other Golukcu et al. (2013). However, DPPH value in tea can be change with tea differentiation, extraction parameters, tea harvesting time and type, etc. Golukcu et al. (2013).

The mean value of the DPPH was found at 35.89±17.82 mg Trolox/g (Table 6). The coefficient of variation (CV), R^2 and Adj- R^2 values were not suitable for the model in addition to that lack of fit and model p-value were not suitable for the prediction model (Table 6).

3.8. Optimization

When looking at the interaction of temperature, time, and sample ratio of the model in question, not all responses of the model are statistically important (0.05<p). The extract from the tea waste can be used for supporting teabag or ice tea production. For this reason, it should be not only the color but also functionality supported, and some extraction parameters

Preferable to be high (a^* , EY, TPC, DPPH) and other ones (L^* , b^* , C, h) are better with lower values.

As seen in Table 6, model-p, lack of fit, R^2 , Adj- R^2 , CV(%), and PRESS factors were used for model predictions. The regression coefficient (R^2) shows a deviation from the mean, and it should be closer to 1 value. The R^2 ve Adj- R^2 are significant for a model and used for prediction (Myers and Montgomery, 1995), and the higher values of parameters show closer to mean values. Adeq. Precision value is a parameter for the capability of model prediction, and it should be greater than 4 (Myers and Montgomery, 1995). Another factor for a good model is a variation of coefficient (CV), and it is expected higher value.

At tea waste extraction, the highest desirability values of the three optimization points were selected as 0.839, 0.824, and 0.807. The highest desirability one (0.839) has an 8% tea waste /water ratio, 94.95°C temperature, and 60.00 minutes extraction parameters. The second highest desirability was 0.824 at 6.10% tea waste /water ratio, 95.00°C temperature and 60.00 minutes, and other optimum points were 0.807 at 0.50% tea waste /water ratio, 59.82°C temperature and 1.00 minute (Table 3).

4. Conclusions and Recommendations

However, during the present study, eight parameters (L^* , a^* , b^* , EY, C, h, TSS, TPC, and DPPH) have been investigated after the extraction of tea waste by applying the response surface methodology (RSM) approach. The obtained data indicated that the L^* and TPC responses were suitable for model prediction based on tea waste/water ratio, temperature, and time parameters of the extraction process. Meanwhile, all the ranges of the measured eight parameters were very inclusive, and it differed from the other similar researches. The L^* and TPC responses were suitable for the prediction of models, and the responses were very important for tea waste extraction.

Whereas, the extraction studies of the tea waste are limited; some published reports have discussed different procedures for tea extraction or infusion. In a study where different extraction methods were carried out for the extraction of caffeine and catechins from tea samples, the most efficient approach was determined to be hot water extraction (40 minutes at 80 °C). In addition to applying temperature and time parameters, the sample amount/water ratio was 10 grams/300 mL (Demir, 2015). In another study where the two-step hot water extraction method was also used using the same sample amount, the parameters of 10 minutes at 50°C for the first step and 10 minutes at 80°C for the second step were selected (Bazinet et al. 2007). In the same study, high-temperature pretreatment hot water extraction was also tried, and single temperature and duration parameters were applied with 10 g tea sample/300 mL boiling water for 3 minutes at 100°C and, 40 minutes at 80°C (Demir, 2015). In the study for investigating the effect of brewing on the antioxidant capacity of 21 green tea samples; Samples were processed for 5 minutes at 80°C in 200 mL of water (Sharpe et al., 2016). For the extraction of caffeine and catechins in white tea research, the components obtained by selecting five temperature parameters in the range of 60-98 °C and five duration in the range of 3-15 minutes were correlated with sensory analysis (Perez-Burillo, 2018). In another research conducted by Salman et al. (2019), the extraction of tea samples was carried out in 3 different times (15, 20, and 25 minutes) by the traditional brewing method, where they used 2.83 grams sample / 250 mL pure water ratio

In another extraction process using methanol and ethyl acetate, 4 grams of tea sample was treated with 50 mL of solution at 4 °C (Kelesoglu, 2012). As well as, 5 grams tea waste material was extracted with 100 mL distilled water at 80°C for 40 min. by Khan et al. (2018). In another study conducted by Langey-Evans (2000), they aimed to measure the antioxidant capacity of green tea samples with the FRAP method. For this purpose, the temperature parameters were selected in the range of 20-90°C, and the time parameters in the range of 15 seconds-15 minutes. In another study on the antioxidant capacity of green tea and brewing and water extraction, the temperature parameters were selected as the lowest 60°C, the highest 95°C, and the time as 5-300 minutes (Jin et al., 2019). In another extraction process, 1.6 grams of green tea sample was applied with 110 mL of water at three different temperatures in the range of 75-95°C and eight different times in the range of 1-45 minutes (Saklar et al., 2015).

In addition to single extraction, it is stated that when the second and third extraction processes were applied for 3 minutes and temperatures at 80°C, the antioxidant capacity of tea increases by 25% (Komes et al., 2010). In another study, 2.25 grams of tea samples were extracted in 180 mL of water for 2 minutes, and extraction yields were investigated (Peterson et al., 2004). Another study applied ethanol using the Box-Behnken experimental design for classical extraction performed classical extraction; the time was studied in three different times between 15-45 minutes, three different temperatures between 20-60°C and three different ethanol concentrations between 40-80% and the effects on the extraction of antioxidant compounds were investigated (Bostanci, 2016). In a study on the extraction of catechin gallate and epicatechin gallate components from tea, process temperatures in addition to tea types and particle sizes were studied in the range of 50-100°C (Yaday et al., 2018). In addition to green tea and black tea, there are studies in which extraction processes are applied in other tea varieties. Insoluble mountain tea production, absorbance measurements were made up to 350 minutes, with extraction conditions 1% sample/water amount, 60-80° C, five temperatures, and 0.5-20 minutes intervals, as well as nine different times. As a result, the temperature of 70°C was determined as the critical temperature. Besides, the extraction balance was achieved at 150 minutes at 60-65°C, 100 minutes at 70°C and 50 minutes at 75-80 °C (Dincer et al., 2008).

Upon what have been stated above, the extraction process of tea and tea waste can be carried out in different ways following many procedures, and according to our followed one the obtained results suggest high importance of this extract and the possibility of utilizing it for ice tea and tea-bag production. The advantage of these models is their lower process cost and effects on supporting tea color and functionality, but still more future researches are recommended.

Table 1. Model Design Levels

Bağımsız Değişkenler	-a	-1	0	+1	+a
X ₁ Sample/water ratio (%)	0	2.5	5	8	10
X ₂ Extraction temperature (°C)	50	60	72.5	85	95
X ₃ Extraction time (minutes)	1	12.5	30	50	60

Table 2. Trial Plan for Three Factors Central Composite Rotatable Design

Trial Number	Sample/water ratio (%)	Extraction temperature (°C)	Extraction time (minutes)
1	2.5	85	50
2	5	72.5	30
3	5	72.5	30
4	0.5	72.5	30
5	5	72.5	1
6	8	60	12.5
7	8	85	50
8	5	72.5	60
9	8	85	12.5
10	5	95	30
11	10	72.5	30
12	5	72.5	30
13	5	50	30
14	5	72.5	30
15	5	72.5	30
16	5	72.5	30
17	2.5	60	50
18	2.5	85	12.5
19	2.5	60	12.5
20	8	60	50

Table 3. The optimum points of the responses

No	Tea waste /water ratio (%)	Temp (°C)	Time (min.)	EY	L*	a*	b*	C	h	TSS	TPC	DPPH	Desirability
1	8.00	94.95	60.00	2.71	23.12	0.47	4.96	5.24	94.14	1.58	105.54	78.85	0.839
2	6.10	95.00	60.00	2.47	23.91	0.49	5.33	5.59	95.92	2.11	115.36	73.69	0.824
3	0.50	59.82	1.00	2.46	22.58	0.16	4.76	5.81	93.89	1.09	139.12	68.66	0.807

Table 4. The results of the experiment for the responses

No	Sample/water ratio (%)	Temp (°C)	Time (Min.)	TSS	EY	pH	L*	a*	b*	C	h	TPC (mg gallic acid /100g)	DPPH (mgTrolox/ g)
1	2.5	85	50	0.95±0.21cde	4.84±0.15a	4.70±0.02de	23.99±0.02ab	-0.75±0.07c	6.04±0.03ef	6.74±0.19abcd	90.01±1.91g	32.58±1.27jk	57.48±0.33a
2	5	72.5	30	1.15±0.07c	4.24±0.03b	4.68±0.00def	24.85±0.44ab	-0.66±0.01c	6.73±0.03bcde	6.27±0.15abcd	90.00±1.50g	45.48±1.88fg	53.34±1.07ab
3	5	72.5	30	1.15±0.07c	2.16±0.05de	4.66±0.01ef	24.69±0.16ab	-0.63±0.07c	6.62±0.22bcde	7.04±0.01abcd	99.67±0.75cd	24.22±0.57lj	15.68±0.55i
4	0.5	72.5	30	0.30±0.00f	2.67±0.03d	5.46±0.00a	25.39±0.01a	-2.26±0.01g	6.02±0.12ef	5.56±0.13d	95.19±0.80def	90.99±2.04c	50.50±1.46bc
5	5	72.5	1	0.70±0.14def	4.02±0.01bc	4.72±0.01de	24.28±0.06ab	-1.18±0.09de	6.94±0.01bcd	7.02±0.03abcd	91.62±1.06fg	65.09±2.71e	23.38±0.21h
6	8	60	12.5	1.55±0.35b	2.28±0.02de	4.63±0.02fg	25.53±0.47a	-0.75±0.16c	7.71±0.44a	7.36±0.48abc	98.92±2.76cde	41.05±1.11ghi	21.99±1.37h
7	8	85	50	2.00±0.00a	1.14±0.01f	4.61±0.01fg	24.37±0.30ab	-0.11±0.01a	6.27±0.15cde	7.19±0.01abc	104.30±1.49b	35.64±1.74ij	20.31±1.01hi
8	5	72.5	60	1.10±0.00cd	3.63±0.24c	4.65±0.01ef	24.26±0.03ab	-0.55±0.03bc	6.35±0.06cde	7.75±0.46a	95.58±0.85def	34.93±2.04ij	32.50±0.49gh
9	8	85	12.5	1.90±0.00ab	0.39±0.07g	4.66±0.01ef	25.06±0.15a	-0.20±0.12ab	7.02±0.03bc	6.51±0.18abcd	110.59±0.39a	50.91±3.00f	5.08±0.18k
10	5	95	30	0.85±0.07cde	3.65±0.02c	4.64±0.01ef	23.79±0.06ab	-0.50±0.06abc	5.54±0.14f	6.18±0.07abcd	94.72±1.07def	39.13±2.22ghij	57.04±1.55a
11	10	72.5	30	2.15±0.07a	3.64±0.10c	4.56±0.01g	24.62±0.23ab	-0.16±0.00ab	6.64±0.04bcde	6.40±0.02abcd	94.79±0.00def	83.06±0.71d	43.10±2.38de
12	5	72.5	30	1.05±0.07cd	3.99±0.15bc	4.75±0.03cd	24.33±0.00ab	-0.52±0.01abc	6.48±0.19bcde	7.59±0.89ab	89.51±1.73g	35.85±2.13ij	39.06±1.75ef
13	5	50	30	0.80±0.00cd	2.61±0.02d	4.89±0.06b	24.59±0.29ab	-1.45±0.33ef	7.12±0.01ab	6.33±0.21bcd	94.66±0.58ef	24.81±0.89l	41.14±2.11de
14	5	72.5	30	1.15±0.07cd	0.99±0.12f	4.67±0.01ef	24.35±0.09ab	-0.64±0.18c	6.32±0.16cde	6.71±0.34abcd	98.60±2.59cde	125.02±3.85b	52.36±3.03ab
15	5	72.5	30	1.10±0.14def	2.52±0.02de	4.72±0.03de	24.08±0.21ab	-0.51±0.04abc	6.31±0.21cde	7.65±1.63ab	95.34±0.33def	35.47±2.43ij	34.02±0.97fg
16	5	72.5	30	1.05±0.07cd	1.45±0.01f	4.68±0.01def	23.77±0.35ab	-0.51±0.12abc	6.19±0.09ef	6.08±0.02bcd	97.12±0.73cde	139.12±4.11a	45.82±2.92cd
17	2.5	60	50	0.70±0.14def	2.41±0.04de	4.81±0.01c	23.03±2.03b	-1.13±0.26de	7.26±0.53ab	6.51±0.18abcd	94.66±0.21ef	26.74±2.30kl	28.63±0.81h
18	2.5	85	12.5	0.55±0.21ef	2.01±0.24e	4.94±0.01b	24.66±0.16ab	-0.99±0.24cd	6.63±0.38bcde	7.27±0.07abc	101.52±2.63bc	24.85±0.76l	45.54±2.55cd
19	2.5	60	12.5	0.35±0.07f	2.49±0.07de	4.60±0.00fg	24.82±0.11ab	-1.77±0.17f	6.96±0.06bcd	6.77±0.04abc	95.56±0.16def	21.87±2.17l	10.55±0.24j
20	8	60	50	1.95±0.07a	2.52±0.05de	4.25±0.07h	25.19±0.96a	-0.11±0.01a	7.59±0.89cde	6.35±0.17abcd	95.76±1.45def	22.92±1.09l	40.32±3.08de

a-c: There is no difference between interactions with the same letter at same column

Table 5. The ANOVA table for effects of quadratic and interactions on tea waste extraction parameters

Source	Df	EY (%)		TSS (Brix)		L		a		b		C		h		TPC (mg gallic acid/100g)		DPPH (mgTrolox/ g)	
		Sum of Square	p-value	Sum of Square	p-value	Sum of Square	p-value	Sum of Square	p-value	Sum of Square	p-value	Sum of Square	p-value	Sum of Square	p-value	Sum of Square	p-value	Sum of Square	p-value
Model	9	12.82	0.1345	2.74	0.2879	5.55	0.0089*	3.32	0.3035	3.92	0.0791	1.79	0.8951	149.85	0.8420	17211.11	0.0200*	1489.45	0.8293
X ₁	1	0.91	0.2767	0.29	0.2691	0.43	0.0892	0.12	0.5137	2.48	0.9703	0.35	0.4069	8.56	0.6221	437.32	0.3587	4.13	0.9114
X ₂	1	5.66	0.0165	7.41	0.9854	0.65	0.0421	0.81	0.1095	0.13	0.4013	0.32	0.4307	42.47	0.2837	3655.75	0.0194	147.21	0.5113
X ₃	1	0.05	0.7889	0.13	0.4567	0.68	0.0389	0.02	0.7898	0.87	0.0470	3.96	0.9287	0.30	0.9259	2271.58	0.0531	103.18	0.5812
X ₁ X ₂	1	0.36	0.4842	0.08	0.5523	0.011	0.7739	7.20	0.1095	0.03	0.6472	0.12	0.6177	0.67	0.8889	1.25	0.9987	11.45	0.8532
X ₁ X ₃	1	0.87	0.2856	0.50	0.1552	1.21	0.0101	4.05	0.7898	1.13	0.0273	0.06	0.7259	0.078	0.9622	443.42	0.3555	3.42	0.9194
X ₂ X ₃	1	1.51	0.1678	0.02	0.7648	0.80	0.0277	0.12	0.8722	0.73	0.0656	0.52	0.3181	5.49	0.6922	7381.13	0.0027	310.38	0.3461
X ₁ ²	1	1.64	0.1532	0.043	0.6613	1.41	0.0066	0.17	0.9039	7.86	0.8340	9.25	0.9891	70.47	0.1752	143.40	0.5938	249.49	0.3961
X ₂ ²	1	1.47	0.1737	0.026	0.7328	0.12	0.3369	0.14	0.5155	1.02	0.0345	0.29	0.4499	15.88	0.5042	2967.50	0.0311	679.62	0.1741
X ₃ ²	1	0.31	0.5139	1.61	0.0202	0.084	0.4233	1.88	0.4436	6.63	0.9846	0.15	0.5868	5.21	0.6998	85.94	0.6788	122.27	0.5487
Residual	10	6.84		2.11		0.12		2.64		1.70		4.71		330.88		4725.06		3174.13	
Lack of fit	5	3.37	0.5131	0.31	0.9631	0.11	0.5437	0.93	0.7375	1.24	0.1501	3.51	0.1327	95.37	0.8281	3215.22	0.2132	1817.86	0.3779
Pure error	5	3.47		1.81		0.13		1.71		0.46		1.20		235.51		1509.85		1356.27	
Total	19	19.66		4.86		6.75		5.97		5.62		6.50		480.73		21936.17		4663.57	

X₁: Tea waste/water ratio; X₂: Temperature; X₃: Time

Table 6. Statistical compatibility for responses for tea waste extraction

Statistical Data	Responses								TPC (mg gallic acid/100g)	DPPH (mgTrolox/ g)
	EY (%)	TSS (Brix)	L*	a*	b*	C	h			
Mean	2.37	1.19	0.35	-0.77	6.64	6.76	96.42	21.74	35.89	
Standart Deviation	0.83	0.46	1.42	0.51	0.41	0.69	5.75	49.99	17.82	
CV (%)	34.95	38.65	24.48	66.83	6.21	10.15	5.97	43.49	49.64	
PRESS	30.57	5.13	5.27	9.64	10.13	28.66	1063.49	27075.13	15940.33	
R ²	0.6519	0.5646	0.8213	0.5572	0.6978	0.2753	0.3117	0.7846	0.3194	
Adj-R ²	0.3387	0.1728	0.6605	0.1587	0.4259	-0.3770	-0.3078	0.5907	-0.2932	
Pred- R ²	-0.5546	-0.0553	0.2191	-0.6166	-0.8026	-3.4077	-1.2122	-0.2343	-2.4181	
Adeq. Precision	5.698	4.634	9.763	4.870	6.383	2.299	2.344	6.599	1.980	
Model p-value	0.1345	0.2879	0.0089*	0.3035	0.0791	0.8951	0.8420	0.0200*	0.8293	
Lack of fit	0.5131	0.9631	0.5437	0.7375	0.1501	0.1327	0.8281	0.2132	0.3779	

Figure 2. Response surface plots showing the effects of extraction temperature and time (X_1), extraction time and the ratio of raw material to water (X_2), extraction temperature and the ratio of water/tea waste material (X_3) on the L response for the prediction models

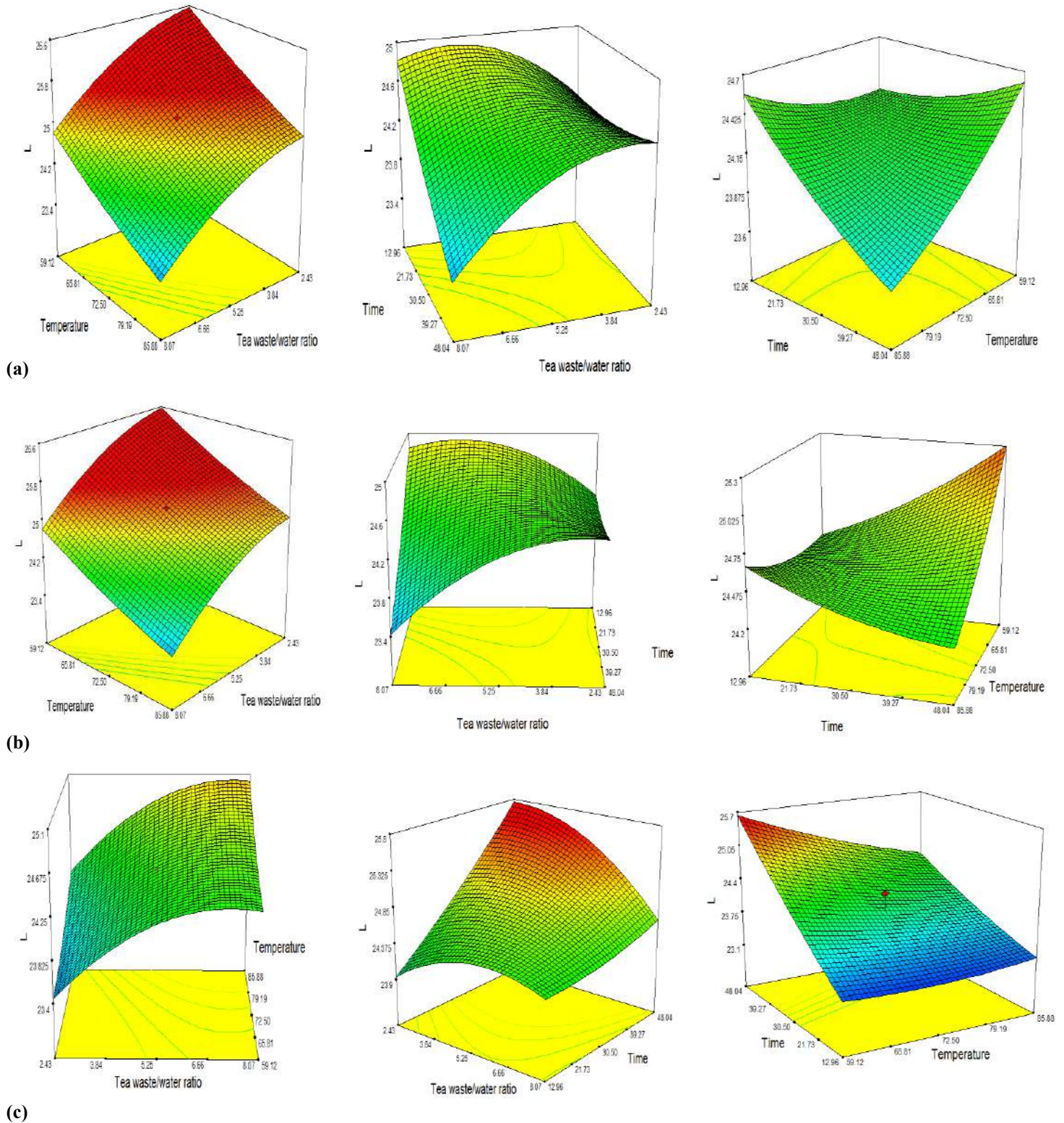
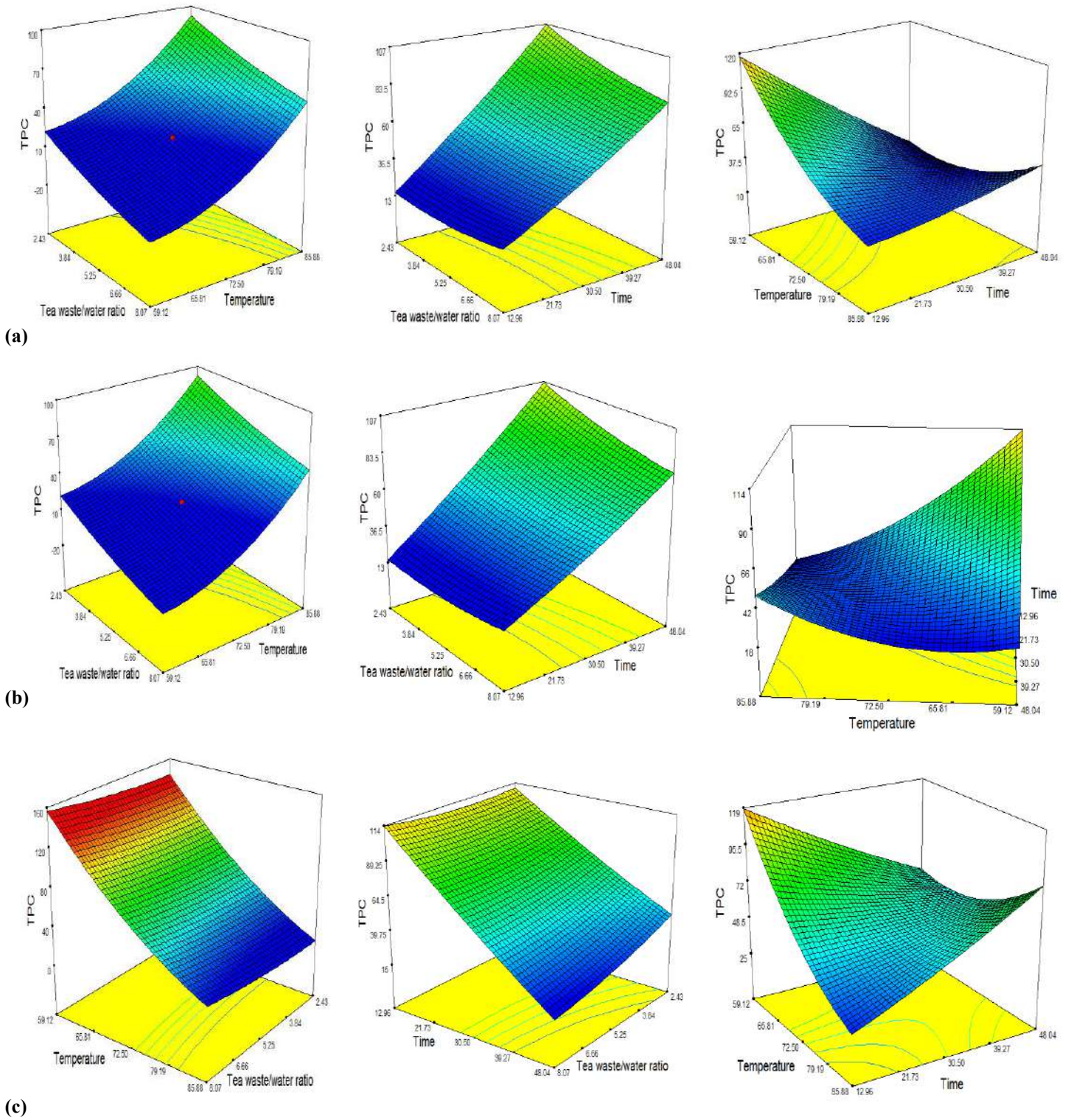


Figure 3. Response surface plots showing the effects of extraction temperature and time (X_1), extraction time and the ratio of raw material to water (X_2), extraction temperature and the ratio of water/tea waste material (X_3), on the TPC response for the prediction models



References

- Asık, B.B., & Kutuk, C. (2012). Possibility of using tea waste compost in the creation of grass areas. *Journal Uludag University Agriculture*, 26(2): 47-57.
- Bazinet, L., Labbe, D., & Tremblay, A. (2007). Production of green tea EGC-and EGCG-enriched fractions by a two-step extraction procedure. *Separation and Purification Technology*, 56(1), 53-56.
- Bilgin, S., Kocer, A., Yılmaz, H., Acar, M., & Dok, M. (2016). Tea Factory Wastes and Determining Pellet Physical Properties, *Journal of Gaziosmanpasa University Agriculture Faculty*, 33,70-80.
- Bindes, M. M. M., Cardoso, V. L., Reis, M. H. M., & Boffito, D.C. (2019). Maximization of the polyphenols extraction yield from green tea leaves and sequential clarification. *Journal of Food Engineering*, 241, 97-104.
- Bostanci, S. (2016). Extraction of Antioxidant Compounds by Different Methods From Tea Factory Waste, *Ondokuz Mayıs University Institute of Science*, pp. 160.
- Chen, Y. (1979). Tea manufacture. *Agricultural Publication House of China*, Beijing. (pp. 364–381).
- Cubuk, M., Guru, M., & Ugurlu, E.L. (2014). Elimination of Petroleum Pollution in Water Using Waste Styrofoam, Tea Fiber and Polystyrene Foam, *Journal of Gazi University Engineering Faculty*, 29 (2), 281-287.
- Demir, A. (2011). Comparison of antioxidant properties of black and green tea and their wastes, *Rize University Institute of Science*.
- Demir, E. (2015). Separation of caffeine and catechins from fresh tea and black tea wastes by some extraction methods, (Doctoral dissertation, *Karadeniz Technical University Institute of Science*).
- Dincer C, Torun M, Topuz A, Akdogan A, Fiahin H, & Ozdemir, F. (2008). A Research on Determination of extraction conditions in instant mountain tea (*Sideritis stricta*) production. Turkey 10th food Congress, 21-23 May 2008, Erzurum, Turkey, 183-186.
- Ekici, B., Kentli, A., & Kucuk, H. (2012). Improving Sound Absorption Property of Polyurethan Foams by Adding Tea-Leaf Fibers. *Archives of Acoustics*, 37 (4), 515-520.
- Erkan, N., Cetin, H., & Ayranci, E. (2011). Antioxidant activities of *Sideritis congesta* Davis et Huber-Morath and *Sideritis arguta* Boiss et Heldr: Identification of free flavonoids and cinnamic acid derivatives. *Food Research International*, 44(1), 297-303.
- Groosman, M., (2011). Tea Sector Overview, The Sustainable Trade Initiative, The Netherlands.
- Golukcu, M., Toker, R., & Tokgoz, H. (2014). Effects of different infusion times and temperatures on some quality parameters of mountain tea (*Sideritis congesta*). *The Journal of Food*, 39(3), 155- 162.
- Gundogdu, A. (2010). Investigation of active carbon production, characterization and adsorption properties from factory tea wastes, *Institute of Science, Karadeniz Technical University*, Trabzon.
- Hanay, N. (2011). The effect of different extraction times and temperatures on the amount of phenolic and alkaloid substances transferred from tea to brew. Doctoral dissertation, *Institute of Science, Akdeniz University*, Antalya.
- Huang D, Ou, B. & Prior, R. L. (2005). The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53: 1841-1856.
- Jang, J. H., Park, Y. D., Ahn, H. K., Kim, S. J., Lee, J. Y., Kim, E. C., ... & Kwon, H. J. (2014). Analysis of green tea compounds and their stability in dentifrices of different pH levels. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 62(4), 328-335.
- Jin, Y., Zhao, J., Kim, E. M., Kim, K. H., Kang, S., Lee, H., & Lee, J. (2019). Comprehensive Investigation of the Effects of Brewing Conditions in Sample Preparation of Green Tea Infusions. *Molecules*, 24(9), 1735.
- Kacar, B. (1987). Biochemistry and processing technology of tea, *Çay-Kur Yayını* No:6, Ankara.
- Kara, C. (2018). Usability of tea waste in concrete as natural fiber, *Journal of Natural Hazards and Environment*, 4(2): 156-165.
- Karatas, A., & Buyukdinc D.T. (2017). The effects of organiza tea waste treatments on plant growth of spanish and lettuce cultivation, *Journal of Academic Agriculture*, 6, 201-210.
- Kaya, A.İ., & Dalgac, T. (2017). Acoustic properties of natural fibers for sound insulation, *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 1: 25-37.
- Kazaskeroglu, Y. (2012). Determination of pulp and paper production conditions from tea factory residues. *Master Degree, Institute of Science, Kahramanmaraş Sütçü İmam University*, Kahramanmaraş.
- Khan, Z., Kakkar, S., Ghag, S., Shah, S., Patil, S., & Gupta, A. D. (2018). Recycling of Tea Waste for Extraction of Caffeine And Production Of A Transdermal Patch. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 7 (17), 1511-1521.
- Khanum, H., Faiza, S., Sulochanamma, G., & Borse, B. B. (2017). Quality, antioxidant activity and composition of Indian black teas. *Journal of food science and technology*, 54(5), 1266-1272.
- Kırbaşlar, S.İ. & Kırbaşlar, F.G. (2001). Utilization of Hazelnut Husks, Tea and Tobacco Wastes as Raw Materials, *Pamukkale University Engineering College Journal of Engineering Sciences*, 7.1: 139-143.
- Komes D, Horzic D, Belscak A, Ganic K., & Vulic, I., (2010). Green tea preparation and its influence on the content of bioactive compounds, *Food Research International*, 43:167-176.
- Langley-Evans S.C. (2000). Antioxidant potential of green and black tea determined using the ferric reducing power (FRAP) assay, *International Journal of Food Science and Nutrition*, 51:181-188.
- Liang, Y., & Xu, Y. (2001). Effect of pH on cream particle formation and solids extraction yield of black tea, *Food Chemistry*, 74(2), 155-160.
- Montgomery, D.C. (2008). Design and analysis of experiments. 7th ed. John Wiley and Sons, River Street, Hoboken.
- Myers, R.H. & Montgomery, D.C. (1995). Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments. 2nd ed. *John Wiley and Sons*, New York, NY.

- Oskuei, S. S. (2009). Dermocosmetic products derived from black tea gel and their in vitro tests. (Master Degree, *Health Science of Marmara University*, Istanbul).
- Ozdemir, F., Gokalp, H. Y., & Nas, S. (1993). Effects of shooting period, times within shooting periods and processing systems on the extract, caffeine and crude fiber contents of black tea. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, 197(4), 358.
- Ozdemir, F. & Gokalp, H.Y. (1989). Quality Characteristics and Affecting Factors in Black Tea, *Journal of Agricultural Faculty of Ataturk University*, 20(2), 135-145.
- Ozunlu, O., & Ergezer, H. (2019). Using of Infusion Method for Producing of Ice Green Tea Enriched with Dried Artichoke Bracts, *Academic Food Journal/Akademi Gıda*, 17(4).
- Petersona, J., Dwyera, J., Jacquesa, P., Randa, W., Priorb, R. & Chuiã, K. (2004). Tea variety and brewing techniques influence flavonoid content of black tea, *Journal of Food Composition and Analysis*, 17:397–405.
- Perez-Burillo, S., Gimenez, R., Rufian-Henares, J.A. & Pastoriza, S. (2018). Effect of brewing time and temperature on antioxidant capacity and phenols of white tea: Relationship with sensory properties, *Food Chemistry*, 248, 111-118.
- Safi, Y. (2018). Increasing the amount of tea extract by using tea wastes. (Master Degree, Institute of Science, *Recep Tayyip Erdoğan University*, Rize).
- Saklar, S., Ertas, E., Ozdemir, I. S., & Karadeniz, B. (2015). Effects of different brewing conditions on catechin content and sensory acceptance in Turkish green tea infusions. *Journal of food science and technology*, 52(10), 6639-6646.
- Salman, S., Azarabadi, N. & Ozdemir, F. (2019). The Effect of Particle Size and Brewing Time on the Infusion Properties of Tea Blends, *The Journal of Food*, 44 (3): 442-452.
- Serdar, G., Ezgi D. & Sökmen, M. (2017). "Recycling of Tea Waste: Simple and Effective Separation of Caffeine and Catechins by Microwave Assisted Extraction (MAE)." *International Journal of Secondary Metabolite*, 4 (2): 78–78. <https://doi.org/10.21448/ijsm.288226>.
- Sharpe, E., Hua, F., Schuckers, S., Andreescu, S., & Bradley, R. (2016). Effects of brewing conditions on the antioxidant capacity of twenty-four commercial green tea varieties. *Food Chemistry*, 192, 380-387.
- Suteerapataranon, S. & Pudta, D. (2008). Flow injection analysis-spectrophotometry for rapid determination of totalpolyphenols in tea extracts, *Journal of Flow Injection Analysis* 25:1 61.
- Tasar, S. (2018). Biodegradable and antimicrobial polymeric gel-film production and characterization from waste tea pulp, (Master Degree, *Institute of Science, Fırat University*, Elazığ).
- Tekeli, S.T. (1976). Çay Yetiştirme-İşleme-Pazarlama, Dönüm Yayınları, No:5, Ankara Basım ve Ciltevi, Ankara.
- Torun, M., Dincer, C., Sahin, H., Akdogan, A., Topuz, A., & Ozdemir, F. (2008). Determination of extraction conditions in instant sage (*Salvia fruticosa*), *Turkey 10th Food Congress*, 21-23 May 2008, Erzurum, Turkey, 183-186.
- Tozlu, B.H. (2014). Tea fermentation inspection with electronic nose, (Master Degree, *Institute of Science, Karadeniz Technical University*, Trabzon).
- Tutus, A. K. & Cicekler, M. (2015). "Evaluation of Tea Wastes in Usage Pulp and Paper Production." *BioResources* 10(3) (August 2015): 5407-5416.
- Yadav, G. U., Farakte, R. A., Patwardhan, A. W., & Singh, G. (2018). Effect of brewing temperature, tea types and particle size on infusion of tea components. *International Food Research Journal*, 25(3).
- Yakupoglu, G., & Peksen, A. (2011). Influence of particle size and different substrates containing tea waste on yield and some morphological characters of *Ganoderma lucidum* mushroom. *Ekoloji* 20.78): 41-47.
- Yılmaz, S.B., Kocer, A.H., Acar, M., & Dok, M. (2016). Pelletting of the Tea Factory Wastes and Determination of Pellet Physical Properties, *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*, 33, 70-80.
- Yolcu, E. (2019). Analysing evaluation possibilities of tea processing factory residues as pellet biofuel. *Ondokuz Mayıs University Institute of Science*, Samsun.
- Zannou, O. & Koca, I. (2020). Optimization and stabilization of the antioxidant properties from Alkanet (*Alkanna tinctoria*) with natural deep eutectic solvents, *Arabian Journal of Chemistry*, 13(8), 6437-6450.
- Zhao, T., Chen, Z., Lin, X., Ren, Z., Li, B., & Zhang, Y. (2018). Preparation and characterization of microcrystalline cellulose (MCC) from tea waste. *Carbohydrate polymers*, 184, 164-170.
- Zimmermann, B. F., & Maïke, G. (2011). The effect of ascorbic acid, citric acid and low pH on the extraction of green tea: how to get most out of it. *Food Chemistry*, 124 (4), 1543-1548.



Grafen Oksit ve Deniz Kabuğu Takviyeli Polivinil Klorür Hibrit Kompozitlerin Karakterizasyonu

Meryem Göktaş^{1*}, Ferda Mindivan²

¹ Bilecik Şeyh Edebali University Vocational School Gülümbe Campus, Bilecik (ORCID: 0000-0003-1583-8300), meryem.goktas@bilecik.edu.tr

² Bilecik Şeyh Edebali University Department of Bioengineering Gülümbe Campus Bilecik (ORCID: 0000-0002-6046-2456) ferda.mindivan@bilecik.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 4 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.782828)

ATIF/REFERENCE: Göktaş, M. & Mindivan, F. (2020). Grafen Oksit ve Deniz Kabuğu Takviyeli Polivinil Klorür Hibrit Kompozitlerin Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 685-692.

Öz

Bu çalışmada hem grafen oksit (GO)'in üstün özelliklerinden yararlanmak hem de deniz kabuğunun geri dönüşümünü sağlamak için polivinil klorür (PVC) hibrit kompozitlerin üretilmesi ve yapısal özelliklerinin karakterize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ağırlıkça (ağ.) % 5, 10, 15 ve 20 öğütülmüş deniz kabuğu tozları (DK) ve ağ. % 0,1 dolgu GO içeren hibrit kompozitler, koloidal karıştırma yöntemi ile üretilmiştir. DK'nın XRF analizinde en yüksek oksit içeriğinin ağ. % 98,53 oranıyla CaO olduğu belirlenmiştir. XRD analizinde düşük DK içeriğinde (ağ. %5-%10) hibrit kompozitlerin, tabakalar arası mesafe, kristal boyut ve mikro gerilme değerleri PVC-GO kompoziti ile benzer sonuçlar göstermiştir. Yüksek DK içerikli (ağ. % 15 ve % 20) hibrit kompozitlerin XRD paternleri, kalsit ve aragonit faz piklerinin dışında grafen pikinin gözlenmediğini göstermiştir. Sonuç olarak, yüksek DK içeriği, grafenin PVC matrisinde başarıyla eksfoliyeye olmasına sebep olmuştur. %20 DK içeriğinde, DK ve GO'nun çekirdeklenme merkezleri olarak davranması, PVC-GO/DK%20 hibrit kompozitinin en yüksek kristal boyut değerine ve en düşük mikro gerilme değerine sahip olmasına neden olmuştur. FTIR analiz sonuçları, hibrit kompozitlerde baskın kristal formunun aragonit olduğunu doğrulamıştır. SEM ve EDX analizleri, DK ve GO'nun PVC polimer matrisinde homojen dağılımlarını ve hibrit kompozitlerin pürüzsüz yüzey görüntülerini sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: PVC, Hibrit kompozit, Grafen oksit, Deniz kabuğu, Karakterizasyon.

Characterization of Graphene Oxide and Sea Shell Reinforced Polyvinyl Chloride Hybrid Composites

Abstract

In this study, it was aimed to produce polyvinyl chloride (PVC) hybrid composites in order to utility from the excellent properties of graphene oxide (GO) and to recycle sea shell and to characterize their structural properties. For this purpose, the hybrid composites containing 5, 10, 15 and 20 wt.% of milled sea shell powders (DK) and 0.1 wt.% of GO filled were fabricated by colloidal blending method. In the XRF analysis of DK, it was determined that the highest oxide content was calcium oxide (CaO) 98.53 wt.%. According to XRD analysis, hybrid composites with low DK content (5 wt.%-10 wt.%) showed similar results with interlayer distance, crystallite size and micro strain values of PVC-GO composite. XRD patterns of the hybrid composites with high DK content (15 wt.% and 20 wt.%) showed that graphene peak was not observed except calcite and aragonite phase peaks. As a result, the high DK content caused to exfoliate of graphene in the PVC matrix successfully. DK and GO acted as nucleation centers at 20 wt.% DK content and therefore PVC-GO/DK20% hybrid composite had the highest crystal size and the lowest micro-stress values. FTIR analysis results confirmed that aragonite was the dominant crystal form in the hybrid composites. SEM and EDX analyzes had presented homogeneous distributions of DK and GO in PVC polymer matrix and smooth surface images of hybrid composites.

Keywords: PVC, Hybrid composite, Graphene oxide, Sea shell, Characterization.

* Sorumlu Yazar: meryem.goktas@bilecik.edu.tr

1. Giriş

Hibrit kompozit malzemeler; malzeme bilimi teknolojisinin tüm alanlarında, üretim teknikleri ve teorik araştırmalarda büyük ilgi görmektedir. Takviye ve dolgu malzemelerinin ilavesi ile üretilen polimer matrisli hibrit kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir [1].

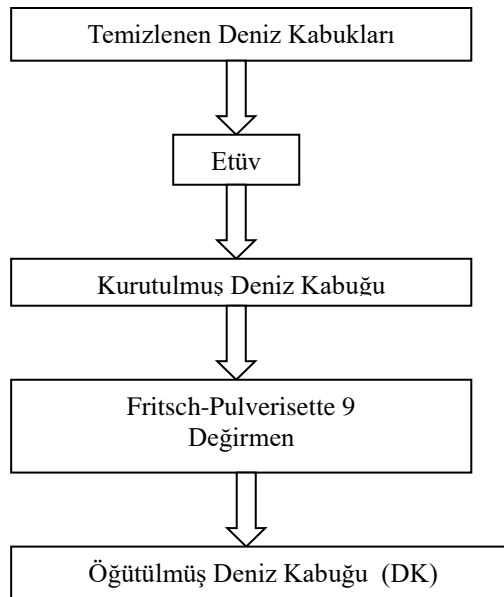
Polivinil klorür (PVC) matrisli hibrit kompozitler, dikkat çeken hibrit biyokompozit malzemeler arasındadır [2-4]. PVC hibrit kompozitlerini üretmek için buğday kabuğu, buğday samanı, pirinç kabuğu vb. [5], takviye malzemeleri olarak kullanılmıştır. Bunlar arasında pirinç lifleri potansiyel takviyelerden biri olarak kabul edilmiştir [6]. Kalsiyum karbonat (CaCO_3), düşük maliyetli inorganik bir takviye malzemesidir. Literatürde PVC matrisinde CaCO_3 'ün takviye malzemesi olarak kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada yüksek oranda CaCO_3 içeren öğütülmüş deniz kabuğu tozları (DK) takviye malzemesi olarak seçilmiştir. Deniz kabuğu %1-5 oranında çevreye ve insan sağlığına zararlı gazlar içeren organik maddelerden oluşmaktadır. Bu yüzden hem deniz kabuğunun zararlı etkilerini gidermek hem de geri dönüşümünü sağlamak için CaCO_3 kaynağı olarak bu çalışmada DK kullanılmıştır. Son yıllarda grafen ve türevlerinin, üstün özelliklerinin (termal iletkenlik, üstün mekanik ve elektronik özellikler, büyük yüzey alanı) yanı sıra ucuz bir dolgu maddesi olarak kompozit

malzemelerde kullanımı dikkat çekmektedir [7, 8]. Doğada bol miktarda bulunan grafit, Hummers yöntemi ile GO sentezinde kullanılmaktadır [8]. GO, oksitlenmiş bir grafen tabakası olup, epoksi, hidroksil, karbonil ve karboksil içeren oksijenli fonksiyonel gruplara sahiptir [9]. Grafen türevleri içerisinde özellikle GO, kolay sentezi, geniş yüzey alanı ve antibakteriyel özellikleri nedeniyle kompozit uygulamaları için yaygın olarak kullanılan bir dolgu maddesidir. Bu çalışmada ise; yüksek oranda CaCO_3 içeren DK takviye malzemesi olarak, GO ise dolgu malzemesi olarak seçilip PVC hibrit-kompozitleri koloidal karıştırma yöntemiyle üretilmiş ve yapısal özellikleri değişen ağ. % DK oranlarında incelenmiştir. Tüm hibrit kompozitlerin yapısal karakterizasyonu yalnızca GO içeren PVC/GO kompozitinin özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yöntem ve Karakterizasyon

Bu çalışmada kullanılan deniz kabuğu örnekleri Bulgaristan/Varna Karadeniz kıyısından toplanıp, yıkanmıştır. Öğütülmeden önce 36 saat boyunca 70°C 'de etüvde kurutulmuştur. Kurutulan deniz kabuğu örnekleri elekli (Fritsch, Analysette 3) Fritsch- Pulverisette 9, GmbH marka değirmen de öğütülüp elde edilen DK temiz bir kaptaki saklanmıştır. Deniz kabuklarından DK eldesi için izlenen yol ise Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. DK Eldesi.

GO, Hummers yöntemi ile grafit tozundan sentezlenmiştir [9]. Grafit (1 g) 69 mL H_2SO_4 ile muamele edilmiş ve karışım bir buz banyosunda yaklaşık 30 dakika karıştırılmıştır. Grafitin çözelti içinde homojen dağılmasından sonra çözeltiye KMnO_4 (8 g) yavaş yavaş ilave edilmiş ve elde edilen karışım 15 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra karışım buz banyosundan çıkarılmış ve bir gece boyunca 35°C 'de karıştırılmıştır. Daha sonra karışıma yavaşça 70 mL saf su ilave edilerek çözelti 2 saat kuvvetli karıştırılmıştır. 12 mL % 30 H_2O_2 ilave edildikten sonra karışımın rengi altın sarısına dönüşmüştür. Karışım birkaç kez %3'lük HCl ve DI su ile yıkanarak süzümüştür ve 65°C 'de etüvde 12 saat süreyle kurutulmuştur.

DK takviyeli PVC-GO hibrit kompozitleri koloidal karıştırma yöntemi ile hazırlanmıştır. 10 g PVC $60-70^\circ\text{C}$ 'de tetrahidrofur (THF) içerisinde çözülmüştür. Ağ. %0,1 GO içeren hibrit kompozitleri hazırlamak için ayrı bir kaptaki 25 ml THF içerisinde GO sonike edilmiştir. Daha sonra ayrı ayrı THF içerisinde PVC çözeltisi ve dağıtılan GO kolloid çözeltisi birbirleri ile karıştırılmıştır. Farklı ağ. % DK tozları PVC-GO karışımına ilave edilip, önce ultrasonik banyoda 30 dakika bekletilip, daha sonra manyetik karıştırıcıda 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Tüm karışım, THF buharlaşana kadar manyetik karıştırıcıda karıştırılmaya devam edilmiştir. Homojen hibrit-kompozit karışımlar, cam petri kabına dökülüp, hibrit-kompozitlerin elde edilmesi için etüv de $60-70^\circ\text{C}$ 'de

kurutulmuştur. Tüm hibrit kompozitlerin karşılaştırıldığı PVC/GO kompoziti de yukarıda izah edilen koloidal karıştırma

yöntemi ile üretilmiştir. Hazırlanan GO dolgu ve DK takviye ağ oranları ve hibrit-kompozit kodları Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo1. GO Dolgu ve DK Takviye Ağ. Oranları ve Hibrit-Kompozit Kodları

Hibrit-kompozit kodları	GO içeriği (Ağ. %)	DK içeriği (Ağ. %)
PVC-GO	0,1	-
PVC-GO/ DK%5	0,1	5,0
PVC-GO/ DK%10	0,1	10,0
PVC-GO/ DK%15	0,1	15,0
PVC-GO/DK%20	0,1	20,0

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

DK kimyasal bileşimi, X-ışını floresans spektroskopisi (XRF) (Panalitik-Axios) ile belirlenmiştir. Üretilen hibrit-kompozitlerin kristal yapısı ve PVC matrisinde dolgu ve takviye malzemelerinin dağılımları X-ışını difraksiyonu (XRD) ile analiz edilmiştir. Tüm XRD analizleri, $2\theta = 5-55^\circ$ aralığında Cu $K\alpha$ lı bir PAN analitik marka difraktometre kullanılarak elde edilmiştir. Hibrit-kompozitlerin yapısında bulunan dolgu ve takviye malzemelerinin polimer matriks ile etkileşimini belirlemek için yapılan Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizi için Spectrum 100, Perkin Elmer marka cihaz kullanılarak $4000-400\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığında analizler gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin yüzey özelliklerini gözlemek ve dolgu-takviye malzemelerinin matrikste dağılımını incelemek için Zeiss Supra 40 VP marka taramalı

taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve bu mikroskoba bağlı Enerji Dağılımlı X-ışını (EDX) hibrit-kompozitlerin elementel haritalama analizleri için kullanılmıştır.

3.1. XRF Analizi

DK örneklerinin XRF analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan DK örneklerinin XRF analizlerine bakıldığında, ağ. % 98,53 CaO ve % 0,573 P₂O₅, % 0,447 K₂O, % 0,139 MgO ve % 0,111 SiO₂ içeriğine sahip olduğu görülmüştür (Tablo 2). Geri kalan ağ. % değerleri ise diğer oksitlerin oluşturduğu saptanmıştır. Fombuena ve ark. [10] ve Moustafa ve ark. [11], deniz kabuğunun yüksek miktarda CaCO₃’ dan oluştuğunu rapor etmişlerdir. Tablo 2’de verilen XRF analiz sonuçlarında ki % CaO içeriği, CaCO₃ bazlı DK numunelerinin hibrit-kompozit uygulamaları için uygun bir takviye malzemesi olduğunu göstermiştir.

Tablo 2. DK Numunelerinin Bileşimi (% Oksit)

Oksit	Ağ. %
CaO	98,531
P ₂ O ₅	0,573
K ₂ O	0,447
MgO	0,139
SiO ₂	0,111
Cl	0,010
Fe ₂ O ₃	0,066
Al ₂ O ₃	0,049
SrO	0,043
SO ₃	0,018
NiO	0,011

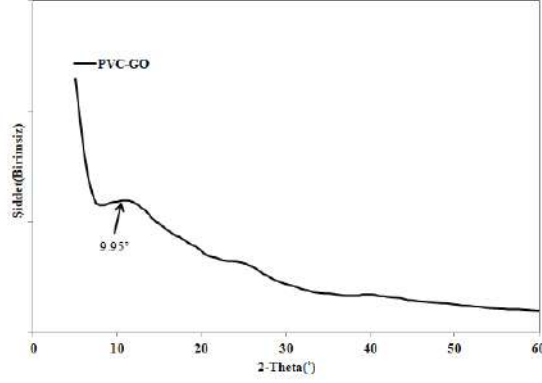
3.2. XRD Analizi

PVC-GO kompozitinin ve PVC-GO/DK hibrit kompozitlerinin kristal yapıları XRD analizi ile belirlenmiştir (Şekil 2 ve 3). Şekil 2’de PVC-GO kompoziti XRD paterninden anlaşılacağı gibi amorf bir yapı sergilemiştir. Ancak $2\theta = 9.95^\circ$ ’de GO’ya ait zayıf bir pik gözlenmiştir. Şekil 3’de hibrit kompozitlerin XRD paternlerinden elde edilen pikler DK’ nın aragonit ve kalsit fazlarını temsil etmektedirler. XRD paterninde

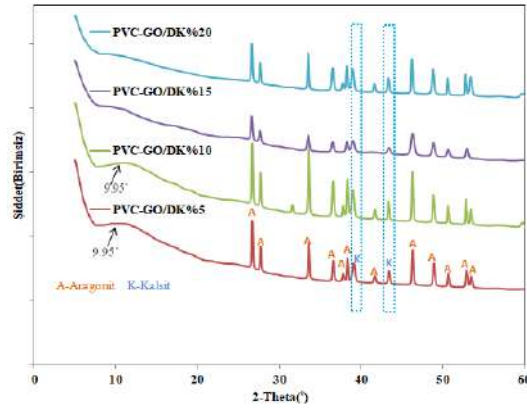
görülen en şiddetli piklerin $2\theta = 26.60^\circ$, 33.60° ve 46.31° ’deki CaCO₃’a ait aragonit yapısıyla ilişkili olduğu bilinmektedir [12-15]. Şekil 3’deki $2\theta = 26.60^\circ$, 27.78° , 33.60° , 36.60° , 37.94° , 38.38° , 41.76° , 46.31° , 48.97° , 50.79° , 53.00° , ve 53.57° ’de tepe noktaları sırasıyla DK’ nın aragonit fazına, 39.19° ve 43.45° ’deki pikler ise DK’ nın kalsit fazına karşılık gelmektedir [16-18]. Şekil 3’de görüldüğü gibi yapının büyük çoğunluğunun aragonit fazına ait olduğu belirlenmiştir. Bu fazın miktarı bu çalışma için oldukça önemlidir, çünkü aragonit CaCO₃ mineralinin diğer

polimorfları (kalsit ve vaterit) arasında en biyo-uyumlu özelliklere sahip olan faz olarak bilinmektedir [19]. Ayrıca ağ. %5 ve %10 DK ilave edilmiş hibrit-kompozitlerin XRD paterninde grafene ait $2\theta = 9.95^\circ$ 'de geniş ve zayıf karakteristik pikler görülmektedir. Ancak ağ. % 15 ve %20 DK ilave edilmiş hibrit-kompozitlerin XRD paternlerine bakıldığında kalsit ve aragonit piklerinin dışında grafene ait herhangi bir pik

gözlenmemiştir. Bu durum yüksek DK ilavelerinde, grafenin PVC matrisinde başarılı şekilde ekfoliye olduğunu göstermiştir. Bir başka deyişle; GO'nun sahip olduğu karboksil (COOH), karbonil (-C = O), epoksi (C-O-C) ve hidroksil (-OH) gibi oksijen içeren fonksiyonel gruplar, GO hidrasyonunu geliştirmiş ve polimer matrisinde ekfoliasyona sebep olmuştur [20, 21].



Şekil 2. PVC-GO Kompozitin XRD Paterni.



Şekil 3. PVC-GO/DK Hibrit-Kompozitlerin XRD Paternleri.

Farklı ağ.% DK içeriğine sahip hibrit-kompozitlerin tabakalar arası mesafe, kristal boyut ve mikro gerilme değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde tabakalar arası mesafe değerleri PVC-GO kompozit ve PVC-GO/DK hibrit-kompozitlerinde benzer sonuçlar vermiştir. Kompozitlerin kristal boyut değerleri kıyaslandığında PVC-GO, PVC-GO/DK%5, PVC-GO/DK%10 kompozitlerinin kristal boyut değerleri (Å) aynı iken, PVC-GO kompoziti ile karşılaştırıldığında, PVC-GO/DK%15 hibrit kompozitinde % 43.63 azalma, PVC-GO/DK%20 hibrit kompozitinde ise %25.85 artış görülmüştür. Bu artış ve azalma aşağıdaki Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır [22, 23].

$$H_c(\%) = 100 \times [I(\text{karışım}) - I(\text{kontrol karışımı})] / I(\text{kontrol karışımı}) \quad \text{Eşitlik (1)}$$

Burada H_c , kristal bileşiminin % artışı veya azalma değerlerini vermektedir. I (karışım) ve I (kontrol karışımı) spesifik kristal fazına uygun kontrol karışımı yoğunluklarını temsil etmektedir.

PVC-GO ve düşük içerikte DK içeren (%5-%10) hibrit kompozitlerin mikro gerilme değerleri benzer sonuçlar vermiştir. PVC-GO/DK%15 hibrit-kompoziti en düşük, PVC-GO/DK%20 hibrit kompoziti ise en yüksek mikro gerilme değerine sahip olmuştur. Tüm bu sonuçlar düşük miktarda DK ilavesinin yapıda önemli bir değişim yaratmadığını, yüksek DK ilavesinin ise hem GO'nun dağılımında hem de yapının kristal boyut ve mikro gerilme değerlerinde etkili olduğunu göstermiştir. En düşük kristal boyut değerine sahip olan PVC-GO/DK%15 hibrit kompozitinde %15 DK ilavesinin polimer zincirlerini bağlayarak zincir düzeninde bir bozulma etkisi yaratarak mikro gerilme değerlerinde de artışa neden olmuştur. %20 DK içeriğinde, DK ve GO, çekirdeklenme merkezleri olarak davrandığı düşünüldüğünden, PVC-GO/DK%20 hibrit kompoziti en yüksek kristal boyut değerine ve en düşük mikro gerilme değerine sahip olmuştur. Amangah ve ark.[24] yapmış oldukları çalışmalarda benzer sonuçlar bulmuşlardır. Grafen/polisülfid polimer nanokompozitlerin özellikleri üzerine grafen nanoplatelets etkisini araştırdıkları çalışmada XRD analizi ile nanokompozitlerin kristallığı üzerine dolgu maddesinin etkisi incelenmiştir. Elde edilen nanokompozitlerin kristal boyut değerinin, ağ. % 0,7'ye kadar grafen ilavesinde arttığı sonucuna

varılmıştır. Bununla birlikte, daha fazla GO ilavesinde nanoplateletlerin polimer matriksin yüzeyine bağlanmasının

yanında, kristalleşme işlemi sırasında zincir yapısında yeniden yapılanmaya neden olduğu sonucuna varılmıştır [24].

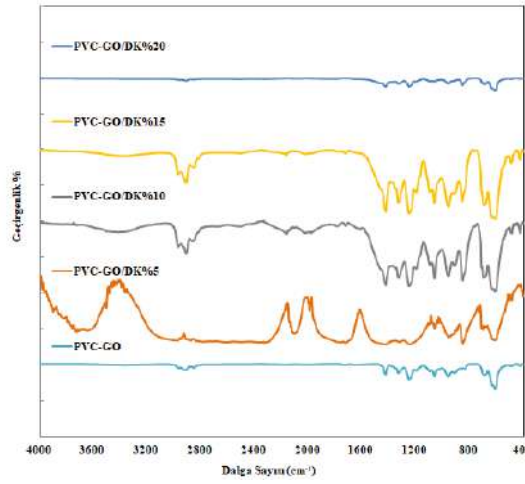
Tablo 3. PVC-GO Kompozit ve PVC-GO/DK Hibrit-Kompozitlerin $2\theta^\circ = \sim 33.55^\circ$ 'de Hesaplanan Ortalama Tabakalar Arası Mesafe (Å), Kristal Boyut (Å) ve Mikro Gerilme (%) Değerleri

Hibrit-Kompozit Kodları	Tabakalar Arası Mesafe (Å)	Kristal Boyut (Å)	Mikro Gerilme (%)
PVC-GO	2,67019	669,3700	0,199870
PVC-GO/ DK%5	2,67019	669,3838	0,199452
PVC-GO/ DK%10	2,67047	669,3777	0,199474
PVC-GO/ DK%15	2,67515	377,3495	0,354465
PVC-GO/DK%20	2,67486	842,4129	0,158762

3.2. FTIR Analizi

PVC-GO kompozitinin ve PVC-GO/DK hibrit kompozitlerinin FTIR spektrumları Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'de PVC-GO kompozitler için 2911-2859, 1426, 1252, 956 ve 834 cm^{-1} 'deki dalga sayısına sahip pikler sırasıyla C – H gerilme ve titreşim, CH_2 gerilme, CH-sallanma, trans sallama CH ve C-Cl gerilme pikine atfedilmiştir [25]. Hibrit-kompozitlerin FTIR spektrumlarında, PVC-GO/DK%5 hibrit kompozitinde 3680 cm^{-1} 'deki geniş pik OH gruplarının gerilme titreşimine atfedilmiştir [26]. DK içeriği arttıkça pik şiddeti giderek azalmış %20 DK içeriğinde tamamen kaybolmuştur. Bu durum artan DK içeriğinin polimer matrisi ile etkileşimden

kaynaklanmıştır. %20 DK içeren hibrit kompozit hariç tüm hibrit-kompozitler için, karakteristik C = O (Amid) gerilme titreşim piki 1726 cm^{-1} 'de gözlenmiştir [27]. Bu sonuç en yüksek DK içeriğinin amid grubu gerilme titreşimini ciddi oranda etkilediğini göstermiştir. Tüm hibrit kompozitlerde 1425 cm^{-1} 'deki pik karbonat iyonunun asimetric gerilme titreşimini göstermiştir [28]. Ayrıca, 1097, 853 ve 698 cm^{-1} civarındaki pikler, sırasıyla simetric karbonat gerilme titreşimine, aragonitin dış ve iç düzlem bükülme titreşim piklerine karşılık gelmiştir [29, 30]. Sonuç olarak, FTIR analiziyle kalsiyum karbonatın aragonit fazının baskın olduğu anlaşılmıştır.

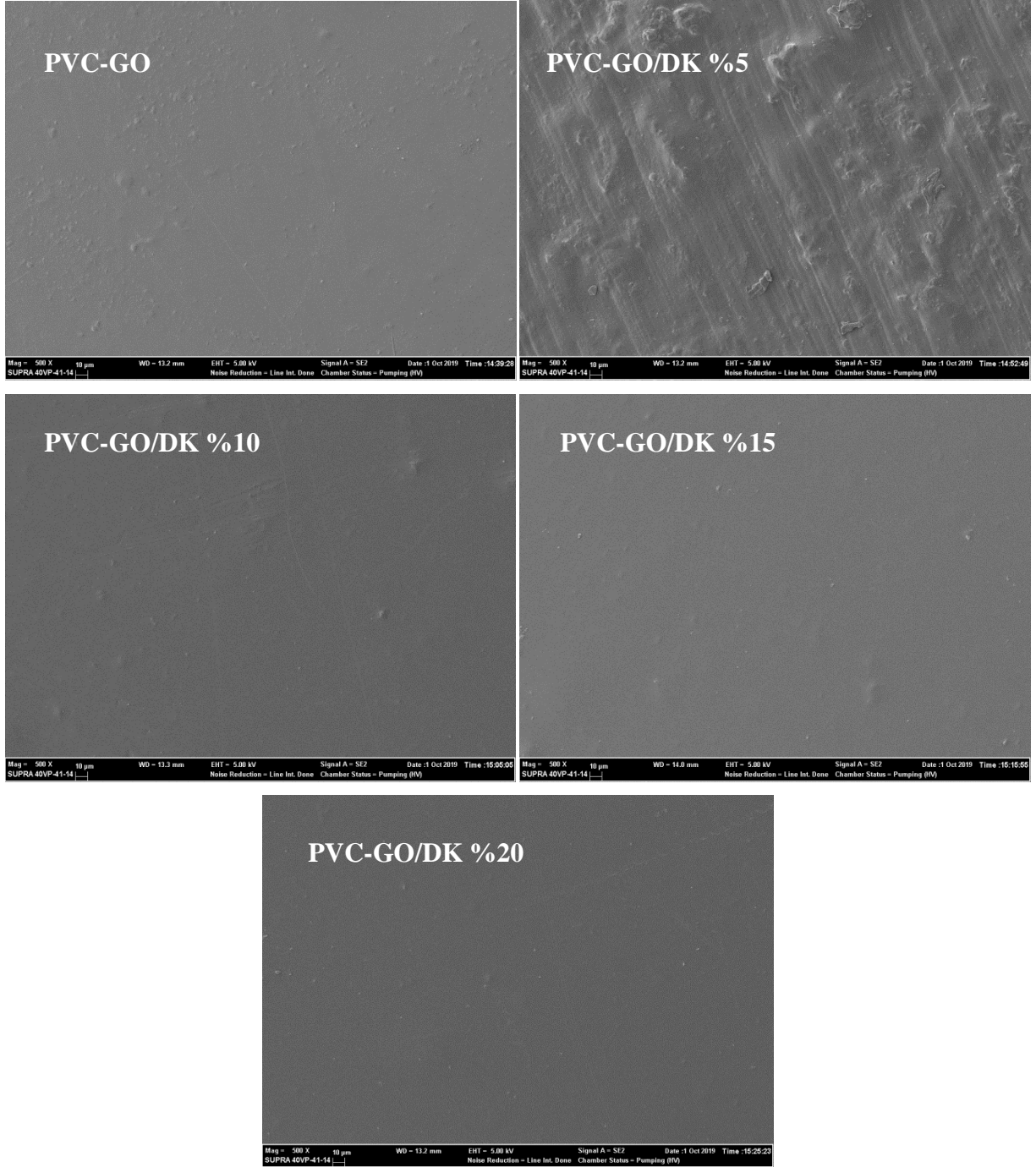


Şekil 4. PVC-GO kompoziti ve PVC-GO/DK Hibrit-Kompozitlerinin FTIR Spektrumları.

3.3. SEM ve EDX Analizi

Hazırlanan PVC-GO kompozitinin ve PVC-GO/DK hibrit-kompozitlerin SEM görüntüleri Şekil 5'te ve EDX elementel haritalama analizleri ise Şekil 6'da verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde, PVC-GO kompozitinin yüzey morfolojisinin tamamen pürüzsüz olduğu görülmektedir (Şekil 5). Daha önce PVC/GO kompoziti üzerine yapılan bir çalışmada düşük miktarda GO (ağ. % 0,1) eklenerek elde edilen PVC kompozitinin SEM görüntüsü, PVC ile GO arasında sağlanan uyum neticesinde pürüzsüz bir yüzey morfolojisini sunmuştur [25].

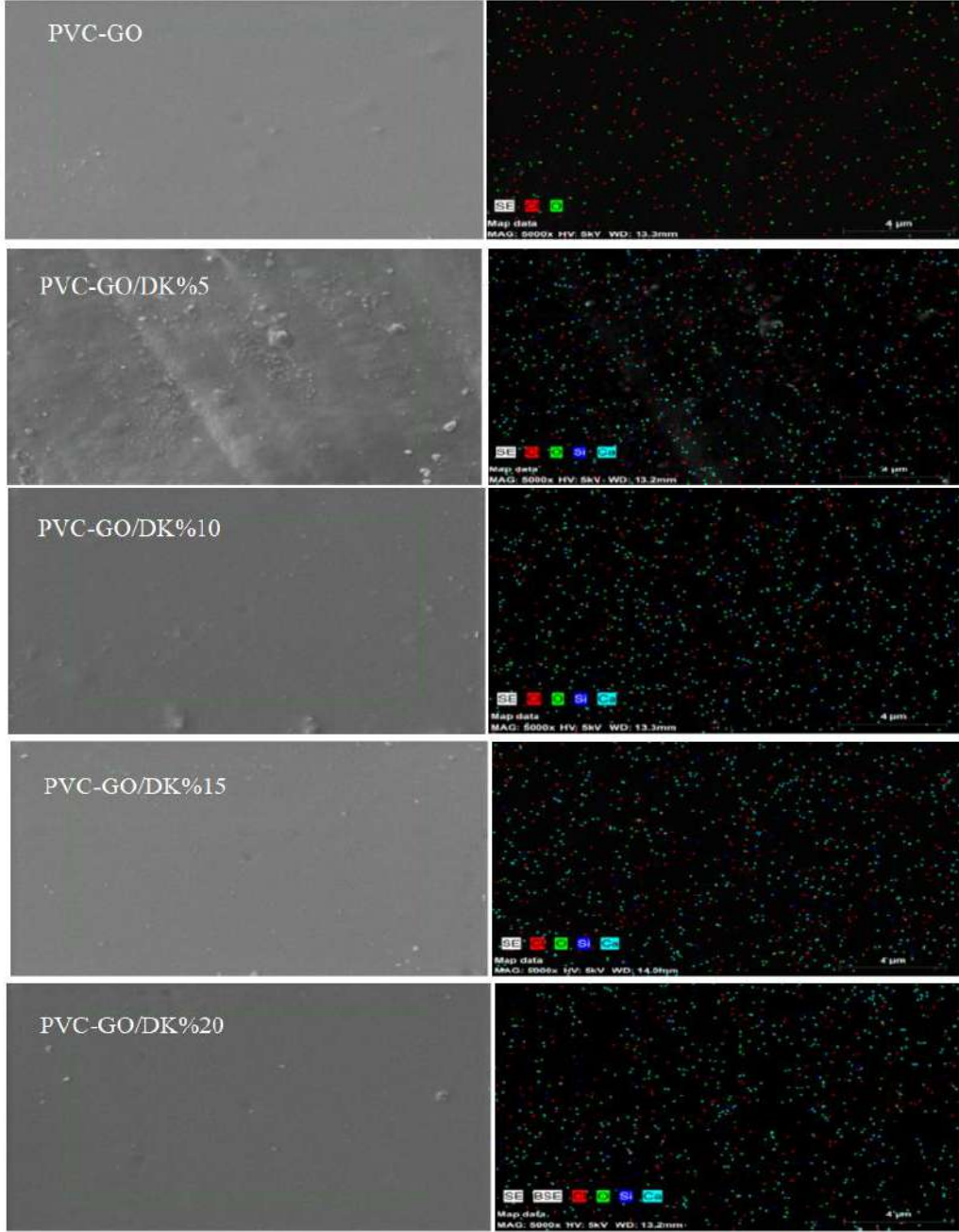
PVC-GO/DK%5 hibrit kompozitin Şekil 5'deki SEM görüntülerinden pürüzlü ve düzensiz bir yüzeye sahip olduğu, PVC-GO/DK%10 hibrit-kompozitin yüzeyinde ise çok sayıda küçük ve düzensiz DK parçacıklarının varlığı gözlemlenmiş ve bu hibrit-kompozitin yüzey dokusunun diğer kompozitlerle karşılaştırıldığında nispeten pürüzsüz olduğu görülmüştür. SEM görüntülerinden, PVC-GO/DK%15 ve PVC-GO/DK%20 hibrit-kompozitlerinin ise yüzey morfolojisinde belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu kompozitlerin, küçük parçacıklar ile heterojen yüzey morfolojisine sahip olduğu SEM görüntülerinde görülebilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. PVC-GO kompoziti ve PVC-GO/DK hibrit-kompozitlerinin SEM görüntüleri (500 X).

PVC matrisinde GO ve DK dağılımının ayrt edilmesi için EDX analizi tercih edilmiştir. Şekil 6'da EDX analizinde tüm hibrit-kompozitler için ana elementler (Cl, O, Ca ve Si) seçilmiştir. PVC-GO kompozitinin EDX sonuçlarına bakıldığında, büyük miktarda oksijen içeren fonksiyonel

gruplara sahip GO' nun belli bölgelerde toplanmadan PVC matrisinde homojen şekilde dağıldığı görülmektedir. Tüm PVC-GO/DK hibrit-kompozitlerin EDX haritalarına bakıldığında Cl, O, Ca ve Si elementlerinin dağılımının homojen olduğu görülmektedir.



Şekil 6. PVC-GO kompoziti ve PVC-GO/DK Hibrit-Kompozitlerinin EDX Elementel Haritalaması.

4. Sonuç

Bu çalışmada PVC' nin matris olarak, GO'nun dolgu ve DK'nın takviye fazı olarak seçilerek koloidal karıştırma yöntemiyle hibrit kompozit üretimi yapılmıştır. DK'nın polimer matriste değişen ağ. % değerlerinin üretilen hibrit kompozitlerin yapısal özellikleri üzerine etkisi PVC/GO kompoziti ile karşılaştırılarak incelenmiştir. XRF analiz sonuçlarından DK'nın en yüksek kimyasal bileşiminin (% oksit) CaO olduğu belirlenmiştir. XRD analiz sonuçları ise GO dolgusu ve DK takviyesinin yüksek DK içeriğinde (%15-20) polimer matriste düşük DK içeriğine göre (%5-10) daha iyi etkileşim sağlayarak dolgu ve takviye fazlarının polimer matriste daha homojen dağıldığını göstermiştir. Ayrıca hibrit-kompozitlerin tabakalar

e-ISSN: 2148-2683

arası mesafe, kristal boyut ve mikro gerilme değerlerine bakıldığında düşük miktarda DK ilavesinin (%5-10) yapıda önemli bir değişim yaratmadığı, yüksek DK ilavesinin (%15-20) ise hem GO'nun dağılımında hem de yapının kristal boyut ve mikro gerilme değerlerinde etkili olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca %20 DK içeriğinde, DK ve GO, çekirdeklenme merkezleri olarak davranıp, PVC-GO/DK%20 hibrit kompoziti en yüksek kristal boyut değerine ve en düşük mikro gerilme değerine sahip olmuştur. FTIR analiz sonuçları ise, DK örneğinde baskın kristal formunun aragonit olduğunu doğrulamıştır. Bununla birlikte SEM ve EDX analizleri, DK ve GO'nun polimer matriste homojen dağılımlarını ve pürüzsüz yüzey görüntülerini ortaya çıkarmıştır.

5. Teşekkür

Hazırlanan bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi tarafından desteklenen 2019-02.BŞEÜ.11-01 nolu Bilimsel araştırma projesinden türetilmiştir.

Kaynakça

- Kim, S., Hee Ku, S., Yoon Lim, S., Hong Kim, J. & Beum Park, C. (2011). Graphene–Biomaterial Hybrid Materials. *Adv. Mater.*, 23, 2009–2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.201100010>.
- Bagherinia, M.A., Sheydaei, M. & Giah, M. (2017). Graphene oxide as a compatibilizer for polyvinyl chloride/rice straw composites. *J Polym Eng*, 37(7),661–70. DOI: <https://doi.org/10.1515/polyeng-2016-0249>.
- Croitoru, C., Spirchez, C., Cristea, D., Lunguleasa, A., Pop, M.A., Bedo, T., Roata, I.C. & Luca, M.A. (2018). Calcium carbonate and wood reinforced hybrid PVC composites. *J Appl Polym Sci*, 135(22), 46317. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.46317>.
- Pulngern, T., Padyenchean, C., Rosarpitak, V., Prapruit, W. & Sombatsompop, N. (2011). Flexural and creep strengthening for wood/PVC composite members using flat bar strips. *Mater Des*, 32(6), 3431–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.02.005>.
- Sundstøl, F. & Owen, E. (1984). *Straw and Other Fibrous By-products as Feed*. Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam/New York, 610pp.
- Yao, F., Wu, Q., Lei, Y. & Xu Y., (2008). Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading. *Ind Crops Prod*, 28(1), 63–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.01.007>.
- Mindivan, F. & M. Göktaş (2019). Preparation of new PVC composite using green reduced graphene oxide and its effects in thermal and mechanical properties. *Polymer Bulletin*, 2019, 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00289-019-02831-x>.
- Hummers, W.S. & Offeman, R.E.(1958). Preparation of graphitic oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 80, 1339. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja01539a017>.
- Mindivan, F. (2017). Effect of various initial concentrations of CTAB on the noncovalent modified graphene oxide (MGNO) structure and thermal stability. *Materials Testing*, 59(9), 729-734. DOI:10.3139/120.111063
- Fombuena, V. , Bernardi, L. , Fenollar, O. , Boronat, T. & Balart, R. (2014). Characterization of green composites from biobased epoxy matrices and bio-fillers derived from seashell wastes. *Materials and Design*, 57, 168–174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.032>.
- Moustafa, H. Youssef, A.M. Duquesne, S. & Darwish, N.A. (2015). Characterization of Bio-Filler Derived From Seashell Wastes and its Effect on the Mechanical, Thermal, and Flame Retardant Properties of ABS Composites. *Polymer Composites*, 38, 2788–2797. DOI: <https://doi.org/10.1002/pc.23878>.
- Sonawane, S.H, Shirsath, S.R., Khanna, P.K., Pawar, S., Mahajan, C.M. Paithankar, V., Shinde, V. & Kapadnis, C.V. (2008). An innovative method for effective micro-mixing of CO₂ gas during synthesis of nano-calcite crystal using sonochemical carbonization. *Chem. Eng. J.*, 143, 308–313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.05.030>.
- Donnelly, F.C., Purcell-Milton, F., Framont, V., Cleary, O., Dunne, P.W. & Gun'ko, Y.K. (2017). Synthesis of CaCO₃ nano- and micro-particles by dry ice carbonation. *Chem. Commun.*, 53, 6657–6660. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7CC01420A>.
- Gunasekaran, S., Anbalagan, G. & Pandi S. (2006). Raman and infrared spectra of carbonates of calcite structure. *J. Raman Spectrosc.*, 37, 892–899. DOI: <https://doi.org/10.1002/jrs.1518>.
- Price, G., Mahon, M., Shannon, J. & Cooper, C. (2011). Composition of calcium carbonate polymorphs precipitated using ultrasound. *Cryst. Growth Des.*,11, 39–44. DOI: <https://doi.org/10.1021/cg901240n>.
- Ma, Y. & Feng, Q. (2011). Alginate hydrogel-mediated crystallization of calcium carbonate *J. Solid State Chem.*, 184, 1008–1015. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jssc.2011.03.008>.
- Martínez-García, C., González-Fonteboa, B., Martínez-Abella, F. & Carro-Lopez, D. (2017). Performance of mussel shell as aggregate in plain concrete. *Constr. Build. Mater.*, 139, 570–583. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.091>.
- Boronat, C., Correcher, V., Virgos, M.D., & Garcia-Guinea, J. (2017). Ionising radiation effect on the luminescence emission of inorganic and biogenic calcium carbonates. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 401, 1–7. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2017.04.035>.
- Islam, K.N., Bin Abu Bakar, M.Z., Ali, M.E, Bin Hussein, M.Z., Noordin, M.M., Loqman, M.Y. Miah, G., Wahid, H. & Hashim, U. (2013). A novel method for the synthesis of calcium carbonate (aragonite) nanoparticles from cockle shells. *Powder Technology*, 235, 70–75. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.09.041>
- Romero, A., Lavin-Lopez, M.P., Sanchez Silva, L., Valverde, J.L. & Paton-Carrero, A. (2018). Comparative study of different scalable routes to synthesize graphene oxide and reduced graphene oxide. *Materials Chemistry and Physics*, 203, 284-292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.10.013>
- Chowdhury, S. & Balasubramanian, R. (2014). Recent advances in the use of graphene-family nanoadsorbents for removal of toxic pollutants from wastewater. *Advances in Colloid and Interface Science*, 204, 35-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.12.005>
- Sharma, S. , Susan, D., Kothiyal, N.C. & Kaur, R. (2018). Graphene oxide prepared from mechanically milled graphite: effect on strength of novel fly-ash based cementitious matrix. *Constr. Build. Mater.*, 177, 10–22. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.051>.
- Lv, S., Ting, S., Liu, J., & Q., Zhou (2014). Use of graphene oxide nanosheets to regulate the microstructure of hardened cement paste to increase its strength and toughness. *Cryst. Eng. Comm.*, 16, 8508–8516. DOI: <https://doi.org/10.1039/c4ce00684d>.
- Amangah, M. , Salami-Kalajahi, M. & Roghani-Mamaqani, H. (2018). Nanoconfinement effect of graphene on thermophysical properties and crystallinity of matrix-grafted graphene/crosslinked polysulfide polymer nanocomposites. *Diamond and Related Materials*, 83, 177–183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2018.02.012>.
- Mindivan, F. (2015). The Synthesis, Thermal And Structural Characterization of Polyvinylchloride/Graphene Oxide (PVC/GO) Composites. *International Scientific Journal "Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations"*, 3, 33-36.
- Lakshmana, B., Jayaraju, N., Lakshmi Prasad, T., Sreenivasulu, G., Nagalakshmi, K., Pramod Kumar, M., & Madakka, M. (2018). Data on Molluscan Shells in parts of Nellore Coast, southeast coast of India. *Data in Brief* , 16, 705–712. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.11.081>.
- Islam, K.N., Bin Abu Bakar, M.Z., Ali, M.E., Bin Hussein, M. Z., Noordin, M.M., Loqman, M.Y., Miah, G., Wahid, H. & Hashim, U. (2013). A novel method for the synthesis of calcium carbonate (aragonite) nanoparticles from cockle shells. *Powder Technology*, 235, 70–75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.09.041>.
- Huang, J., Liu, C., Xie, L., & Zhang, R. (2018). Amorphous calcium carbonate: A precursor phase for aragonite in shell disease of the pearl oyster. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 497, 102–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.02.031>.
- Zhou, G.-T., Yao, Q.-Z., Ni, J., & Jin, G. (2009). Formation of aragonite mesocrystals and implication for biomineralization. *American Mineralogist*, 94, 293–302. DOI: <https://doi.org/10.2138/am.2009.2957>.
- Hoque, M.E., Shehryar, M. & Islam, K.N.(2013). Processing and Characterization of Cockle Shell Calcium Carbonate (CaCO₃) Bioceramic for Potential Application in Bone Tissue Engineering. *Journal of Material Sciences & Engineering*, 2, 1-5. DOI: [10.4172/2169-0022.1000132](https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000132).



Fitopatogenlere Karşı Dayanıklılıkta CRISPR/Cas Teknolojisi

Serap Demirel^{1*}, Mustafa Usta², Fatih Demirel³

^{1*} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Van, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3102-4924), serap_comart@hotmail.com

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3940-2774), mustafausta@yyu.edu.tr

³ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6846-8422), drfdemirel@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 7 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 4 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.765369)

ATIF/REFERENCE: Demirel, S., Usta, M. & Demirel, F. (2020). Fitopatogenlere Karşı Dayanıklılıkta CRISPR/Cas Teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 693-702.

Öz

Tarım ürünlerinde hem hücre içi hem hücre dışı bitki patojenleri dünya çapında ekonomik olarak önemli kayıplara neden olmaktadır. Genom düzenleme teknolojileri özellikle de CRISPR/cas sistemi, tarım ürünlerinde gerek kalite gerekse verimin iyileştirilmesi amacıyla son zamanlarda farklı alanlarda kullanılmıştır. Bakteri, arkea, faj ve yabancı plazmitlere karşı savunma sağlayan CRISPR/cas sistemi tarımsal özelliklerin araştırılması ve düzenlenmesi için eşsiz fırsatlar sunan bir araçtır. Bu derlemede hastalıklara neden olan fitopatogenlere karşı mücadelede CRISPR/cas sisteminin kullanım etkinliği irdelenmiştir. Ayrıca CRISPR/cas sistemi aracılığıyla fungus, bakteri ve virüslere karşı konukçu bitkide dayanıklılık ve duyarlılıkta rol oynayan genlerin modifikasyonlarının mevcut durumu ortaya konmuştur. Çalışmalar, CRISPR/cas sisteminin bitkilerde fitopatogenlere karşı dayanıklılık sağlamada etkili olduğunu ortaya koymuştur. Genom düzenleme alanındaki ilerlemeler ve CRISPR/cas ile transgen içermeyen bitkilerin elde edilmesi gelecekte bitki patolojisinde yeni hastalık yönetim ve mücadele stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilecektir. Ayrıca gelecekte CRISPR/cas genom düzenleme teknolojisi ile birden fazla patojene eş zamanlı olarak dayanıklı bitkilerin geliştirilmesi de mümkün olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: CRISPR, Genom Düzenleme, Fitopatogenler, Bitki Islahı, Sürdürülebilir Tarım.

CRISPR/Cas Technology in Resistance to Phytopathogens

Abstract

The intracellular and extracellular plant pathogens cause economically significant loss to agricultural products worldwide. Genome editing technologies, especially the CRISPR/cas system, have recently been used in different fields in order to improve both quality and yield in agricultural products. The CRISPR/cas system which provides defense in microorganisms against bacteria, archaea, phage and foreign plasmids is a tool that offers unique opportunities for research and regulation of agricultural properties. In this review, the effectiveness of the CRISPR/cas system in the fight against phyto-pathogens causing diseases was discussed. In addition, the current status of modifications through the CRISPR/cas system of genes that play a role in resistance and susceptibility to the host plant against fungi, bacteria and viruses was revealed. The CRISPR/cas system has been shown to be effective in providing resistance to phyto-pathogens that have destructive effects on plants. Advances in genome editing and the production of transgene-free plants with CRISPR/Cas will enable the development of new disease management and control strategies in plant pathology. In the future, it will be possible to develop resistant plants to more than one pathogen simultaneously with CRISPR/cas genome editing technology.

Keywords: CRISPR, Genome Editing, Phyto-Pathogens, Plant Breeding, Sustainable Agriculture.

* Sorumlu Yazar: serap_comart@hotmail.com

1. Giriş

Küresel popülasyonun sürekli olarak artmasından dolayı günümüz problemlerinden biri gelecek nesillerin ihtiyaç duyacağı besin kaynaklarının yetersizliğidir. Bu talebi karşılamak için 2005-2050 yılları arasında besin üretiminin %100 ile %110 arttırılması gerekmektedir (Tilman ve ark., 2011). Bitkiler yaşamları boyunca farklı abiyotik ve biyotik stres faktörlerinden etkilenmektedir (Zaidi ve ark., 2016). Bu stres faktörleri fiziksel, biyokimyasal ve moleküler düzeyde bitkileri etkileyerek çoğunlukla verim ve kalitede azalış, büyüme ve gelişmede anormallikler, bitki fizyolojisinde bozulma gibi olumsuz etkilere neden olmaktadır. Dolayısıyla bitkileri abiyotik ve biyotik stres faktörlerinden korumak ya da onları strese karşı dayanıklı kılmak sürdürülebilir tarım adına büyük önem taşımaktadır. Bitkilerin hastalıklara karşı dayanıklılığının arttırılması sürekli olarak artan insan nüfusunun besin ihtiyacını karşılamak adına önem taşımaktadır (FAO, 2017). Dayanıklı çeşitler kullanarak hastalığı kontrol etme yaklaşımı genellikle tarımda kullanışlı bir yöntemdir. Ancak çoğu bitki patojeninin yüksek evrimsel potansiyele sahip olmasından dolayı bitkilerde mevcut olan dayanıklılığın kırılması her zaman muhtemeldir. Rekombinasyon ya da mutasyon gibi farklı mekanizmalar ile ortaya çıkan yeni patojen ırkı, dayanıklı bitkilerde hastalık dayanıklılığını kırdığında, doğal seleksiyon aracılığıyla yeni genotipin frekansının artması ve hızlı bir şekilde diğer lokasyonlara yayılması nedeniyle mevcut hastalık yönetim stratejileri hızlı bir şekilde etkisiz hale gelebilmektedir (Borrelli ve ark., 2018). Bitkilerde genetik varyasyon oluşturmak, sürdürülebilir tarımın ve hastalık yönetim stratejilerinin esaslarından biridir (Griggs ve ark., 2014). Geleneksel ıslah programı bitkilere dayanıklılık sağlayan doğal ya da uyarılmış allellerin belirlenmesi ve bu allellerin farklı ıslah teknikleri ile üstün genotiplere aktarılmasına dayalıdır. Mutasyon ıslahı ve geleneksel ıslah yöntemleri patojenlere karşı dayanıklılığı arttırmak için geniş ölçüde bitkilerde uygulanmıştır. Mutasyon ıslahı ile oluşturulan birçok bitki, çeşitli hastalıklara karşı dayanıklılık göstermiştir (Miklis ve ark., 2007; Christopoulou ve ark., 2015). Geleneksel ıslah yaklaşımının etkinliği mevcut fonksiyonel çeşitliliğe bağlıdır. Bu çeşitlilik kültüre alma süresince ortaya çıkan genetik darboğaz nedeniyle sınırlı kalmaktadır (Shi ve ark., 2015). Doğal ya da rastgele uyarılma sonucunda elde edilen çeşitlilik, ıslah sürecinde sınırlayıcı faktörlerdendir ve bitki ıslahında tahmin edilemeyen sonuçlara neden olmaktadır (Watson ve ark., 2018; Scheben ve ark., 2018). Gelişen teknoloji ile birlikte birçok bitkinin genom ve transkriptom sekanslarının mevcut olması bitki ıslahında yeni bir dönem başlatmıştır (Borrelli ve ark., 2018). Biyoteknolojideki hızlı gelişmeler bitki ıslahına farklı bir boyut kazandırmıştır. Genom düzenleme tekniği son zamanlarda bitki ıslahında popüler olan biyoteknolojik yaklaşımlardan biridir. Genom düzenleme, dizi spesifik nükleazların kullanılarak herhangi bir organizmanın genomunda istenilen DNA dizisinde çıkarma, ekleme ya da parça değişimi şeklinde değişimler meydana getirme olayıdır (Dunn ve Pinkert, 2014). Genom düzenleme, genomik lokusta tam, etkili ve hedef modifikasyonlara imkan sağlayan ileri moleküler biyoloji tekniklerini içeren bir uygulama alanıdır (Gao ve ark., 2015). Genom düzenleme teknolojisinin bitki ıslahında kullanımı ile çaprazlama ve rekombinasyondan kaynaklanacak potansiyel zararlı allel oluşumundan kaçınılmakta ve doğrudan genotiplerin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır (Zhang ve ark., 2014).

Geleneksel ıslahta genetik çeşitlilik sağlamak için kullanılan tekniklerden biri de gamma ışını aracılığıyla DNA'da çift iplik

kırığının (DNA double-strand break=DSB) oluşturulmasıdır. Bu çift iplik kırığının onarımı DNA hasar onarım mekanizmaları ile gerçekleştirilmektedir (Puchta, 2005). Bu mekanizmanın gerçekleşmesi esnasında delesyon ve insersiyon gibi mutasyonlar ıslah popülasyonunda önceden var olmayan yeni allellerin oluşumuna neden olmaktadır. Bu yeni alleller bitkilerin iyileştirilmesi için bitki ıslahı ile üstün genotiplere aktarılabilir (Pacher ve Puchta, 2016). Transgenik yaklaşımlar ile akraba olmayan türlerden dahi arzu edilen özelliklerin üstün genotiplere aktarılması mümkün olmuştur. Ancak hem geleneksel mutasyon ıslahı hem de transgenik yaklaşımlar çoğunlukla rastgele DNA dizisinde mutasyon ve gen insersiyonuna neden olmaktadır. Ayrıca bu teknikler ile arzu edilen bir modifikasyondan çok daha fazlası oluşabilmektedir (Herrera-Estrella ve ark., 1983; Klein ve ark., 1988). Dizi spesifik nükleazların yönlendirilmiş mutasyonda kullanılabilmesinin keşfinden sonra araştırmacılar bu nükleazlar ile genom düzenleme çalışmalarını üzerine odaklanmıştır (Puchta ve ark., 1993; Salomon ve ark., 1998; Puchta ve ark., 1996). Dizi spesifik nükleazların kullanımıyla genom düzenleme, prensip olarak hedef DNA dizisinde çift iplik kırıkları (double-stranded breaks = DSBs) oluşturmak ve hücre tamir mekanizmalarıyla bu kırıkların onarılması esasına dayanmaktadır. İki farklı DSB onarım yolu tanımlanmıştır; homolog olmayan uç birleştirme (Non-Homolog End Joining-NEHJ) ve yönlendirilmiş homolog rekombinasyon (Homolog-Directed Recombination-HDR). NEHJ tamir mekanizması hataya meyilli onarım mekanizması olup çift iplik kırıkları onarılırken DNA dizisinde delesyon ve insersiyon meydana gelme olasılığı yüksektir. HDR ile DNA çift iplik onarım mekanizması donör bir DNA parçasının var olma durumunda gerçekleşmekte ve burada onarım sonrasında parça değişimi söz konusudur (Puchta, 2005) (Şekil 1). Gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkan bir diğer genom düzenleme tekniği CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats: düzenli aralıklar ile bölünmüş palindromik tekrar kümeleri) yöntemidir. CRISPR tekniği kolay dizayn edilebilir ve uygulanabilir olmasının yanında daha yüksek başarı oranına sahip olması ve daha ucuz maliyet gereksiniminden dolayı diğer genom düzenleme tekniklerine oranla daha popüler bir tekniktir. Bu derlemede CRISPR genom düzenleme teknolojisinin model ve önemli tarım bitkilerinde özellikle fungus, bakteri ve virüs gibi bitki patojenlerine karşı dayanıklılık sağlamak amacıyla kullanımı irdelenmiştir.

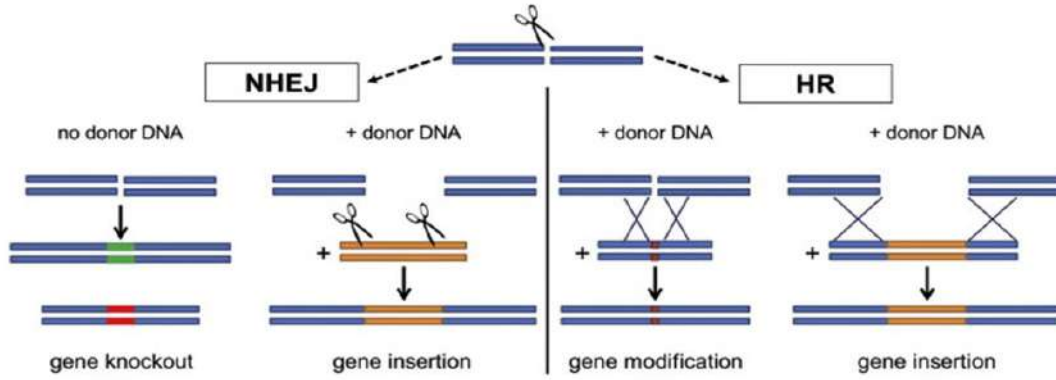
2. CRISPR/Cas

Prokaryotik genomda yaygın olarak bulunan CRISPR DNA bölgesi; farklı cas proteinlerini kodlayan cas genleri, transkripsiyonun başlaması için gerekli olan öncü dizi (leading sequence), tekrar dizileri ve tekrar dizilerinin arasında yer alan "spacer" adı verilen dizilerden oluşmaktadır (Karimi ve ark., 2018). CRISPR dizileri ilk kez Ishino ve ark. (1987) tarafından, *E. coli*'de egzotik tekrar dizileri olarak keşfedilmiş ve o dönemde bu dizilerin ne işe yaradığı merak konusu olmuştur. Jansen ve ark. (2002), bu dizileri düzenli aralıklar ile bölünmüş palindromik tekrar kümeleri anlamında CRISPR akronimi ile ifade etmişlerdir. Mojica ve ark. (2005) tarafından tekrar dizileri arasında yer alan "spacer" adı verilen dizilerin, yabancı bir genomdan köken aldığı ortaya çıkarılmıştır. Barrangou ve ark. (2007), CRISPR/cas sisteminin prokaryotlarda virüslere karşı savunmada rol oynadığını ve bu sistem sayesinde bakterinin, immün sistemine benzer bir tarzda bakteriyofaj gibi yabancı organizmanın genomik saldırılarından kendini koruduğunu deneysel olarak kanıtlamıştır. Bakterilerde CRISPR savunma sisteminin 3 ana aşaması

bulunmaktadır. Bunlar; adaptasyon, ekspresyon ve saldırganın tanınıp yok edilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Adaptasyon, bakteri hücre içerisine giren viral nükleik asit dizisinin bakteri genomunda yer alan CRISPR adı verilen DNA bölgesine yerleştirilmesi aşamasıdır. Ekspresyon aşaması, CRISPR lokusunun transkripsiyonu sonucunda öncül bir crRNA oluşturulması ve bu crRNA'ların cas proteinleri aracılığıyla işlenerek olgun bir crRNA molekülü oluşturulması süreçlerini kapsamaktadır. Savunmanın son aşaması saldırganın tanınıp yok edilmesi aşamasıdır. Bu aşamada crRNA molekülleri ve cas proteinleri kullanılarak yabancı genomik dizinin kesilerek parçalanması sağlanır (Horvath ve Barrangou, 2010).

Jinek ve ark. (2012) tarafından genom mühendisliği aracılığıyla oluşturulan Cas9'un genom düzenlemede kullanılabileceğinin keşfi ile birlikte 2013 yılında CRISPR/cas teknolojisi ile genom düzenleme çalışmaları hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. Genom mühendisliği ile oluşturulan bu nükleazlar RNA-guided engineered nucleases (RGENs) olarak isimlendirilmektedir. RGEN'ler iki bileşenden oluşan, tam bir

genetik modifikasyon sağlayan sekans spesifik programlanabilir nükleazlardır (Kim ve Kim, 2014). Cas9 nükleaz ve single guide RNA (sgRNA) RGEN'lerin temel bileşenidir. sgRNA tamamlayıcı hedef diziyeye, cas9 nükleazı yönlendiren 5' uçta 20 nükleotide sahip bir RNA molekülüdür. gRNA'nın ilk 20 nükleotiti değiştirilerek, herhangi bir N20-NGG şeklindeki DNA sekansı genom düzenleme için hedef olarak seçilebilir (Sander ve Jaung, 2014). 2013'ün başlarında insan genomunda genom düzenleme amacıyla CRISPR/cas teknolojisi uygulanırken, 2013 ortalarında CRISPR/cas tekniği tek bir adımda tek bir nesilde birden fazla fare geninin düzenlenmesi amacıyla kullanılmıştır (Wang ve ark., 2013). Son zamanlarda bu teknoloji biyomedikal, biyoteknoloji, kanser immunoterapi, aşı gelişiimi, gen terapisi ve biyo-yakıt endüstrisi gibi birçok alanda uygulanmıştır (Dai ve ark., 2016; Lau, 2018; Javed ve ark., 2018; Bayat ve ark., 2018). Ayrıca tarım alanında kullanılan pirinç, sorgum, buğday, mısır gibi birçok bitkinin genomları farklı amaçlar doğrultusunda CRISPR/cas teknolojisi ile düzenlenmiştir (Jiang ve ark., 2013; Wang ve ark., 2014; Svitashv ve ark., 2015; Osakabe ve ark., 2016).



Şekil 1. Dizi spesifik nükleazlar ile genom düzenleme; çift iplik kırıkları NHEJ ya da HR aracılığıyla onarılır. Onarım sonrasında ilgili genin inaktivasyonu, modifikasyonu ya da yeni bir genin insersiyonu gibi olaylar gerçekleşebilmektedir (Bortesi ve Fischer, 2015)

Genom düzenleme teknolojilerinden biri olan CRISPR/cas sistemi son zamanlarda bitkilerde çeşitli patojenlerin neden olduğu hastalıklara karşı dayanıklılık sağlamak amacıyla kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 1).

2.1. CRISPR/Cas Teknolojisinin Antifungal Aktivitesi

Fitopatogenik funguslar tarımın başlangıcından beri bitkileri tehdit eden ajanlardan biri olmuşlar ve bitkilerde kolonize olabilmek için çeşitli stratejiler geliştirmişlerdir. Bitki-fungus interaksyonu, faydalı bir interaksyondan konakçı bitkinin ölümüne kadar değişebilen yelpazedeki koşulları kapsamaktadır. Fungus infeksiyonları bitkilerde solgunluk, çürüklük, nekroz, ur, yapraklarda kloroz ve leke gibi farklı hastalık belirtilerine ek olarak bitki ölümüne kadar varan sonuçlara neden olmaktadır. Fungal patojenler, yüksek genetik çeşitliğe sahiptir. Böylece patojenin yeni konukçu bitkilere hızlı bir şekilde yayılmasına, fungusite karşı dayanıklılık geliştirmesine ve bitki direnç geni (R geni) aracılığıyla sağlanan dayanıklılığın kırılmasına neden olmaktadır (Doehlemaann ve ark., 2017). Dolayısıyla fitopatogen funguslar ile mücadelede yeni stratejilerin geliştirilmesi gerekliliği araştırmacıların sürekli odak noktası haline gelmiştir. Günümüzde CRISPR/cas genom düzenleme teknolojisi sayesinde konukçu bitkide bulunan R ve duyarlılık genleri (S genleri) hedef alınarak funguslara karşı dayanıklılık için yeni stratejiler geliştirme çabaları popüler hale gelmiştir (Borrelli ve ark., 2018).

Funguslar tarafından çoğu bitkide görülen külleme hastalığı, yüksek derecede ekonomik kayıba neden olan, özellikle buğday başta olmak üzere birçok tarla bitkisinde tahrip edici bir fungal hastalıktır (Ateş Sönmezoglu ve ark., 2019). Örneğin, *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (*Bgt*) buğdayda külleme neden olarak ürün ve verim kaybına sebep olmaktadır. İslah aracılığıyla dayanıklı bitkiler yetiştirme, külleme ile mücadelede etkili, ekonomik ve çevre dostu bir yaklaşımdır. Dayanıklılık genleri üstün genotiplere melezleme yolu ile aktarılmaktadır. Ancak bitkide dayanıklılık genlerinin çoğu, irka spesifik olduğundan dolayı yeni ırkların ortaya çıkması külleme ile mücadeleyi zorlaştırmaktadır. Bitkilerde bulunan MLO (Mildew Locus O) genleri külleme karşı duyarlılık sağlamakta ve bu genlerde fonksiyon kaybının olması durumunda bitkiler geniş spektrumda fungal patojenlere dayanıklı hale gelmektedir (Piffanelli ve ark., 2004; Consonni ve ark., 2006). Arpa MLO mutantlarının keşfedilmesi, külleme dayanıklı bitkiler elde edilmesi için bitki ıslahında önemli adımlardan biri olmuştur (Lyngkjær ve ark., 2000). Wang ve ark. (2014), allo-hekzaploid ekmeklik buğdayda TALEN ve CRISPR teknolojilerini birlikte kullanarak külleme neden olan *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (*Bgt*)'ye karşı dayanıklılık sağlamışlardır. TALEN ve CRISPR teknolojisi ile TaMLO geninin bütün kopyaları eş zamanlı mutasyona uğratıldığında külleme karşı dayanıklı buğday bitkileri elde edilmiştir. Bu sonuçlar CRISPR teknolojisinin, farklı ploidi gösteren bitkilerde dahi genom düzenleme için uygun bir araç olduğunu göstermiştir. *Oidium*

neolycopersici domateste külemeye neden olan obligat biyotrof bir fungus türüdür ve domatesin yaprak yüzeyinde beyaz lezyonlara neden olmaktadır. Fungusun şiddetli enfeksiyonlarında yaprak klorozu, meyvede olgunlaşmadan dökülme, meyve boyutu ve kalitesinde azalma görülmektedir. Domateste tanımlanan 16 *Mlo* geni ve bu genler arasından *SIMlo1* geninin külemeye karşı duyarlılıkta önemli rol oynadığı belirlenmiştir (Zheng ve ark., 2016). CRISPR/cas9 teknolojisi ile iki sgRNA kullanılarak *SIMlo1* geni üzerinde iki farklı nokta hedef seçilerek 48 bp (baz çifti)'lik bir delesyon oluşturulmuştur. Yeni varyeteler "Tomelo" olarak adlandırılmış ve bu çeşidin *Oidium neolycopersici*'ye karşı dayanıklı olduğu gösterilmiştir (Nekrasov ve ark., 2017). Ayrıca CRISPR/cas teknolojisi *Erysiphe necator* (Malnoy ve ark., 2016), *Botrytis cinerea* (Wang ve ark., 2018a), *Blumeria graminis f. sp. tritici* (*Bgt*) (Zhang ve ark., 2017) ve *Magnaporthe oryzae* (Wang ve ark., 2016) gibi patojen funguslara karşı dirençli bitkiler elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Son zamanlarda CRISPR teknolojisinin biyolojik mücadelede kullanım potansiyeli olan antagonist ya da non-virulent ırk olan fungusların geliştirilmesine de olanak sağladığı gösterilmiştir (Vicente Muñoz ve ark., 2017; Wang ve ark., 2018b; Vicente Muñoz ve ark., 2019).

2.2. CRISPR/Cas Teknolojisinin Antibakteriyel Kullanım Alanları

Bitki patojeni bakterilerin çoğunluğu çubuk şeklinde olmakla birlikte Streptomyces genusuna ait olanlar iplikli formdadır. Bitki patojeni bakteriler parazit gibi konukçu bitki üzerinde gelişebilen heterotropik organizmalardır. Bu bakteriler bitki dokusundan doğrudan giriş yapamazlar ve enfeksiyon stoma, hidatod gibi doğal açıklıklar veya yaralar aracılığıyla meydana gelmektedir. Enfeksiyon sonrası bitkide nekroz, yanık, kanser, solgunluk, tümör gibi temel semptomlar gelişmektedir (Sobiczewski, 2008). Bakteri hastalıklarına karşı mücadelede bazı antibakteriyel bileşiklerin ve antimikrobiyal peptidlerin kullanımının yanı sıra biyolojik mücadele, kültürel önlemler gibi yöntemler uygulanmaktadır. Ayrıca belirli kimyasallar ile bitkilerde sistemik kazanılmış dayanıklılık (SAR) sisteminin uyarımı bakteriyel kanser hastalığı, bakteriyel solgunluk ve ateş yanıklığı gibi patho-sistemlerde hastalığın önlenmesinde büyük başarı sağlamıştır (Maxson-Stein ve ark., 2002; Pradhanang ve ark., 2005; Sen ve ark., 2015). SAR sisteminden başka, bitkide bulunan diğer bir uyarılmış dayanıklılık sistemi olan ISR'nin uyarılmasıyla da *P. syringae*, *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, *R. solanacearum* gibi farklı bakteriyel patojenlere karşı dayanıklılık sağlanmıştır (Klopper ve ark., 2004).

Son yıllarda bitki ve patojenik bakteri arasındaki etkileşimde rol oynayan birçok bileşik ortaya konmuştur. Bitki ve patojen bakterilerden elde edilen genomik ve transkriptomik veriler ile birlikte yeni nesil sekanslama teknolojisinin gelişmesi, bitkiler tarafından harekete geçirilen savunma sistemi ve bakteriyel patojenlerin enfeksiyon için bitkinin immün sistemini nasıl bertaraf ettiği ile ilgili bilgilerimiz her geçen gün artmaktadır (Jones ve Dangl, 2006). Önemli tarım bitkilerinde R genlerinin tanımlanması ve üstün genotiplere bu genlerin aktarılması fitobakterilerin geniş bir grubunda hastalık yönetim stratejilerine pozitif bir ivme kazandırmıştır. Ancak bakteriler tarafından oluşturulan efektörlerdeki mutasyonel modifikasyonlar sonucu yeni patojen ırklarının oluşması dayanıklılığın kırılmasına neden

olduğundan, R genleri ile sağlanan dayanıklılık sabit kalmamaktadır. Bakterilere karşı bitkilerde direnç sağlamak amacıyla yürütülen ıslah çalışmalarında yeni çeşitlere ve üstün genotiplere R gen gruplarının aktarılması bitki ıslahında yaygın bir strateji haline gelmiştir (Leach ve ark., 2001). Son zamanlarda CRISPR/cas gibi gelişen genom düzenleme teknolojileri bakteri hastalıklarına karşı mücadelede yeni bir çığır açmış ve bu teknolojinin bitkilerde bakterilere karşı dayanıklılık sağlamak amacıyla uygulandığı farklı çalışmalar yürütülmüştür. OsSWEET13 geni bitki patojen interaksyonunda yer alan sukroz taşıyıcı proteini kodlayan bir duyarlılık genidir. *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* konukçu bitkide OsSWEET13 geninin ifadesini uyarıcı PthXo2 adı verilen efektör bir protein üretir ve bu protein ile OsSWEET13 geninin ifadesi sonucu konukçuda duyarlılık gelişmektedir (Li ve ark., 2012). OsSWEET13 geni bakımından CRISPR/cas9 ile elde edilen null mutantların bakteriyel yanıklığa karşı dayanıklı olduğu ve PthXo2'nin hastalığa duyarlılıkta önemli rol oynadığı gösterilmiştir (Zhou ve ark., 2015). *Erwinia amylovora*, *Rosaceae* familyası içerisindeki konukçu türleri etkileyen tahrip edici bitki hastalıklarından olan ateş yanıklığına neden olan bir bakteridir. Ayrıca *Erwinia amylovora* elma, armut ve ayva bitkilerinin yanı sıra hem ticari hem de süs bitkisi olan bitkileri de küresel olarak tehdit etmektedir (Piqué ve ark., 2015). Genetik mühendisliği aracılığıyla ateş yanıklığına dayanıklılığı arttıran birçok aday gen belirlenmiş olmasına rağmen, genetiği değiştirilmiş organizmalar ile ilgili sosyal ve düzenleyici engellerden dolayı *Erwinia amylovora* 'ya dayanıklı bir çeşit ticari olarak mevcut değildir (Singh ve ark., 2006). Ateş yanıklığına karşı dayanıklılık sağlamak amacıyla CRISPR sistemi kullanılarak ticari bir elma çeşidi olan Golden delicious'un protoplastına cas9 ve farklı sgRNA'lar PEG aracılığıyla aktararak DIPM-1, DIPM-2, ve DIPM-4 genlerinde mutasyon oluşturulmuştur. Böylece transgen içermeyen mutant bitkiler elde edilebilme potansiyeli, CRISPR/cas sistemi ile genomu düzenlenen bitkilerin genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO)'nın düzenlemelerinden geçebileceğini göstermiştir (Malnoy ve ark., 2016). *Pseudomonas syringae pv. tomato (Pto)* domates benek hastalığına neden olan bir bakteri türüdür. *Pseudomonas syringae pv. tomato (Pto)* coronatine (COR) adı verilen bir bileşik üreterek stomal açıklığa olanak sağlayarak bakterilerin yaprakta kolonizasyonuna imkan sağlamaktadır. Coronatine biyoaktif jasmonik asiti (JA) taklit eden bir bileşiktir (Fonseca ve ark., 2009). COR JA yolağını teşvik ederek salisilik asit (SA) bağımlı savunma sistemini baskılamaktadır (Zheng ve ark., 2012). Patojen Pto DC3000'in neden olduğu bakteriyel benek hastalığına karşı dayanıklılığı arttırmak adına SIJAZ2Δjas geninde delesyon oluşturmak için domates bitkisinde CRISPR/cas9 genom düzenleme teknolojisi kullanılmıştır. CRISPR/cas9 ile oluşturulan SIJAZ2Δjas geni bakımından mutant domateslerin yabancı tipler ile karşılaştırıldığında domates benek hastalığına karşı dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu mutant domateslerin *Botrytis cinerea*'ya karşı da dayanıklı olduğu rapor edilmiştir (Ortigosa ve ark., 2019). *Xanthomonas citri subsp. citri (Xcc)* (Jia ve ark., 2016), *P. syringae*, *X. gardneri*, *X. perforans* (de Toledo Thomazella ve ark., 2016) gibi patojen bakterilere karşı turuncu ve domateste dayanıklılık sağlamada CRISPR/cas genom düzenleme teknolojinin başarılı olduğu gösterilmiştir.

Tablo 1. CRISPR/Cas Sisteminin Bitki Patojenlerine Dayanıklılık Sağlamada Kullanımı

Bitki türü	Patojen	Gen editör/ nükleaz	Hedef gen	Litratur
Buğday	<i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	TALEN ve CRISPR/cas9	<i>TaMLO-A1</i> , <i>TaMLO-B1</i> ve <i>TaMLO-D1</i>	Wang ve ark., 2014
Domates	<i>Oidium neolycopersici</i>	CRISPR/cas9	<i>SIMlo1</i>	Nekrasov ve ark., 2017
Asma	<i>Erysiphe necator</i>	CRISPR/cas9	<i>VvMLO7</i>	Malnoy ve ark., 2016
Buğday	<i>Erysiphe cichoracearum</i>	CRISPR/cas9	<i>TaEDR1</i>	Zhang ve ark., 2017
Asma	<i>Botrytis cinerea</i>	CRISPR/cas9	<i>VvWRKY52</i>	Wang ve ark., 2018b
Pirinç	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>	CRISPR/cas9	<i>OsSWEET13</i>	Zhou ve ark., 2015
Elma	<i>Erwinia amylovora</i>	CRISPR/cas9	<i>DIPM-1</i> , <i>DIPM-2</i> ve <i>DIPM-4</i>	Malnoy ve ark., 2016
Domates	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	CRISPR/cas9	<i>SLJAZ2Δjas</i>	Ortigosa ve ark., 2019
Turunçgil	<i>Xanthomonas citri</i> subsp. <i>citri</i>	CRISPR/cas9	<i>CsLOB1</i>	Jia ve ark., 2016
Turunçgil	<i>Xanthomonas citri</i> subsp. <i>citri</i>	CRISPR/cas9	<i>EBE^{PhA4}</i>	Peng ve ark., 2017
Domates	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> , <i>Phytophthora capsici</i> , <i>Xanthomonas</i> spp.	CRISPR/cas9	<i>SIDMR6-1</i>	de Toledo Thomazella, ve ark., 2016
<i>N. benthamiana</i> <i>A. thaliana</i>	<i>Beet severe curly top virus</i>	CRISPR/cas9	<i>IR</i> , <i>CP</i> , <i>Rep</i>	Ji ve ark., 2015
<i>N. benthamiana</i>	<i>Bean yellow dwarf virus</i>	CRISPR/cas9	<i>LIR</i> , <i>Rep</i>	Baltes ve ark., 2015
<i>N. benthamiana</i>	<i>Tomato yellow leaf curl virus</i> , <i>Beet curly top virus</i> , <i>Merremia mosaic virus</i>	CRISPR/cas9	<i>CP</i> , <i>Rep</i> ve <i>IR</i>	Ali ve ark., 2015
Domates	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	CRISPR/cas9	<i>SLJAZ2Δjas</i>	Ortigosa ve ark., 2019
<i>N. benthamiana</i>	<i>Cotton Leaf Curl Kokhran Virus</i> , <i>Merremia mosaic virus</i> , <i>Tomato yellow leaf curl virus</i>	CRISPR/cas9	<i>CP</i> , <i>Rep</i> , ve <i>IR</i>	Ali ve ark., 2016
Arpa	<i>Wheat dwarf virus</i>	CRISPR/cas9	<i>CP/MP</i> , <i>LIR</i> , <i>Rep</i>	Kis ve ark., 2019
Domates	<i>Tomato yellow leaf curl virus</i>	CRISPR/cas9	<i>Rep</i> , <i>CP</i>	Tashkandi ve ark., 2018
<i>A. thaliana</i> , <i>N. benthamiana</i>	<i>Cucumber mosaic virus</i> , <i>Tabacco mosaic virus</i>	CRISPR/FnCas9	<i>ORF1a</i> , <i>ORF1b</i> ve <i>3'-UTR</i>	Zhang ve ark., 2018
<i>N. benthamiana</i>	<i>Turnip mosaic virus</i>	CRISPR/cas13a	<i>GFP-1</i> , <i>GFP-2</i> , <i>HC-Pro</i> , <i>CP</i>	Aman ve ark., 2018
Patates	<i>Potato virus Y</i>	CRISPR/cas13a	<i>P3</i> , <i>CI</i> , <i>NIb</i> ve <i>CP</i>	Zhan ve ark., 2019
Hıyar	<i>Cucumber vein yellowing virus</i> , <i>Zucchini yellow mosaic virus</i> , <i>Papaya ring spot mosaic virus-W</i>	CRISPR/cas9	<i>eIF4E</i>	Chandrasekaran ve ark., 2016
<i>A. thaliana</i>	<i>Turnip mosaic virus</i>	CRISPR/cas9	<i>eIF4E</i>	Pyott et al., 2016
Pirinç	<i>Rice tungro spherical virus</i>	CRISPR/cas9	<i>eIF4G</i>	Macovei ve ark., 2018

2.3. Prokaryotik İmmün sistemi CRISPR/Cas İle Virüslere Dayanıklı Bitki Oluşturma

Biyotik stresler arasında önemli bir yeri olan fitopatogenik virüsler her yıl dünya çapında tarım ürünlerinin veriminde %10-15 oranında bir azalışa sebep olmaktadır (Mahy ve van Regenmortel, 2009). Bitki virüslerine karşı konukçu bitki dayanıklılığı artırılarak bu kaybın bir kısmı önlenmektedir. Bitki virüslerinin kontrolü genellikle virüsü taşıyan vektörlere karşı pestisit kullanımına bağlıdır, ancak böylesi bir yaklaşım çevre üzerinde birçok olumsuz etkiye sahiptir (Bragard ve ark., 2013). Virüs hastalıkları ile mücadelede bitkilerde bulunan viral dayanıklılık faktörleri kullanılmaktadır ve bu yöntem ile birçok virüs enfeksiyonuna karşı dayanıklılık sağlanmıştır (Ziebell, 2016). Bitkilerde bulunan virüs dayanıklılık genleri kültüre alınan birçok kültür bitkisinin virüse karşı dayanıklı kılınması adına kullanılmıştır (Gómez ve ark., 2009). Ancak dayanıklılık genlerinin kullanılarak virüslere karşı dayanıklılık sağlama çalışmalarının temel dezavantajı virüse karşı stabil dayanıklı bir bitki geliştirmenin uzun zaman ve yüksek maliyet gerektirmesidir (Kang ve ark., 2005a). Son 30 yılda virüs proteinlerinin ya da genomlarının transgenik olarak bitkide ifadesi (ekspresyon) yaklaşımı virüslere dayanıklılık sağlamak adına geniş ölçüde uygulanmıştır (Ding ve Voinnet, 2007). Her ne kadar virüslere karşı dayanıklı bitkilerin kullanımıyla bitki virüsleri ile mücadele edilse de virüslerin çeşitliliği, hızlı evrimi ve çoğunlukla böcek vektörler ile bitkilere taşınmaları, bitki virüs hastalıklarını kontrol etme yaklaşımlarını etkisiz hale getirmektedir (Hanley-Bowdoin ve ark., 2013). Dolayısıyla bitki virüsleri ile mücadelede yeni

stratejilerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Genom düzenleme alanındaki ilerlemeler tarım ürünlerinde dayanıklılığın artırılması konusunda da yeni imkânlar sunmaktadır. Son yıllarda popüler olan CRISPR/cas sistemi bitkilerde hem biyotik hem de abiyotik strese karşı dayanıklılık sağlamak amacıyla uygulanmıştır (Arora ve Narula, 2017). Farklı CRISPR/cas stratejileri ökaryotik DNA ya da RNA virüs genomlarının etkili bir şekilde interferansı adına kullanılmıştır (Price ve ark., 2015; Price ve ark., 2016). CRISPR/cas sistemi iki farklı yaklaşım ile bitkilerde virüslere karşı dayanıklılık sağlamak için kullanılmaktadır. İlk yaklaşımda episomal ya da bitki genomuna entegre olmuş viral genom hedef alınarak virüs replikasyonu engellenirken, ikinci yaklaşımda ise virüs enfeksiyonu ve çoğalması için önemli olan konukçu bitki faktörleri CRISPR/cas sistemi ile etkisiz hale getirilerek virüslere karşı bitkide dayanıklılık sağlanmaktadır (Mahas ve Mahfouz, 2018).

Geminivirüsler, 360'dan fazla tür içeren DNA virüsleridirler (Zerbini ve ark., 2017). Sirküler ve tek iplikli DNA genomuna sahip olan geminivirüsler, konukçu bitkinin hücre çekirdeğinde ara form olan çift iplikli DNA (double-stranded DNA; dsDNA) aracılığıyla replike olurlar (Hanley-Bowdoin ve ark., 2013). Bu ara form genom düzenleme teknolojisinde kullanılan sekans spesifik nükleazlar için uygun bir hedeftir (Yin ve Qui, 2019). CRISPR genom düzenleme tekniği ile şeker pancarı tepe kıvrıcılığı hastalığının etmeni olan *Beet severe curly top virus* (BSCTV)'üne karşı *Nicotiana benthamiana* ve *Arabidopsis* model bitkilerinde dayanıklılık sağlanmıştır (Ji ve ark., 2015). Fasulye sarı cücelik hastalığı etmeni olan *Bean yellow dwarf virus*

(*BeYDV*)'üne karşı dayanıklı bitkiler elde etmede CRISPR/cas9 genom düzenleme tekniğinin oldukça başarılı olduğu rapor edilmiştir (Baltes ve ark., 2015). Ali ve ark. (2015), Begomovirüs'lere dayanıklılık sağlamak için konukçu hücre içerisinde ifade olan ve replikasyon süresince virüs genomunun parçalanmasını sağlayan CRISPR/cas9 sistemini kullanmışlardır. Çalışmada cas9 endonükleazını stabil olarak ifade eden *N. benthamiana* bitkilerine *Tobacco rattle virus* (TRV) vektörü aracılığıyla aktarılan farklı bölgeleri hedef alan sgRNA molekülleri (capsid protein (CP), Rep protein RCRII motif ve intergenic region (IR)) dizayn edilmiştir. Bütün sgRNA'ların virüs replikasyonunu ve birikimini engellediği ancak IR bölgesine dizayn edilen sgRNA'ların daha etkili olduğu gösterilmiştir. Aynı CRISPR/cas9 ve sgRNA sisteminde eş zamanlı olarak monopartite *Beet curly top virus* (BCTV) ve bipartite *Merremia mosaic virus* (MeMV)'üne karşı bütün bitkisinin dayanıklı olup olmadığı da test edilmiştir. Hem IR hem de CP bölgesine dizayn edilen sgRNA'ların çoklu virüs enfeksiyonlarına karşı dayanıklılık sağladığı rapor edilmiştir (Ali ve ark., 2015). CRISPR/cas9 genom düzenleme aracı *Wheat dwarf virus* (WDV), *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV), *Cotton leaf curl kokhran virus* (CLCuKoV), *Merremia mosaic virus* (MeMV) gibi farklı virüslere karşı bitkide dayanıklılık oluşturmak amacıyla araştırmacılar tarafından kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir (Ali ve ark., 2016; Tashkandi ve ark., 2018; Kis ve ark., 2019). Çalışmalar CRISPR/cas9 sistemi ile virüs interferansının birden fazla nesilde kalıtıldığını ve böylece CRISPR/cas9 sisteminin virüse karşı kalıcı dayanıklılık geliştirmede kullanılabileceğini göstermiştir (Tashkandi ve ark., 2018).

CRISPR/cas9 sistemi çift iplikli DNA'yı hedef aldığından dolayı RNA virüslerine karşı CRISPR sistemi ile dayanıklılık oluşturmak genellikle daha zordur. *Francisella novicida*'dan Fncas9, *Leptotrichia shahii*'den LshCas13a, *Leptotrichia wadei*'den LwaCas13a gibi RNA'yı hedef alabilen ve kesen nükleazların araştırılması ve karakterizasyonu CRISPR sisteminin viral RNA interferansında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir (Sampson ve ark., 2013; Abudayyeh ve ark., 2016; Abudayyeh ve ark., 2017). Birçok bitki türünü enfekte eden pozitif sense RNA virüslerinden olan *Cucumber mosaic virus* ve *Tabacco mosaic virus*'üne karşı *Arabidopsis* ve *N. benthamiana* bitkilerinde direnç sağlamak için CRISPR/Fncas9 sisteminin etkinliği araştırılmıştır. *F. novicida* CRISPR/cas9 sisteminin hem geçici olarak hem de stabil olarak ifade edildiği bitkiler CMV ve TMV ile inoküle edildikten sonra, Fncas9'un RNA virüslerine karşı interferans etkinliği değerlendirilmiştir. Transgenik bitkiler kontrol bitkilerle karşılaştırıldığında, transgenik bitkilerde virüsün çoğalmasının %40-80 oranında engellendiği, hastalık semptomunun azaldığı ve Fncas9-sgRNA ile sağlanan virüs direncinin bitkilere kalıtsal olarak aktarıldığı gösterilmiştir (Zhang ve ark., 2018).

CRISPR/cas13a bir RNA dizisi tarafından yönlendirilen son zamanlarda karakterize edilmiş yeni bir genom düzenleme aracıdır (Abudayyeh ve ark., 2016; Liu ve ark., 2017). Potyvirusler tarım bakımından önemli olan birçok bitki türünde ekonomik olarak ciddi kayıplara neden olmaktadır (Gibbs ve Ohshima, 2010). *Turnip mosaic virus* (TuMV), *Potyvirus* cinsine ait bir virüs türü olup, özellikle *Brassicae* familyasındaki bitkilerde ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Geniş konak aralığına sahip olması ve en az yaklaşık 90 farklı afid türü ile non-persistent olarak taşınması TuMV'nin kontrolünü kısıtlayan önemli faktörlerdendir (Walsh ve Jenner, 2002). Aman ve ark.

(2018), TuMV'üne ait RNA genomunun, RNA-guided ribonükleaz Cas13a ile manipüle edilebildiğini göstermiştir. TuMV-GPF genomunu ifade eden transgenik bütün bitkileri oluşturulmuş ve RNA interferansı için TuMV genomunda 4 farklı bölge (GFP-1, GFP-2, HC-Pro ve CP) sgRNA'yı dizayn etmek için hedef olarak seçilmiştir. Hc-Pro ve GFP2 bölgelerini hedef alan CRISPR/cas13a RNA düzenleme sisteminin diğer iki bölge ile karşılaştırıldığında virüs interferansında daha etkili olduğu gösterilmiştir. CRISPR/cas13a RNA düzenleme sistemi *Potyvirus* üyesi olan *Potato virus Y*'ye karşı patatesten dayanıklılık oluşturmak için uygulanmıştır (Zhan ve ark., 2019). 3 farklı PVY ırkının (PVY^O, PVY^N ve recombinant PVY^{N:O}) korunmuş kodlayan bölgelerine dizayn edilen sgRNA'lar ile oluşturulan CRISPR/cas13a sisteminin etkinliği patates bitkisinde viral direnç oluşturmak için araştırılmıştır. sgRNA'lar PVY genomuna ait P3, CI, N1b ve CP kodlayan gen bölgelerinin korunmuş kısımlarına göre dizayn edilmiştir. CRISPR/cas13a sisteminin yüksek seviyede ifade eden transgenik patates bitkileri transgenik olmayan kontrol bitkiler ile karşılaştırıldığında PVY hastalık semptomu göstermemiştir. ELISA ve qRT-PCR transgenik bitkilerde PVY ile inoküle edildikten 20 ve 25 gün sonra PVY'nin birikiminin azaldığını ortaya koymuştur. Sonuçlar CRISPR/cas13a sisteminin PVY'nin farklı ırklarında eş zamanlı olarak patates bitkisinde direnç sağlamada etkili olduğunu ve bu sistemin PVY'nin kontrolünde kullanılabileceğini göstermiştir (Zhan ve ark., 2019).

Virüsler kendi virionlarında ribozomdan yoksun olduklarından dolayı viral protein sentezi konak bitkinin transkripsiyon sistemine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bitkilerde eIF4E ve onun izoformları multi-komponent transkripsiyon kompleksinde yer alan transkripsiyon başlama faktörleridir. Dolayısıyla transkripsiyon başlama faktörleri viral proteinlerin transkripsiyonu için de gereklidir (Sanfaçon, 2015). Chandrasekaran ve ark. (2016), CRISPR/cas9 ile konakçı duyarlılık geni eIF4E'nin bağımsız olarak iki farklı bölgesinde mutasyon oluşturarak çoklu Potyvirus'e karşı dirençli transgenik olmayan hıyar bitkisi geliştirmişlerdir. Non-transgenik *Cucumis eif4e* mutant bitkiler 3 nesil geriye melezleme ile CRISPR/cas9'un segregasyonundan faydalanılarak oluşturulmuştur. Mutasyon bakımından homozigot alleleri taşıyan T3 bitkilerinin heterozigot ve mutant olmayanlar ile karşılaştırıldığında *Cucumber vein yellowing virus*, *Zucchini yellow mosaic virus* ve *Papaya ring spot mosaic virus-W*'e karşı dayanıklı olduğu ortaya konmuştur.

Benzer bir yaklaşım cassava (manyok) bitkisinde de uygulanmıştır. Cassava kahverengi çizgi hastalığı, cassava bitkisinde verimi etkileyen önemli bir hastalık olup, hastalığa iki farklı pozitif sense RNA virüsü *Cassava brown streak virus* (CBSV) ve *Ugandan cassava brown streak virus* (UCBSV) neden olmaktadır (Revers ve Garcia, 2015). Viral VPg proteini ve konak ökaryotik transkripsiyon başlama faktör 4E izoformları arasındaki interaksiyon hastalık oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Kang ve ark., 2005b; Yeam ve ark., 2007). Gomez ve ark. (2019), CRISPR/cas9 aracılığıyla novel cap-binding protein-1 (nCBP-1) ve nCBP-2 proteini bakımından mutant cassava 60444 çeşidi geliştirmişlerdir. Mutant bitkilerin Cassava kahverengi çizgi hastalığına karşı dayanıklı olduğu ve virüs titresinin yabani tip-kontrol bitkiler ile karşılaştırıldığında oldukça az olduğu ortaya konmuştur. *Arabidopsis thaliana* genomunda yer alan transkripsiyon başlama faktöründe CRISPR/cas9 sistemi ile oluşturulan dizi yönlendirilmiş mutasyonların TuMV'ye karşı dirençte etkinliği araştırılmıştır. Cas9 ve sgRNA ile oluşturulan transgenik mutant bitkiler kendine tozlanarak T2 bitkileri elde edilmiştir. Homozigot mutant bitkiler kendilenerken transgen içermeyen eIF4E geni

bakımından mutant T3 bitkileri elde edilmiştir. Elde edilen non-transgenik *Arabidopsis* bitkilerinin TuMV'e karşı direnç gösterdiği ortaya konulmuştur (Pyott ve ark., 2016). Macovei ve ark. (2018), CRISPR/cas9 teknolojisini kullanarak eIF4G allellerinin mutagenesi ile *Rice tungro spherical virus* (RTSV)'üne karşı çeltik bitkisinde direnç oluşturmuşlardır. Elde edilen T2 bitkilerinden bazılarının Cas9'u içermediği ve RTSV'ye karşı dirençli olduğu gösterilmiştir.

3. Sonuç

Yüz yıllardır insan-oğlu spontan mutasyonları ve rekombinasyon yoluyla oluşan genetik çeşitlilikten faydalanarak farklı amaçlar doğrultusunda bitkilerde seleksiyon yapmışlardır. Geleneksel ıslah yaklaşımı bugün kullanılmakta olduğumuz bitki çeşitlerini ortaya koymuştur. Her ne kadar moleküler yaklaşımların kullanılmasıyla geleneksel ıslah yöntemiyle ıslah süresi kısalsa da, ıslah sürecinin hala uzun süre gerektirmesi, bazen istenilmeyen sonuçların ortaya çıkması, yoğun iş gücü gerektirmesi ve transgenik ürünlere tüketicinin yaklaşımı gibi sorunlar patojenlere karşı dayanıklı bitki geliştirmede birer handicap olarak kalmaktadır. Son zamanlarda ortaya çıkan genom düzenleme teknolojilerinden özellikle CRISPR/cas sistemi bu handikapları ortadan kaldırmasıyla bitkilerin iyileştirilmesi amacıyla bitki ıslahında kullanılan etkili ve spesifik bir yöntemlerdendir. Ayrıca genomda birden fazla genin eş zamanlı olarak hedef alınması, istenilen bölgede delesyon ya da insersiyona olanak sağlaması, ilk nesilde sonraki nesillere aktarılabilen heterozigot ya da homozigot mutasyonlar oluşturması ve metabolik yolların manipüle edilmesine olanak sağlaması gibi avantajlar CRISPR sistemini diğer genom düzenleme tekniklerine kıyasla daha fazla uygulama alanına sahip kılmaktadır (Akbudak ve Kontbay, 2017). CRISPR/cas sisteminin hastalığa neden olan patojenlere karşı bitkileri dayanıklı/toleranslı kılmada ve patojenler ile mücadelede etkili bir araç olduğu birçok yayında ele alınmıştır. Genom düzenleme hem moleküler bitki-patojen interaksyonları hakkında bilgimizin artması hem de hastalıklara karşı dayanıklı bitki ıslahı bakımından eşsiz fırsatlar sunan bir yaklaşımdır. Dolayısıyla bu teknolojinin gelecekte bitki ıslah süresini hızlandırması ve sürdürülebilir bir tarıma katkı sağlaması amacıyla farklı patojenlere karşı dayanıklı bitki elde edilerek yaygın olarak kullanılacağı öngörülmektedir. Ancak genom düzenleme yoluyla arzu edilen özellik bakımından genomu düzenlenmiş bitkilerin halk sağlığı ve genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO) açısından yasaları belirleyen kurumlar tarafından kabul görüp görmeyeceği ile ilgili tartışmalar doğmaktadır. Bu tartışmanın iki tarafı vardır. Bir grup CRISPR/cas sistemi gibi yeni bitki ıslah teknolojilerinin, geleneksel ıslah ile üretilen bitkilerle bu teknolojiler ile üretilen bitkilerin benzer olduğu iddiasıyla GDO düzenlemelerinin haricinde tutulması gerektiğini öne sürmektedirler. Karşıt grup ise bu teknolojiler ile üretilen bitkilerin GDO düzenlemeleri kapsamında olması gerektiğini savunmaktadır. Gelecekte küresel iklim değişikliğinin boyutu dikkate alındığında daha esnek düzenlemelerin söz konusu olabileceği ve CRISPR/ cas sistemi ile bitki ıslahı gibi daha yenilikçi besin üretim tekniklerinin kullanımının yaygın hale geleceğide kaçınılmaz görülmektedir.

Kaynakça

Abudayyeh, O. O., Gootenberg, J. S., Konermann, S., Joung, J., Slaymaker, I. M., Cox, D. B., ... & Severinov, K. (2016). C2c2

- is a single-component programmable RNA-guided RNA-targeting CRISPR effector. *Science*, 353(6299), aaf5573.
- Abudayyeh, O. O., Gootenberg, J. S., Essletzbichler, P., Han, S., Joung, J., Belanto, J. J., ... & Lander, E. S. (2017). RNA targeting with CRISPR-Cas13. *Nature*, 550(7675), 280-284.
- AKBUDAK, M. A., & Kontbay, K. (2017). Yeni Nesil Genom Düzenleme Teknikleri: ZFN, TALEN, CRISPR'lar ve Bitkilerde Kullanımı. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 111-126.
- Ali, Z., Abulfaraj, A., Idris, A., Ali, S., Tashkandi, M., & Mahfouz, M. M. (2015). CRISPR/Cas9-mediated viral interference in plants. *Genome biology*, 16(1), 238.
- Ali, Z., Ali, S., Tashkandi, M., Zaidi, S. S. E. A., & Mahfouz, M. M. (2016). CRISPR/Cas9-mediated immunity to geminiviruses: differential interference and evasion. *Scientific reports*, 6(1), 1-13.
- Aman, R., Ali, Z., Butt, H., Mahas, A., Aljedaani, F., Khan, M. Z., ... & Mahfouz, M. (2018). RNA virus interference via CRISPR/Cas13a system in plants. *Genome biology*, 19(1), 1-9.
- Arora, L., & Narula, A. (2017). Gene editing and crop improvement using CRISPR-Cas9 system. *Frontiers in plant science*, 8, 1932.
- Ateş Sönmezoglu, Ö., Yıldırım, A., Türk, Ü., & Yanar, Y. (2019). Bazı Yerel Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Küllemeye (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) Karşı Dayanıklılığın Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 944-950.
- Baltes, N. J., Hummel, A. W., Konecna, E., Cegan, R., Bruns, A. N., Bisaro, D. M., & Voytas, D. F. (2015). Conferring resistance to geminiviruses with the CRISPR-Cas prokaryotic immune system. *Nature Plants*, 1(10), 1-4.
- Barrangou, R., Fremaux, C., Deveau, H., Richards, M., Boyaval, P., Moineau, S., ... & Horvath, P. (2007). CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes. *Science*, 315(5819), 1709-1712.
- Bayat, H., Naderi, F., Khan, A. H., Memarnejadian, A., & Rahimpour, A. (2018). The impact of crispr-cas system on antiviral therapy. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 8(4), 591.
- Borrelli, V. M., Brambilla, V., Rogowsky, P., Marocco, A., & Lanubile, A. (2018). The enhancement of plant disease resistance using CRISPR/Cas9 technology. *Frontiers in plant science*, 9, 1245.
- Bortesi, L., & Fischer, R. (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology advances*, 33(1), 41-52.
- Bragard, C., Caciagli, P., Lemaire, O., Lopez-Moya, J. J., MacFarlane, S., Peters, D., ... & Torrance, L. (2013). Status and prospects of plant virus control through interference with vector transmission. *Annual review of phytopathology*, 51, 177-201.
- Chandrasekaran, J., Brumin, M., Wolf, D., Leibman, D., Klap, C., Pearlsman, M., ... & Gal-On, A. (2016). Development of broad virus resistance in non-transgenic cucumber using CRISPR/Cas9 technology. *Molecular plant pathology*, 17(7), 1140-1153.
- Christopoulou, M., Wo, S. R. C., Kozik, A., McHale, L. K., Truco, M. J., Wroblewski, T., & Michelmore, R. W. (2015). Genome-wide architecture of disease resistance genes in lettuce. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 5(12), 2655-2669.
- Consonni, C., Humphry, M. E., Hartmann, H. A., Livaja, M., Durner, J., Westphal, L., ... & Somerville, S. C. (2006).

- Conserved requirement for a plant host cell protein in powdery mildew pathogenesis. *Nature genetics*, 38(6), 716-720.
- Dai, W. J., Zhu, L. Y., Yan, Z. Y., Xu, Y., Wang, Q. L., & Lu, X. J. (2016). CRISPR-Cas9 for in vivo gene therapy: Promise and hurdles. *Molecular Therapy-Nucleic Acids*, 5, e349.
- De Toledo Thomazella, D. P., Brail, Q., Dahlbeck, D., & Staskawicz, B. (2016). CRISPR-Cas9 mediated mutagenesis of a DMR6 ortholog in tomato confers broad-spectrum disease resistance. *BioRxiv*, 064824.
- Ding, S. W., & Voinnet, O. (2007). Antiviral immunity directed by small RNAs. *Cell*, 130(3), 413-426.
- Doehlemann, G., Ökmen, B., Zhu, W., Sharon, A. (2017). Plant Pathogenic Fungi. The Fungal Kingdom: 703-726, Washington-American.
- Dunn, D. A., & Pinkert, C. A. (2014). Gene editing. In *Transgenic Animal Technology* (pp. 229-248). Elsevier.
- FAO, (2017). The Future of Food and Agriculture – Trends and Challenges. Rome, Italy.
- Fonseca, S., Chico, J. M., & Solano, R. (2009). The jasmonate pathway: the ligand, the receptor and the core signalling module. *Current opinion in plant biology*, 12(5), 539-547.
- Gao, J., Wang, G., Ma, S., Xie, X., Wu, X., Zhang, X., ... & Xia, Q. (2015). CRISPR/Cas9-mediated targeted mutagenesis in *Nicotiana tabacum*. *Plant molecular biology*, 87(1-2), 99-110.
- Gibbs, A., & Ohshima, K. (2010). Potyviruses and the digital revolution. *Annual review of phytopathology*, 48, 205-223.
- Gómez, P., Rodríguez-Hernández, A. M., Moury, B., & Aranda, M. A. (2009). Genetic resistance for the sustainable control of plant virus diseases: breeding, mechanisms and durability. *European journal of plant pathology*, 125(1), 1-22.
- Gomez, M. A., Lin, Z. D., Moll, T., Chauhan, R. D., Hayden, L., Renninger, K., ... & Bart, R. S. (2019). Simultaneous CRISPR/Cas9-mediated editing of cassava eIF 4E isoforms nCBP-1 and nCBP-2 reduces cassava brown streak disease symptom severity and incidence. *Plant biotechnology journal*, 17(2), 421-434.
- Griggs, D., Smith, M. S., Rockström, J., Öhman, M. C., Gaffney, O., Glaser, G., ... & Shyamsundar, P. (2014). An integrated framework for sustainable development goals. *Ecology and Society*, 19(4).
- Hanley-Bowdoin, L., Bejarano, E. R., Robertson, D., & Mansoor, S. (2013). Geminiviruses: masters at redirecting and reprogramming plant processes. *Nature Reviews Microbiology*, 11(11), 777-788.
- Herrera-Estrella, L., Depicker, A., Van Montagu, M., & Schell, J. (1983). Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector. *Nature*, 303(5914), 209-213.
- Horvath, P., & Barrangou, R. (2010). CRISPR/Cas, the immune system of bacteria and archaea. *Science*, 327(5962), 167-170.
- Ishino, Y., Shinagawa, H., Makino, K., Amemura, M., & Nakata, A. (1987). Nucleotide sequence of the iap gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in *Escherichia coli*, and identification of the gene product. *Journal of bacteriology*, 169(12), 5429-5433.
- Jansen, R., Embden, J. D. V., Gastra, W., & Schouls, L. M. (2002). Identification of genes that are associated with DNA repeats in prokaryotes. *Molecular microbiology*, 43(6), 1565-1575.
- Javed, M. R., Sadaf, M., Ahmed, T., Jamil, A., Nawaz, M., Abbas, H., & Ijaz, A. (2018). CRISPR-Cas system: history and prospects as a genome editing tool in microorganisms. *Current microbiology*, 75(12), 1675-1683.
- Ji, X., Zhang, H., Zhang, Y., Wang, Y., & Gao, C. (2015). Establishing a CRISPR-Cas-like immune system conferring DNA virus resistance in plants. *Nature Plants*, 1(10), 1-4.
- Jia, H., Orbovic, V., Jones, J. B., & Wang, N. (2016). Modification of the PthA4 effector binding elements in Type I Cs LOB 1 promoter using Cas9/sg RNA to produce transgenic Duncan grapefruit alleviating XccΔpthA4: dCs LOB 1.3 infection. *Plant biotechnology journal*, 14(5), 1291-1301.
- Jiang, W., Zhou, H., Bi, H., Fromm, M., Yang, B., & Weeks, D. P. (2013). Demonstration of CRISPR/Cas9/sgRNA-mediated targeted gene modification in Arabidopsis, tobacco, sorghum and rice. *Nucleic acids research*, 41(20), e188-e188.
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *science*, 337(6096), 816-821.
- Jones, J. D., & Dangl, J. L. (2006). The plant immune system. *nature*, 444(7117), 323-329.
- Karimi, Z., Ahmadi, A., Najafi, A., & Ranjbar, R. (2018). Bacterial CRISPR regions: general features and their potential for epidemiological molecular typing studies. *The open microbiology journal*, 12, 59.
- Kang, B. C., Yeam, I., & Jahn, M. M. (2005a). Genetics of plant virus resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 43, 581-621.
- Kang, B. C., Yeam, I., Frantz, J. D., Murphy, J. F., & Jahn, M. M. (2005b). The pvr1 locus in *Capsicum* encodes a translation initiation factor eIF4E that interacts with *Tobacco etch virus* VPg. *The Plant Journal*, 42(3), 392-405.
- Kim, H., & Kim, J. S. (2014). A guide to genome engineering with programmable nucleases. *Nature Reviews Genetics*, 15(5), 321-334.
- Kis, A., Hamar, É., Tholt, G., Bán, R., & Havelda, Z. (2019). Creating highly efficient resistance against *wheat dwarf virus* in barley by employing CRISPR/Cas9 system. *Plant biotechnology journal*, 17(6), 1004.
- Klein, T. M., Fromm, M., Weissinger, A., Tomes, D., Schaaf, S., Sletten, M., & Sanford, J. C. (1988). Transfer of foreign genes into intact maize cells with high-velocity microprojectiles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85(12), 4305-4309.
- Kloepper, J. W., Ryu, C. M., & Zhang, S. (2004). Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94(11), 1259-1266.
- Lau, C. H. (2018). Applications of crispr-cas in bioengineering, biotechnology, and translational research. *The CRISPR journal*, 1(6), 379-404.
- Leach, J. E., Vera Cruz, C. M., Bai, J., & Leung, H. (2001). Pathogen fitness penalty as a predictor of durability of disease resistance genes. *Annual review of phytopathology*, 39(1), 187-224.
- Li, T., Liu, B., Spalding, M. H., Weeks, D. P., & Yang, B. (2012). High-efficiency TALEN-based gene editing produces disease-resistant rice. *Nature biotechnology*, 30(5), 390.
- Liu, L., Li, X., Ma, J., Li, Z., You, L., Wang, J., ... & Wang, Y. (2017). The molecular architecture for RNA-guided RNA cleavage by Cas13a. *Cell*, 170(4), 714-726.
- Lyngkjær, M., Newton, A., Atzema, J., & Baker, S. (2000). The barley mlo-gene: an important powdery mildew resistance source.

- Macovei, A., Sevilla, N. R., Cantos, C., Jonson, G. B., Slamet-Loedin, I., Čermák, T., ... & Chadha-Mohanty, P. (2018). Novel alleles of rice eIF4G generated by CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis confer resistance to *Rice tungro spherical virus*. *Plant biotechnology journal*, 16(11), 1918-1927.
- Mahas, A., & Mahfouz, M. (2018). Engineering virus resistance via CRISPR–Cas systems. *Current opinion in virology*, 32, 1-8.
- Mahy, B. W. J., van Regenmortel, M. H. V. (2009). Desk Encyclopedia of Plant and Fungal Virology. Cambridge, MA: Academic Press.
- Maxson-Stein, K., He, S. Y., Hammerschmidt, R., & Jones, A. L. (2002). Effect of treating apple trees with acibenzolar-S-methyl on fire blight and expression of pathogenesis-related protein genes. *Plant disease*, 86(7), 785-790.
- Malnoy, M., Viola, R., Jung, M. H., Koo, O. J., Kim, S., Kim, J. S., ... & Nagamangala Kanchiswamy, C. (2016). DNA-free genetically edited grapevine and apple protoplast using CRISPR/Cas9 ribonucleoproteins. *Frontiers in plant science*, 7, 1904.
- Miklis, M., Consonni, C., Bhat, R. A., Lipka, V., Schulze-Lefert, P., & Panstruga, R. (2007). Barley MLO modulates actin-dependent and actin-independent antifungal defense pathways at the cell periphery. *Plant Physiology*, 144(2), 1132-1143.
- Mojica, F. J., García-Martínez, J., & Soria, E. (2005). Intervening sequences of regularly spaced prokaryotic repeats derive from foreign genetic elements. *Journal of molecular evolution*, 60(2), 174-182.
- Nekrasov, V., Wang, C., Win, J., Lanz, C., Weigel, D., & Kamoun, S. (2017). Rapid generation of a transgene-free powdery mildew resistant tomato by genome deletion. *Scientific reports*, 7(1), 1-6.
- Ortigosa, A., Gimenez-Ibanez, S., Leonhardt, N., & Solano, R. (2019). Design of a bacterial speck resistant tomato by CRISPR/Cas9-mediated editing of Sl JAZ 2. *Plant biotechnology journal*, 17(3), 665-673.
- Osakabe, Y., Watanabe, T., Sugano, S. S., Ueta, R., Ishihara, R., Shinozaki, K., & Osakabe, K. (2016). Optimization of CRISPR/Cas9 genome editing to modify abiotic stress responses in plants. *Scientific reports*, 6, 26685.
- Pacher, M., & Puchta, H. (2017). From classical mutagenesis to nuclease-based breeding—directing natural DNA repair for a natural end-product. *The Plant Journal*, 90(4), 819-833.
- Peng, A., Chen, S., Lei, T., Xu, L., He, Y., Wu, L., ... & Zou, X. (2017). Engineering canker-resistant plants through CRISPR/Cas9-targeted editing of the susceptibility gene Cs LOB 1 promoter in citrus. *Plant biotechnology journal*, 15(12), 1509-1519.
- Piffanelli, P., Ramsay, L., Waugh, R., Benabdelmouna, A., D'Hont, A., Hollricher, K., ... & Panstruga, R. (2004). A barley cultivation-associated polymorphism conveys resistance to powdery mildew. *Nature*, 430(7002), 887-891.
- Piqué, N., Miñana-Galbís, D., Merino, S., & Tomás, J. M. (2015). Virulence factors of *Erwinia amylovora*: a review. *International journal of molecular sciences*, 16(6), 12836-12854.
- Pradhanang, P. M., Ji, P., Momol, M. T., Olson, S. M., Mayfield, J. L., & Jones, J. B. (2005). Application of acibenzolar-S-methyl enhances host resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum*. *Plant disease*, 89(9), 989-993.
- Price, A. A., Sampson, T. R., Ratner, H. K., Grakoui, A., & Weiss, D. S. (2015). Cas9-mediated targeting of viral RNA in eukaryotic cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), 6164-6169.
- Price, A. A., Grakoui, A., & Weiss, D. S. (2016). Harnessing the prokaryotic adaptive immune system as a eukaryotic antiviral defense. *Trends in microbiology*, 24(4), 294-306.
- Puchta, H. (2005). The repair of double-strand breaks in plants: mechanisms and consequences for genome evolution. *Journal of experimental botany*, 56(409), 1-14.
- Puchta, H., Dujon, B., & Hohn, B. (1993). Homologous recombination in plant cells is enhanced by in vivo induction of double strand breaks into DNA by a site-specific endonuclease. *Nucleic acids research*, 21(22), 5034-5040.
- Puchta, H., Dujon, B., & Hohn, B. (1996). Two different but related mechanisms are used in plants for the repair of genomic double-strand breaks by homologous recombination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(10), 5055-5060.
- Pyott, D. E., Sheehan, E., & Molnar, A. (2016). Engineering of CRISPR/Cas9-mediated potyvirus resistance in transgene-free Arabidopsis plants. *Molecular plant pathology*, 17(8), 1276-1288.
- Revers, F., & García, J. A. (2015). Molecular biology of potyviruses. In *Advances in virus research* (Vol. 92, pp. 101-199). Academic Press.
- Salomon, S., & Puchta, H. (1998). Capture of genomic and T-DNA sequences during double-strand break repair in somatic plant cells. *The EMBO journal*, 17(20), 6086-6095.
- Sampson, T. R., Saroj, S. D., Llewellyn, A. C., Tzeng, Y. L., & Weiss, D. S. (2013). A CRISPR/Cas system mediates bacterial innate immune evasion and virulence. *Nature*, 497(7448), 254-257.
- Sander, J. D., & Joung, J. K. (2014). CRISPR-Cas systems for editing, regulating and targeting genomes. *Nature biotechnology*, 32(4), 347-355.
- Sanfaçon, H. (2015). Plant translation factors and virus resistance. *Viruses*, 7(7), 3392-3419.
- Scheben, A., & Edwards, D. (2018). Towards a more predictable plant breeding pipeline with CRISPR/Cas-induced allelic series to optimize quantitative and qualitative traits. *Current opinion in plant biology*, 45, 218-225.
- Sen, Y., van der Wolf, J., Visser, R. G., & van Heusden, S. (2015). Bacterial canker of tomato: current knowledge of detection, management, resistance, and interactions. *Plant Disease*, 99(1), 4-13.
- Shi, J., & Lai, J. (2015). Patterns of genomic changes with crop domestication and breeding. *Current opinion in plant biology*, 24, 47-53.
- Singh, O. V., Ghai, S., Paul, D., & Jain, R. K. (2006). Genetically modified crops: success, safety assessment, and public concern. *Applied microbiology and biotechnology*, 71(5), 598-607.
- Sobiczewski, P. (2008). Bacterial diseases of plants: Epidemiology, diagnostics and control. *Zemdirbyste*, 95, 151-157.
- Svitashev, S., Young, J. K., Schwartz, C., Gao, H., Falco, S. C., & Cigan, A. M. (2015). Targeted mutagenesis, precise gene editing, and site-specific gene insertion in maize using Cas9 and guide RNA. *Plant physiology*, 169(2), 931-945.
- Tashkandi, M., Ali, Z., Aljedaani, F., Shami, A., & Mahfouz, M. M. (2018). Engineering resistance against *Tomato yellow leaf*

- curl virus* via the CRISPR/Cas9 system in tomato. *Plant signaling & behavior*, 13(10), e1525996.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(50), 20260-20264.
- Vicente Muñoz, I., Sarrocco, S., Vannacci, G. (2017). CRISPR-CAS for the Genome Editing of Two *Trichoderma* spp. Beneficial Isolates. *Journal Plant Pathology*, 99: S63.
- Vicente Muñoz, I., Sarrocco, S., Malfatti, L., Baroncelli, R., Vannacci, G. (2019). CRISPR-Cas for Fungal Genome Editing: A New Tool for the Management of Plant Diseases. *Frontiers in Plant Science*, 10: 135.
- Walsh, J. A., & Jenner, C. E. (2002). Turnip mosaic virus and the quest for durable resistance. *Molecular plant pathology*, 3(5), 289-300.
- Wang, H., Yang, H., Shivalila, C. S., Dawlaty, M. M., Cheng, A. W., Zhang, F., & Jaenisch, R. (2013). One-step generation of mice carrying mutations in multiple genes by CRISPR/Cas-mediated genome engineering. *Cell*, 153(4), 910-918.
- Wang, X., Tu, M., Wang, D., Liu, J., Li, Y., Li, Z., ... & Wang, X. (2018a). CRISPR/Cas9-mediated efficient targeted mutagenesis in grape in the first generation. *Plant biotechnology journal*, 16(4), 844-855.
- Wang, Q., Cobine, P. A., & Coleman, J. J. (2018b). Efficient genome editing in *Fusarium oxysporum* based on CRISPR/Cas9 ribonucleoprotein complexes. *Fungal Genetics and Biology*, 117, 21-29.
- Wang, Y., Cheng, X., Shan, Q., Zhang, Y., Liu, J., Gao, C., & Qiu, J. L. (2014). Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nature biotechnology*, 32(9), 947-951.
- Wang, F., Wang, C., Liu, P., Lei, C., Hao, W., Gao, Y., ... & Zhao, K. (2016). Enhanced rice blast resistance by CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the ERF transcription factor gene OsERF922. *PloS one*, 11(4), e0154027.
- Watson, A., Ghosh, S., Williams, M. J., Cuddy, W. S., Simmonds, J., Rey, M. D., ... & Adamski, N. M. (2018). Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature plants*, 4(1), 23-29.
- Yeam, I., Cavatorta, J. R., Ripoll, D. R., Kang, B. C., & Jahn, M. M. (2007). Functional dissection of naturally occurring amino acid substitutions in eIF4E that confers recessive potyvirus resistance in plants. *The Plant Cell*, 19(9), 2913-2928.
- Yin, K., & Qiu, J. L. (2019). Genome editing for plant disease resistance: applications and perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1767), 20180322.
- Zaidi, S. S. E. A., Tashkandi, M., Mansoor, S., & Mahfouz, M. M. (2016). Engineering plant immunity: using CRISPR/Cas9 to generate virus resistance. *Frontiers in plant science*, 7, 1673.
- Zerbini, F. M., Briddon, R. W., Idris, A., Martin, D. P., Moriones, E., Navas-Castillo, J., ... & Consortium, I. R. (2017). ICTV virus taxonomy profile: *Geminiviridae*. *The Journal of general virology*, 98(2), 131.
- Zhan, X., Zhang, F., Zhong, Z., Chen, R., Wang, Y., Chang, L., ... & Zhang, J. (2019). Generation of virus-resistant potato plants by RNA genome targeting. *Plant biotechnology journal*, 17(9), 1814-1822.
- Zhang, H., Zhang, J., Wei, P., Zhang, B., Gou, F., Feng, Z., ... & Zhu, J. K. (2014). The CRISPR/Cas9 system produces specific and homozygous targeted gene editing in rice in one generation. *Plant biotechnology journal*, 12(6), 797-807.
- Zhang, Y., Bai, Y., Wu, G., Zou, S., Chen, Y., Gao, C., & Tang, D. (2017). Simultaneous modification of three homoeologs of Ta EDR 1 by genome editing enhances powdery mildew resistance in wheat. *The Plant Journal*, 91(4), 714-724.
- Zhang, T., Zheng, Q., Yi, X., An, H., Zhao, Y., Ma, S., & Zhou, G. (2018). Establishing RNA virus resistance in plants by harnessing CRISPR immune system. *Plant biotechnology journal*, 16(8), 1415-1423.
- Zheng, X. Y., Spivey, N. W., Zeng, W., Liu, P. P., Fu, Z. Q., Klessig, D. F., ... & Dong, X. (2012). Coronatine promotes *Pseudomonas syringae* virulence in plants by activating a signaling cascade that inhibits salicylic acid accumulation. *Cell host & microbe*, 11(6), 587-596.
- Zheng, Z., Appiano, M., Pavan, S., Bracuto, V., Ricciardi, L., Visser, R.G.F., Wolters, A.M.A., Bai, Y. (2016). Genome-Wide Study of the Tomato SIMLO Gene Family and Its Functional Characterization in Response to the Powdery Mildew Fungus *Oidium neolycopersici*. *Frontiers in Plant Science*, 7: 380.
- Zhou, J., Peng, Z., Long, J., Sosso, D., Liu, B., Eom, J. S., ... & White, F. F. (2015). Gene targeting by the TAL effector PthXo2 reveals cryptic resistance gene for bacterial blight of rice. *The Plant Journal*, 82(4), 632-643.
- Ziebell, H. (2016). Plant defence and viral interference. In *Plant-Virus Interactions* (pp. 123-159). Springer, Cham.



Talasemi Majorlu Adolesan Hastalarda Hipofiz-Tiroid Aksı ve Tiroid Fonksiyonlarının İncelenmesi*

Ayşe Şahin^{1†}, Fügen Pekün²

¹ Sağlık Bilimleri Üniversitesi Şişli Hamidiye Etfal Eğitim Araştırma Hastanesi Çocuk Kliniği

² Bahçeşehir Üniversitesi, Medical Park Göztepe Hastanesi, Çocuk Hematoloji Kliniği

(İlk Geliş Tarihi 16 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 5 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.811576)

ATIF/REFERENCE: Şahin, A. & Pekün, F. (2020). Talasemi Majorlu Adolesan Hastalarda Hipofiz-Tiroid Aksı ve Tiroid Fonksiyonlarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 703-711.

Öz

Talasemi majorlu hastalarda modern tedavi yaklaşımları ile hastaların yaşam süresi uzamış, yaşam kalitesi artmıştır, ancak kronik hipoksi, anemi ve demir birikimine bağlı gelişen endokrin fonksiyon bozuklukları görülmeye devam etmektedir. Çeşitli araştırmalarda TM'lu hastalarda % 4 ila % 29 arasında tiroid fonksiyon bozukluğu bildirilmektedir. Bu çalışmada; beta talasemi major (β -TM) tanısı ile izlenen hastalarda tiroid bezi ve hipofiz-tiroid aksı fonksiyonlarının incelenmesi ve vücut demir birikiminin bir göstergesi olan ferritin değerleri ile ilişkisi araştırılmıştır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmamız prospektif ve tek merkezli olarak tasarlandı. β -TM tanısı ile izlenen ve düzenli kan transfüzyonu alan 10 yaş ve üzeri 22 olgu çalışmaya dahil edildi. Hastaların demografik yapıları, klinik özellikleri, tiroid bezi ve hipofiz-tiroid aksı fonksiyonlarının incelenmesi amacıyla, bazal tiroid hormonları, Thyroid-Stimulating Hormone (TSH) ve eş zamanlı Thyrotropine Releasing Hormone (TRH) uyarısına TSH yanıtı değerlendirildi. Sonuçlar, serum ferritin değerleri ve sağlıklı kontrollerle karşılaştırıldı.

Bulgular: Hastaların 8 (%36,3)'i kız, yaş ortalaması 14.03±2.19 yılı. Total transfüzyon süresi ortalama 149,9±38,3 aydı. Bazal TSH değerleri ile pik TSH değerleri arasında ($r=0,38$, $p<0,05$) ve bazal TSH ile 60. dk TSH arasında anlamlı pozitif korelasyon vardı. Olguların % 27,2'sinde tiroid disfonksiyonu vardı. Üç hastada primer hipotiroidi, iki hastada subklinik düzeyde hipotiroidi, bir hastada hipotalamik hipotiroidi tespit edildi. Sekonder hipotiroidi ve düşük T3 sendromuna rastlanmadı. Ferritin düzeyleri ortalaması 4557,18 ± 4141,31 ng/mL idi. Ferritin değerleri ile 20. dk TSH ($r=0,44$, $p<0,05$) ve 60. dk TSH ($r=0,45$, $p<0,05$), Δ TSH ($r=0,47$, $p<0,05$) arasında anlamlı pozitif korelasyon vardı.

Tartışma ve Sonuç: Klinik olarak hipotiroidiye ait semptom ve bulgu vermeyen TM'lu hastalarda hormonal inceleme yapıldığında tiroid disfonksiyonu tespit edilmesi özellikle 10 yaş üzeri TM'lu hastalarda tiroid hormonlarının düzenli aralıklarla takibinin erken tanı ve tedavi açısından önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Talasemi major; hipofiz-tiroid aksı; tiroid fonksiyonları

Investigation of Pituitary-Thyroid Axis and Thyroid Functions in Adolescent Patients with Thalassemia Major

Abstract

With modern treatment approaches in patients with thalassemia major, the life expectancy and quality of life of patients have increased, but chronic hypoxia, anemia and endocrine dysfunction related to iron accumulation continue to be seen. In various studies, thyroid dysfunction has been reported between 4% and 29% in patients with TM. In this study; Examination of thyroid gland and pituitary-thyroid axis functions in patients with a diagnosis of beta thalassemia major (β -TM) and its relationship with ferritin values, which is an indicator of body iron accumulation, were investigated.

* Bu makalenin bir bölümü Ulusal Hematoloji Kongresinde Poster olarak sunulmuştur.

† Sorumlu Yazar: ayseturgutsahin@gmail.com

<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

Materials and Methods: Our study was designed as a prospective and single center. Twenty-two patients aged 10 years and older who were followed up with a diagnosis of-TM and received regular blood transfusion were included in the study. TSH response to basal thyroid hormones, Thyroid-Stimulating Hormone (TSH) and simultaneous Thyrotropine Releasing Hormone (TRH) stimulation were evaluated in order to examine the demographic structure, clinical characteristics, thyroid gland and pituitary-thyroid axis functions of the patients. Results were compared with serum ferritin values and healthy controls.

Results: Eight (36.3%) of the patients were female, the mean age was 14.03 ± 2.19 years. Total transfusion time was on average 149.9 ± 38.3 months. There was a significant positive correlation between basal TSH values and peak TSH values ($r = 0.38, p < 0.05$) and between basal TSH and 60th minute TSH. Thyroid dysfunction was present in 27.2% of the cases. Three patients had primary hypothyroidism, two patients had subclinical hypothyroidism, and one patient had hypothalamic hypothyroidism. Secondary hypothyroidism and low T3 syndrome were not found. The average ferritin levels were 4557.18 ± 4141.31 ng / mL. There was a significant positive correlation between ferritin values and 20th minute TSH ($r = 0.44, p < 0.05$) and 60th minute TSH ($r = 0.45, p < 0.05$), Δ TSH ($r = 0.47, p < 0.05$).

Discussion and Conclusion: Detecting thyroid dysfunction when hormonal examination is performed in patients with TM who do not have clinical symptoms and symptoms of hypothyroidism, especially in patients over 10 years of age, regular monitoring of thyroid hormones in terms of early diagnosis and treatment reveals its importance.

Key words: Thalassaemia Major; Pituitary-Thyroid Axis; Thyroid functions

1. Giriş

Beta talasemi major (β -TM), beta globin zincirinin eksikliği veya tamamen yokluğuna bağlı gelişen ağır anemi ve inefektif eritropoez ile karakterize otozomal resesif geçişli hereditör bir kan hastalığıdır (1). Bu hastalarda, düzenli kan transfüzyonları ile birlikte demir şelasyon tedavisi standart tedaviyi oluşturmaktadır. Sık transfüzyon ve artan demir emilimi ile vücutta aşırı demir birikimi olmaktadır (2). Demir birikimi, toksik oksijen radikallerinin açığa çıkmasına yol açarak, protein hasarına, hücre membranındaki lizozom ve mitokondrilerde lipid peroksidasyonuna aracılık ederek hücre ölümü ve organ yetmezliği tablolarına neden olur (3). Talasemili hastalarda, boy kısalığı, puberte gecikmesi, diyabet, hipoparatiroidi, hipotiroidi en sık görülen endokrin komplikasyonlardır. Demir birikimi endokrin komplikasyonların ana nedeni olarak bilinmektedir (4). Tüm organlarda olduğu gibi, demir tiroid interstisyumunda birikerek hemosideroza neden olur. Tiroid disfonksiyonu esas olarak bezin infiltrasyonu, kronik doku hipoksisi, serbest radikal oluşumu ve organ siderozu ile oluşur (5). TM'lu hastalarda, hipotiroidi sıklığı farklı raporlarda % 4 ile % 29 arasında değişmektedir. Bu durum, hastaların genotipi, yaşı, etnik heterojenliği, transfüzyon ve şelasyon tedavi protokolleri ve tedaviye değişen uyum gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır (6). Talasemili hastalarda, hipotiroidi gelişimi, vücut demir yükü ile ilişkilidir, demir yükü az olan hastalarda, fazla olanlara göre tiroid disfonksiyonunun daha az görüldüğünü bildiren çalışmalar mevcuttur (7). Desferrioksaminle demir şelasyon tedavisine geç başlayan veya tedaviye zayıf uyum gösteren hastalarda tiroid disfonksiyonu daha erken başlamaktadır (5).

Bu çalışmada; 10 yaş ve üzeri, β -TM tanısı ile izlenen hastalarda tiroid bezi ve hipofiz-tiroid aksı fonksiyonlarının incelenmesi, tiroid disfonksiyonunun sıklığının tespit edilmesi ve vücut demir birikiminin bir göstergesi olan serum ferritin düzeyleri ile arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Gereç ve Yöntemler

Çalışmamız, Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi Çocuk Hematoloji kliniğinde yürütüldü. Çalışma, Okmeydanı Eğitim Araştırma Hastanesi Etik Kurulu (Etik kurul onay no: 48670771-806.01.03) tarafından onaylandı.

TM tanısı ile takip edilen 22 olgu (14.05 ± 2.19 yıl) çalışmaya dahil edildi. 10 yaş altı TM'lu hastalar ve transfüzyon bağımlı olmayan talasemi hastaları çalışma dışı bırakıldı. Kontrol grubu olarak, herhangi bir nedenle çocuk polikliniğine başvuran, sağlıklı, anemisi ve guatrı olmayan, 10 sağlıklı çocuk çalışmaya alındı, yaş ortalaması 14.05 ± 2.19 yıldı. TM tanısı aile öyküsü, hemoglobin elektroforezi ve transfüzyon bağımlılığına dayanıyordu.

Olguların tanı zamanları, ilk transfüzyon yaşları, total transfüzyon süreleri, transfüzyon öncesi Hemoglobin değerleri, ferritin düzeyleri, demir şelasyon tedavisine başlama yaşı, uyum, hasta aileleri ile görüşülerek ve hasta dosyalarından alınan bilgiler esas alınarak kaydedildi.

Hastalara, standart bir tedavi protokolü olarak, hemoglobin seviyelerini 9 gr/dl 'nin üstünde tutmak amacıyla ortalama 3 haftada bir transfüzyon uygulanmaktaydı. Tüm hastalar şelasyon tedavisi olarak Desferrioksamin B (DFO) (Desferal, Novartis) almaktaydı. DFO'ü portatif pompa yoluyla 12 saat sürekli subkutan infüzyon ile 40 mg/kg/gün , haftada 5 gün kullanmaktaydılar (6). Desferrioksamin tedavisine uyum, önerilen tedavinin % 90'ını almışsa iyi, % 50-90 orta, % 50'nin altında ise kötü klinik uyum olarak değerlendirildi (8). Tüm kan örnekleri, hastaların düzenli transfüzyon başvuruları sırasında, aç olarak saat 08:00 ile 10:00 arasında alındı. Tiroid fonksiyonlarını değerlendirmek amacıyla bazal tiroid hormonları, serum free triiodothyronine (ST3), free thyroxine (ST4), total triiodothyronine (TT3), total thyroxine (TT4), Thyroid-stimulating hormone (TSH) ve eşzamanlı Thyrotropine Releasing Hormone (TRH) uyarısına TSH yanıtı değerlendirildi. Bazal TSH için kan alındıktan sonra $7 \text{ } \mu\text{g/kg/doz}$ TRH intravenöz verildikten sonra 0, 20 ve 60. dakikalarda TSH için kan örnekleri alındı (9). Pik TSH ve Δ TSH (bazal değere göre yükselme) saptandı. Tiroid hormonları için alınan kan örnekleri çalışmanın yapılacağı güne kadar - 20 derecede saklandı ve Hastanemiz Nükleer Tıp Merkezi RIA laboratuvarında çalışıldı. Bazal tiroid hormonlarının değerlendirilmesinde, kontrol grubunun ortalama değerlerinin 2 SD altındaki değerler patolojik kabul edildi. TRH uyarı testinin sonuçları ise kontrol grubunun TSH değerlerinin alt sınırından düşük ve üst sınırından yüksek değerler patolojik olarak değerlendirildi (10,11).

Tiroid disfonksiyonu şu şekilde tanımlandı; 1. Normal (Bazal TT3, TT4, sT3, sT4, TSH ve TRH uyarısına TSH yanıtı normal). 2. Subklinik primer hipotiroidi (sT4 ve TSH normal

(5-10 ng/ml), TRH uyarısına artmış TSH yanıtı). 3. Kompanse primer hipotiroidi (sT4 normal, bazal TSH artmış). 4. Dekompanse primer hipotiroidi (sT4 azalmış, TSH > 10 ng/ml). 5. Tersiyer hipotiroidi: TRH'ya gecikmiş TSH yanıtı. 6. Sekonder hipotiroidi (TRH'ya künt TSH yanıtı) (9, 10).

Hastaların fizik gelişimleri için ağırlık ve boy ölçümleri persentil olarak değerlendirildi. Boy yaşı ve boy için ortadan sapma (Boy SDS, Z skor) hesaplandı (12).

Karaciğer, dalak büyüklüğü cm olarak ölçüldü, Tiroid bezi palpasyonla değerlendirildi ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen guatr sınıflandırma sistemine göre değerlendirildi (13). Ciltte kuruluk kabalaşma gibi hipotiroidiye ait bulgular arandı.

Puberte gelişimi için Tanner evrelemesi yapıldı (14). Kemik yaşı tayini, sol el bilek grafisinin Grulich WW. Pyle SI atlasına göre yapıldı (15).

Hastaların, TT₃, TT₄, sT₃, sT₄, TSH düzeyleri ve eşzamanlı TRH uyarısına TSH yanıtı, serum ferritin düzeyleri, transfüzyon durumları ve şelasyon tedavisi ile ilişkisi değerlendirildi. Ferritin düzeyleri ile pik TSH, 60. dk TSH ve ΔTSH arasındaki ilişki araştırıldı

İstatistiksel analiz için SPSS 15.0 for Windows programı kullanıldı. Tanımlayıcı istatistikler; kategorik değişkenler için

Tablo 1. Hasta grubu genel özellikleri

		N=22	
Cinsiyet	n (%)	Erkek	14 (63,6)
		Kadın	8 (36,4)
Takvim Yaşı (yıl)	Ort.±SD		14,03±2,19
Boy Yaşı (yıl)	Ort.±SD		10,82±1,61
Kemik Yaşı (yıl)	Ort.±SD		11,59±2,20
% Boy n (%)		3 P>	11 (50,0)
		3 P	2 (9,1)
		3-10 P	3 (13,6)
		10 P	1 (4,5)
		10-25 P	4 (18,2)
		25-50 P	1 (4,5)
Z Skoru	Ort.±SD		-2,07±1,05
Puberte Evresi	n (%)	P1	4 (18,2)
		P2	9 (40,9)
		P3	7 (31,8)
		P4	1 (4,5)
		P5	1 (4,5)
Ortalama Hemoglobin	Ort.±SD		8,65±0,76
İlk Transfüzyon Yaşı	Ort.±SD		18,52±17,23
Total Transfüzyon Yaşı	Ort.±SD		149,91±38,36
Ferritin	Ort.±SD		3921,05±3372,72
DF başlama yaşı	Ort.±SD		5,64±2,17
DF Düzeni	n (%)	İyi	7 (31,8)
		Kötü	8 (36,4)
		Orta	7 (31,8)
ALT	Ort.±SD		71,27±67,98
AST	Ort.±SD		55,23±35,18
Karaciğer Büyüklüğü (cm)	Ort.±SD		4,80±2,83

DF: Desferal, ALT: Alanin aminotransferaz, AST: Aspartataminotransferaz

Hastalarımız karaciğer tutulumu açısından değerlendirildiğinde, 2 cm ile 12 cm arasında karaciğer büyüklüğü tespit edildi. ALT ve AST 13 hastada yükselmişti. 12

sayı ve yüzde, sayısal değişkenler için ortalama, standart sapma olarak verildi. Bağımsız iki grup karşılaştırmaları sayısal değişkenler normal dağılım koşulunu sağladığında Student t Test, normal dağılım koşulunu sağlamadığında Mann Whitney U testi ile yapıldı. Sayısal değişkenler arası ilişkiler parametrik test koşulu sağlanmadığından Spearman Korelasyon Analizi ile incelendi. İstatistiksel alfa anlamlılık seviyesi p<0,05 olarak kabul edildi.

3. Bulgular

Çalışmaya 10 yaş ve üzerinde 22 TM'lu hasta alındı, yaş ortalaması 14,03±2,19 yıl (10,33 ile 18,08 yıl), 14'ü (%63,6) erkekti. Kontrol grubunun yaş ortalaması 14,05±2,21 yıl, 7'si (%70) erkekti. Hastaların fizik özellikleri ve pubertal gelişimleri, ilk transfüzyon yaşı, total transfüzyon süresi, pretransfüzyon ortalama Hb değerleri, demir şelasyon tedavisine başlama yaşı, uyumu ve ferritin değerleri Tablo 1'de özetlendi. Hastalarımız üç haftada bir transfüzyon almakta ve demir şelasyon tedavisi amacıyla desferrioksamin (subkutan 8-12 saatlik infüzyon şeklinde 40 mg/kg/gün, haftada beş gün) kullanmaktaydılar. Transfüzyon tedavisine başlama yaşı 3 ay ile 72 ay arasında değişmekteydi (ort: 18,52±17,23). Total transfüzyon süresi 54 ay ile 194 ay (ort 149,9±38,3) arasındaydı.

hastada her ikisi beraber yüksek bulundu (Tablo 1). ALT sonuçları ile ferritin düzeyleri karşılaştırıldığında, istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmadı.

Tablo 2. Tiroid hormonları, TRH uyarısına TSH yanıtları ve kontrol grubu ile karşılaştırılması

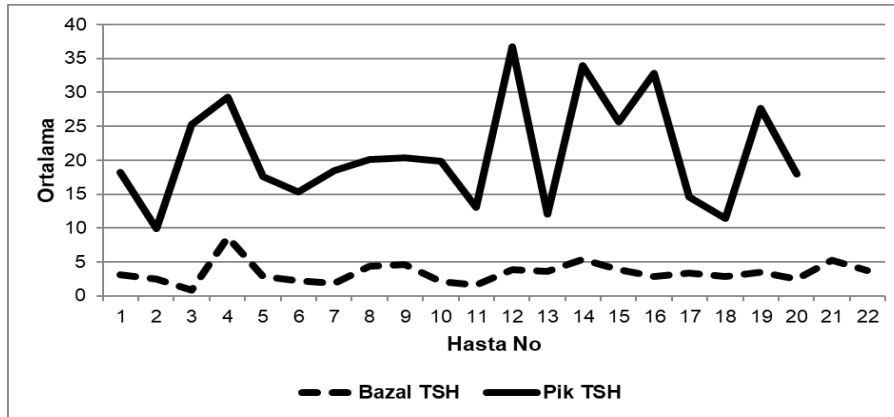
		Hasta Grup (n=22)	Kontrol Grubu (n=10)	p
		Ort.±SD	Ort.±SD	
Bazal Hormon Değerleri	TT4	10,68±2,12	10,59±2,36	0,915
	TT3	154,86±39,09	147,80±26,65	0,609
	sT3	5,15±1,43	4,65±0,98	0,325
	sT4	1,55±0,21	1,77±0,44	0,063
	TSH	3,43±1,62	3,05±1,03	0,503
TRH uyarısına yanıtlar	Pik TSH	21,01±7,87	22,57±5,90	0,581
	ΔTSH	18,00±7,08	19,71±5,81	0,510

TT3; Total triiodothyronine, TT4; Total thyroxine, sT3Serbest triiodothyronine, ST4; Serbest thyroxine, TSH; Thyroid-Stimulating Hormone, TRH; Thyrotropine Releasing Hormone

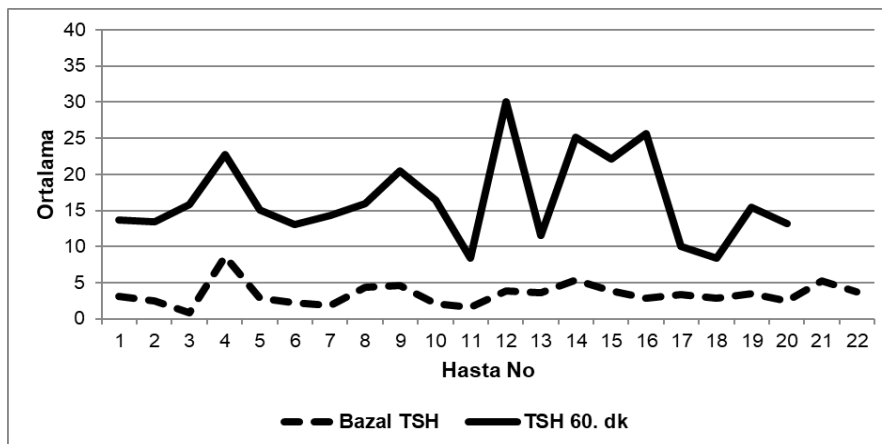
Hastalarımızda % 27,2 oranında tiroid disfonksiyonu saptandı. Tiroid bezi ve hipofiz-tiroid aksı fonksiyonlarına ait incelemelerde hastaların bazal tiroid hormonları (TT3, ST3, TT4, ST4, TSH) ve TRH uyarısına TSH yanıtları Tablo 2’de verilmiştir. Bir olgu dışında tüm hastalar pik TSH değerine 20. dk’da ulaşıldı. Hasta grubumuzda bazal tiroid hormonları kontrollerle karşılaştırıldığında arada istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamadı. Aynı zamanda TRH uyarısına pik TSH ve ΔTSH değerlerinin ortalaması kontrollere göre hafif düşük olmakla beraber aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildi

(Tablo 2). Hastalarımız kontrol grubu referans alınarak değerlendirildiğinde; üç hastada kompanse primer hipotiroidi, iki hastada subklinik primer hipotiroidi, bir hastada hipotalamik hipotiroidi tespit edildi.

Hastalarımızın bazal TSH değerleri ile pik TSH değerleri arasında anlamlı pozitif korelasyon tespit edildi (r=0.38, p<0.05) (Grafik 2a). Aynı şekilde bazal TSH ile 60. dakika TSH arasında da anlamlı pozitif korelasyon vardı (r=0.42, p<0.05) (Grafik 2b).

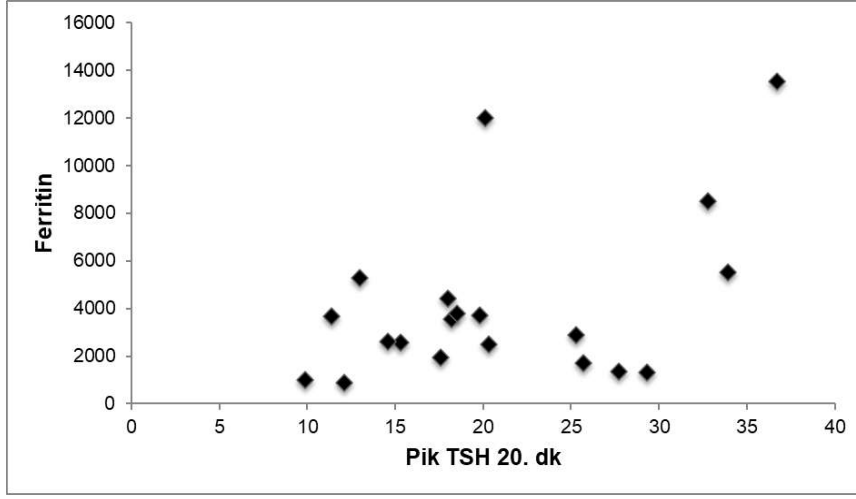


Grafik 2 a. Bazal TSH ile pik TSH arasındaki ilişki

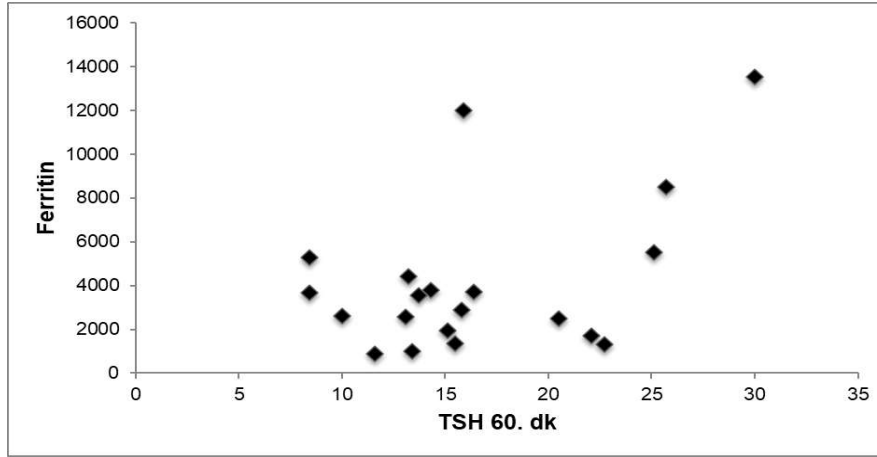


Grafik 2 b. Bazal TSH ile 60. dk TSH ilişkisi

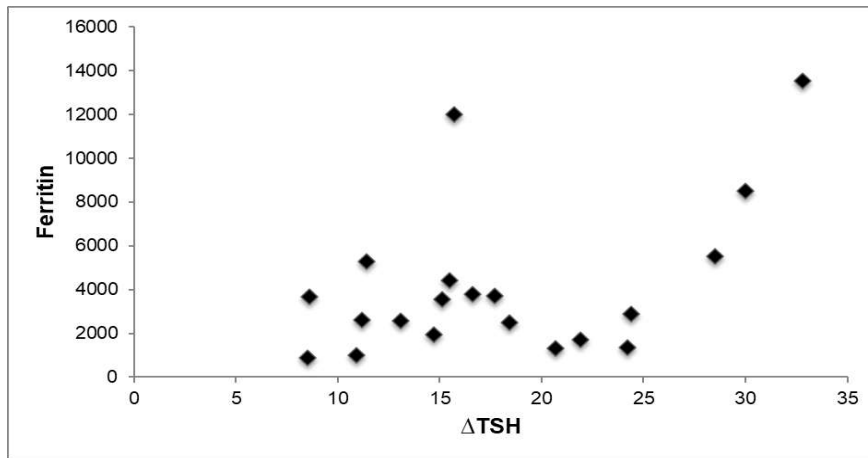
Ferritin düzeyleri ortalaması 4557.18 ± 4141.31 ng/ml idi. Ferritin değerleri ile 20. dk TSH ($r=0,44$, $p<0,05$) (Grafik 3 a) ve 60. dk TSH ($r=0,45$, $p<0,05$) (grafik 3 b), Δ TSH ($r=0,47$, $p<0,05$) (Grafik 3 c) arasında anlamlı pozitif korelasyon vardı.



Grafik 3 a. Ferritin ile 20. dk TSH korelasyonu



Grafik 3 b. Ferritin ile 60. dk TSH ilişkisi



Grafik 3 c. Ferritin ile Δ TSH korelasyonu

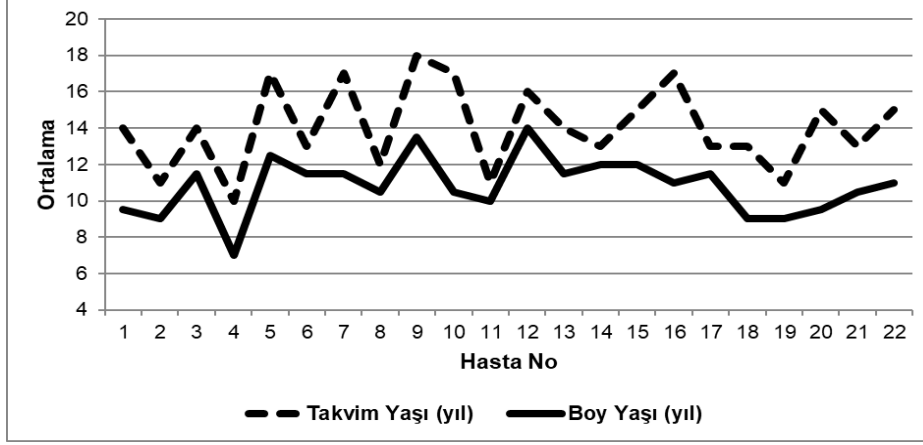
Olgularımızı tek tek incelediğimizde, 11,5 yaşında bir erkek hastada, TSH ve sT4 ve TT4 değerleri normaldi, TRH uyarısına gecikmiş TSH yanıtı (pik TSH değerine 60. dakikada ulaştı) ve hasta, santral hipotiroidi lehine değerlendirildi. Olgumuzda

hipotalamik patoloji açısından başka bulgular yoktu. İki hastamız, bazal TSH ve sT4'ün normal olması ve TRH uyarısına artmış TSH yanıtı ile subklinik primer hipotiroidi olarak değerlendirildi Üç hastamızda bazal TSH yüksek, sT4

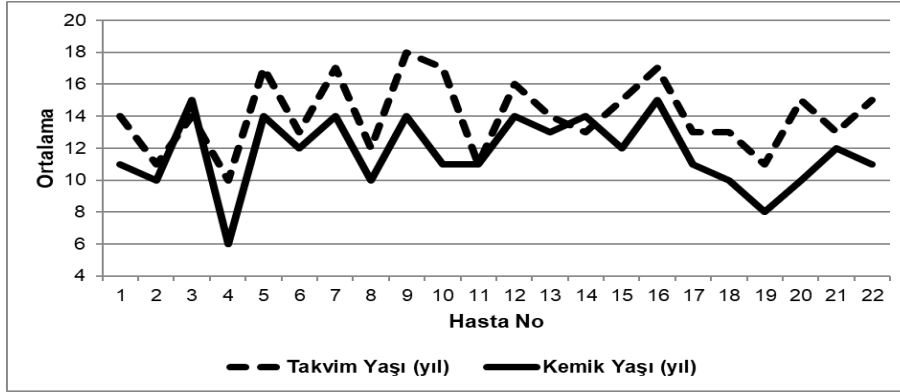
değerlerinin normal olduğu kompanse primer hipotiroidi tespit edildi. Aynı zamanda bu olgulardan TRH uyarı testi yapılan iki hastada abartılı yanıt elde edildi. Diğer olguya uyarı testi yapılmamıştı.

Boy gelişimi 12 hastada 3. persentilin altındaydı (%54,5) yaş için verilen ortalama değerden standart sapmaları (Boy SDS,

Z skoru) ortalaması $-2,06 \pm 1,04$ yıl (0,24 ile -4,12 arasında). Boy yaşı ortalaması $10,8 \pm 1,6$ yıl idi. Hastalarımızda ileri derecede büyüme geriliği vardı. Hastaların çoğunda kemik yaşı geriliği belirgindi. Kızların % 75'inde erkeklerin %92'sinde kemik yaşı geriydi. Kemik yaşı ortalaması $11,5 \pm 2,2$ yıl idi (Grafik 1 a,b).



Grafik 1.a Takvim yaşı ile boy yaşının karşılaştırılması



Grafik 1 b. Takvim yaşı ile kemik yaşının karşılaştırılması

Pubertal gelişim açısından değerlendirildiğinde kızlardan beş hastada P₃ (%62.5), iki hastada P₂ (%25), bir hasta P₄ (% 12.5) evresindeydi. Erkeklerden dört hasta prepubertal evredeydi. Yedi hasta P₂ (%70), iki hasta P₃ (%20), bir hasta P₅ (%10) evresindeydi (Tablo 1).

4. Tartışma

Temel tedavi yaklaşımı düzenli aralıklarla transfüzyon ve şelasyon tedavisi olan β -TM'lu hastalar, aşırı demir birikimi açısından risk altındadırlar (5). β -TM'lu hastalarda tiroid bezi ve hipofiz- tiroid aksı fonksiyonlarına ait bir çok çalışma (18,19,20). Bazı çalışmalarda normal tiroid fonksiyonu bildirilirken (16,17), %60'lara varan oranda tiroid disfonksiyonu rapor eden çalışmalar da mevcuttur. β -TM'lu hastalarda primer hipotiroidi sıklığı % 4 ile % 29 arasında değişmektedir, genel olarak subklinik hipotiroidi, aşikar hipotiroidiye göre daha yaygındır. Bu geniş varyasyonun, hastaların yaşı, sayısı, etnisitesi, transfüzyon tedavi protokollerindeki farklılık, şelasyon tedavisine uyum gibi faktörlere bağlı olabileceğini

düşünülmektedir (6). Sabato ve ark. nın 114 olguluk yaş ortalaması 13,6 yıl olduğu çalışmada kompanse ve dekompanse primer hipotiroidi sıklığını % 17,5 oranında tespit etmişlerdir (11).

Tiroid disfonksiyonunu daha yüksek oranlarda bulanlardan Magro ve ark. 60 hastalık serilerinde toplamda % 51,7 oranında olmak üzere, % 15 subklinik, % 18,3 kompanse, % 13,3 dekompanse primer hipotiroidi saptamışlardır (10).

Uzun yıllar izlem sonucu yapılan çalışmalar, ilerleyen yaşla birlikte tiroid fonksiyonlarının kötüleştiğini göstermiştir, aşikar hipotiroidinin ortaya çıkması yıllar alabilmektedir. De Sanctis ve ark.'nın yaptığı bir çalışmada 24 TM hastasının 8'inde (%33.3) TRH testine abartılı TSH yanıtı saptanmış, sekiz hastanın üçü 11 yıl içinde subklinik veya aşikar hipotiroidi geliştirmiştir. TRH testinden sonra TSH pik değerlerinin, ferritin ile pozitif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir (19). Landau ve ark.'nın yaş ortalamasının 21 olduğu 37 hasta ile yapılan 15 yıllık takibi içeren bir çalışmada, TM'lu hastaların % 30'undan fazlasının TRH'ya anormal yanıt verdiğini ve %

14'ünün de normalden aşık hipotiroidiye döndüğünü bildirmişlerdir (18). Yine Zervas ve ark. ortalama tiroid hormon değeri olan 5 TM'lu hastadan birinin TRH testine abartılı bir TSH yanıtı verdiğini rapor etmişlerdir (3).

Bizim çalışmamızda, bazal tiroid hormonları kontrollerle karşılaştırıldığında arada istatistiki olarak anlamlı bir fark bulunamadı. TSH düzeyleri kontrollerden hafif yüksek olmakla beraber aradaki fark anlamlı değildi. Hastalarımızın TRH uyarısına pik TSH ve Δ TSH değerleri kontrollere göre hafif düşük olmakla beraber aradaki fark istatistiki olarak anlamlı değildi. Livades ve ark.'nın 7 hastalık serilerinde TRH'ya TSH yanıtını TM'lu hastalarda kontrollerden anlamlı düşük bulmuşlar ve hastalarda hem hipofizer hem de tiroid fonksiyon bozukluğunun olduğunu öne sürmüşlerdir (20). Çalışmamızda, % 27,2 oranında tiroid fonksiyon bozukluğu tespit ettik. Tiroid disfonksiyonu saptadığımız üç hastada TT3 ve s T3 düzeylerini yüksek bulduk. Bu durumun tiroid bezinin kompensasyonuna bağlı daha fazla T3 sentez etmesi nedeniyle olduğunu düşündü. Tiroid fonksiyonları normal saptanan iki hastamızda da sT3 değerleri yüksek bulundu; bu hastalarda diğer tiroid hormonları ve TRH'ya TSH yanıtı normaldi, hipertiroidiye ait bulgu yoktu. sT3 değerlerindeki yüksekliğin, tiroksin reseptörlerindeki duyarsızlığa veya reseptör duyarlılığındaki görece azalmaya bağlı olabileceğini düşündük.

Bir hastamızda, TSH ve sT4 ve TT4 değerlerinin normal, TRH uyarısına gecikmiş TSH yanıtı (pik TSH değerine 60. dakikada ulaştı) olduğu görüldü ve santral hipotiroidi lehine değerlendirildi, hipotalamik patoloji açısından başka bir bulguya rastlanmadı. Santral hipotiroidinin tanısı klinik ve biyokimyasal açıdan zor konulmaktadır. Santral hipotiroidi sıklığının araştırıldığı, yaş ortalamasının 30 yaş olduğu bir çalışmada 21 yaş altı TM'lu hastalarda % 6 oranında, 21 yaş üstü hastalarda ise %7,9 gibi yüksek oranda görüldüğü bildirilmiştir (21). Son yıllarda, farklı ülkelerden verilerin toplandığı bir çalışmada erişkin β -TM'lu hastalarda en sık rastlanan komplikasyonun, santral hipotiroidi (%4,6) ve büyüme hormonu eksikliği (%3) olduğu rapor edilmiştir (22). Yıllar içinde, TM'lu hastalarda santral hipotiroidi tanısının konulmasında önemli gelişmeler sağlanmış ve farkındalık artmıştır. Bu durumda, hem hipotalamus, hem de hipofiz bezinin aşırı demir yüklenmesinden etkilendiği düşünülmektedir (6).

TRH stimülasyon testi, tiroid disfonksiyonunun erken tanısı için yararlı bir araç olabilir. TRH testine abartılı bir TSH yanıtı TM'da sıklıkla vardır ve bu durum subklinik ve ya klinik hipotiroidiye dönüşebilmektedir. Bu komplikasyonların erken tanı ve tedavisi, iyi bir yaşam kalitesi sağlamak ve geç morbidite ve mortaliteyi azaltmak için gereklidir (6).

Tiroid disfonksiyonu saptadığımız üç hastamızda TT3 ve s T3 düzeylerini yüksek bulduk. Bu durum bize, bu hastalarda iyot eksikliğinin de eşlik edebileceğini düşündürdü. Ancak spot idrar iyot eksikliğinin değerlendirilmesinde yeterli olmayıp ortalama on örnekleme gerektiği bilinmektedir. Tiroid fonksiyonları normal saptanan iki hastamızda da sT3 değerleri yüksek bulundu, bu hastalarda diğer tiroid hormonları ve TRH'ya TSH yanıtı normaldi, hipertiroidiye ait bulgu yoktu. Hastalarımızda hipotiroidiyi düşündürecek klinik bulguya rastlamadık. Yapılan çalışmalarda da klinik olarak TM'lu hastalar ötiroid bulunmakta, hormonal inceleme yapıldığında tiroid disfonksiyonu tespit edilmektedir (9,19,23)

Serum ferritininin vücut demir depoları ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Ferritin değerlerinin seri ölçümü, demir

yüklenmesi ve şelasyon tedavisinin etkinliğini değerlendirmek için güvenilir ve en kolay yöntemdir (24). TM'lu hastalarda tiroid disfonksiyonunun sebebi artmış demir birikimi gibi görünmekle birlikte çalışmalarda birbirinden farklı sonuçlar bildirilmiştir. Bazı araştırmacılar tiroid fonksiyon bozukluğu ile ilk transfüzyon yaşı, total transfüzyon sayısı, ferritin düzeyleri arasında ilişki saptayamamışlar (10, 11, 18, 25). Ferritin ile tiroid disfonksiyonu arasındaki ilişkiyi araştıran farklı çalışmalarda ise, Chirico ve ark. ferritin düzeyinin hem tiroid disfonksiyonunda hem de ilerlemesinde önemli bir prognostik faktör olduğunu göstermiştir (4). Al-Hader ve ark. 90 TM'lu hastayı ferritin değerlerine göre (WHO kriterleri) 300-7000 ng/ml olanları hafif demir yüklenmesi, 7000 ng/ml ve üzerinde olanları ciddi demir yüklenmesi olarak iki gruba ayırmışlar ve ciddi demir yüklenmesi olanların hemen hepsinde tiroid disfonksiyonu saptarken diğer grupta çok az oranda tiroid disfonksiyonu tespit etmişler ve demir yüklenmesi ile tiroid disfonksiyonu arasında ilişkiyi ortaya koymuşlardır (26). Yine Gamberini ve ark. ferritin düzeyinin 3000 ng/ml seviyelerinde olmasının hipotiroidi ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir (27).

Bizim çalışmamızda da benzer şekilde, ferritin düzeyleri ile pik TSH, 60. dk TSH, Δ TSH arasında anlamlı pozitif korelasyon saptadık, bu bulgu bize tiroid disfonksiyonu oluşumunda demir birikiminin en önemli mekanizma olduğunu düşündürdü. Tiroid disfonksiyonu saptadığımız hastaların yarısında ferritin değerleri çok yüksek ve DFO tedavisini düzensiz kullanmaktaydı. Bununla birlikte ferritin düzeyleri düşük olan ve düzenli DFO kullanan üç hastamızda da tiroid disfonksiyonu saptadık. Aynı zamanda ferritin düzeyi çok yüksek ve DF tedavisine uyumsuz bir hastamızda tiroid fonksiyonları normal bulduk. Bu bulgular bize tiroid disfonksiyonunda demir birikiminin dışında, anemiye ikincil hipoksi ve kronik karaciğer hastalığı gibi diğer faktörlerinde rol oynadığını düşündürdü(10,11,26).

Büyüme gecikmesi B-TM'lu hastaların çarpıcı özelliklerindedir. Dört yaşından sonra büyüme duraklaması, sekiz yaşından sonra boy, oturma yüksekliği, kilo ve iskelet olgunlaşmasını içerecek şekilde ortaya çıkar. Bu yaştan sonra büyümenin yavaşlaması ve pubertal büyüme hızının azalması veya yokluğu gözlenir(16). Büyüme yetmezliğinin patogenezi bir çok faktöre bağlıdır. Temel olarak kronik anemi ve hipoksi, farklı organlarda aşırı demir yükü, kronik karaciğer hastalığı, beslenme yetersizliğine, şelatörlerin düzensiz kullanımına ve endokrinopatilere (hipogonadizm, puberte gecikmesi, hipotiroidizm, büyüme hormonu-insulin benzeri büyüme faktörü-1 (IGF-1) ekseninin disregülasyonu) bağlıdır. Tiroid hormonları, büyüme hormonu-IGF-1 sistemi ve boy ve kemik büyümesini kontrol eden diğer hormonlarla etkileşime girer (28).

Hastalarımızda kemik yaşı ve boy yaşı geriliği çok belirgindi. Ancak tiroid fonksiyon testlerinde bozukluk ile kemik yaşı geriliği ve boy yaşı arasında anlamlı bir ilişki tespit saptamadık (29). Hastalarımızın longitudinal izlem verileri bu konuda daha fazla veri elde etmemize yardımcı olacaktır.

5. Sonuç

On yaş ve üzerindeki β -TM 'lu hastalarda tiroid bezi ve hipofiz- tiroid aksı fonksiyonlarının incelenmesi ve serum ferritin düzeyi ile ilişkisinin değerlendirilmesi amacı ile yapılan çalışmamızda, % 27,2 oranında tiroid disfonksiyonu saptadık., Ferritin düzeyleri ile pik TSH, 60. dk TSH, Δ TSH arasında

anlamli pozitif korelasyon saptanmasi demir birikiminin tiroid disfonksiyonunda cok onemli bir faktör olduğunu destekledi. Demir birikiminin tiroid disfonksiyonundaki yeri, şelasyon tedavisinin de önemini vurgulamaktadır.

Hastalarımızda sekonder hipotiroidi ve düşük T3 sendromu saptamadık. Klinik olarak hastalarımızda hipotiroidiyi düşündürecek bulgu ve semptoma rastlanmaması ancak hormonal inceleme yapıldığı zaman tiroid disfonksiyonu tespit edilmesi özellikle 10 yaş üzeri TM'lu hastalarda tiroid hormonlarının (TSH, s T4) düzenli aralıklarla takip edilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

6. Teşekkür

Yazarlar süreç kapsamında verdiği destekten dolayı Prof. Dr. Hülya Günöz'e teşekkür eder.

Kaynakça

1. Origa R. (2017). β -Thalassemia. *Genetics in medicine : official journal of the American College of Medical Genetics*, 19(6), 609–619.
2. Soliman, A. T., Al Yafei, F., Al-Naimi, L., Almarri, N., Sabt, A., Yassin, M., & De Sanctis, V. (2013). Longitudinal study on thyroid function in patients with thalassemia major: High incidence of central hypothyroidism by 18 years. *Indian journal of endocrinology and metabolism*, 17(6), 1090–1095.
3. Zervas, A., Katopodi, A., Protonotariou, A., Livadas, S., Karagiorga, M., Politis, C., & Tolis, G. (2002). Assessment of thyroid function in two hundred patients with beta-thalassemia major. *Thyroid : official journal of the American Thyroid Association*, 12(2), 151–154.
4. Chirico, V., Lacquaniti, A., Salpietro, V., Luca, N., Ferrau, V., Piraino, B., Rigoli, L., Salpietro, C., & Arrigo, T. (2013). Thyroid dysfunction in thalassaemic patients: ferritin as a prognostic marker and combined iron chelators as an ideal therapy. *European journal of endocrinology*, 169(6), 785–793.
5. Upadya, S. H., Rukmini, M. S., Sundararajan, S., Baliga, B. S., & Kamath, N. (2018). Thyroid Function in Chronically Transfused Children with Beta Thalassemia Major: A Cross-Sectional Hospital Based Study. *International journal of pediatrics*, 2018, 9071213.
6. De Sanctis, V., Soliman, A. T., Canatan, D., Yassin, M. A., Daar, S., Elsedfy, H., Di Maio, S., Raiola, G., Corrons, J. V., & Kattamis, C. (2019). Thyroid Disorders in Homozygous β -Thalassemia: Current Knowledge, Emerging Issues and Open Problems. *Mediterranean journal of hematology and infectious diseases*, 11(1), e2019029.
7. Belhoul, K. M., Bakir, M. L., Saned, M. S., Kadhim, A. M., Musallam, K. M., & Taher, A. T. (2012). Serum ferritin levels and endocrinopathy in medically treated patients with β thalassemia major. *Annals of hematology*, 91(7), 1107–1114.
8. Richardson, M. E., Matthews, R. N., Alison, J. F., Menahem, S., Mitvalsky, J., Byrt, E., & Harper, R. W. (1993). Prevention of heart disease by subcutaneous desferrioxamine in patients with thalassaemia major. *Australian and New Zealand journal of medicine*, 23(6), 656–661.
9. DeGroot LJ. Endocrinology. In: DeGroot LJ, editor. *Endocrinology*. Toronto: Saunders; 1989. pp. 583–601.
10. Magro, S., Puzzonio, P., Consarino, C., Galati, M. C., Morgione, S., Porcelli, D., Grimaldi, S., Tancre, D., Arcuri, V., & De Santis, V. (1990). Hypothyroidism in patients with thalassemia syndromes. *Acta haematologica*, 84(2), 72–76.
11. Sabato, A. R., de Sanctis, V., Atti, G., Capra, L., Bagni, B., & Vullo, C. (1983). Primary hypothyroidism and the low T3 syndrome in thalassaemia major. *Archives of disease in childhood*, 58(2), 120–127.
12. Neyzi, O., Furman, A., Bundak, R., Gunoz, H., Darendeliler, F., & Bas, F. (2006). Growth references for Turkish children aged 6 to 18 years. *Acta paediatrica (Oslo, Norway : 1992)*, 95(12), 1635–1641.
13. Perez C, Scrimshaw S, Munoz A. Technique of endemic goiter surveys. In *Endemic Goiter*. Geneva: WHO; 1960. pp. 369–383
14. Tanner, J. M., & Whitehouse, R. H. (1976). Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. *Archives of disease in childhood*, 51(3), 170–179.
15. Greulich WW, Pyle SI, Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and the Wrist (2nd Ed). Stanford University Press, Stanford, CA; 1959
16. Canale, V. C., Steinherz, P., New, M., & Erlandson, M. (1974). Endocrine function in thalassemia major. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 232(0), 333–345.
17. de Luca, F., Melluso, R., Sobbrino, G., Canfora, G., & Trimarchi, F. (1980). Thyroid function in thalassaemia major. *Archives of disease in childhood*, 55(5), 389–392.
18. Landau, H., Matoth, I., Landau-Cordova, Z., Goldfarb, A., Rachmilewitz, E. A., & Glaser, B. (1993). Cross-sectional and longitudinal study of the pituitary-thyroid axis in patients with thalassaemia major. *Clinical endocrinology*, 38(1), 55–61.
19. De Sanctis, V., Tanas, R., Gamberini, M. R., Sprocati, M., Govoni, M. R., & Marsella, M. (2008). Exaggerated TSH response to TRH ("sub-biochemical" hypothyroidism) in prepubertal and adolescent thalassaemic patients with iron overload: prevalence and 20-year natural history. *Pediatric endocrinology reviews : PER*, 6 Suppl 1, 170–173.
20. Livadas, D. P., Sofroniadou, K., Souvatzoglou, A., Boukis, M., Siafaka, L., & Koutras, D. A. (1984). Pituitary and thyroid insufficiency in thalassaemic haemosiderosis. *Clinical endocrinology*, 20(4), 435–443.
21. De Sanctis, V., Soliman, A., Candini, G., Campisi, S., Anastasi, S., & Iassin, M. (2013). High prevalence of central hypothyroidism in adult patients with β -thalassemia major. *Georgian medical news*, (222), 88–94.
22. De Sanctis, V., Soliman, A. T., Canatan, D., Tzoulis, P., Daar, S., Di Maio, S., Elsedfy, H., Yassin, M. A., Filosa, A., Soliman, N., Mehran, K., Saki, F., Sobti, P., Kakkar, S., Christou, S., Albu, A., Christodoulides, C., Kilinc, Y., Al Jaouni, S., Khater, D., ... Kattamis, C. (2019). An ICET-A survey on occult and emerging endocrine complications in patients with β -thalassemia major: Conclusions and recommendations. *Acta bio-medica : Atenei Parmensis*, 89(4), 481–489.
23. Flynn, D. M., Fairney, A., Jackson, D., & Clayton, B. E. (1976). Hormonal changes in thalassaemia major. *Archives of disease in childhood*, 51(11), 828–836.

24. De Sanctis, V., Soliman, A., & Yassin, M. (2013). Iron overload and glucose metabolism in subjects with β -thalassaemia major: an overview. *Current diabetes reviews*, 9(4), 332–341.
25. Masala, A., Meloni, T., Gallisai, D., Alagna, S., Rovasio, P. P., Rasso, S., & Milia, A. F. (1984). Endocrine functioning in multitransfused prepubertal patients with homozygous beta-thalassemia. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 58(4), 667–670.
26. al-Hader, A., Bashir, N., Hasan, Z., & Khatib, S. (1993). Thyroid function in children with beta-thalassemia major in north Jordan. *Journal of tropical pediatrics*, 39(2), 107–110.
27. Gamberini, M. R., De Sanctis, V., & Gilli, G. (2008). Hypogonadism, diabetes mellitus, hypothyroidism, hypoparathyroidism: incidence and prevalence related to iron overload and chelation therapy in patients with thalassaemia major followed from 1980 to 2007 in the Ferrara Centre. *Pediatric endocrinology reviews : PER*, 6 Suppl 1, 158–169.
28. Soliman AT, Sanctis VD, Elalaily R, Yassin M. Insulin-like growth factor-I and factors affecting it in thalassemia major. *Indian J Endocr Metab* 2015; 19: 245-51.
29. Borgna-Pignatti, C., De Stefano, P., Zonta, L., Vullo, C., De Sanctis, V., Melevendi, C., Naselli, A., Masera, G., Terzoli, S., & Gabutti, V. (1985). Growth and sexual maturation in thalassemia major. *The Journal of pediatrics*, 106(1), 150–155.



Kent Parklarının Kullanıcı Memnuniyetinin Niğde Örneğinde İncelenmesi

Orhun Soydan^{1*}

^{1*} Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mimarlık akültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Niğde, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0723-921X), orhunsoydan@ohu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 04 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 06 Kasım 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.764122)

ATIF/REFERENCE: Soydan, O. (2020). Kent Parklarının Kullanıcı Memnuniyetinin Niğde Örneğinde İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 712-722.

Öz

Kent parkları, rekreasyon ve eğlenmeye olanak vermeleri, şehir içinde açık ve yeşil alanlar oluşturulmaları ve doğa ile insan arasındaki uyumun sağlanması açısından kentlere sayısız katkıda bulunmaktadır. Parklar, insanların fiziksel ve psikolojik ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmış en kritik alanlardır. Ayrıca parklar, insanların kentleşmeden dolayısıyla betonlaşan alanlardan kaçmaları için mekânlar yaratmakta, kentsel alanlarda kullanıcıların yaşam kalitesini iyileştirmektedirler. Parklar tarafından sunulan aktivite fırsatları ve parkların yeri ve erişilebilirliği kullanıcıların parkları tercih nedenini etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedirler. Sağlıklı ve sürdürülebilir kentler açısından parkların kullanıcıların talepleri doğrultusunda tasarlanması ve kullanıcıların refahı ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; kent parklarının çevresel bileşenlerinin ve tasarım özelliklerinin kullanıcı görüşleri doğrultusunda belirlenmesi amaçlanmıştır. Niğde kentinde parklar seçilirken parkların konumları, büyüklükleri ve içerisinde bulundukları peyzaj öğeleri dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında; Niğde kent parklarında kullanıcı memnuniyetinin belirlenmesi amacıyla anket formu hazırlanmış ve 400 kişi üzerinden anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışmasına katılan kullanıcılar gönüllülük esasına dayalı olarak seçilmişlerdir. Görüşmelerden elde edilen sonuçlar SPSS yazılımına aktarılmış ve t testi ile analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, parklara ait hâlihazır haritalar ve uydu görüntüleri kullanılmıştır. Anket çalışması sonucunda; park içerisinde bulunan faaliyet alanlarının ve parkların tasarımının kullanıcıların tercihini etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca kullanıcı görüşleri doğrultusunda parkların temiz ve bakımlı olduğu, ancak parklarda tercih edilen bitkisel öğelerin ve donatı elemanlarının sayısının yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın son kısmında kent parklarının kullanıcılar açısından daha çok tercih edilmesi için dikkat edilmesi gereken kriterler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Açık ve Yeşil alanlar, Parklar, Kullanıcı Memnuniyeti, Niğde.

Investigation of User Satisfaction of City Parks in Example of Niğde

Abstract

Urban parks provide numerous contributions to cities in terms of enabling recreation and entertainment, creating green spaces within the city, and ensuring harmony between nature and people. Parks are the most important field designed to meet user's recreational activities. In addition, parks create spaces for people to escape from concrete areas through urbanization and improve the quality of life of users in urban areas. The activity opportunities offered by the parks and the location and accessibility of the parks are among the most important factors affecting the reason why users choose parks. In terms of a healthy and sustainable city, parks should be designed in line with the demands of the users and associated with the well-being of the users. In this study; It is aimed to determine the environmental components and design features of the city parks in line with user opinions. When choosing parks in Niğde Province, the locations, sizes and landscape elements of the parks were taken into consideration. Scope of work; in order to determine the user satisfaction in Niğde city parks, a questionnaire form was prepared, and a survey was carried out with 400 people. The users which participated in the survey, were selected on a voluntary basis. The results that were obtained from the interviews, were transferred to SPSS software, and analysed by t test. Current maps and satellite images of the parks are used. As a result of the survey study; It was concluded that the activity areas and park design in the park affect the preference of the users. In addition, it has been determined that the parks are clean and well-maintained, but the number of preferred vegetative elements and reinforcement elements in the parks is insufficient. In the last part of the study, the criteria that should be taken into consideration in order to prefer the city parks more for the users, are proposed.

Keywords: Urban Open and Green Areas, Parks, User Satisfaction, Niğde.

* Sorumlu Yazar: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Niğde, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0723-921X, orhunsoydan@ohu.edu.tr

1. Giriş

Gelecekte neler olacağını düşünmeden ihtiyaçların karşılanması için kaynakların kullanılması, insan ve doğa arasındaki ilişkilerde bir takım sorunlara yol açmaktadır. Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma ile ilgili hemen hemen tüm tanımlar, yeni neslin mevcut karar alma sürecine dâhil edilmesini gerektirmektedir. Doğal alanların korunması ve rekreasyon amaçlı dengeli kullanım çalışmaları ile geliştirilen yöntemlerin temel amacı rekreasyon memnuniyetini sağlamaktır (Sıvalıoğlu ve Berköz; 2016). Bu kapsamda kentsel açık ve yeşil alanlar rekreasyonel faaliyetlerin gerçekleştirildiği en önemli mekânlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kent peyzajının kamu tarafından finanse edilen unsurları olan açık ve yeşil alanlar, halk sağlığı ve sürdürülebilirlik açısından faydalar sağlamaktadırlar. Halk sağlığı açısından açık ve yeşil alanlar, yoğun kentsel ortamlarda bile doğa ile tekrarlanan temas ve fiziksel aktivite için fırsatlar sunmaktadır. Birçok ülkede yapılan araştırmalar, doğa ile günlük temasın kültürel farklılıklara bakılmaksızın insanların sağlığına olumlu katkıda bulunduğunu göstermiştir. Yetişkinler için açık ve yeşil alanlara erişim, daha yüksek fiziksel aktivite, daha iyi zihinsel sağlık, daha düşük stres seviyeleri ve genel olarak daha iyi hissetme anlamına gelmektedir. Açık ve yeşil alanlar gençler için; doğal temas, fiziksel ve zihinsel sağlık, kişisel refah, bilişsel işlevsellik ve sosyo-duygusal gelişim için sayısız fayda sağlamaktadırlar. Bu tür özelliklerinin yanında açık ve yeşil alanların yaşadığımız çevreye ekolojik açıdan da katkıları bulunmaktadır.

Kentsel açık ve yeşil alanlar karbon tutma, hava kirliliğinin azaltılması, biyolojik çeşitliliğin korunması, iklime olan etkisi gibi ekosistem üzerinde sağladığı faydalar nedeniyle şehirlerin sürdürülebilirliği açısından çok önemlidirler. (Jenerette vd., 2011). Kentlerin planlama aşamalarında karar vericiler genel olarak doğa ile insan refahı arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurmayarak, şehirlerin ekonomik etkileşimlerini, sosyal etkileşimlerden daha fazla ön plan çıkarmaktadırlar. Bunun sonucunda kentlerde yaşayan insanlarda fiziksel, psikolojik ve ruhsal açıdan sıkıntılar meydana gelmektedir. (Van Den Berg vd., 2015). Kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayan kent parklarının bulunduğu alanlarda yaşamak, yaş, cinsiyet, medeni durum ve sosyoekonomik durumlara bakılmaksızın, şehirlerde yaşayan insanların yaşam kalitesini olumlu yönde etkilemektedir (Takano vd., 2002). Ayrıca kent parkları, fiziksel aktivite için bir yaşam alanı olarak insanların doğa ile iç içe olmalarına olanak sağlar (Richardson vd., 2013). Yapılan çalışmalar sonucunda, yeşil alanların “gevşeme, sakinlik, dengeli bir duygu yaratma, kaygı azalması, gerginlik, depresyon, yorgunluk ” üzerinde psikolojik faydaları olduğu tespit edilmiştir. (Lafortezza vd., 2009; Azcarraga vd., 2019). Kentsel alanlarda park sayısının artırılması, yaşanan çevreden alınan memnuniyetin ve sosyal temasın artırılması yoluyla daha fazla sosyal kaynaşmaya yol açabilir (De Haan and Zoomers, 2005). Bu yüzden kent parklarını dinlenilecek yer olarak tanımlamanın yanında, başkaları ile etkileşimde bulunarak, yüksek kaliteli sosyal ilişkileri teşvik eden alanlar olarak da tanımlamak mümkündür. Bu avantajlarına rağmen, kent parklarının tasarımının sadece doğal ortam sağlamak üzerine kurulu olması kullanıcılar açısından tercih edilmemesine neden olmaktadır. Bu alanların gerçek faydalar sağlamak için her topluluğun özelliklerine, eğitim seviyesine, sosyal düzeyine göre değişen belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir (McCormack vd., 2010; Schipperijn vd., 2013).

Düzenli egzersizin öncü bir rol oynadığı daha sağlıklı yaşam tarzlarına yönelik bir eğilim nedeniyle parkların rekreasyonel kullanımı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Örnekler arasında büyük kentsel parkların uygun koşullar sağladığı yürüyüş, koşu veya bisiklet aktiviteleri sayılabilir. Şehir içinde bulunan bu parklar kamusal kullanım için tasarlanmışlardır ve ağaçlar, çalılar, geniş yeşil alanlar, oyun alanları veya su yüzeyleri gibi peyzaj özelliklerini içermektedirler. Parkların gerçek faydalar sunması için açık ve yeşil alanlarının kalitelerinin önemli olduğu kadar, kent parklarının özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Parkın büyüklüğü ve erişilebilirliği doğrudan park kullanımı ve insanların fiziksel aktivitesindeki artışla ilişkilidir (GilesCorti vd., 2005).

İnsanların parklara olan ilgisi her geçen gün artmaktadır. İnsanların parklarla olan ilişkileri üzerine yapılan çalışmalar, birbirine benzeyen çeşitli anahtar kavramlarla doludur. Bu tür terminolojik karmaşıklık bazen aynı kavramı mı yoksa farklı kavramları mı tartıştığımızı anlamayı zorlaştırmaktadır. Kullanıcı memnuniyeti günümüzde birçok sektörün ve çalışma alanının merkezinde olan bir kavramdır. Mekâna bağlılık, çalışmalarla da test edilmiş olan memnuniyet kavramı ile yakından ilgilidir. Bazı çalışmalar, bireylerin çeşitli reaksiyonlarını ve davranışlarını özellikle vurgulamaktadır. Zaman içinde, memnuniyet terimi ziyaretçi deneyimlerinin kalitesini ölçmek için temel kavram haline gelmiştir. Bugün röportajlar, anketler, gözlemler vb. gibi memnuniyet ölçümü için birçok yöntem kullanılmaktadır.

Kullanıcı memnuniyetini anlamak, kullanıcıların beklentilerinin karşılanması ve ziyaretleri sırasında memnuniyetleri için çeşitli hizmetler ve olanaklar geliştirmeleri açısından faydalar sağlamıştır. Ziyaretçi memnuniyeti sadece düzenli ziyaretlerde değil, aynı zamanda sadakat ve kazanım oranlarının artışına katkıda bulunmakta, bu da ziyaretçi ve gelir sayısındaki artışla ekonomik hedeflerin gerçekleştirilmesine yol açmaktadır. Memnuniyet ve uzun vadeli ekonomik başarı arasında genellikle pozitif bir ilişki vardır. Dahası, bu süreç sonucunda ziyaretçiler ve gittikleri alan arasındaki ilişki güçlenmektedir. Bu nedenle, sunulan hizmetlerin kalitesinin ziyaretçi memnuniyeti üzerinde önemli bir etkisi vardır. Türkiye'deki bazı milli parklarda yer tuturma ve kullanıcı memnuniyeti arasındaki ilişki, bir yerin algılanan kalitesi hakkında kısa ve öz yargıda bulunma olarak tanımlanmaktadır. Memnuniyet üzerine yapılan çalışmalar, insanların fiziksel çevrelerine olan ilgilerini anlamamızı sağlamaktadır. Memnuniyet ile ilgili terimlerle yapılan çalışmalar, bu konuların son 40 yıldır farklı ölçeklerle çalışıldığını ve ölçüldüğünü göstermektedir (Sıvalıoğlu ve Berköz, 2016). Bu çalışma kapsamında memnuniyet düzeyinin belirlenmesi amacıyla sözlü görüşmelerden faydalanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, kent parklarının çevresel bileşenlerinin ve tasarım özelliklerinin kullanıcı görüşleri doğrultusunda belirlenmesidir. Niğde tarihi, sosyal, kültürel ve ekonomik faaliyetlere sahip olan bir şehirdir. Niğde'de yaşayan nüfusun hızla artması nedeniyle arazi örtüsü üzerinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Kentteki doğal manzaralar taş ve beton yüzeylere dönüştürülerek doğal alanlar şehir merkezinden uzaklaşmaktadır. Bu bağlamda, büyüyen şehrin taleplerini karşılamak için daha endüstriyel, ticari ve ulaşım hizmetleri geliştirilmektedir. Niğde kentinin en büyük sorunu kentin plansız ve kontrolsüz gelişmesidir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında Niğde kentinde bulunan parkların, kullanıcı görüşleri doğrultusunda değerlendirilmesi ve bundan sonra yapılacak olan parkların nasıl planlanması gerektiği dair öneriler sunulmuştur.

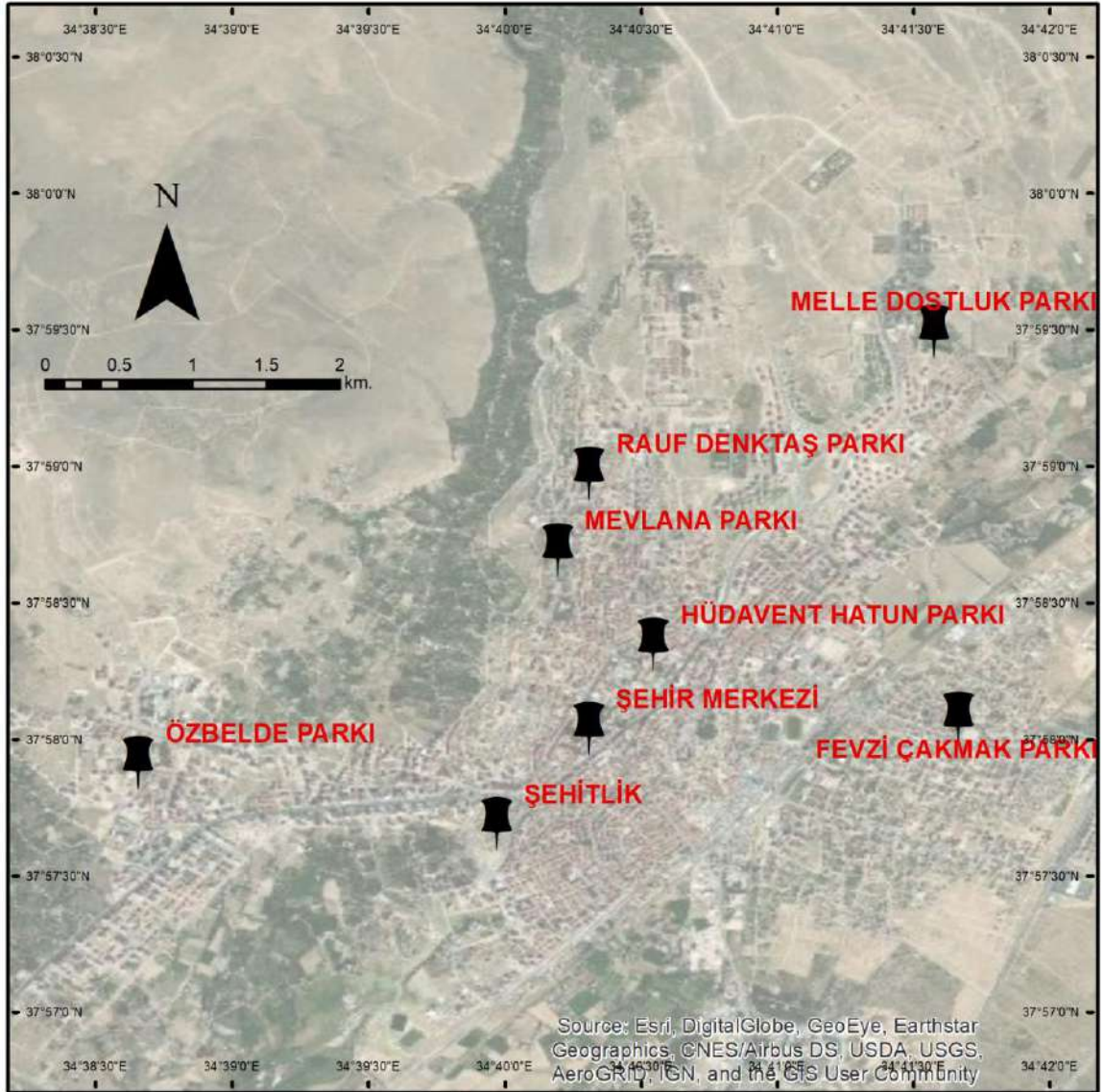
Niğde kentinde parklar seçilirken parkların konumları, büyüklükleri ve içerisinde buldukları peyzaj öğeleri dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında; Niğde kent parklarında kullanıcı memnuniyetinin belirlenmesi amacıyla anket formu hazırlanmış ve 400 kişi üzerinden anket çalışması yapılmıştır. Çalışmanın kısıtlayıcı faktörleri bulunmaktadır. Niğde kenti parkları içerisinde alan kullanımları çok az sayıdadır. Kent merkezinde bulunan parkların büyüklükleri çok fazla olmamakla beraber, kent iklimi dolayısıyla çok fazla sayıda bitki türü bulunmamaktadır.

Bu yüzden çalışma kapsamında belirlenen kriterlerden sadece parkların içerisinde bulunan kullanımlar değerlendirilmiştir. Ülkemizde birçok bölgede kent parklarının kullanıcı memnuniyetinin belirlenmesi kapsamında çok fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak özellikle son 10 yılda kentleşme anlamında büyük bir gelişme gösteren Niğde kentinde bu yönde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu da çalışmanın özgün tarafını oluşturmaktadır. Çalışma sonunda; parkların peyzaj tasarımına yönelik kullanıcı görüşleri doğrultusunda öneriler getirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında Niğde kent merkezindeki bazı parklar çalışılmıştır. Niğde kent merkezi; en yüksek yüzölçümüne sahip alan olması, nüfusun büyük çoğunluğunun burada yaşaması (2019 TÜİK verilerine göre Niğde İlinin toplam nüfusu 362.861 olup, 229.121 kişi Merkezde yaşamaktadır), kentsel gelişimin bu ilçede yoğunlaşması nedeniyle çalışma alanı olarak Merkez İlçesi seçilmiştir. Niğde İli Merkez İlçesinde toplam 76 adet park bulunmaktadır. Yapılan analizler sonucunda parkların çoğunun kentsel alanlar içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında Özbekde, Hüdavend Hatun, Mevlana Celâlettin-Rumi, Rauf Denктаş, Mareşal Fevzi Çakmak ve Melle Dostluk parkları çalışma alanı olarak seçilmiştir. Parklar seçilirken parkların konumu, büyüklükleri ve içerisinde buldukları peyzaj öğeleri dikkate alınmıştır. Parkların Niğde kentindeki konumları Şekil 1’de, parklara ait görseller Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Parkların Niğde kenti içerisindeki konumu



Şekil 2. Çalışma kapsamında incelenen parklara ait genel görünüm

Niğde kent merkezinde bulunan parkların kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirilmesi amacıyla anket çalışması yürütülmüştür. Anket formu 3 kısım ve 14 sorudan oluşmaktadır. İlk bölümde ankete katılan kullanıcıların demografik özellikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Anket çalışmasının ikinci kısmında ise parklara geliş amaçları ve tercih nedenleri belirlenmiştir.

Anket çalışmasının son kısmında ise katılımcıların parklara ait düşünceleri belirlenmiştir. 2019 yılı TÜİK verilerine göre Niğde İlinin toplam nüfusu 362.861'dir.

Evren büyüklüğü 100.000 üstünde olan alanlar için % 95 güven aralığında 383 kişiye anket çalışması uygulanması gerekmektedir (Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2004). Çalışma kapsamında anket çalışması içerisinde eksiklikler olabileceği düşünüldüğünden dolayı 400 kişiye anket çalışması uygulanmıştır.

Anket çalışmasına katılan kullanıcılar gönüllülük esasına dayalı olarak seçilmişlerdir. Görüşmelerden elde edilen sonuçlar SPSS yazılımına aktarılmış, frekans analizi ile anket sonuçları tespit edilmiştir. Çalışmanın son kısmında kullanıcı memnuniyetinin artırılması amacıyla öneriler geliştirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında anket çalışmasına katılanların % 56,3'ü erkek, %43,7'si ise kadındır (Tablo 1). Anket çalışmasına katılanların %10,2'si 15-20 yaş aralığında, %48,7'si 21-25 yaş

aralığında, %21,3'ü 26-35 yaş aralığında, %4,3'ü 36-45 yaş aralığında, %6,9'u 46-55 yaş aralığında, %8,6'si 55 yaş üzerindedir (Tablo 2).

Tablo 1. Katılımcıların cinsiyetleri

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Cinsiyetiniz	Erkek	225	56,3	,398
	Kadın	175	43,7	

Tablo 2. Katılımcıların yaş dağılımları

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Yaşınız	15 - 20	41	10,2	1,123
	21 - 25	195	48,7	
	26 - 35	85	21,3	
	36 - 45	17	4,3	
	46 - 55	28	6,9	
	55 yaş üstü	34	8,6	

Katılımcıların %23,5'i ilköğretim, %32,9'u ortaöğretim, %38,7'si lisans, %3,2'si yüksek lisans, %1,7'si ise doktora mezunudur (Tablo 3).

Katılımcıların %20,1'nin gelir durumu 1.000 liradan daha az, %45,3'nün 1.001-2.500 lira arasında, %16,2'sinin 2.501-5.000 lira arasında, %18,4'nün ise 5.000 lira üzerindedir (Tablo 4).

Tablo 3. Katılımcıların eğitim durumları

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Eğitim Durumunuz	İlköğretim	94	23,5	,879
	Ortaöğretim	132	32,9	
	Lisans	155	38,7	
	Y. Lisans	13	3,2	
	Doktora	7	1,7	

Tablo 4. Katılımcıların gelir durumları

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Gelir Durumunuz	1.000 liradan daha az	80	20,1	,970
	1.001 - 2.500 TL	181	45,3	
	2.501 - 5.000 TL	65	16,2	
	5.000 TL üstü	74	18,4	

Katılımcıların %33,2'si öğrenci, %24,3'ü kamu çalışanı, %3,6'sı serbest meslek, %12,4'ü emekli olup, %4,3'ü ise ev hanımıdır (Tablo 5).

Katılımcıların %49,2'si parklara özel araçları ile gelirken, %28,7'si otobüs ya da minibüsle, %4,2'si motosiklet ile %17,9'u ise yaya olarak parklara ulaşımı sağladıklarını belirtmişlerdir (Tablo 6).

Tablo 5. Katılımcıların meslekleri

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Mesleğiniz	Öğrenci	133	33,2	1,091
	Kamu	97	24,3	
	Serbest Meslek	14	3,60	
	Özel Sektör	85	21,2	
	Ev hanımı	17	4,30	
	Emekli	50	12,4	
	Çalışmıyor	4	1,00	

Tablo 6. Katılımcıların parklara ulaşım biçimleri

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Parklara Ulaşım	Özel Araç	197	49,2	,541
	Otobüs-Minibüs	115	28,7	
	Motosiklet	17	4,2	
	Yaya	72	17,9	

Katılımcıların % 26,7'si parkları her gün ziyaret ettiklerini belirtirken, %21,9'u haftada birden fazla, %14,8'i haftada bir, %12,8'i ayda 2-3 defa, %15,3'ü ayda bir defa, %8,5'i ise 2-3 ayda bir ziyaret ettiklerini belirtmişlerdir (Tablo 7).

Katılımcıların %58,8'i parklarda 1 saatten az vakit geçirdiklerini, %28,9'u 1-3 saat arasında vakit geçirdiklerini, %9,8'i 3-5 saat arasında vakit geçirdiklerini, %2,5'i ise 5 saatten daha fazla vakit geçirdiklerini belirtmişlerdir (Tablo 8).

Tablo 7. Katılımcıların parklara geliş sıklıkları

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Parklara Geliş Sıklığınız	Her gün	107	26,7	1,152
	Haftada birden fazla	88	21,9	
	Haftada bir	59	14,8	
	Ayda 2-3 defa	51	12,8	
	Ayda 1 defa	61	15,3	
	2-3 ayda bir	34	8,5	

Tablo 8. Katılımcıların parklarda geçirdikleri süreler

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Parklarda Geçirilen Süre	1 saatten az	235	58,8	,615
	1-3 saat	116	28,9	
	3-5 saat	39	9,8	
	5 saatten fazla	10	2,5	

Katılımcıların %65,3'ü parkları daha çok ilkbahar aylarında kullanırken, %27,8'i yaz aylarında, %3,2'si kış aylarında, %3,7'si ise sonbahar aylarında kullandıklarını belirtmişlerdir (Tablo 9).

Katılımcıların %36,7'i parkları boş zamanlarını değerlendirme amacıyla geldiklerini belirtirken, %29,8'i yürüyüş-spor, %23,2'si ise çocuklarından dolayı parka geldiklerini belirtmişlerdir (Tablo 10).

Tablo 9. Katılımcıların parkları tercih ettikleri mevsimler

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Parkları Daha Çok Hangi Mevsimlerde Kullanırsınız	Sonbahar	15	3,7	,396
	Kış	13	3,2	
	İlkbahar	261	65,3	
	Yaz	111	27,8	

Tablo 10. Katılımcıların parklara geliş amaçları

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Parklara Geliş Amacınız	Bakımlı olması	13	3,2	1,109
	Yürüyüş-Spor	119	29,8	
	Boş Zaman Değ.	147	36,7	
	Nedeni Yok	8	1,9	
	Tavsiye	8	2,0	
	Parkın Tasarımı	8	2,0	
	Çocuklarımdan Dolayı	93	23,2	
	Manzara	5	1,2	

Katılımcıların %11,6'sı parklara arkadaşları ile geldiklerini belirtirken, %25,6'sı ailesi ile %16,7'si yalnız, %35,6'sı çocukları ile %10,5'i ise komşuları ile geldiklerini belirtmişlerdir (Tablo 11).

Katılımcıların Niğde kent parklarında karşılaştıkları en büyük sorunlar Tablo 12'de verilmiştir. Katılımcılar parklarda en çok su öğelerinde, oturma birimlerinde ve gölgeleme elemanlarında sıkıntılar olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 11. Katılımcıların parklara kimlerle geldiklerinin belirlenmesi

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Parklara Kiminle Geliyorsunuz	Arkadaş	46	11,6	,708
	Aile	102	25,6	
	Yalnız	67	16,7	
	Çocuk	142	35,6	
	Komşu	42	10,5	

Tablo 12. Katılımcıların parklarda karşılaştıkları sorunlar

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Parklarda En Büyük Sorunlar Nelerdir?	Su Öğeleri	347	86,7	,853
	Heykeller	261	65,3	
	Çöp Kutuları	316	78,9	
	Oturma Birimleri	358	89,4	
	Banklar	226	56,5	
	Gölgeleme Elemanları	360	90,1	
	Çocuk Oyun Alanları	320	79,9	
	Aydınlatma	342	85,4	
	Güvenlik	271	67,8	
	Bakım	314	78,5	
	Bitkisel Tasarım	337	84,3	
	Bilgilendirme Levhaları	181	45,2	
	Tuvaletler	345	86,2	

Katılımcıların %87,8'i belirtilen sorunların parkları tercih etme nedenlerini ve kullanımlarını etkilediklerini belirtirken, %12,2'si etkilemediğini belirtmişlerdir (Tablo 13).

Kullanıcıların Niğde kent merkezinde bulunan parklar ile ilgili görüşleri Tablo 14'de verilmiştir. Katılımcıların Niğde kent parklarına yönelik olarak belirttikleri sorunlarının ortak olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 13. Sorunların katılımcıların tercihlerine olan etkisi

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Sorunlar Tercihinizi Etkiliyor Mu?	Evet	351	87,8	,495
	Hayır	49	12,2	

Sorulan sorulara verilen cevaplar arasında sadece parkların sayıca yeterliliği konusunda fikir ayrılıkları bulunmaktadır.

Katılımcıların %35,4'ü parkların sayıca yeterli olmadığını belirtirken, %43,5'i yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebi ise parkların sayısının bölgelere göre değişmesidir.

Niğde İli Merkez ilçesinde bazı mahallerde park sayısı sayıca yeterli iken, özellikle kentsel dönüşümün yaşandığı alanlarda park sayısının sayıca az olduğu tespit edilmiştir. Katılımcıların büyük bir kısmının (%65,7) parklara rahat bir şekilde ulaştıkları tespit edilmiştir. Katılımcılar, parklarda bulunan otoparkların sayısının yeterli olmadığını ve parkların engelli bireyler açısından uygun olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca başta gölgeleme elemanları olmak üzere, parklarda bulunan donatı elemanlarının sayısının yeterli olmadığını tespit edilmiştir.

Parkların rekreasyonel faaliyetler ve bitkisel tasarım açısından eksik olduğu belirlenmiştir. Katılımcılar parklarda aydınlatma sorunları olduğunu bunun sonucu olarak da parklarda özellikle akşam saatlerinde güvenlik problemleri meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca anket çalışmasına katılanların büyük bir kısmı (%87,8) parklarda meydana gelen bu sorunların kullanım tercihlerini etkilediğini belirtmişlerdir. Katılımcılar parklarda kullanılan aydınlatma elemanları ile görsel bir manzara oluşturulmasının kullanım tercihlerini etkileyeceğini belirtmişlerdir.

Tablo 14. Katılımcıların parklar ilgili düşünceleri

Sorular	Cevaplar	Sayı	Yüzde	Sh
Çevremizde bulunan parklar sayıca yeterlidir.	Kesinlikle Katılmıyorum	22	5,6	,402
	Katılmıyorum	142	35,4	
	Fikrim Yok	44	10,9	
	Katılıyorum	174	43,5	
	Tamamen Katılıyorum	18	4,6	
Parklara ulaşım rahat bir şekilde sağlanmaktadır	Kesinlikle Katılmıyorum	27	6,7	,905
	Katılmıyorum	38	9,5	
	Fikrim Yok	19	4,8	
	Katılıyorum	263	65,7	
	Tamamen Katılıyorum	53	1,3	
Parklarda otopark sayısı yetersizdir.	Kesinlikle Katılmıyorum	46	11,6	1,244
	Katılmıyorum	119	29,7	
	Fikrim Yok	42	10,4	
	Katılıyorum	186	46,5	
	Tamamen Katılıyorum	7	1,8	
Parklar engelli kullanımı açısından uygundur.	Kesinlikle Katılmıyorum	178	44,6	1,134
	Katılmıyorum	128	32,1	
	Fikrim Yok	27	6,7	
	Katılıyorum	59	14,7	
	Tamamen Katılıyorum	8	1,9	
Parklarda aydınlatma yeterlidir.	Kesinlikle Katılmıyorum	217	54,2	1,261
	Katılmıyorum	86	21,6	
	Fikrim Yok	14	3,4	
	Katılıyorum	70	17,6	
	Tamamen Katılıyorum	13	3,2	
Donatı elemanları sayısı yeterlidir	Kesinlikle Katılmıyorum	10	2,4	,398
	Katılmıyorum	55	13,7	
	Fikrim Yok	31	7,8	
	Katılıyorum	265	66,3	
	Tamamen Katılıyorum	39	9,8	
Parklarda rekreasyonel faaliyetler yeterlidir.	Kesinlikle Katılmıyorum	165	41,3	1,012
	Katılmıyorum	107	26,7	
	Fikrim Yok	25	6,3	
	Katılıyorum	69	17,2	
	Tamamen Katılıyorum	34	8,5	
Parklarda kullanılan bitkiler uygundur ve göze hoş gelmektedir.	Kesinlikle Katılmıyorum	170	42,5	,571
	Katılmıyorum	154	38,5	
	Fikrim Yok	17	4,3	
	Katılıyorum	39	9,7	
	Tamamen Katılıyorum	20	5,0	

Tablo 14'ün devamı

Parkların bakım ve onarımı düzenli olarak yapılmaktadır.	Kesinlikle Katılmıyorum	14	3,5	,745
	Katılmıyorum	20	5,0	
	Fikrim Yok	9	2,3	
	Katılıyorum	266	66,5	
	Tamamen Katılıyorum	91	22,7	
Parklarda güvenlik sorunları bulunmamaktadır	Kesinlikle Katılmıyorum	233	58,2	,589
	Katılmıyorum	74	18,5	
	Fikrim Yok	33	8,3	
	Katılıyorum	27	6,7	
	Tamamen Katılıyorum	33	8,3	
Parklar akşam kullanımı için uygundur.	Kesinlikle Katılmıyorum	18	4,5	1,021
	Katılmıyorum	56	14,0	
	Fikrim Yok	21	5,3	
	Katılıyorum	233	58,2	
	Tamamen Katılıyorum	72	18,0	
Parklarda yağmur sonrası su birikme alanları oluşmaktadır.	Kesinlikle Katılmıyorum	195	48,7	1,201
	Katılmıyorum	86	21,4	
	Fikrim Yok	14	3,4	
	Katılıyorum	75	18,7	
	Tamamen Katılıyorum	31	7,8	
Parklarda bulunan su öğeleri sayısı artırılmalıdır.	Kesinlikle Katılmıyorum	5	1,2	,389
	Katılmıyorum	26	6,5	
	Fikrim Yok	9	2,3	
	Katılıyorum	59	14,8	
	Tamamen Katılıyorum	301	75,2	
Parklarda her yaşta çocuklar için oyun grupları bulunmaktadır.	Kesinlikle Katılmıyorum	186	46,4	1,204
	Katılmıyorum	90	22,6	
	Fikrim Yok	19	4,8	
	Katılıyorum	84	21,1	
	Tamamen Katılıyorum	20	5,1	
Parklarda aydınlatma elemanları ile görsel zenginlik sağlanmalıdır	Kesinlikle Katılmıyorum	13	3,3	,621
	Katılmıyorum	10	2,4	
	Fikrim Yok	17	4,3	
	Katılıyorum	173	43,2	
	Tamamen Katılıyorum	187	46,8	

Yapılan anket çalışması sonucunda; cinsiyet, yaş ve eğitim durumuna göre tercihlerin değişip değişmediğinin belirlenmesi amacıyla SPSS 20.0 yazılımında ki-kare testi uygulanarak çapraz sorgulama yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda; çalışmaya katılan kadınların çoğunun parkları güvenli bulmadığı belirlenirken, erkeklerin ise parkları güvenli buldukları belirlenmiştir. Ayrıca kadınların parkların bakımı ve temizliğinin zamanında yapılmadığını düşünürken, erkekler zamanında yapıldığını düşünmektedir. Parklara kadınların daha çok çocukları için geldikleri tespit edilirken, erkeklerin spor ya da boş vakitlerini değerlendirmek amacıyla geldikleri tespit edilmiştir. Kadınlar parklarda 1-3 saat zaman aralığında vakit geçirirken, erkekler 1 saatten az zaman geçirmektedirler. Kadınlar parkların sayıca yeterli olmadığını düşünüyorken, erkekler parkların sayıca yeteli olduğunu düşünüyorlar. Yaş ile parkların rekreasyonel faaliyetler açısından uygun olması arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir.

Özellikle 25 yaş altı kişiler parkların rekreasyonel faaliyetler açısından eksik kaldığını düşünüyorken, 46 yaş üstü kişiler yeterli olduğunu düşünüyorlar. Lisans ve lisansüstü eğitime sahip kişiler parklarda kullanılan bitkilerin uygun olmadığını, ortaöğretim ve ilköğretim mezunu olan katılımcılar uygun olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan analizin sonuçları diğer çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Güner ve Uğurlar (2017) yapmış oldukları çalışmada Ankara Kuğulu Park örneğinde kullanıcı memnuniyetini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda yeşil alanların varlığının insanları mutlu ettiği sonucuna ulaşıırken, rekreasyonel faaliyet açısından kısıtlamaların olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ulaşılabilirliğin insanların parkları tercih sebebini etkilediğini belirtmişlerdir. Bu çalışma sonucunda ise Niğde kentinde ulaşım sıkıntısının olmadığı ve parklara olan tercihi etkilemediği tespit edilmiştir. Ancak Niğde parklarında da rekreasyonel faaliyetler açısından kısıtlamalar olduğu ve bunun da insanların tercihini etkilediği tespit edilmiştir.

Bu açıdan yapılan çalışma diğer çalışma ile benzerlik göstermektedir. Karadeniz (2019) yapmış olduğu çalışmada peyzaj tasarım kriterleri açısından Samsun kent parklarını incelemiştir.

Çalışma sonunda insanların parkları daha çok sosyal aktivite için tercih ettiği sonucuna ulaşırken, parkların engelli kullanımı açısından uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan çalışma bulunan sonuçlar ile benzerlikler göstermektedir. Karakaya ve Cengiz (2019) yaşam kalitesinin artırılmasında parkların rolünün belirlenmesi amacıyla Eskişehir’de çalışma yapmışlardır. Altuntaş (2020) yapmış olduğu çalışmada tabiat parklarını kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirmiş ve kullanıcıların büyük bir kısmının memnuniyet duyduğunu tespit etmiştir. Kocalar (2016) yapmış olduğu çalışmada parkların etkinlik mekânı ya da bilgilendirme sahası olarak etkin rollere sahip olduğunu tespit etmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda parklarda rekreasyonel faaliyetlerinin artırılmasının kullanıcı tercihlerini etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu araştırma sonucunda da parklarda rekreasyonel faaliyetlerinin yetersiz olduğu ve artırılmasının parklara olan tercihleri artıracığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma yöntem açısından da ele alınmıştır. İnsanların açık ve yeşil alanlar dâhil olmak üzere memnuniyetlerinin belirlenmesi amacıyla birçok alanda anket çalışmaları ya da yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem kullanılarak insanların belirli konulara karşı duygu ve düşünceleri kısa sürede tespit edilebilmektedir. Bu açıdan kullanılan yöntem uygun bulunmuştur. Ancak açık ve yeşil alanların insanlara olan etkisinin tespit edilmesi için nitel gözlemlerle beraber nicel verilerin de çalışmalara dâhil edilmesi gerekmektedir. Günümüzde insanların seslere karşı olan tepkilerinin belirlenmesi amacıyla tıbbi yöntemler geliştirilmiştir. Örneğin insanlar sadece trafik sesinin bulunduğu bir odada bulunuyorken kalp ritimleri ölçülmüştür. Daha sonra ise doğal ortama ait seslerin bulunduğu bir ortamda kalp ritim hızı ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda trafik sesinin bulunduğu bir ortamda kalp ritmi normalden yüksek olurken, doğal ortama ait seslerin bulunduğu ortamda kalp ritmi düşük çıkmıştır (Paşa, 2007). Bu tür nicel yöntemlerle, nitel yöntemlerin beraber değerlendirilmesi çalışmaların doğruluğunu ve bilimselliğini artıracaktır.

4. Sonuç

Peyzaj mimarlığı, peyzaj ve yapısını oluşturan doğal etmenlerin özelliklerini araştırarak, ekolojik planlama, alan kullanım planlaması, su, toprak ve görsel değerlerin korunması, doğa onarımı, kentsel ve kırsal çevrede rekreasyonel amaçlı kullanım alanları oluşturması ve tasarım uygulama aşamasında canlı ve cansız malzeme ile çevreye duyarlı işlevsel ve estetik yaşama mekanları oluşturmasında görev alır. Bunun sonucunda kullanım alanları oluşturmada rengin ve ışığın doğru kullanımını sağlamak, insana verilen önemi arttırmakta, çevre ve insan arasındaki ilişkinin bütünleşmesini sağlamaktadır (Alper, 2002). Yapılan çalışmada Niğde kent merkezinde bulunan parkların kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda katılımcılar parklarda kullanımlarını etkileyen kısıtlamaların olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle parklarda rekreasyonel faaliyetler açısından çok fazla sayıda eksikliklerin bulunduğu tespit edilmiştir.

Bu yüzden parklarda bulunan rekreasyonel faaliyetlerin sayısı artırılmalıdır. Parklara tırmanma alanları, uçurma faaliyetleri, maket yapım alanları oyuncak müzesi vb. faaliyeteler getirilerek kullanıcıların parkları daha fazla tercih edilmesi sağlanabilir. Niğde kent merkezinde bulunan parklarda bitkisel tasarım açısından genel olarak aynı tür bitkilerin seçildiği, bunun sonucunda da birbirine benzer parkların ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Parklarda bulunan bitkiler tercih edilirken renk, doku vb. özellikler ile uyum ya da zıtlık oluşturacak türler tercih edilmelidir. Bu sayede parkların görsel manzara ile kalitesi artırılabilir.

Parklar sadece günün belirli saatlerinde kullanılan alanlar olmamalıdır. Gündüz olduğu gibi akşam saatlerinde de parkların kullanımı sağlanmalıdır. Bunun için de iyi planlanmış bir aydınlatma tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. Aydınlatma tasarımı yapılırken sadece güvenlik kaygısı düşünülmemeli, estetik unsurlar da düşünülmelidir. Farklı tip ve renkte aydınlatma ile parkların görsel kalitesinin artırılması gerekmektedir. Bu sayede kullanıcıların parkları akşam da kullanması sağlanabilir ve memnuniyet düzeyleri artırılmaktadır. Parklar tasarlanırken toplumun tüm öğelerinin bu alanları kullanacağı unutulmamalıdır. Özellikle engelli bireyler açısından uygun tasarımlar yapılmalıdır. Bu konuda karşılaşılan en büyük sorun ise parkların erişilebilirliği konusudur. Bu yüzden parkların tasarım aşamalarında yolların, donatı elemanlarının ve oturma birimlerinin genişlikleri ve yüksekliklerinin engelli bireylerin kullanımı açısından uygun tasarlanması gerekmektedir. Kentsel donatı elemanlarında; her bir kentsel donatı elemanı için ayrı bir aydınlatma tasarımı düşünülmeli, böylece parklar daha da çekici duruma getirilebilmektedir. Örneğin heykellerde yerden aydınlatma, merdivenlerde gömme aydınlatma tercih edilerek bu alanların güvenliğinin sağlanmasının yanında park içerisinde odak noktalar oluşturulabilir (Soydan ve Benliay, 2019).

Niğde kentinde kış ayları soğuk, yaz ayları ise güneşli olmaktadır. Bu yüzden özellikle kış aylarında insanların soğuktan korunmaları amacıyla park içlerinde kış bahçesi tasarımları düşünülmelidir. Bu sayede kış aylarında çok düşük olan park tercihleri artırılabilir. Yaz aylarında uygun gölgeleme elemanları ile gölge sağlanabilir. Ayrıca bitkisel tasarım aşamasında gölge yapacak geniş taç yapısını sahip bitkiler tercih edilmelidir. Uygun bitki seçimi, Niğde kentinin ekolojisine katkı sağlamakla birlikte parkların daha doğal ortamlara dönüşmesine yardımcı olacaktır. Kullanıcı memnuniyeti ilerleyen zamanla değişebilen bir kavramdır. Bu yüzden bu tür çalışmaların belirli aralıklarla yapılması gerekmektedir. Bu sayede insanların değişen beklenti ve tercihlerine daha hızlı cevap verilebilir.

Sonuç olarak Niğde kent parklarının kullanıcı memnuniyeti açısından kısmen uygun olduğu tespit edilmiştir. Yapılacak olan düzenlemelerle parklara olan tercihler artırılabilir. Bundan sonra yapılacak olan parklarda bölge insanın beklentileri ve istekleri tespit edilmeli, parkların tasarımları bu doğrultuda planlanmalıdır. Kullanıcıların beklentilerini karşılamayacak şekilde planlanan ve kullanılan parklar belirli süre sonunda kullanılmayan alanlar haline gelmekte ve bu alanlar suç alanlarını dönüşmektedir. Bu yüzden kentsel alanlarda açık ve yeşil alanların planlanmasında ekolojik unsurlarla beraber tasarım anlayışına sahip olan Peyzaj Mimarlığı mesleğinin daha etkin bir şekilde yer alması ve söz sahibi olması gerekmektedir.

Kaynakça

- Alper, H., (2002). Peyzaj Mimarlığında Işık Ve Renk Kullanımının Erzurum Kenti Örneğinde İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Erzurum. 134 s.
- Altuntaş, A. (2020). Siirt İli Tillo Tabiat Parkı'nın Kullanıcı Memnuniyeti Açısından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 359-367.
- Ayala-Azcárraga, C., Diaz, D., Zambrano, L. (2019). Characteristics of urban parks and their relation to user well-being. *Landscape and Urban Planning*, 189, 27-35.
- De Haan, L., Zoomers, A. (2005). Exploring the frontier of livelihoods research. *Development and change*, 36(1), 27-47.
- Giles-Corti, B., Broomhall, M. H., Knuiam, M., Collins, C., Douglas, K., Ng, K., Donovan, R. J. (2005). Increasing walking: how important is distance to, attractiveness, and size of public open space? *American journal of preventive medicine*, 28(2), 169-176.
- Gürer, N., Uğurlar, A. (2017). Kent Parklarında Kullanıcı Memnuniyeti: Ankara Kuşulu Park Örneği. *Megaron*, 12(3).
- Jenerette, G. D., Harlan, S. L., Stefanov, W. L., Martin, C. A. (2011). Ecosystem Services and Urban Heat Riskscape Moderation: Water, Green Spaces, And Social Inequality in Phoenix, USA. *Ecological applications*, 21(7), 2637-2651.
- Karadeniz, Z., (2019). Peyzaj Tasarım Kriterleri Açısından Samsun Kent Parklarının İncelenmesi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 154 s., Ordu.
- Karakaya, N., Cengiz, T. (2019). Yaşam Kalitesinin Arttırılmasında Kent Parklarının Önemi: Eskişehir İli Örneğinde İncelenmesi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 14(20), 1-1.
- Kocalar, A. O. (2016). Ekolojik farkındalığın arttırılmasında milli parkların rolüne ilişkin öğrenci görüşleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(9).
- Lafortezza, R., Carrus, G., Sanesi, G., Davies, C. (2009). Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(2), 97-108.
- McCormack, G. R., Rock, M., Toohey, A. M., Hignell, D. (2010). Characteristics of urban parks associated with park use and physical activity: A review of qualitative research. *Health & place*, 16(4), 712-726.
- Paşa, M. (2007). Stresin bireysel performans üzerindeki etkileri ve bir uygulama. Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 243 s., Bursa.
- Richardson, E. A., Pearce, J., Mitchell, R. Kingham, S. (2013). Role of physical activity in the relationship between urban green space and health. *Public health*, 127(4), 318-324.
- Schipperijn, J., Bentsen, P., Troelsen, J., Toftager, M., Stigsdotter, U. K. (2013). Associations between physical activity and characteristics of urban green space. *Urban forestry & urban greening*, 12(1), 109-116.
- Sıvalıoğlu, P., Berköz, L. (2016). Relationship Between Place Attachment and User Satisfaction at Some National Parks In Turkey. *ITU J Faculty Arch*, 13(1), 171-181.
- Soydan, O., Benliay, A. (2019). Aydınlatma ile Güvenlik Algısı İlişkisinin Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Yerleşkesi Örneğinde İncelenmesi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 14(20), 1-1.
- Takano, T., Nakamura, K., Watanabe, M. (2002). Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 56(12), 913-918.
- TÜİK. (2019). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi <http://www.tuik.gov.tr/Start.do> (Erişim Tarihi:01.06.2020)
- Van den Berg, M., Wendel-Vos, W., van Poppel, M., Kemper, H., van Mechelen, W., Maas, J. (2015). Health benefits of green spaces in the living environment: A systematic review of epidemiological studies. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 806-816.
- Yazıcıoğlu, Y., Erdoğan, S. (2014). SPSS uygulamalı bilimsel araştırma yöntemleri. Detay Yayıncılık, Ankara.



Prevention of Enzymatic Browning by Inhibiting Polyphenol Oxidase with Some Natural Compounds and Benzenethiol

Mine Aksoy^{1*}

^{1*} Atatürk University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Erzurum-TURKEY (ORCID: 0000-0002-2430-8769) maksoy@atauni.edu.tr

(First received 20 June 2020 and in final form 4 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.755734)

ATIF/REFERENCE: Aksoy, M. (2020). Prevention of Enzymatic Browning by Inhibiting Polyphenol Oxidase with Some Natural Compounds and Benzenethiol. *European Journal of Science and Technology*, (20), 723-727.

Abstract

Background: In recent years consumers' awareness of the health benefits of fresh vegetables and fruits have increased and demand for ready-made food has increased. That's why, fresh cut vegetables and fruits have become a popular. An important concern in this process is enzymatic browning, which cause changes in the texture, taste, and color of freshly cut product. Physical and chemical-based anti-browning methods to prolong the shelf life of freshly cut products are remarkable. In this study, it was aimed to prevent enzymatic browning via inhibition of polyphenol oxidase (PPO) enzyme.

Method: Firstly, potato was used as the source of polyphenol oxidase and enzyme purified by affinity chromatography. Sepharose 4B L-tyrosine p-amino benzoic acid (Sepharose 4B L-tyr-p-ABA) was used as affinity column. SDS-PAGE was used to check enzyme purity. Then, the inhibition effect of baicalin, bailcalein, phloridzin, phloretin natural compounds and benzenethiol sulfur compound were investigated.

Results: PPO was purified with 13.94% fold from potato. In inhibition studies K_i values of phloridzin, phloretin and benzenethiol were determined as 0.120 ± 0.0157 , 0.027 ± 0.0054 , 0.008 ± 0.0014 mM respectively. According to our results, the order of inhibition is as follows: phloridzin > phloretin > benzenethiol. While baicalin and bailcalein did not show any inhibition effect, phloridzin and phloretin showed non-competitive, benzenethiol showed competitive inhibition.

Keywords: Enzymatic Browning, Inhibition, Polyphenol Oxidase, Natural Compound, Benzenethiol.

Bazı Doğal Bileşikler ve Benzeniyol ile Polifenol Oksidaz İnhibisyonu Yoluyla Enzimatik Kararmanın Önlenmesi

Öz

Arkaplan: Taze kesilmiş sebzeler ve meyveler, son yıllarda tüketicilerin taze sebzelerin ve meyvelerin sağlık yararları konusundaki farkındalığının artması ve hazır gıda talebinin artması nedeniyle popüler hale gelmiştir. Önemli bir endişe, taze kesilmiş ürünlerin renk, tat ve dokusunda değişikliklere yol açabilen ve bu nedenle kalite bozulması ile ilişkili enzimatik esmerleşmedir. Taze kesilmiş ürünlerin raf ömrünü uzatmak için fiziksel ve kimyasal temelli anti-esmerleşme yöntemleri dikkat çekicidir. Bu çalışmada, enzimatik esmerleşmeden sorumlu polifenol oksidaz (PPO) enzimi için inhibitörler önerilmiştir.

Yöntem: İlk olarak patates, Sepharose 4B L-tirozin p-amino benzoik asit (Sepharose 4B L-tyr-p-ABA) afinite kromatografisi ile polifenol oksidaz saflaştırılmasında enzim kaynağı olarak kullanıldı. Enzim saflığı SDS-PAGE ile kontrol edildi. Daha sonra, baicalin, bailcalein, phloridzin, phloretin doğal bileşikleri ve benzeniyol sülfür bileşiğinin inhibisyon etkisi araştırıldı.

Sonuçlar: PPO, patatesden % 13.94 kat saflaştırıldı. İnhibisyon çalışmalarında phloridzin, phloretin ve benzenethiol'ün K_i değerleri sırasıyla 0.120 ± 0.0157 , 0.027 ± 0.0054 , 0.008 ± 0.0014 mM olarak belirlenmiştir. Sonuçlarımıza göre, inhibisyon sırası aşağıdaki gibidir: phloridzin > phloretin > benzenethiol. Baicalin ve bailcalein bir inhibisyon etkisi göstermezken, phloridzin, phloretin yarışmasız, benzeniyol yarışmalı inhibisyon gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Enzimatik Kararma, İnhibisyon, Polifenol Oksidaz, Doğal Bileşikler, Benzeniyol.

* Corresponding Author: Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2430-8769, maksoy@atauni.edu.tr

1. Introduction

As a result of physical and mechanical processes during storage and post-harvest processing, the appearance of color changes in vegetables and fruits that can turn from yellow to brown is known as enzymatic browning. Enzymatic browning reactions are mainly performed by polyphenol oxidase (PPO), which is commonly found in fungi and high plants (Mayer, 2006). This enzyme is responsible enzymatic browning in seafood, fruits, vegetables and melanin formation in human skin. Therefore, it attracts attention in the fields of food science, plant physiology and cosmetic development (Bayrak, Öztürk, Demir, Alım, & Küfreviöglu, 2020; Mishra & Gautam, 2016). PPO is an intracellular diphenol oxidase containing copper and catalyzes the oxidation of polyphenolic substrates to quinone groups. Then, brown melanin pigments are ocured from the quinones with a non-enzymatic reaction. Consequently, enzymatic browning causes not only to color change and antioxidant degradation, but also to loss of color, odor and nutritional value due to condensation of quinones with compounds such as phenols, sugar, amino acids, and proteins (Jiang, 1999). Because browning reduces the sensory and nutritional qualities in foods, various physical and chemical methods have been developed to control enzyme activity of PPO. These methods include one or more essential components such as oxygen, copper ion, enzyme substrates, products, and even the enzyme itself, which are required for the reaction to occur (Queiroz, Lopes, Fialho, & Valente-Mesquita, 2008). Depending on the inhibition mechanism, different effectors classified as acidulants, reducing agents, chelating agents, complexing agents, enzyme inhibitors, and enzymatic browning can control with these effectors (Tinello & Lante, 2018). Sulphiting agents are the most commonly used agents for browning control (Kahn, Ben-Shalom, & Zakin, 1999). Sulfur dioxide (SO₂) are the most common inhibitors for the PPO enzyme, but especially asthmatics people may be sensitive to sulfide (M. V. Martinez & Whitaker, 1995; Sapers, 1993). Ascorbic and citric acid formulations are sulphite alternatives used in the food industry (Hsu, Shieh, Bills, & White, 1988). However, these formulations are less effective than sulphiting agents. Therefore, the inhibition effect of SH or thiol (sulfhydryl) compounds on the PPO enzyme is often studied at the various source such as atemoya (Chaves, Ferreira, Da Silva, & Neves, 2011), tea leaf (Öztürk, Aksoy, & Küfreviöglu, 2020), peach (Garro & Gasull, 2010), eggplant (Mishra, Gautam, & Sharma, 2012), potato (Duangmal & Apenten, 1999).

Food biotechnology and bioprocess is an extremely dynamic research area and is constantly developing. Researches are developing new and safe application areas at all stages before food processing, storage and consumption (Karasu, 2015). Inhibitors used to prevent browning is limited due to the effectiveness of the inhibition, as well as the reasons such as economic feasibility, off-flavors/odors, and food safety (ESKIN, 1971.; McEvily, Iyengar, & Otwell, 1992; Sapers, 1993). So, it is interesting to find additional natural, safe, and effective anti-browning agent(s) to prevent browning reactions in vegetables and fruits. Due to natural and safe, the use of flavonoids in PPO inhibition has attracted attention in recent years (Xiong, Liu, Zhou, Zou, & Chen, 2016). Many natural compounds such as curcumin analogs (S. N. Bukhari et al., 2014), morin (Wang, Zhang, Yan, & Gong, 2014), apigenin (Xiong et al., 2016), quercetin (Chen & Kubo, 2002), resveratrol (Shin et al., 1998)

have been used for inhibition of PPO enzyme in preventing enzymatic browning.

In this study, it was aimed to investigate the inhibition effect of phloridzin, phloretin, baicalin, and baicalein phenolic compounds and a thiol compound benzenethiol on potato PPO. Baicalein and its analogue baicalin are a flavone, a type of flavonoid (Wei et al., 2015) and baicalein is aglycon of baicalin. Phloridzin and its analogue phloretin are a dihydrochalcone. Dihydrochalcones are the bicyclic flavonoid family. Phloretin is an aglycon of phloridzin (Ehrenkranz, Lewis, Kahn, & Roth, 2005). Benzenethiol is an organosulfur compound containing a sulfhydryl group (-SH) covalently bonded to an aromatic ring (Saboury, Zolghadri, Haghbeen, & Moosavi-Movahedi, 2006).

In this study, PPO was purified from potato by Sepharose 4B L-tyr-p-ABA column. Enzyme purity was checked with SDS (sodium dodecyl sulfate)-PAGE (polyacrylamide gel electrophoresis). The inhibitory potency and IC₅₀ values of phloridzin, phloretin, baicalin, baicalein, and benzenethiol on potato PPO activity were measured. In addition, the binding constant (K_i) and inhibition type of these inhibitors were determined.

2. Material and Method

2.1. Materials

Potatoes (*Solanum tuberosum L.*) were purchased from local market. Phloridzin, phloretin, baicalin, and baicalein were obtained from Sigma-Aldrich.

2.2. Preparation of Homogenates

Potatoes were grated and mashed under liquid nitrogen for 10 minutes. The mashed potato was homogenized with 0.1 M (pH 6.0) acetate buffer solutions that contain 0.5% PEG (polyethylene glycol), 10 mM ascorbic acid, 1 mL of Triton X-100. Four layers of cheesecloth were used to filter the homogenate. After filtration, it was centrifuged at 15000xg for 35 min and the supernatant was used in subsequent studies.

2.3. Affinity Chromatography

Sepharose 4B L-tyr-p-ABA affinity gel was used to purify the PPO enzyme from potato. This gel has been synthesized many times according to the method synthesized by Arslan et al (Arslan, Erzengin, Sinan, & Ozensoy, 2004) and used in our previous studies (Aksoy, 2020). The affinity gel was equilibrated with 0.05 M pH 6.0 PBS buffer and the supernatant was applied to affinity gel. The 0.05 M pH 6.0 PBS buffer was used for washing the affinity gel. 0.1 M pH 8.5 Tris/HCl buffer-1 M KCl solution was used to elute the PPO enzyme from the column.

2.4. Determination of Protein Amount

Bradford method (Bradford, 1976) was used for determination of protein content. The standard graph was drawn using bovine serum albumin.

2.5. Determination of PPO Activity

The absorbance increase at 420 nm was recorded during conversion of the phenolic substrate (catechol) to quinones for

measurement of potato PPO activity (Flurkey, 1986). A 0.001 increase in absorbance was defined as one enzyme unit.

2.6. Determination of Enzyme Purity

SDS-PAGE was used for determination of enzyme purity using Laemmli method (Laemmli, 1970) according to previous studies (Türkeş, Demir, & Beydemir, 2020). Silver staining was used to display the protein bands. The resulting pattern was photographed.

2.7. Determination of Inhibition Parameters

The effects of baicalin, baicalein, phloridzin, phloretin and benzenethiol inhibitors on PPO activity were investigated. Enzyme activity was measured at a fixed substrate (catechol) and at least five different inhibitor concentrations to determine the inhibitor concentration (IC₅₀) that halves the enzyme activity.

Lineweaver-Burk plots were drawn at three different concentrations of each inhibitor using five different substrate concentrations from 100 mM stock catechol solution to determine K_i (dissociation constant) values and type of inhibition.

Table 1. The purification profile summary of the potato PPO

Purification steps	Total volume (mL)	Activity (EU/mL)	Protein (mg/mL)	Total protein (mg)	Total activity (EU)	Specific activity (EU/mg)	Yield (%)	Purification fold
Homogenate	6	7200	14.14	84.84	43200	509.19	100	1
Sepharose 4B L-tyr-p-ABA affinity chromatography	1.5	2200	0.31	0.465	3300	7096.77	7.6	13.94

3. Results and Discussion

Potato (*Solanum tuberosum*) is one of the most consumed vegetables in the world, so it is of great commercial importance. Due to the presence of PPO enzyme in potato, enzymatic browning is very common. In this study, purification of the PPO enzyme from potato was performed in one step via affinity chromatography (Sepharose 4B L-tyr-p-ABA). The purification profile summary of the PPO was given in Table 1.

Purity of the potato PPO enzyme checked with SDS-PAGE. It was observed single band at electrophoresis photograph (Figure 1).



Figure 1. Sodium dodecyl sulfate (SDS)-PAGE: Lane 1 and 2, purified enzyme from Sepharose 4B L-tyr-p-ABA column, Lane 3 indicates marker (1: 180000 Da, 2: 130000 kDa, 3: 95000 Da, 4: 72000 Da, 5: 55000 Da, 6: 43000 Da, 7: 38000 Da, 8: 26000 Da 9: 10000 Da)

72000 Da, 5: 55000 Da, 6: 43000 Da, 7: 38000 Da, 8: 26000 Da 9: 10000 Da)

Physical and mechanical processes during storage and post-harvest processing cause enzymatic browning in fruits and vegetables. This event is a result of the reaction catalyzed by PPO (Mayer, 2006). This is undesirable since it causes nutritional losses and commercial damage to fruits and vegetables. One way to prevent enzymatic browning is to inhibit the PPO enzyme. These inhibitors should be selected from natural products that will not harm human health (Loizzo, Tundis, & Menichini, 2012). Phenolic compounds more attention as natural compounds that can be used in enzyme inhibition. Some polyphenols can affect their activity by binding to protein through the hydrogen bond, thanks to their hydroxyl groups. These groups in polyphenols have been suggested to perform nucleophilic attack on copper ions of the active site of PPO, which may then lead to inhibition of PPO (Xiong, Liu, Zhou, Zou, & Chen, 2016). In this study, the inhibition effect of phloridzin, phloretin, baicalin, baicalein natural compound was also investigated on potato PPO. The IC₅₀ values of phloridzin and phloretin were determined to be 0.22 and 0.02 mM, respectively. Baicalin and baicalein did not show any inhibition effect for PPO. The inhibition types and K_i constants of phloridzin and phloretin were reached from the Lineweaver-Burk graphs (Fig. 2). Non-competitive inhibition was found for phloridzin and phloretin, and the K_i constants were 0.120±0.0157 and 0.027±0.0054 mM, respectively. In my previous study, the inhibition of potato PPO of curcumin and quercetin natural compounds was investigated and the IC₅₀ value is 0.018mM for curcumin and 0.029mM for quercetin (Aksoy, 2020). In one study, the inhibition of synthetic curcumin compounds into the mushroom tyrosinase enzyme was investigated and it was found that most of the compounds inhibit the enzyme below 100 μM (Bukhari et al., 2014). In the study in which the effect of quercetin on mushroom tyrosinase activity was examined, IC₅₀ value was found to be (3.08 ± 0.74) × 10⁻⁵ M for diphenolase activity (Fan,

Zhang, Hu, Xu, & Gong, 2017). Ascorbic acid is known to be an effective inhibitor of PPO. It has been demonstrated in several studies that ascorbic acid inhibits potato PPO by 30% at a concentration of 0.7 mM and 80% at a concentration of 2.5 mM (Lourenco, Neves, & Dasilva, 1992). In addition, 14% inhibition was observed at a concentration of ascorbic acid of 0.7 mM for potato PPO using catechol as substrate. (Duangmal & Apenten, 1999).

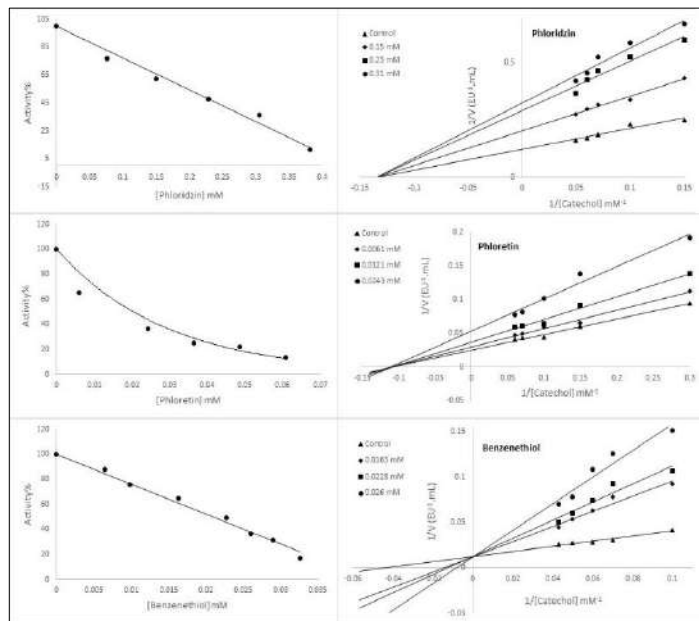


Figure 2. Activity% - [Inhibitor] and Lineweaver-Burk graphs that drawn to determine inhibition parameters

Until now, the inhibition effect of thiol groups on PPO enzymes from different source has been extensively studied (Bravo & Osorio, 2016; Duangmal & Apenten, 1999; Gonzalez, de Ancos, & Cano, 1999; Nagai & Suzuki, 2001; Negishi & Ozawa, 2000). One of the inhibition mechanisms of thiol groups is the copper-nitrogen bond cleavage in the active site. There are sulfhydryl groups a strong affinity for copper ions, they assume that they displace the histidine amino acid residues that are ligand to the copper ion of the active PPO region and/or remove the copper completely from the enzyme (Lerch, 1987; Martinez et al., 1986). This type of interaction causes competitive type inhibition. In this study, benzenethiol was shown competitive-type inhibition. IC_{50} value and K_i constant of benzenethiol were found 0.02 mM and 0.008 ± 0.0014 mM, respectively. In one study, the inhibitory effect of benzenethiol on cresolase and catecholase activities of mushroom tyrosinase was investigated at two different temperatures (20 and 30°C) and at two different pH (pH 5.3 and 6.8). Competitive-type inhibition has been found with benzenethiol for both activities of mushroom tyrosinase (Saboury, Zolghadri, Haghbeen, & Moosavi-Movahedi, 2006). In a study with atemoya fruit, the inhibition effect of sulfur compounds such as diethyl dithiocarbamate, sodium metabisulfite, sodium sulfite, β -mercaptoethanol, dithioerythritol were investigated. Diethyl dithiocarbamate, sodium metabisulfite, sodium sulfite at a concentration of $0.033 \mu\text{M}$ showed inhibition of 46.95%, 31.09% and 7.6%, respectively. β -mercaptoethanol showed 43.5% inhibition at $0.1 \mu\text{M}$ concentration and dithioerythritol showed 34.5% inhibition at $0.07 \mu\text{M}$ concentration (Chaves, Ferreira, Da Silva, & Neves, 2011). The inhibition profile of phloridzin, phloretin, baicalin, baicalein, and benzenethiol are summarized in Table 2.

Table 2. Inhibition parameters for potato PPO

Inhibitors	IC_{50} (mM)	K_i (mM)	Inhibition type
Phloridzin	0.22	0.120 ± 0.0157	Noncompetitive
Phloretin	0.02	0.027 ± 0.0054	Noncompetitive
Baicalin	NI*		
Baicalein	NI*		
Benzenethiol	0.02	0.008 ± 0.0014	Competitive

*NI: No Inhibitor

4. Conclusions and Recommendations

The use of reliable anti-browning agents is essential in the food industry. According to the results of the *in vitro* inhibition studies, it can be said that phloridzin, phloretin, and benzenethiol are the inhibitors of potato PPO. Therefore, the use of these inhibitors as an antibrowning agent in the food industry is of great importance.

5. Acknowledge

The author report no declarations of interest.

This work has been supported by Ataturk University BAP (Project No: FAD-2019-7025).

References

- Aksoy, M. (2020). A new insight into purification of polyphenol oxidase and inhibition effect of curcumin and quercetin on potato polyphenol oxidase. *Protein Expr Purif*, 171, 105612. doi:10.1016/j.pep.2020.105612
- Arslan, O., Erzenin, M., Sinan, S., & Ozensoy, O. (2004). Purification of mulberry (*Morus alba* L.) polyphenol oxidase by affinity chromatography and investigation of its kinetic and electrophoretic properties. *Food Chemistry*, 88(3), 479-484.
- Bayrak, S., Öztürk, C., Demir, Y., Alım, Z., & Küfrevioğlu, Ö. İ. (2020). Purification of Polyphenol Oxidase from Potato and Investigation of the Inhibitory Effects of Phenolic Acids on Enzyme Activity. *Protein and Peptide Letters*, 27(3), 187-192.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*, 72, 248-254.
- Bravo, K., & Osorio, E. (2016). Characterization of polyphenol oxidase from Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruit. *Food Chemistry*, 197(Pt A), 185-190. doi:10.1016/j.foodchem.2015.10.126
- Bukhari, S. N. A., Jantan, I., Tan, O. U., Sher, M., Naeem-ul-Hassan, M., & Qin, H. L. (2014). Biological Activity and Molecular Docking Studies of Curcumin-Related α , β -Unsaturated Carbonyl-Based Synthetic Compounds as Anticancer Agents and Mushroom Tyrosinase Inhibitors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(24), 5538-5547.
- Chaves, I. R., Ferreira, E. D., Da Silva, M. A., & Neves, V. A. (2011). Polyphenoloxidase from Atemoya Fruit (*Annona Cherimola* Mill. *Annona Squamosa* L.). *Journal of Food Biochemistry*, 35(6), 1583-1592.

- Chen, Q. X., & Kubo, I. (2002). Kinetics of mushroom tyrosinase inhibition by quercetin. *J Agric Food Chem*, 50(14), 4108-4112. doi:10.1021/jf011378z
- Duangmal, K., & Aparenten, R. K. O. (1999). A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). *Food Chemistry*, 64(3), 351-359.
- Ehrenkranz, J. R. L., Lewis, N. G., Kahn, C. R., & Roth, J. (2005). Phlorizin: a review. *Diabetes-Metabolism Research and Reviews*, 21(1), 31-38.
- ESKIN, N. A. M., HENDERSON, H.M. and TOWNSEND, R.J. . (1971.). Browning reactions in foods. In *Biochemistry of Foods*. New York: Academic Press.
- Fan, M. H., Zhang, G. W., Hu, X., Xu, X. M., & Gong, D. M. (2017). Quercetin as a tyrosinase inhibitor: Inhibitory activity, conformational change and mechanism. *Food Research International*, 100, 226-233.
- Flurkey, W. H. (1986). Polyphenoloxidase in higher plants: immunological detection and analysis of in vitro translation products. *Plant Physiology*, 81(2), 614-618.
- Garro, A., & Gasull, E. (2010). Characterization of Polyphenoloxidase from 2 Peach (*Prunus persica* L.) Varieties Grown in Argentina. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 627-632.
- Gonzalez, E. M., de Ancos, B., & Cano, M. P. (1999). Partial characterization of polyphenol oxidase activity in raspberry fruits. *J Agric Food Chem*, 47(10), 4068-4072. doi:10.1021/jf981325q
- Hsu, A. F., Shieh, J. J., Bills, D. D., & White, K. (1988). Inhibition of Mushroom Polyphenoloxidase by Ascorbic-Acid Derivatives. *Journal of Food Science*, 53(3), 765-&.
- Jiang, Y. M. (1999). Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit. *Food Chemistry*, 66(1), 75-79.
- Kahn, V., Ben-Shalom, N., & Zakin, V. (1999). Effect of benzenesulfinic acid on the oxidation of o-dihydroxy and trihydroxyphenols by mushroom tyrosinase. *Journal of Food Biochemistry*, 23(3), 263-281.
- Karasu, S., Durak, M.Z., Tokar, Ö.S. (2015). Gıda Biyoteknolojisi ve Biyoproseslerinde Yeni Gelişmeler. *European Journal of Science and Technology*, 2(5), 161-164.
- Laemmli, D. K. (1970). Cleavage of structural proteins during in assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227(5259), 680.
- Lerch, K. (1987). Molecular and active site structure of tyrosinase. *Life Chem. Rep.*, 5, 221-234.
- Loizzo, M. R., Tundis, R., & Menichini, F. (2012). Natural and Synthetic Tyrosinase Inhibitors as Antibrowning Agents: An Update. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(4), 378-398.
- Lourenco, E. J., Neves, V. A., & Dasilva, M. A. (1992). Polyphenol Oxidase from Sweet-Potato - Purification and Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(12), 2369-2373.
- Martinez, J. H., Solano, F., Penafiel, R., Galindo, J. D., Iborra, J. L., & Lozano, J. A. (1986). Comparative study of tyrosinases from different sources: relationship between halide inhibition and the enzyme active site. *Comp Biochem Physiol B*, 83(3), 633-636. doi:10.1016/0305-0491(86)90309-3
- Martinez, M. V., & Whitaker, J. R. (1995). The Biochemistry and Control of Enzymatic Browning. *Trends in Food Science & Technology*, 6(6), 195-200.
- Mayer, A. M. (2006). Polyphenol oxidases in plants and fungi: Going places? A review. *Phytochemistry*, 67(21), 2318-2331.
- McEvily, A. J., Iyengar, R., & Otwell, W. S. (1992). Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 32(3), 253-273. doi:10.1080/10408399209527599
- Mishra, B. B., Gautam, S., & Sharma, A. (2012). Purification and characterisation of polyphenol oxidase (PPO) from eggplant (*Solanum melongena*). *Food Chemistry*, 134(4), 1855-1861. doi:10.1016/j.foodchem.2012.03.098
- Mishra, B. B., & Gautam, S. (2016). Polyphenol oxidases: biochemical and molecular characterization, distribution, role and its control. *Enzyme Engineering*, 5(1), 141-149.
- Nagai, T., & Suzuki, N. (2001). Partial purification of polyphenol oxidase from Chinese cabbage *Brassica rapa* L. *J Agric Food Chem*, 49(8), 3922-3926. doi:10.1021/jf000694v
- Negishi, O., & Ozawa, T. (2000). Inhibition of enzymatic browning and protection of sulfhydryl enzymes by thiol compounds. *Phytochemistry*, 54(5), 481-487. doi:10.1016/s0031-9422(00)00125-4
- Öztürk, C., Aksoy, M., & Küfrevioğlu, Ö. I. (2020). Purification of tea leaf (*Camellia sinensis*) polyphenol oxidase by using affinity chromatography and investigation of its kinetic properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(1), 31-38.
- Queiroz, C., Lopes, M. L. M., Fialho, E., & Valente-Mesquita, V. L. (2008). Polyphenol oxidase: Characteristics and mechanisms of browning control. *Food Reviews International*, 24(4), 361-375.
- Saboury, A. A., Zolghadri, S., Haghbeen, K., & Moosavi-Movahedi, A. A. (2006). The inhibitory effect of benzenethiol on the cresolase and catecholase activities of mushroom tyrosinase. *J Enzyme Inhib Med Chem*, 21(6), 711-717. doi:10.1080/14756360600810787
- Sapers, G. M. (1993). Browning of Foods - Control by Sulfites, Antioxidants, and Other Means. *Food Technology*, 47(10), 75-84.
- Shin, N. H., Ryu, S. Y., Choi, E. J., Kang, S. H., Chang, I. M., Min, K. R., & Kim, Y. (1998). Oxyresveratrol as the potent inhibitor on dopa oxidase activity of mushroom tyrosinase. *Biochem Biophys Res Commun*, 243(3), 801-803. doi:10.1006/bbrc.1998.8169
- Tinello, F., & Lante, A. (2018). Recent advances in controlling polyphenol oxidase activity of fruit and vegetable products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50, 73-83.
- Türkeş, C., Demir, Y., & Beydemir, Ş. (2020). Some calcium-channel blockers: kinetic and in silico studies on paraoxonase-I. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 1-9.
- Wang, Y., Zhang, G., Yan, J., & Gong, D. (2014). Inhibitory effect of morin on tyrosinase: insights from spectroscopic and molecular docking studies. *Food Chemistry*, 163, 226-233. doi:10.1016/j.foodchem.2014.04.106
- Wei, Z. F., Wang, X. Q., Peng, X., Wang, W., Zhao, C. J., Zu, Y. G., & Fu, Y. J. (2015). Fast and green extraction and separation of main bioactive flavonoids from *Radix Scutellariae*. *Industrial Crops and Products*, 63, 175-181.
- Xiong, Z., Liu, W., Zhou, L., Zou, L., & Chen, J. (2016). Mushroom (*Agaricus bisporus*) polyphenoloxidase inhibited by apigenin: Multi-spectroscopic analyses and computational docking simulation. *Food Chemistry*, 203, 430-439. doi:10.1016/j.foodchem.2016.02.045



Atıksu Arıtma Çamurlarının Sürdürülebilir Kullanım Alternatifleri: Öncelikli Yaklaşımlar

Fatma Olcay Topaç^{1*}, Selnur Uçaroğlu²

^{1*} Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6364-4087), olcaytopac@uludag.edu.tr

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4888-7934), selnur@uludag.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 25 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.777340)

ATIF/REFERENCE: Topaç, F. O. & Uçaroğlu, S. (2020). Atıksu Arıtma Çamurlarının Sürdürülebilir Kullanım Alternatifleri: Öncelikli Yaklaşımlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 728-739.

Öz

Atıksu arıtma proseslerindeki mikrobiyal besin zincirinin doğal son ürünleri olan arıtma çamurları, çevre için büyük risk oluşturan atık maddeler arasında sayılmaktadırlar. Arıtma çamurlarının ikincil bir kirletici olarak birikmesi, söz konusu atıkların, işlem gördükten sonra uygun yöntemlerle bertaraf edilmesini zorunlu kılmaktadır. Çamur bertarafı için birçok yöntem bulunmakla birlikte, son yıllarda atıksu arıtma çamurlarının sürdürülebilir kullanımını hedef alan yaklaşımların hem ekonomik, hem de ekolojik açıdan ilgi odağı olduğu görülmektedir. Günümüzün öncelikli yaklaşımları çerçevesinde arıtma çamurları atık bir malzeme olarak düşünülmemekte, geri dönüşümü ya da yeniden kullanımı mümkün olan bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Arıtma çamurlarının yeniden kullanımı kapsamında en yaygın uygulama, stabilize edilen çamurun tarımsal arazilere gübre olarak verilmesidir. Çamurun toprak ortamına girmesiyle, bünyesinde bulunan bitki besin maddeleri ve organik maddeler topraktaki doğal döngülerine katılmakta ve tarımsal üretimde ekonomik kazanç sağlanmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, geleneksel kirleticilerin yanısıra çamurdaki mikrokirleticilerin de çevre ve insan sağlığı için bir tehdit oluşturduğuna dikkati çekmektedir. Bu çalışmaların ortaya koyduğu endişeler, tarım arazilerine yapılan çamur uygulamalarının ölçeğini ve halkın kabulünü kısıtlamaktadır. Bu nedenle, atıksu çamurlarının farklı amaçlarla kullanılmasına yönelik çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bu kapsamda, susuzlaştırılmış arıtma çamurları ile çamurların yakılması sonucu elde edilen küller, çimento ve birçok yapı malzemesinin üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilir. Diğer taraftan atıksu çamurundan enerji geri kazanımına yönelik farklı yaklaşımlara sahip pek çok teknoloji geliştirilmiş ve çok sayıda araştırma yapılmıştır. Yakma ve termal enerji geri kazanımı yoluyla elektrik üretimi, atıksu çamuru için popüler bir sürdürülebilir kullanım alternatifi olarak kabul edilmektedir. Ancak çamurun yüksek nem içeriği ve düşük ısı değeri yüksek enerji tüketimine sebep olmakta ve ek yakıt ihtiyacı söz konusu olabilmektedir. Arıtma çamurlarından elde edilen toplam enerji miktarlarını arttırmak için, kurutma aşamasında harcanan enerjinin azaltılması ve farklı senaryolar ile net enerji dengelerinin sağlanması konularında daha fazla çalışmanın yapılmasına ihtiyaç vardır. Atıksu çamurundan proteinler, enzimler, polihidroksialkanolatlar, biyosülfaktanlar gibi katma değerli ürünlerin elde edilmesi ise, pek çok avantaj sunan ve gelecekteki çamur yönetimi alanında önemli bir yer tutabilecek yenilikçi bir yaklaşımdır. Atıksu çamurundan elde edilebilecek biyo ürünler ve değerli kaynaklar, sürdürülebilir yeşil ürün alternatifleri olarak çok farklı alanlarda kullanılabilir potansiyeline sahiptir. Arıtma çamuru tabanlı biyorafineri süreçlerinin teknolojik-ekonomik performansının daha detaylı olarak ortaya konması için kapsamlı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtma çamuru, Sürdürülebilir kullanım, Yeniden kullanım, Geri kazanım.

Sustainable Utilization Alternatives for Sewage Sludge: Priority Approaches

Abstract

Wastewater sludges, which are the natural end products of the microbial food chain in wastewater treatment processes, are among the waste materials that pose a great risk for the environment. The accumulation of sludge as a secondary pollutant obliges those to be disposed by appropriate methods after being treated. Although there are many methods for sludge disposal, it is seen that the approaches targeting the sustainable use of wastewater sludges have been the focus of interest both economically and ecologically. Within the framework of today's priority approaches, sludge is not considered as a waste material, it is considered as a resource that can be recycled

* Sorumlu Yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6364-4087, olcaytopac@uludag.edu.tr

or reused. The most common practice among reuse methods is application of stabilized sludge as fertilizer to agricultural lands. With the entry of sludge into the soil environment, the plant nutrients and organic substances in sludge participate in their natural cycles in the soil and economical gain is achieved in agricultural production. However, recent studies draw attention to the fact that micropollutants in wastewater sludge, as well as traditional pollutants, pose a threat to the environment and human health. Concerns raised by these studies limit the scale of sludge applications to agricultural lands and its public acceptance is reduced. Therefore, many studies have been conducted to use sludges for different purposes. In this context, dewatered sludges and sludge ashes can be used as additives in the production of cement as well as many construction materials. Moreover, many technologies with different approaches to energy recovery from wastewater sludge have been developed and many researches have been carried out. Electricity generation through incineration and thermal energy recovery is considered as a popular sustainable usage alternative for wastewater sludge. However, the high moisture content and low calorific value of the sludge cause high energy consumption and additional fuel demand may occur. In order to increase the total amount of energy obtained from the sludge, further work is needed to reduce the energy spent in the drying phase and to achieve net energy balances with different scenarios. Obtaining value-added products such as proteins, enzymes, polyhydroxyalkanoates, and biosurfactants from wastewater sludge is an innovative approach that offers many advantages and can take an important place in the area of sludge management in the future. Bio products and valuable resources that can be obtained from wastewater sludge have the potential to be used in many different areas as sustainable green product alternatives. Comprehensive studies are required to reveal the technological-economic performances of the sludge-based biorefinery processes.

Keywords: Wastewater sludge, Sustainable usage, Reuse, Recovery

1. Giriş

Endüstriyel gelişmelere, kentleşmeye ve nüfus artışına paralel olarak sürekli artan miktarlarda açığa çıkan farklı özelliklerdeki atıklar, çevre üzerindeki baskının giderek artmasına yol açmaktadır. Atıksu arıtma proseslerindeki mikrobiyal besin zincirinin doğal son ürünleri olan arıtma çamurları da, çevre için büyük risk oluşturan atık maddeler arasında sayılmaktadırlar. Arıtma çamurları, endüstriyel ya da evsel nitelikli atık suların arıtımı proseslerinde yer alan, çeşitli arıtım kademelerinde yan ürün olarak açığa çıkan yarı katı haldeki atık maddeler olarak tanımlanmakta olup, özellikleri, atıksu özellikleri ile uygulanan arıtma teknolojilerine bağlı olarak büyük oranda değişmektedir (Kumar vd., 2017). Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yüzey ve yer altı sularının korunması konusunda artan hassasiyet, atıksu arıtma tesislerinin yaygınlaşmasına yol açmış, bu da beraberinde arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarının artışını getirmiştir. Arıtma çamurlarının bertarafı atıksu arıtma tesislerinin en pahalı işlevlerinden biridir. Tesis maliyetlerinin %50'den fazlası çamur bertarafı için harcanmaktadır (Appels vd., 2008). Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımı sonucu oluşan bu büyük miktarlardaki arıtma çamurları, bitki besin maddeleri gibi faydalı elementlerin yanısıra çok farklı zararlı/zehirli maddeleri de içerebildiklerinden dolayı, özellikle global çevresel kaygılar çerçevesinde büyük ilgi odağı oluşturmaktadırlar (Lasaridi vd., 2018). Günümüzde oluşan atıksu çamurlarının %14'ü çöp sahalarında bertaraf edilmekte, %27'si yakılmakta, %42'si tarımsal alanlara uygulanmakta, %17'si ise farklı sanayi sektörlerinde yeniden kullanılmaktadır (Faria vd., 2018).

Arıtma çamurlarının ikincil bir kirletici olarak birikmesi, söz konusu atıkların, arıtmanın çeşitli kademelerinde işlem gördükten sonra uygun yöntemlerle bertaraf edilmesini zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla çamur bertarafı çevresel perspektifin yanısıra ekonomik bakış açısıyla da atıksu arıtım sektörü ile diğer ilgili kuruluşların üzerinde önemle durduğu bir konu haline gelmiştir. Çamur bertarafı için birçok yöntem bulunmakla birlikte, son yıllarda atıksu arıtma çamurlarının sürdürülebilir kullanımını hedef alan yaklaşımların hem ekonomik hem de ekolojik açıdan ilgi odağı olduğu görülmektedir. Günümüzün öncelikli yaklaşımları çerçevesinde arıtma çamurları atık bir malzeme olarak düşünülmemekte, geri dönüşümü ya da yeniden kullanımı mümkün olan bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Son

yıllarda, üretilen atık miktarını ve atık yönetiminin çevresel etkilerini azaltmak için alternatif atık yönetimi stratejilerinden faydalanılarak atık minimizasyonu ve geri dönüşüm/yeniden kullanım politikaları uygulamaya konulmuş ve benimsenen bu yaklaşım çerçevesinde çeşitli çalışmalar yürütülmüştür (Minelgaite ve Liobikiene, 2019; Pietzsch vd., 2017). Bu yaklaşıma paralel olarak dünyadaki birçok düzenleyici/uygulayıcı kurum da, atıksu çamurlarını değerli bir kaynağa dönüştürmek için çevresel açıdan sağlıklı ve ekonomik olarak uygulanabilir yolları teşvik eden önlemler almaktadır. Ülkemizde yaygın olarak tercih edilen çamur bertaraf yöntemlerinden düzenli depolamanın, özellikle Avrupa Birliği uyum sürecinde uygulamaya konulan çeşitli yönetmeliklerin etkisiyle ileriki yıllarda azalacağı ve yeniden kullanım ve geri kazanıma yönelik uygulamaların artacağı beklenmektedir. Atıksu arıtma çamurları özellikleri itibarıyla, bir malzeme ve/veya besin maddesi kaynağı olarak değerlendirilebilme potansiyeline sahiptir ve dolayısıyla endüstriyel üretim ile toprak uygulamaları kapsamında hammadde olarak kullanılabilir. Diğer taraftan yakma, anaerobik çürütme, piroliz, gazlaştırma, ıslak oksidasyon gibi atıksu çamurunun faydalı bir çıktıya dönüştürülebildiği çeşitli süreçler enerji geri kazanımını da mümkün kılmaktadır. Ayrıca arıtma çamurundan katma değeri yüksek biyofabrikatör ürünlerin elde edilmesi de son yıllarda gündeme gelen yenilikçi yeniden kullanım alternatifleri olarak yerini bulmuştur.

Bu çalışmada atıksu arıtma çamurlarının sürdürülebilir kullanım alternatifleri ayrı başlıklar altında ele alınmış, avantaj ve dezavantajları irdelenmiş, yapılmış güncel çalışmalar incelenerek öncelikli yaklaşımlar değerlendirilmiş ve mevcut bilgiler ışığında bu atık malzemelerin gelecekteki sürdürülebilir kullanımı için bir projeksiyon oluşturulmaya çalışılmıştır.

2. Arıtma Çamurlarının Tarım Arazilerinde Kullanımı

Arıtma çamurları, içerdikleri azot (%2-8), fosfor (%1-3), potasyum (%0,1-0,6) gibi makro bitki besin maddeleri ve organik madde içerikleri itibarıyla ticari gübrelere alternatif olabilecek bir gübre kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Lu vd., 2012). Ayrıca arıtma çamurları, çoğu geleneksel kimyasal gübre uygulamalarıyla sağlanamayan B, Cu, Fe, Mn, Mo ve Zn gibi çok sayıda temel mikro besin elementini de içermektedir (Warman ve Termeer, 2005). Atıksu arıtımı neticesinde oluşan arıtma

çamurları, uygun şekilde arıtıldıktan sonra tarımsal alanlarda kullanılması uygun olarak kabul edilen ve biyokatı olarak anılan bir malzemeye dönüşmektedir (Amuda vd., 2008; Lu vd., 2012). Tarım arazilerine uygulanması hedeflenen arıtma çamurlarının özellikle stabilize edilmeleri çamurun hijyenik kalitesinin sağlanması için yasal bir zorunluluk olup halk sağlığının korunması açısından büyük önem taşımaktadır (Arthurson, 2008).

Atıksu arıtma çamurlarının bitki gelişimi için ihtiyaç duyulan maddeleri sağlayabildiğini, toprağın üretkenliğini arttırdığını ve bitki büyümesini teşvik ederek hızlandırdığını ortaya koyan çok sayıda çalışma yapılmıştır. Romanos vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada Lübnan'ın Bekaa vadisinde bulunan üç farklı kentsel atıksu arıtma tesisinden temin edilen arıtma çamurlarının tarımsal alanlardaki kullanılabilir potansiyelleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yapılan fizikokimyasal analizler, çamurun yüksek oranda mineral ve organik madde içerdiğini ve tarımsal alanlarda kullanılmasının bitki gelişimi açısından fayda sağlayabileceğini göstermiştir. Singh ve Agrawal (2010)'ın yürüttüğü bir çalışmada, pirinç (*Oryza sativa* L.) bitkisinin farklı oranlarda arıtma çamuru uygulamasına verdiği biyokimyasal ve fizyolojik tepkiler araştırılmış ve bitkilerdeki fotosentez ve stoma iletkenliği oranları ile klorofil ve protein içeriklerinin çamur uygulamasına bağlı olarak arttığı bilgisine ulaşılmıştır. Yaman ve Olhan (2011) tarafından yürütülen diğer bir çalışmada, buğday üretiminde atıksu arıtma çamuru kullanımının ekonomik sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre; arıtma çamuru kullanımı buğday verimini %17,63 oranında arttırmıştır. Yapılan ekonomik değerlendirme, brüt kârın %64,90 oranında arttığını, üretim maliyetinin ise %26,01 oranında azaldığını göstermiştir. Akat ve Altunlu (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, arıtma çamuru uygulamasının tuzlu koşullar altındaki *Limonium sinuatum* (*Statice*) bitkisinin bitki gelişimi, verim ve çiçek kalitesi üzerindeki etkileri sera koşullarında araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, tuzlu koşullarda artan arıtma çamur uygulama dozlarının, tuzun olumsuz etkilerini ortadan kaldırdığını, bitki büyümesini, verimliliği ve çiçek kalitesini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Arıtma çamurlarının, kivi yetiştirilen topraklara uygulandığı diğer bir çalışmada (Dede vd., 2017) topraktaki besin maddesi yarayışlılığı ile meyvenin elemental yeterliliği irdelenmiştir. Solar olarak kurutulmuş çamurların toprağa uygulanmasıyla özellikle Fe, Cu, Zn, Mn ve B konsantrasyonlarının yeterli seviyelere çıktığı tespit edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, yıllık 200 ton/ha'ı aşmayacak oranlardaki stabilize çamurun yüksek pH'lı topraklarda gerçekleştirilen kivi üretiminde güvenle kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu ve benzeri çalışmalar uygun özellikler taşıyan arıtma çamurlarının toprağa uygulanmasının, bitkilerin beslenmesi açısından ticari gübrelemeye ciddi bir alternatif olabileceğine işaret etmektedir.

Diğer taraftan uygun yöntemlerle arıtılmamış ve uygun özellikler taşımayan arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak, toprak ve yeraltısularının patojen, ağır metal, iz organik bileşikler ve diğer toksik kimyasallarca kirlenmesi riskini ortaya koyan çok sayıda çalışma yapılmıştır (Behbahaninia vd., 2010; Galitskaya vd., 2017; Oun vd., 2014). Özellikle son yıllarda organik mikrokirleticiler konusunda yapılan çalışmalar, atıksu çamurlarının tarımsal alanlara uygulanması ile çok sayıda mikrokirleticinin çevresel ortamlara karıştığına dikkat çekmektedir. Atıksu arıtma çamurunda sıklıkla tespit edilen organik mikrokirleticiler arasında, farmasötik maddeler, kişisel bakım ürünleri, pestisitler, hormonlar, plastikleştiriciler gibi

çeşitli kimyasallar sıralanmaktadır (Kapanen vd., 2013; Semblante vd., 2015).

Özellikle farmasötik bileşikler ile ftalatların yaygın şekilde kullanılmaları ve çeşitli çevresel ortamlarda tespit edilmeleri, bu mikrokirleticilerin atıksu arıtma tesislerindeki akıbetini inceleyen çalışmalara da hız kazandırmıştır. Lamastra vd. (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada Kuzey İtalya'da ki 35 arıtma tesisinden çıkan arıtma çamurları 2 yıl süreyle organik kirleticiler açısından izlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, analiz edilen çamur örneklerinin yaklaşık %5'inde nonilfenoletoksilat konsantrasyonları limit değerlerin üzerinde belirlenmiştir. Analizlenen çamurların yaklaşık %2,5'unda ise ftalat konsantrasyonlarının limit değerleri aştığı tespit edilmiştir. 45 farklı atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinin incelendiği diğer bir çalışmada, tüm örneklerde kinolon tipi antibiyotikler tespit edilmiş ve çamurdaki konsantrasyonlarının arıtma tesisinin çalışma koşullarına ve uygulanan arıtma yöntemlerine bağlı olarak 8905 µg/kg kuru ağırlık seviyelerine ulaşabildiği vurgulanmıştır (Li vd., 2013). Benzer bir çalışmada, çamur örneklerindeki toplam östrojen konsantrasyonlarının 3,16 ila 444 µg/kg (kuru ağırlık) seviyeleri arasında olduğu belirlenmiştir (Sim vd., 2011). Martín vd., Alonso (2012), atıksuda tespit edilen aktif farmasötik bileşenlerin hemen hemen hepsini çamur örneklerinde de tespit etmişler ve çamurda en çok gözlenen aktif farmasötik bileşenlerin ibuprofen, salisilik asit, gemfibroliz ve kafein olduğunu belirtmişlerdir.

Bütün bu çalışmalar arıtma çamurlarının topraktaki kullanım potansiyelinin uygulama öncesi titizlikle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Çamur içeriğindeki patojenlerin ve çeşitli makro ve mikro seviyedeki toksik kimyasalların çevre ve insan sağlığına olan etkilerinin yarattığı endişeler, bu tür uygulamaların ölçeğini ve halkın kabulünü kısıtlamaktadır.

3. Arıtma Çamurlarının Toprak Islahı Amaçlı Kullanımı

Arıtma çamurlarının tarım arazilerinde insan gıdası olarak kullanılan bitkilerin yetiştirilmesinde kullanılması, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, mevzuata uygunluğun denetimi ile uygulama sırası ve sonrasındaki izleme çalışmalarında oluşabilecek aksamalardan dolayı bir risk oluşturabilmektedir. Bu bakış açısıyla, stabilize edilmiş, belirgin seviyede organik madde içeren ve bitki besin maddelerince zengin olan evsel ve evsel nitelikli arıtma çamurlarının toprak özelliklerini geliştirmek veya ıslah etmek amacıyla toprak düzenleyici olarak kullanımı daha akılcı bir alternatif olabilmektedir. Tarımsal amaçla kullanılması mümkün olmayan arazilerin uygun özellikteki arıtma çamurları ile desteklenerek ıslah olması ve tarımsal değeri olan araziler haline dönüştürülmesi de mümkündür. Arıtma çamurları yüksek organik madde içeriği sayesinde metalleri bağlayabildiği ve onları daha az çözünebilir fraksiyonlara dönüştürebildiğinden, metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde de kullanılabilmektedir.

Arıtma çamurunun, döküm cürüflarıyla kirlenmiş bir toprağın ıslahındaki kullanımının araştırıldığı bir çalışmada, çamur uygulamasıyla toprak sızıntı suyundaki bakır, kurşun ve antimon konsantrasyonlarının, sırasıyla 250 µg/L, 80 µg/L ve 6 µg/L, seviyelerinden <20 µg/L, 40 µg/L ve 4 µg/L seviyelerine düştüğü tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, arıtma çamurunun özellikle bu metallerle kirlenmiş sahaların ıslahında kullanılabileceği

vurgulanmıştır (Navarro, 2012). Cele ve Maboeta (2016) tarafından yürütülen diğer bir çalışmada, demir cevheri maden aktivitelerinden olumsuz yönde etkilenmiş toprakların ıslahı için arıtma çamuru ilavesi ve fitostabilizasyonu içeren bir yaklaşımın değerlendirilmesi yapılmıştır. Arıtma çamuru ilavesi ile bitki uygulaması kombinasyonu, toprağın fizikokimyasal durumunu genel olarak iyileştirdiği gibi, toprak kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilen enzim aktivitesi seviyelerini de önemli ölçüde arttırmıştır. Eski kükürt madeni topraklarının farklı atıklarla ıslahının incelendiği bir çalışmada, yapılan uygulamaların topraklardaki katalaz, proteaz ve üreaz aktivitesini önemli derecede arttırdığı ve en büyük etkinin, arıtma çamurunun tek başına veya diğer atıklarla birlikte uygulandığı topraklarda belirlendiği tespit edilmiştir (Joniec, 2018).

Yürütülen benzer bir çalışmada, arıtma çamurunun ağır metallerle kirlenmiş toprakların fitoremediasyonunda destekleyici materyal olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan gıda endüstrisi arıtma çamurunun topraktaki humik asitleri arttırdığı, toprağın emme kapasitesi ile koruyucu tamponlama fonksiyonlarını geliştirdiği ve böylece iz metaller ile biyojenik elementlerin sızma potansiyellerini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca arıtma çamurunun gübreleme etkisi göstererek, fitoremediasyon amacıyla yetiştirilen İskoç çamı, Norveç ladini ve meşe ağaçlarının büyüme ve gelişimini desteklediği sonucuna da ulaşılmıştır (Placek vd., 2016). Metallerle kirlenmiş toprakların fitostabilizasyonunda arıtma çamurlarının rolünü ortaya koymak üzere yürütülen diğer bir araştırmada, 5 farklı çim türü (*Dactylis glomerata L.*, *Festuca arundinacea Schreb.*, *F. rubra L.*, *Lolium perenne L.*, *L. Westerwoldicum*) ile 5 aylık kolon çalışmaları yürütülmüştür. Arıtma çamuru uygulanan denemelerde kontrole göre daha yüksek biyokütleyle ulaşılmış olup, çamurun yarattığı metal immobilizasyonu ile bitkiler tarafından metal alımında önemli bir azalma meydana gelmiştir (Kacprzak vd., 2014).

Arıtma çamurları katı atık düzenli depolama alanlarındaki örtü toprağının fizikokimyasal özelliklerini geliştirmek amacıyla da kullanılabilir. Arıtma çamuru uygulamasıyla deponi sahası örtü topraklarındaki gözeneklilik, nem ve agrega oluşumu artmakta ve örtü toprakları üzerinde bitki yetiştirilebilmesi için hazır hale gelmektedir (Kim ve Owens, 2010).

4. Arıtma Çamurlarının Toprak Islahı Amaçlı Kullanımı

Arıtma çamurlarının içerebileceği zararlı/zehirli maddelerin besin zinciri için potansiyel kirlenici olması nedeniyle toprakta kullanımı endişe oluşturmaktadır. Bu problem arıtma çamurlarının farklı amaçlarla kullanılmasını daha çok gündeme getirmeye başlamıştır (Lin vd., 2012). Arıtma çamurları, çimento içeriğindeki kilde de bulunan silika, alüminyum, kalsiyum, demir vb. elementleri içeren inorganik bir kısma sahiptir. Bu nedenle üretilen arıtma çamurları kurutulup yakıldıktan sonra kalan kül kısmı çimentoda katkı maddesi, toprak stabilizasyonu katkı maddesi, ince agrega veya yol dolgu malzemesi vb. olarak kullanılabilir. Ayrıca, yakma sonucunda elde edilen küller diğer malzemeler ile karıştırılarak kiremit, tuğla, seramik malzemeler, kil boru gibi ürünler üretilmektedir (Chang vd., 2020). Son yıllarda, sadece çamur küllerinden tuğla üretiminin yapıldığı yeni teknolojiler de geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra, susuzlaştırılmış çamur, yakma ve stabilizasyon sonucu elde edilen nihai üründe daha da fazla hacim azalması sağlayabilmek için eritilebilir. Eritme işleminden elde edilen cüruf, yol dolgu

malzemesi, beton agregası vb. olarak değerlendirilebilmekte veya karo, geçirgen blok gibi ürünlerin üretiminde ham madde olarak kullanılabilir. Ayrıca, organik ve inorganik maddeler içeren susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının da çimento bileşeni olarak kullanılabilmesi mümkündür (Valderrama vd., 2013; Zabaniotou ve Theofilou, 2008). Arıtma çamurlarının inşaat ve çimento sektöründe kullanımıyla, hacim azalması gerçekleşmekte, arıtma çamurları güvenli bir şekilde uzaklaştırılmış olmakta ve ilgili sektörlerdeki üretim maliyeti düşmektedir.

Yapılan bir çalışmada, elektrik santrali su arıtma tesisinde üretilen arıtma çamurları ve pirinç kabuklarının birlikte yakılmasıyla elde edilen küllerden, farklı yoğunluklarda ve yalıtım amaçlı kullanılacak iyi kalitede refraktör tuğla üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Ewais vd., 2017). González-Corrochano vd. (2017), tarafından yürütülen bir çalışmada ise kentsel arıtma çamurları, yapay hafif agrega üretiminde kullanılmış ve uygulanan termal işlemin ağır metallerin büyük bir bölümünün tutulmasında oldukça etkili olduğu belirlenmiştir.

Areias vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, kentsel arıtma çamurunun bina yapımında kullanılan kil tuğlalara doğrudan eklenebileceği ifade edilmiştir. Çalışmada 850°C ve 950°C ateşleme sıcaklığında ve nemli ağırlıkça %15'e kadar kentsel arıtma çamurunun kil tuğla üretiminde kullanılabilirliği ve bu şartlarda arıtma çamuru ilavesiyle, çevreye olumsuz bir etkisi olmayan standartlara uygun kil tuğlaların üretilebileceği tespit edilmiştir. Çalışmada kentsel arıtma çamuru ilavesi ile elde edilen kil tuğlaların %16 daha uygun maliyetle üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Dahhou vd. (2018) tarafından yürütülen diğer bir çalışmada portland çimentosu klinkeri ile içme suyu arıtma tesisi çamuru karıştırılmış ve çamur içerikli tuğla üretilebileceği belirtilmiştir. Çalışma sonuçları, arıtma çamuru karıştırılarak elde edilen portland çimentosunun ticarileşebileceğini göstermiştir. Cremades vd. (2018) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, kurutulmuş içme suyu arıtma tesisi çamurunun, fayans üretiminde kullanılan seramik malzemenin imalatında %70'e kadar değişen oranlardaki kullanımı araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, çamurdan düşük organik madde ve yüksek mikronize kalker içeriğine (ağırlıkça %14,4 kalsiyum oksit) sahip bir toz elde edildiğini göstermiştir. Bu özelliklerinden dolayı arıtma çamuru tozlarının sırlı fayans üretiminde kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında yapılan analizler, arıtma çamuru ilavesiyle elde edilen seramik malzemenin çevreye olumsuz bir etkisinin olmayacağını da göstermiştir.

5. Arıtma Çamurlarının Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı

Arıtma çamurları, enerji açısından zengin bir biyokütle atığıdır. Biyodizel yakıt üretimi, anaerobik prosesler, yakma, gazifikasyon ve piroliz prosesleri gibi atıktan enerjiye dönüştüren teknolojiler ile arıtma çamurları genellikle yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadırlar (Cao ve Pawlowski, 2012; Z. Liu vd., 2020; Milbrandt vd., 2018). Bu teknolojiler ile H₂ ve CH₄ içeren biyogaz, sıvı biyoyakıt ve katı biyoyakıt şeklinde farklı formlarda enerji ürünleri elde edilmektedir (Choi vd., 2019). Enerji elde etmenin yanı sıra, uygulanan bu teknolojiler ile kütle ve hacim azalması, patojen mikroorganizmaların giderilmesi, istenmeyen kokuların giderilmesi ve uçucu katı maddelerin stabilitesi de sağlanmaktadır (Zhang vd., 2014). Biyoyakıtlar,

alışılmış petrol türevli yakıtlara alternatif çevreci bir yakıt olarak son yıllarda dikkat çekmektedir. Sürdürülebilir alternatif yakıtların temel özellikleri fosil yakıtlara kıyasla yenilenebilir, düşük maliyetli, verimli ve çevre açısından daha az zararlı olmalarıdır (Bora vd., 2020).

Sıvı biyoyakıtlar, gaz ve katı yakıtlara göre, ürünün kolay taşınması, ön kurutmaya ihtiyaç duyulmaması, nispeten geniş bir pazara ve yüksek satış değerine sahip olması gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu nedenle de son yıllarda yüksek yağ içeriğine sahip kentsel arıtma çamurlarından biyodizel elde edilmesine karşı artan bir ilgi vardır (Prajitno vd., 2018). Zhang vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada atıksuyun içerdiği mikroorganizmalardan ve atıksu çamurlarından elde edilen yağlardan üretilen biyodizelin enerji verimliliği değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda kentsel arıtma çamurundan ekstrakte edilmiş yağdan üretilen biyodizelin, mikroorganizma kaynaklı yağ ile üretilen biyodizele göre daha avantajlı olduğu ve daha fazla enerji elde edildiği tespit edilmiştir. Choi vd. (2019) yaptıkları çalışmada, %85 nem içeren kentsel arıtma çamurundan laboratuvar ölçekli 10 L'lik bir reaktörde ham biyodizel üretmişlerdir. Çalışma kapsamında biyodizel kalitesini arttırmak için ardışık rafinasyon prosesinin uygulanabilirliği araştırılmış ve biyodizel kalite standartları (EN 14214) esas alınarak optimal şartlar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda rafine edilen biyodizelin kalitesinin geliştirilerek, petrol türevli yakıt kullanan araçlarda yenilenebilir yakıt ilavesi olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Çamur bertaraf yöntemleri arasında anaerobik çürütme, koku ve patojenleri gidermesi, çamuru stabilize etmesi, önemli oranda katı madde azalması sağlaması ve daha da önemlisi üretilen metan formunda yenilenebilir enerjiden dolayı, çamur yönetimi alanında avantajlı bir yöntem olarak anılmaktadır. Özellikle enerji geri kazanımı sağlaması nedeniyle, anaerobik çamur çürütme üniteleri, atıksu arıtma tesislerinin maliyetlerini düşüren önemli bir bölümü olarak kabul edilmektedirler (Zhen vd., 2017). Choi vd. (2017) yaptıkları çalışmada, atık aktif çamurun anaerobik çürütülmesinde, yağ ön ekstraksiyonunun etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, yağların ön ekstraksiyonunun çamurun çözülmesini teşvik ettiği ve yağ ön ekstraksiyonu yapılmasıyla 3,65 kat daha fazla metan üretimi olduğunu ve 5 kattan daha fazla katı madde azalmasının gerçekleştiğini göstermiştir. Ultrason, yüksek basınçlı homojenizör, darbeli elektrik alanı ve termal hidroliz gibi anaerobik çürütmeden önce uygulanan çamur ön arıtma yöntemleri çamurun anaerobik biyodegradasyonunu ile biyogaz verimini önemli ölçüde arttırmakta ve nihai çamur hacmini azaltmaktadır (Carrère vd., 2010; Zhen vd., 2017). Yapılan bir çalışmada atıksu arıtma tesisinde anaerobik çürütme öncesi ön arıtma yöntemi olarak uygulanan termal hidroliz, enerji verimliliği ve ekonomi açısından değerlendirilmiştir. Termal hidroliz uygulaması, arıtma tesisinde daha düşük işletme maliyeti oluşturmuştur. Ancak termal hidrolizin etkisiyle metan üretimi azalmıştır. Yürütülen çalışma ile, uygulanan termal hidrolizin, enerji üretiminde bir artış yaratmaktan ziyade çamur bertaraf maliyetlerini önemli ölçüde azalttığı sonucuna ulaşılmıştır (Taboada-Santos vd., 2019).

Kentsel arıtma çamuru, kalorifik değerinden dolayı çimento endüstrisi için ikincil yakıt olarak kullanım potansiyeli yüksek bir alternatiftir (Valderrama vd., 2013). Fang vd. (2015) yaptıkları çalışmada çimento klinker üretiminde ikincil yakıt ve denitrifikasyon maddesi olarak kurutulmuş kentsel arıtma çamuru kullanmışlardır. Çalışmada, arıtma çamurunun NO_x

emisyollarını %75,82 oranında azaltan ikincil bir yakıt olduğu sonucuna varılmıştır. Alternatif yakıt olarak çamur kullanımının klinker kalitesini olumsuz etkilemediği de tespit edilmiştir. Lam vd., (2020) ise yaşam döngüsü değerlendirme analizi yaparak çamurdan enerji elde etme sistemlerini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada 16 çamurdan enerji elde eden sistem, uçucu katıların azalması, enerji geri kazanımı, enerji kullanımı, kimyasal tüketimi, üretilen çamur atıkları, oluşan çevre emisyonları temel alınarak işletme verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, incelenen sistemlerin %44'ünün genel teknik verimlilik açısından, %69'unun ise saf teknik verimlilik açısından uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çalışmada yaşam döngüsü değerlendirme analizinin, düşük verime sahip sistemlerde enerji geri kazanımını arttırmak ve enerji kullanımını azaltmak gibi verimliliğe yönelik stratejiler konusunda da bilgi verdiği ifade edilmiştir.

Petrol rafineri çamurları (tank sedimentleri, yağ-su-katı seperatörleri, çözünmüş hava filtrasyon çamurları vb.) özellikle çimento fırınlarında uzun yıllardır alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada çimento fırınlarında petrol türevli enerji kaynaklarına alternatif olarak petrol rafineri çamurları ile birlikte biyojenik atıkların kullanım potansiyelleri araştırılmıştır. Biyojenik atık olarak kağıt atıkları, talaş, tahta atıkları, biyolojik çamur, düşük kalite kompost ve kuru ayrılmış kentsel atıklar kullanılmıştır. Çalışmada enerji verimliliği açısından petrol rafineri çamurlarının kompozisyonunun ve oksijen içeriğinin büyük öneme sahip olduğu, ayrıca alternatif enerji kaynağı olarak kullanımının sadece ekonomik açıdan değil, NO_x, civa emisyonları, CO₂ emisyonları, klor bileşenleri gibi emisyonlar ve proses ekipmanlarının korozyonu açısından da çok önemli olduğu sonucuna varılmıştır (Tsiliyannis ve Tsiliyannis, 2020).

Das vd. (2020) diğer bir enerji geri kazanımı tekniği olan hidrotermal sıvılaştırma tekniği ile kentsel arıtma çamurundan hem enerji hem de nütrient (azot, fosfor vb.) geri kazanımını araştırdıkları bir çalışma yürütmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada %59 enerji geri kazanımı, sıvı fazda azot değerinde artış, fosfor değerinde azalma, biyokömürde ise bunun tam tersi bir durum tespiti yapılmıştır. Araştırmacılar biyokömürdeki metal konsantrasyonlarında önemli bir azalma tespit etmekle beraber, uzun dönem toprak uygulamalarının izlenmesi gerekliliğini de vurgulamışlardır.

Gazifikasyon, gaz halinde bir maddenin (hava, oksijen, buhar veya hidrojen) varlığında karbonlu maddeleri, yüksek enerjili gaz ürüne termokimyasal olarak dönüştüren bir prosestir (Ahmad vd., 2016). Biyokütle gazifikasyonu, enerji üretimi için önemli bir dönüşüm yöntemi olarak kabul edilmektedir ve daha düşük kirletici emisyonları, daha yüksek enerji verimliliği ve ısı üretimi sağlaması nedeniyle tercih edilmektedir (Gadsbøll vd., 2017). Tahta, kağıt, talaş, evsel katı atıklar ve kentsel arıtma çamuru gibi farklı tipte biyokütle yakıtları gazifikasyon prosesi ile karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), hidrojen (H₂), su buharı (H₂O) ve metan (CH₄) içeren singaza dönüşmektedir (Liu vd., 2016; Shayana vd., 2018). Ayrıca, gazifikasyon ile üretilen singazdan geri kazanılan ısı ile yüksek nem içeriğine sahip ham kentsel arıtma çamurlarının termal olarak kurutulması da mümkün olmaktadır (Ledakowicz vd., 2019). Chen vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, kentsel arıtma çamuruna sabit yataklı bir deney düzeneğinde buhar gazifikasyonu uygulanarak hidrojen zenginleştirilmiş singaz üretimi araştırılmıştır. Bu proses için en uygun sorbent maddenin ve optimal şartların belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, hidrojen

zengin singaz üretmek için, CaO sorbent maddesi ile zenginleştirilmiş gazifikasyonun kentsel arıtma çamurunun bertarafı için en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir. Ayol vd., (2019) tarafından yapılan çalışmada ise kentsel arıtma çamuruna aşağı akışlı gazifikasyon prosesi uygulanmış ve singaz özelliklerinin yanında gazifikasyon proses atıkları olan kül ve camsı materyaller de değerlendirilmiştir. 1,2 kg gazlaştırılan kentsel arıtma çamuru için yaklaşık 1 kWh elektrik elde edilmiştir. Çamurda bulunan ağır metallerin ağırlıklı olarak camsı materyallerin üzerinde tutulduğu belirlenmiştir. Yatırım ve işletme maliyetleri dikkate alınarak, sistemin amortisman süresinin 3,3 yıl olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca gazifikasyon atıklarının faydalı kullanım alternatiflerine de dikkat çekilmiştir.

Kentsel arıtma çamurlarının termal kullanımında yakma ve gazifikasyon yöntemlerine alternatif olan piroliz yöntemi de üzerinde yaygın olarak çalışılan bir konu olmuştur. Yürütülen bir çalışmada kentsel arıtma çamurunun piroliz, yakma ve gazifikasyon ile termal arıtımı SWOT analizi ile irdelenmiş ve optimum termokimyasal yöntemin piroliz olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Samolada ve Zabaniotou, 2014). Diğer metodlar ile karşılaştırıldığında piroliz kabul edilebilir seviyelerde emisyonlara sebep olmaktadır ve atık problemlerinin çözümünde büyük bir potansiyele sahip sıfır atık metodu olarak benimsenmiştir. Proses sonunda elde edilen biyokömür olumlu özellikleri nedeniyle toprak iyileştirme çalışmalarında kullanılabilir (Syed-Hassan vd., 2017). Ledakowicz vd. (2019) kentsel arıtma çamuruna kurutma ve piroliz/otogazifikasyon prosesinin uygulandığı entegre bir çalışma yürütmüşlerdir. Piroliz, kireç ile 400°C ve 800°C'de, kireçsiz 800°C'de 15 ve 20 dk süreyle uygulanmıştır. Yüksek kalorifik değere sahip pirolitik gaz ile düşük basınçlı buhar üretilerek çamurun kurutulabileceği belirtilmiştir. Piroliz/gazifikasyon prosesi ile 100 kg nemli çamurdan, 22 kg kuru çamur ve 7 kg biyokömür elde edildiği tespit edilmiş ve ağırlık bazında %93 kütle azalması hesaplanmıştır. Toplam kütledeki ana kayıpların çamurun kurutulmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada en yüksek enerjinin çamur kurutmada gerekli olduğu ve kurutma prosesinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca, proses sonunda elde edilen biyokömürün mineral içeriğinin yüksek olması, P ve K gibi biyojenik elementler içermesi, ağır metalleri bünyesinde tutup dışa vermemesi gibi olumlu özelliklerinden dolayı toprak ıslahında kullanılabilirliği ifade edilmiştir. Adar vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, kentsel arıtma çamurlarının yönetimine ilişkin Türkiye'deki mevcut durum irdelenmiş ve dört farklı ölçüt göz önünde bulundurularak anaerobik çürütme, yakma, gazifikasyon, piroliz ve süperkritik su gazifikasyonu metodları SWOT-FAHP (bulanık analitik hiyerarşi prosesi) analizi ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda, dört kriterden biri olan problem çözme kriterine göre süperkritik su gazifikasyonunun, en yüksek ağırlık değerine sahip olup en avantajlı yöntem olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemin yüksek verimlilikte arıtma sağladığı, ön arıtma gerektirmediği, daha kısa reaksiyon sürelerinde gerçekleştiği, zararlı emisyon değerleri açısından avantajlı olduğu ve daha faydalı yan ürünler ürettiği tespit edilmiştir.

6. Arıtma Çamurlarından Elde Edilen Katma Değerli Ürünler

Tarım arazilerine güvenle uygulanabilecek özellikteki çamur miktarının az olması ve enerji geri kazanımında çamurun yüksek nem içeriği ve düşük ısı değeriyle ilgili problemler,

sürdürülebilir çamur yönetim alternatiflerinin araştırılması çabalarının da sürmesine yol açmıştır. Bu kapsamda, atıksu arıtma çamurundan çeşitli biyofineri ürünlerin üretilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda dikkati çekmektedir. Atıksu arıtma çamurları tipik olarak altı bileşen grubu ile karakterize edilmekte olup bunlar hücre dışı proteinler gibi toksik olmayan organik bileşikler, Zn, Pb, Cu gibi ağır metaller, toksik organik bileşikler, bakteri ve yüksek organizmalar, silikatlar, alüminatlar gibi inorganik bileşikler ve sudur (Zhang vd., 2018). Tüm bu bileşiklerin tek bir kompleks ve heterojen karışımda bulunuyor olması biyofineri uygulamalarının temel zorluğu olmakla birlikte, atıksu çamurundan katma değeri yüksek çeşitli ürünlerin elde edilebildiğini gösteren çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Arıtma çamurlarındaki organik maddelerin ana bileşeni lipitler, polisakkaritler ve proteinler şeklindeki kompleks bileşiklerdir ve çamurdan ekstrakte edilen proteinin çeşitli alanlarda kullanımı mümkün olabilmektedir. Yapılan pek çok çalışma arıtma çamurundan çeşitli dezentegrasyon işlemleriyle elde edilen protein ürününün, ticari olarak temin edilebilen protein yemlerine kıyasla gerekli tüm amino asitleri içerdiğini ve dolayısıyla bir hayvan yemi takviyesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir (Hwang vd., 2008). Arıtma çamurundan geri kazanılan proteinin, çevre dostu bir gübre olarak kabul edilen amino asit ile şelatlı eser element gübresi üretmek için de kullanılabilirliği bildirilmektedir (Liu vd., 2009) Ayrıca atıksu çamurundan ekstrakte edilen amino asitlerin, amino ve karboksil gruplarını içeren amfifilik moleküler yapıları nedeniyle, endüstriyel dekapaj için çevre dostu bir korozyon inhibitörü olarak kullanılabilirliğini gösteren çalışmalar da mevcuttur (Gece ve Bilgiç, 2010, Go vd., 2019; Su vd., 2014). Pervaiz ve Sain (2011) ise kraft kağıt fabrikası kaynaklı atıksu çamurlarından ekstrakte ettikleri proteinin ahşap yapıştırıcı olarak kullanılabilirliğini araştırmışlar ve elde ettikleri malzemenin yapıştırma performansını soya proteini izolatu ve fenol formaldehit reçinesi ile kıyaslamışlardır. Farklı malzemelerle yapıştırılan ahşap kompozitlerin kuru kesme dayanımı ve suya olan direnç özelliklerinin incelendiği çalışma sonucunda, atıksu çamurunun çevre dostu yapıştırıcı üretimi için belirgin bir potansiyelinin olduğuna dikkat çekilmiştir.

Arıtma çamurlarından elde edilebilecek katma değerli bir diğer ürün ise enzimlerdir. Atıksu arıtma çamurunda bulunan organik maddenin çok büyük bir kısmı 0,1 µmden büyük olan ve mikroorganizma tarafından doğrudan asimile edilemeyen partiküllerden oluşmaktadır. Dolayısıyla, evsel nitelikli arıtma çamurları bünyesinde, proteaz, lipaz, glukosidaz, galaktosidaz, dehidrogenaz, katalaz, fosfataz gibi çok sayıda enzimi barındırmaktadır. Arıtma çamurundan elde edilen enzimlerin, deterjan, kozmetik, ilaç, süt ürünleri gibi çeşitli endüstrilerde kullanılabilirliği ekonomik açıdan büyük fayda sağlayabilecektir, zira bu endüstrilerdeki üretim maliyetinin önemli bir kısmını, kullanılan endüstriyel enzimler oluşturmaktadır (Kumar-Karn ve Kumar, 2019). Yapılan çalışmalar atıksu çamurlarından enzim ekstraksiyonunda, genel olarak ultrasonikasyon bazı yöntemlerle başarılı sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Plattes vd. (2017) çamurdan enzim ekstraksiyonuna yönelik olarak yürüttükleri çalışmalarında bir katkı maddesi olmaksızın ultrasonik banyoda üretilen düşük güçlü ultrasesi kullanmışlar ve çamur ekstraktlarında belirlenen enzim aktivitelerinin sonikasyon zamanının artmasına bağlı olarak arttığını tespit etmişlerdir. Yu vd., (2009) tarafından yürütülen diğer bir çalışmada 20 kHz'lik ultrases uygulamasıyla, 40kHz'lik ultrases uygulamasına ve EDTA yöntemine göre daha fazla çeşitte enzimin çamurdan

ekstrakte edilebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Optimum şartlarda gerçekleştirilen ultrases uygulaması ile hücrelerin parçalandığı ve hem ekstraselüler hem de küçük bir miktar intraselüler enzimin ekstrakte edilebildiği tespit edilmiştir.

Asetik asit, formik asit ve propiyonik asitler gibi kısa zincirli yağ asitleri de, çamurun anaerobik çürütülmesi veya ıslak hava oksidasyonu ve hidrotermal arıtım gibi termal işlemlerin uygulanmasıyla geri kazanılabilmektedir (H. Liu vd., 2020; Zhang vd., 2018). Uçucu yağ asitleri, pazar talebinin yüksek olduğu yapı taşı kimyasallar olarak nitelendirilmektedirler. Son zamanlarda bu uçucu asitlerin geri kazanımına yönelik çalışmalar, ilaç, gıda ve kimya endüstrilerindeki geniş kullanım alanları ve biyogaz, biyoplastik, biyodizel gibi çeşitli ürünler için değerli bir hammadde olmaları nedeniyle daha fazla dikkat çekmektedir (Atasoy vd., 2018; Begum vd., 2018; Fortela vd., 2016; Lee vd., 2014). Atık aktif çamurdan anaerobik fermentasyonla uçucu yağ asidi eldesini arttırmak için çamura ultrasonikasyon, mikrodalga, ısı işlem, alkali ve yüzey aktif madde ilavesi gibi alternatifleri içeren çeşitli ön işlemler uygulanmaktadır. Kakar vd. (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada atık aktif çamura farklı sıcaklık, alikoyma süresi ve basınçlarda ön arıtma uygulanmış ve anaerobik asitleşme süreçleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında en yüksek uçucu yağ asidi üretim verimi, 190°C'de 10 dk süre ile ve 181 psi basınçta uygulanan hidrotermal ön arıtma ile elde edilmiştir. Ayrıca hidrotermal olarak ön işlemden geçirilmiş tüm numunelerde en bol bulunan uçucu yağ asidinin asetik asit olduğu da tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise biyolojik fosfor giderimi için sisteme eklenmesi gereken uçucu yağ asitlerinin, atıksu çamurundan geri kazanılması üzerine çalışmalar yapılarak, sıcaklık ve karıştırmanın uçucu yağ asidi geri kazanımı üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Denemelerdeki en iyi sonuç, 24,6°C'de karıştırılmalı reaktörlerde elde edilmiş olup, 20 günlük toplam fermentasyon süresince açığa çıkan uçucu yağ asitlerinin %84'ünün ilk 5 gün içinde meydana geldiği tespit edilmiştir (Yuan, 2011). Biosürfaktan ve alkali ilavesinin uçucu yağ asidi üretimi üzerindeki etkisinin değerlendirildiği diğer bir çalışmada, saponin ilavesi ile pH 9 koşullarının birlikte kullanılması sonucunda üretilen yağ asidi miktarının, ön işlem uygulanmayan duruma göre 4,7 kat arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu şartlar altında asitleşme için yeterli süstratın sağlandığı ve uçucu yağ asitlerinin metanojeniz yoluyla tüketiminin de azaldığı sonucuna varılmıştır (Huang vd., 2016).

Atıksu çamurlarından elde edilebilme potansiyeli olan diğer bir ürün *Bacillus thuringiensis* bazlı biyopestisitlerdir. *Bacillus thuringiensis*, toprakta yaşayan bir bakteri olup, doğal olarak bazı otçul böcekler için ölümcül olan bir toksin üretmektedir. Bu toksin 1920'lerden beri böcek ilacı spreyi olarak kullanılmaktadır. Atıksu çamurundan biyopestisit üretim süreci, çamur fermentasyonu, ürün geri kazanımı ve ürün formülasyonu olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır. pH, C/N oranı, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, köpürme, katı madde konsantrasyonu ve aşılama çamurunun tipi gibi çeşitli faktörler, biyopestisit üretim sürecini etkileyebilecek başlıca unsurlardır (Zhang vd., 2018). Syazwane vd. (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada atıksu çamuru ile takviye edilmiş kültür ortamlarında *Bacillus thuringiensis* aktivitesine dayanan biyopestisit üretim verimliliği, canlı spor sayıları temel alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, yarı katı haldeki atıksu çamurunun, *Bacillus thuringiensis* bazlı biyopestisit üretimi için alternatif bir hammadde olma potansiyeline sahip olduğunu ancak çamurla birlikte diğer bir protein kaynağına da ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir. Çalışma kapsamında en yüksek spor sayısı %60

buğday kepeği ve %40 atıksu çamuru karışımından oluşan kültür ortamında belirlenmiş olup, meyve sineğine karşı önemli düzeyde biyopestisit aktivitesi tespit edilmiştir. Zhuang vd. (2011) tarafından yürütülen benzer bir çalışmada da arıtma çamurunun *Bacillus thuringiensis* bazlı biyopestisit üretimi için uygun bir substrat olduğu vurgulanmış ve en yüksek canlı hücre sayısı, spor sayısı, toksin üretimi ve entomotoksinite değeri, çamur ve buğday kepeği karışımında elde edilmiştir. Diğer bir çalışmada farklı mineral tuz içeriğine sahip belediye atıksu çamurlarından üretilen *Bacillus thuringiensis* süspanسیونunun, hem arazi şartlarında (yüksek UV radyasyonu) hem de depolama koşulları altında, patates yumru güvesinin larvalarına karşı çok etkili olduğu tespit edilmiştir (Saour vd., 2016).

Polihidroksialkanoatlar (PHA) çok sayıda bakteri tarafından sentezlenen ve karbon-enerji rezervuarı olarak hücre içinde biriken bir grup biyolojik olarak parçalanabilir polyesterler ve petrol bazlı plastiklere çevre dostu bir alternatif olmaları bakımından dikkat çekmektedirler (Akaraonye vd., 2010; Morgan-Sagastume vd., 2016). PHA'dan üretilen biyoplastiklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri geleneksel petrol bazlı malzemelerle kıyaslanabilir niteliktedir. Ayrıca yenilenebilir kaynaklardan üretilmeleri ve tamamen biyolojik olarak parçalanabilir olmaları en önemli üstünlükleridir. Ancak, şu anda, biyoplastiklerin petrokimyasal bazlı malzemelerin yerini alması, PHA üretimi için kullanılan geleneksel yöntemlerin pahalı oluşundan dolayı kısıtlanmıştır (Gholami vd., 2016). PHA üretiminde karbon kaynağının maliyeti, toplam üretim maliyetinin %30-50'sini bulmaktadır. Bu nedenle, PHA üretiminde düşük maliyetli bir sürecin geliştirilmesi için uygun karbon kaynaklarının kullanılması gerekmektedir (Bluemink vd., 2016). Son yıllarda yapılan pek çok çalışma atıksu çamurları gibi düşük maliyetli substratlar kullanarak işletme maliyetlerini azaltmanın mümkün olduğunu göstermektedir (Crutchik vd., 2020). Atıksu çamurları PHA üretimi için substrat olarak kullanılabilirlikleri gibi, PHA'ları biriktiren bir bakteri kaynağı olarak da kullanılabilirler. Zira çamur bünyesinde bulunan pek çok bakteri PHA'ları biriktirebilmektedir. Yapılan çalışmalarda, atık aktif çamurdaki PHA içeriğinin 0,3 ila 22,7 mg PHA/g atık aktif çamur arasında değiştiği bildirilmiştir (Crutchik vd., 2020; Kumar vd., 2018; Salehizadeh ve Van Loosdrecht, 2004). Sonuç olarak, atıksu çamurları PHA üretimi için, hem düşük maliyetli bir karbon kaynağı hem de karışık bakteri kültürü sağlama potansiyeline sahiptir. Bu yaklaşım, PHA fiyatlarının plastik endüstrisindeki geleneksel hammaddelerle rekabet edebilecek bir aralığa düşürülmesi açısından önem arz etmektedir.

Atıksu çamurlarından elde edilebilecek diğer bir değerli metabolik yan ürün de biosürfaktanlar ve biyoflokulanlar gibi biyopolimerlerdir. More vd. (2012) tarafından yürütülen bir çalışmada farklı katı madde içerikli atıksu çamurlarına farklı ön işlemler uygulanarak EPS (ekstraselüler polimerik bileşikler) ekstraksiyonu yapılmıştır. Çalışmada kalsiyum ile birleştirilmiş EPS'nin yüksek flokülasyon aktivitesi gösterdiği, susuzlaştırıcı özelliğinin iyi olduğu ve dolayısıyla şartlandırıcı ajan olarak kullanılabilirliği ifade edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise atık aktif çamurdan üretilen bir biyoflokulanın özellikleri incelenmiş ve materyalin, sulu çözeltilerden Pb (II) giderim performansı belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre elde edilen biyoflokulan ile optimum şartlarda (biyoflokulan dozu: 6 mg/l; pH:6,5; CaCl₂ dozu: 70 mg/l) sulu çözeltilerden %98,5 verimlilikte Pb (II) giderimi sağlanabilmiştir (Yan vd., 2020). Atık aktif çamur aynı zamanda biyoflokulan üreten mikroorganizmalar için önemli bir rezervuar olarak kabul edilmektedir. Atık aktif çamurdan, biyoflokulan

üreten çeşitli bakteri streptenlerinin (*Stenotrophomonas sp.*, *Brevibacillus brevis*, *Stenotrophomonas maltophilia*; *Pseudomonas aeruginosa*, gibi) başarıyla izole edildiği pek çok çalışmada vurgulanmıştır (Saleh vd., 2015; Singh vd., 2020; Tripathi vd., 2020).

Atıksu çamurlarındaki fosforun geri kazanılarak doğrudan tarımda kullanılabilir fosforlu minerallerin eldesi, atık çamur yönetiminde dikkati çeken diğer bir alternatiftir. Özellikle doğal fosfor rezervlerinin azalması, fosfat kayaçlarındaki fiyat artışı ve atıksu çamurlarının yüksek kirlilik seviyelerinden dolayı tarımsal alanlara doğrudan uygulanmasının zor oluşu, fosfor geri kazanımı çalışmalarına hız kazandırmıştır (Hallas vd., 2019). Atıksu çamurundan fosforun geri kazanımı için pek çok teknoloji olmakla birlikte en yaygın uygulama çamurdaki fosforlu minerallerin çökeltmesine dayanan uygulamalardır. Çamur bileşimindeki fosfor, struvitler, hidroksiapatitler veya kalsiyum fosfatlar şeklinde çöktürülebilmektedir (Koga, 2019; Munir vd., 2017; Zheng vd., 2020). Diğer taraftan, son yıllarda fosfor geri kazanımına yönelik çalışmalar, atıksu çamurlarının yakılmasıyla elde edilen küllere odaklanmıştır. Zira bu küller, yakılan malzemelerin hacmindeki önemli azalmaya (%70 ila 90) bağlı olarak, çok daha fazla miktarda fosfor içermektedir (Guedes vd., 2014). Militarü vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, %4,3 P içeren atıksu çamuru külündeki fosfor sülfürik asit ile ekstrakte edilmiş ve %92 oranında ekstraksiyon verimliliğine ulaşılmıştır. Struvit çöktürmesi için magnezyum sülfat heptahidrat ve amonyum klorür, magnezyum ve azot kaynağı olarak kullanılmış, ve struvit oluşumu için optimum pH 9 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda struvit eldesi için önerilen yöntemin hem ekonomik hem de çevresel açıdan avantajlı bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

7. Sonuç

Arıtma çamurları miktarlarının çok hızlı artması nedeniyle, çamur bertarafı, tüm dünyada acil ve kaçınılmaz olarak çözülmesi gereken bir problem haline gelmiştir. Çamur bertarafı için birçok yöntem bulunmakla birlikte, son yıllarda atıksu arıtma çamurlarının sürdürülebilir kullanımını hedef alan yaklaşımların hem ekonomik hem de ekolojik açıdan ilgi odağı olduğu görülmektedir.

Arıtma çamurlarının tarım arazilerine verilmesi ve/veya toprak ıslahında kullanılması yeniden kullanım alternatifleri içerisinde en yaygın olarak tercih edilen uygulama olmuştur. Şüphesiz ki, atıksu çamurunun gübre ve/veya toprak şartlandırıcı olarak kullanılmasıyla, çamur içeriğindeki organik maddeler ve faydalı elementler topraktaki doğal döngülerine katılmakta ve tarımsal üretimde ekonomik kazanç sağlanmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, geleneksel kirleticilerin yanısıra çamurdaki mikrokirleticilerin de çevre ve insan sağlığı için bir tehdit oluşturduğuna dikkati çekmekte ve bu kapsamda duyulan endişeler bu uygulamaların ölçeğini ve halkın kabulünü kısıtlamaktadır. Bu problem arıtma çamurlarının farklı amaçlarla kullanılmasını daha çok gündeme getirmektedir. Portland çimentosundaki kile benzer elementleri içeren arıtma çamurları, inşaat ve çimento sektöründe kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Arıtma çamurlarının yakılması sonucu elde edilen küller birçok yapı malzemesi üretiminde katkı maddesi olarak fayda sağlamakta, susuzlaştırılmış arıtma çamurları da çimento bileşeni olarak kullanılabilir. İnşaat ve çimento sektöründe kullanım ile arıtma çamurlarının hacmi azalmakta, bertarafı ve geri kazanımı sağlanmaktadır.

Diğer taraftan atıksu çamurundan enerji geri kazanımına yönelik farklı yaklaşımlara sahip pek çok teknolojinin geliştirildiği ve çok sayıda araştırmanın yapıldığı dikkati çekmektedir. Yakma ve termal enerji geri kazanımı yoluyla elektrik üretimi, atıksu çamuru için popüler bir sürdürülebilir kullanım alternatifi olarak kabul edilmektedir. Uygulanan bu teknolojiler ile kütle ve hacim azalması, patojen mikroorganizmaların giderilmesi, istenmeyen kokuların giderilmesi ve uçucu katı maddelerin stabilitesi gibi faydalar da sağlanmaktadır. Ancak, çamurun yüksek nem içeriği ve düşük ısı değeri yüksek enerji tüketimine sebep olmakta ve ek yakıt ihtiyacı söz konusu olabilmektedir. Yenilenebilir enerji elde edilen bu teknolojilerde arıtma çamurlarının nem içerikleri, enerji gereksinimlerini ve proses verimliliklerini belirleyen çok önemli bir parametredir. Bu nedenle arıtma çamurlarının susuzlaştırılması ve kurutulması, enerji geri kazanımının anahtar adımıdır. Arıtma çamurlarından elde edilen toplam enerji miktarlarını arttırmak için kurutma aşamasında harcanan enerjinin azaltılması gerekmektedir. Farklı senaryolar ile net enerji dengelerini sağlamak için daha fazla çalışmanın yapılmasına ihtiyaç vardır.

Atıksu çamurundan proteinler, enzimler, polihidroksialkanoatlar, biyosülfaktanlar gibi katma değerli ürünlerin elde edilmesi ise, pek çok avantaj sunan ve gelecekteki çamur yönetimi alanında önemli yer tutabilecek bir yaklaşımdır. Atıksu çamurundan elde edilebilecek biyo ürünler ve değerli kaynaklar sürdürülebilir yeşil ürün alternatifleri olarak çok farklı alanlarda kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Ancak, atıksu çamuru tabanlı biyorafineri yaklaşımlarına yönelik çalışmaların çoğu laboratuvar ölçeğinde yapılmış olup, gelecekte her bir biyorafineri prosesinin optimize edilmesi için pilot ve tam ölçekli araştırmalarla süreçlerin teknolojik-ekonomik performansının tam olarak ortaya konması gerekmektedir.

Kaynakça

- Adar, E., Karatop, B., İnce, M., & Bilgili, M. S. (2016). Comparison of methods for sustainable energy management with sewage sludge in Turkey based on SWOT-FAHP analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 429-440. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.007>
- Ahmad, A. A., Zawawi, N. A., Kasim, F. H., Inayat, A., & Khasri, A. (2016). Assessing the gasification performance of biomass: A review on biomass gasification process conditions, optimization and economic evaluation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1333-1347. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.030>
- Akaraonye, E., Keshavarz, T., & Roy, I. (2010). Production of polyhydroxyalkanoates: The future green materials of choice. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 85, 732-743. <https://doi.org/10.1002/jctb.2392>
- Akat, H., & Altunlu, H. (2019). The effects of sewage sludge applications on growth, yield and flower quality of *limonium sinuatum* (stative) under salinity conditions. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56(1), 111-120. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.423273>
- Amuda, O. S., Deng, A., Alade, A. O., & Hung Y. T. (2008). Conversion of sewage sludge to biosolids. In L.K. Wang, N.K. Shammas, & Hung Y.T. (Eds.), *Biosolids engineering and management. Handbook of environmental engineering*, içinde (Bölüm 2), Humana Press.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-

- activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 755–781. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002>
- Areias, I. O. R., Vieira, C. M. F., Colorado, H. A., Delaqua, G. C. G., Monteiro, S. N., & Azevedo, A. R. G. (2020). Could city sewage sludge be directly used into clay bricks for building construction? A comprehensive case study from Brazil. *Journal of Building Engineering*, 31, Article 101374. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2020.101374>
- Arthurson, V. (2008). Proper sanitization of sewage sludge: A critical issue for a sustainable society. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(17), 5267–5275. <https://doi.org/10.1128/AEM.00438-08>
- Atasoy, M., Owusu-Agyemana, I., Plaza, E., & Cetecioglu, Z. (2018). Bio-based volatile fatty acid production and recovery from waste streams: Current status and future challenges. *Bioresource Technology*, 268, 773–786. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.042>
- Ayol, A., Yurdakos, O. T., & Gurgun, A. (2019). Investigation of municipal sludge gasification potential: Gasification characteristics of dried sludge in a pilot-scale downdraft fixed bed gasifier. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 17397–17410. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.014>
- Behbahaninia, A., Mirbagheri, S. A., & Nouri, J. (2010). Effects of sludge from wastewater treatment plants on heavy metals transport to soils and groundwater. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 7, 401–406.
- Begum, S., Anupju, G. R., Sridhar, S., Bhargava, S. K., Jegatheesan, V., & Eshtiaghi, N. (2018). Evaluation of single and two stage anaerobic digestion of landfill leachate: effect of pH and initial organic loading rate on volatile fatty acid (VFA) and biogas production. *Bioresource Technology*, 251, 364–373. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.069>
- Bluemink, E., Van Nieuwenhuijzen, A. F., Wypkema, E., & Uijterlinde, C. A. (2016). Bio-plastic (poly-hydroxy-alkanoate) production from municipal sewage sludge in the Netherlands: A technology push or a demand driven process? *Water Science and Technology*, 74, 353–358. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.191>
- Bora, A. P., Gupta, D. P., & Durbha, K. S. (2020). Sewage sludge to bio-fuel: A review on the sustainable approach of transforming sewage waste to alternative fuel. *Fuel*, 259, Article 116262. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116262>
- Cao Y., & Pawlowski A. (2012). Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: Brief overview and energy efficiency assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1657–1665. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.014>
- Carrère, H., Dumas, C., Battimelli, A., Batstone, D. J., Delgenès, J. P., Steyer, J. P., & Ferrer, I. (2010). Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 183, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.129>
- Cele, E. N., & Maboeta, M. (2016). Response of soil enzyme activities to synergistic effects of biosolids and plants in iron ore mine soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13, 2117–2126. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1043-y>
- Chang, Z., Long, G., Zhou, J. L., & Ma, C. (2020). Valorization of sewage sludge in the fabrication of construction and building materials: A review. *Resources, Conservation & Recycling*, 154, Article 104606. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104606>
- Chen, S., Zhao, Z., Soomro, A., Ma, S., Wu, M., Sun, Z. & Xiang, W. (2020). Hydrogen-rich syngas production via sorption-enhanced steam gasification of sewage sludge. *Biomass and Bioenergy*, 138, Article 105607. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105607>
- Choi, O. K., Lee, K., Park, K. Y., Kim, J. K., & Lee, J. W. (2017). Pre-recovery of fatty acid methyl ester (FAME) and anaerobic digestion as a biorefinery route to valorizing waste activated sludge. *Renewable Energy*, 108, 548–554. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.004>
- Choi, O. K., Park, J. Y., Kim, J. K., & Lee, J. W. (2019). Bench-scale production of sewage sludge derived-biodiesel (SSD-BD) and upgrade of its quality. *Renewable Energy*, 141, 914–921. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.030>
- Cremades, L. V., Cusidó, J. A., & Arteaga, F. (2018). Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles. *Journal of Cleaner Production*, 201, 1071–1080. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.094>
- Crutchik, D., Franchi, O., Caminos, L., Jeison, D., Belmonte, M., Pedrouso, A., Val del Rio, A., Mosquera-Corral, A., & Campos, J. L. (2020). Polyhydroxyalkanoates (PHAs) Production: A feasible economic option for the treatment of sewage sludge in municipal wastewater treatment plants. *Water*, 12, Article 1118. <https://doi.org/10.3390/w120411187>
- Dahhou, M., El Moussaouiti, M., Arshad, M. A., Moustahsine, S., & Assafi, M. (2018). Synthesis and characterization of drinking water treatment plant sludge-incorporated Portland cement. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20, 891–901. <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0650-0>
- Das, P., Khan, S., AbdulQuadir, M., Thaher, M., Waqas, M., Easa, A., Attia, E. S. M., & Al-Jabri, H. (2020). Energy recovery and nutrients recycling from municipal sewage sludge. *Science of the Total Environment*, 715, Article 136775. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136775>
- Dede, G., Özdemir, S., Dede, Ö. H., Altundağ, H., Dündar, M. S., & Kızıloğlu F. T. (2017). Effects of biosolid application on soil properties and kiwi fruit nutrient composition on high-pH soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14, 1451–1458. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1252-z>
- Ewais, E., Elsaadany, R., Ahmed, A., Shalaby, N., & Al-Anadoul, B. (2017). Insulating refractory bricks from water treatment sludge and rice husk ash. *Refractories and Industrial Ceramics*, 58, 136–144. <https://doi.org/10.1007/s11148-017-0071-6>
- Fang, P., Tang, Z. J., Huang, J. H., Cen, C. P., Tang, Z. X., & Chen, X. B. (2015). Using sewage sludge as a denitration agent and secondary fuel in a cement plant: A case study. *Fuel Processing Technology*, 137, 1–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.03.014>
- Faria, W. M., Figueiredo, C. C., de Coser, T. R., Vale, A. T., & Schneider, B. G. (2018). Is sewage sludge biochar capable of replacing inorganic fertilizers for corn production? Evidence from a two-year field experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64, 505–519. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1360488>
- Fortela, D. L., Hernandez, R., French, W. T., Zappi, M., Revellame, E., Holmes, W., & Mondala, A. (2016). Extent of inhibition and utilization of volatile fatty acids as carbon sources for activated sludge microbial consortia dedicated for

- biodiesel production. *Renewable Energy*, 96, 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.068>
- Gadsbøll, R. Ø., Thomsen, J., Bang-Møller, C., Ahrenfeldt, J., & Henriksen, U. B. (2017). Solid oxide fuel cells powered by biomass gasification for high efficiency power generation. *Energy*, 131, 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.044>
- Galitskaya, I.V., Kurakalva, R. M., Krishna, K., Batrak, G. I., Eremina, O., Putilina, V. S., & Yuganova, T. I. (2017). Assessment of soil and groundwater contamination by heavy metals and metalloids in Russian and Indian megacities. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 674-677. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016.12.180>
- Gece, G., & Bilgiç, S. (2010). A theoretical study on the inhibition efficiencies of some amino acids as corrosion inhibitors of nickel. *Corrosion Science*, 52, 3435–3443. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.06.015>
- Gholami, A., Mohkam, M., Rasoul-Amini, S., & Ghasemi, Y. (2016). Industrial production of polyhydroxyalkanoates by bacteria: Opportunities and challenges. *Minerva Biotechnologica*, 28(1), 59–74.
- Go, L.C., Holmes, W., Depan, D. & Hernandez, R. (2019). Evaluation of extracellular polymeric substances extracted from waste activated sludge as a renewable corrosion inhibitor. *PeerJ*, 7, Article e7193. <https://doi.org/10.7717/peerj.7193>
- González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Rodríguez, L., Lorenzo, A. P., Torío, M. F., Ramos, J. J. T., Corvinos, M. D., & Muro, C. (2017). Effect heating dwell time has on the retention of heavy metals in the structure of lightweight aggregates manufactured from wastes. *Environmental Technology*, 39, 2511-2523. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1358768>
- Guedes, P., Couto, N., Ottosen, L. M., & Ribeiro, A. B. (2014). Phosphorus recovery from sewage sludge ash through an electrodialytic process. *Waste Management*, 34, 886-892. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.021>
- Hallas, J. F., Mackowiak, C. L., Wilkie, A. C., & Harris, W. G. (2019). Struvite phosphorus recovery from aerobically digested municipal wastewater. *Sustainability*, 11, Article 376. <https://doi.org/10.3390/su11020376>
- Huang, X., Mu, T., Shen, C., Lu, L., & Liu, J. (2016). Alkaline fermentation of waste activated sludge stimulated by saponin: volatile fatty acid production, mechanisms and pilot-scale application. *Water Science and Technology*, 74(12), 2860–2869. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.459>
- Hwang, J., Zhang, L., Seo, S., Lee, Y. W., & Jahng, D. (2008). Protein recovery from excess sludge for its use as animal feed. *Bioresource Technology*, 99(18), 8949-8954. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.001>
- Joniec, J. (2018). Enzymatic activity as an indicator of regeneration processes in degraded soil reclaimed with various types of waste. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15, 2241-2252. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1602-x>
- Kacprzak, M., Grobelak, A., Grosser, A., & Prasad, M. N. V. (2014) Efficacy of biosolids in assisted phytostabilization of metalliferous acidic sandy soils with five grass species. *International Journal of Phytoremediation*, 16(6), 593-60. <https://doi.org/10.1080/15226514.2013.798625>
- Kakar, F., Koupaie, E. H., Razavi, A. S., Hafez, H., & Elbeshbishy, E. (2020). Effect of hydrothermal pretreatment on volatile fatty acids production from thickened waste activated sludge. *Bioenergy Research*, 13, 591-604. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10056-z>
- Kapanen, A., Vikman, M., Rajasärkkä, J., Virta, M., & Itävaara, M. (2013). Biotests for environmental quality assessment of composted sewage sludge. *Waste Management*, 33, 1451-1460. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.02.022>
- Kim, K. R., & Owens, G. (2010). Potential for enhanced phytoremediation of landfills using biosolids – a review. *Journal of Environmental Management*, 91, 791-797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.10.017>
- Koga, D. (2019). Struvite recovery from digested sewage sludge. In: H. Ohtake, & S. Tsuneda (Eds.), Phosphorus recovery and recycling (pp. 255-264). Springer.
- Kumar, V., Chopra, A. K., & Kumar, A. (2017). A review on sewage sludge (Biosolids) a resource for sustainable agriculture. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 2(4), 340-347. <https://doi.org/10.26832/24566632.2017.020417>
- Kumar, M., Ghosh, P., Khosla, K., & Thakur, I. S. (2018). Recovery of polyhydroxyalkanoates from municipal secondary wastewater sludges. *Bioresource Technology*, 255, 111-115. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.031>
- Kumar-Karn, S., & Kumar, A. (2019) Sludge: next paradigm for enzyme extraction and energy generation. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 49(2), 105-116. <https://doi.org/10.1080/10826068.2019.1566146>
- Lam, C. M., Hsu, S. C., Alvarado, V., & Li, W. M. (2020). Integrated life-cycle data envelopment analysis for techno-environmental performance evaluation on sludge to energy systems. *Applied Energy*, 266, Article 114867. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114867>
- Lamastra, L., Suci, N. A., & Trevisan, M. (2018). Sewage sludge for sustainable agriculture: Contaminants' contents and potential use as fertilizer. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 5, Article 10. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0122-3>
- Lasaridi, K. E., Manios, T., Stamatiadis, S., Chroni, C., & Kyriacou, A. (2018). The evaluation of hazards to man and the environment during the composting of sewage sludge. *Sustainability*, 10, Article 2618. <https://doi.org/10.3390/su10082618>
- Ledakowicz, S., Stolarek, P., Malinowski, A., & Lepez, O. (2019). Thermochemical treatment of sewage sludge by integration of drying and pyrolysis/autogasification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.018>
- Lee, W. S., Chua, A. S. M., Yeoh, H. K., & Ngoh, G. C. (2014) A review of the production and applications of waste-derived volatile fatty acids. *Chemical Engineering Journal*, 235, 83–99. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.002>
- Li, W., Shi, Y., Gao, L., Liu, J., & Cai, Y. (2013). Occurrence, distribution and potential affecting factors of antibiotics in sewage sludge of wastewater treatment plants in China. *Science of the Total Environment*, 445-446, 306-313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.050>
- Lin, Y. M., Zhou, S. Q., Li, F. Z., & Lin, Y. X. (2012). Utilization of municipal sewage sludge as additives for the production of eco-cement, *Journal of Hazardous Materials*, 213-214, 457-465. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.02.020>
- Liu, Y., Kong, S., Li, Y., & Zeng, H. (2009). Novel technology for sewage sludge utilization: Preparation of amino acids chelated trace elements (AACTE) fertilizer. *Journal of*

- Hazardous Materials*, 171, 1159-1167. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.123>
- Liu, Z., Norbeck, J. M., Raju, A.S.K., Kim, S., & Park, C.S. (2016). Synthetic natural gas production by sorption enhanced steam hydrogasification based processes for improving CH₄ yield and mitigating CO₂ emissions. *Energy Conversion and Management*, 126, 256-265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.008>
- Liu, H., Li, Y., Fu, B., Guo, H., Zhang, J., & Liu, H. (2020) Chapter 8 - Recovery of volatile fatty acids from sewage sludge through anaerobic fermentation, In S. Varjani, A. Pandey, E. Gnansounou, S.K. Khanal, & S. Raveendran (Eds.), *Current developments in biotechnology and bioengineering* içinde (pp. 151-177) Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.00008-2>
- Liu, Z., Mayer, B. K., Venkiteshwaran, K., Seyedi, S., Raju, A. S. K., Zitomer, D., & McNamara, P. J. (2020). The state of technologies and research for energy recovery from municipal wastewater sludge and biosolids. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 14, 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.12.004>
- Lu, Q., He, Z. L., & Stoffella, P. J. (2012). Land application of biosolids in the USA: A review. *Applied and Environmental Soil Science*, Article 201462. <https://doi.org/10.1155/2012/201462>
- Martín, J., Camacho-Muñoz, D., Santos, J. L., Aparicio, I., & Alonso, E. (2012). Occurrence of pharmaceutical compounds in wastewater and sludge from wastewater treatment plants: removal and ecotoxicological impact of wastewater discharges and sludge disposal. *Journal of Hazardous Materials*, 239-240, 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.068>
- Milbrandt, A., Seiple T., Heimiller, D., Skaggs, R., & Coleman, A. (2018). Wet waste-to-energy resources in the United States. *Resources, Conservation & Recycling*, 137, 32-47. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.023>
- Militaru, B. A., Pode, R., Lupa, L., & Manea, F. (2020). Struvite precipitation from sewage sludge ash. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(2), 303-310.
- Minelgaite, A., & Liobikiene, G. (2019). Waste problem in European Union and its influence on waste management behaviours. *Science of The Total Environment*, 667, 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.313>
- More, T., Yan, S., Hoang, N., Tyagi, R., & Surampalli, R. (2012). Bacterial polymer production using pre-treated sludge as raw material and its flocculation and dewatering potential. *Bioresource Technology*, 121, 425-431. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.075>
- Morgan-Sagastume, F., Heimersson, S., Laera, G., Werker, A., & Svanström, M. (2016). Techno-environmental assessment of integrating polyhydroxyalkanoate (PHA) production with services of municipal wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1368-1381. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.008>
- Munir, M.T., Li, B., Boiarkina, I., Baroutian, S., Yu, W., & Young, B.R. (2017). Phosphate recovery from hydrothermally treated sewage sludge using struvite precipitation. *Bioresource Technology*, 239, 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.129>
- Navarro, A. (2012) Effect of sludge amendment on remediation of metal contaminated soils. *Minerals*, 2, 473-492. <https://doi.org/10.3390/min2040473>
- Oun, A., Kumar, A., Harrigan, T., Angelakis, A., & Xagorarakis, I. (2014). Effects of biosolids and manure application on microbial water quality in rural areas in the US. *Water*, 6, 3701-3723. <https://doi.org/10.3390/w6123701#sthash.H76q6NWK.dpuf>
- Pervaiz, M., & Sain, M. (2011). Protein adhesive from sludges. *BioResources*, 6(2), 961-970.
- Pietzsch, N., Ribeiro, J.L.D., & De Medeiros, J.F. (2017) Benefits, challenges and critical factors of success for Zero Waste: A systematic literature review. *Waste Management*, 67, 324-353. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.004>
- Placek, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. (2016). Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludges. *International Journal of Phytoremediation*, 18 (6), 605-618. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1086308>
- Plattes, M., Koehler, C., & Gallé, T. (2017). Purely ultrasonic enzyme extraction from activated sludge in an ultrasonic cleaning bath. *MethodsX*, 4, 214-217. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2017.07.003>
- Prajitno, H., Park, J., Ryu, C., Park, H. Y., Lim, H. S., & Kim, J. (2018). Effects of solvent participation and controlled product separation on biomass liquefaction: a case study of sewage sludge. *Applied Energy*, 218, 402-416. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.008>
- Romanos, D., Nemer, N., Khairallah, Y., & Abi Saab, M.T. (2019). Assessing the quality of sewage sludge as an agricultural soil amendment in Mediterranean habitats. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 377-38. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00310-x>
- Saleh, F., Azizi, H., Kheirandish, F., Bari, M., & Azizi, M. (2015). Media optimization for biosurfactant production by *Pseudomonas aeruginosa* isolated from activated sludge reservoirs. *Petroleum Science and Technology*, 33(1), 1-7. <https://doi.org/10.1080/10916466.2014.942426>
- Salehizadeh, H., & Van Loosdrecht, M.C.M. (2004). Production of polyhydroxyalkanoates by mixed culture: Recent trends and biotechnological importance. *Biotechnology Advances*, 22, 261-279. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.09.003>
- Samolada, M. C., & Zabaniotou, A. A. (2014). Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Management*, 34, 411-420. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.11.003>
- Saour, G., Al-Mariri, A., & Hashem, A. (2016). Evaluation of *Bacillus thuringiensis* cultured in wastewater sludges against the potato tuber moth (Lepidoptera: Gelechiidae). *Entomologia Generalis*, 36 (2), 149-161. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2016/0212>
- Semblante, G. U., Hai, F. I., Huang, X., Ball, A. S., Price, W. E., & Nghiem, L. D. (2015). Trace organic contaminants in biosolids: Impact of conventional wastewater and sludge processing technologies and emerging alternatives. *Journal of Hazardous Materials*, 300, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.06.037>
- Shayana, E., Zareb, V., & Mirzaee, I. (2018). Hydrogen production from biomass gasification; a theoretical comparison of using different gasification agents. *Energy Conversion and Management*, 159, 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.096>

- Sim, W. J., Lee, J. W., Shin, S. K., Song, K. B., & Oh, J. E. (2011). Assessment of fates of estrogens in wastewater and sludge from various types of wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 82, 1448-1453. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.11.045>
- Singh, R. P., & Agrawal, M. (2010). Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) grown on different sewage sludge amendments rates. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 84(5), 606-612. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0007-z>
- Singh, R., Kumar-Singh, S., & Rathore, D. (2020). Analysis of biosurfactants produced by bacteria growing on textile sludge and their toxicity evaluation for environmental application. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 41(4), 510-522. <https://doi.org/10.1080/01932691.2019.1592686>
- Su, W., Tang, B., Fu, F., Huang, S., Zhao, S., Bin, L., Ding, J., & Chen, C. (2014). A new insight into resource recovery of excess sewage sludge: Feasibility of extracting mixed amino acids as an environment-friendly corrosion inhibitor for industrial pickling. *Journal of Hazardous Materials*, 279, 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.053>
- Syazwanee, M., Noormasshela, U. A., Azwady, A. A., Rusea, G., & Muskhazli, M. (2016). *Bacillus thuringiensis* entomotoxicity activity in wastewater sludge-culture medium towards *Bactrocera dorsalis* and their histopathological assessment. *Sains Malaysiana*, 45(4), 589-594.
- Syed-Hassan, S. S. A., Wang, Y., Hu S., Su, S., & Xiang J. (2017). Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: fundamentals, challenges and considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 888-913. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.262>
- Taboada-Santos A., Lema, J. M., & Carballa, M. (2019). Energetic and economic assessment of sludge thermal hydrolysis in novel wastewater treatment plant configurations. *Waste Management*, 92, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.003>
- Tripathi, V., Gaur, V. K., Dhiman, N., Gautam, K., & Manickam, N. (2020). Characterization and properties of the biosurfactant produced by PAH-degrading bacteria isolated from contaminated oily sludge environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(22), 27268-27278. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05591-3>
- Tsiligiannis, A., & Tsiliyannis, C. (2020). Oil refinery sludge and renewable fuel blends as energy sources for the cement industry. *Renewable Energy*, 157, 55-70. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.129>
- Valderrama, C., Granados, R., & Cortina, J. L. (2013). Stabilisation of dewatered domestic sewage sludge by lime addition as raw material for the cement industry: Understanding process and reactor performance. *Chemical Engineering Journal*, 232, 458-467. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2013.07.104>
- Warman, P. R. & Termeer, W. C. (2005). Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn and B content of crops and soils. *Bioresource Technology*, 96(9), 1029-1038. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.014>
- Yaman, K., & Olhan, E. (2011). Impact of sewage sludge application on yield, physical input and costs of wheat. *Journal of Agricultural Sciences-Tarım Bilimleri Dergisi*, 17, 157-166
- Yan, Z., Peng, L., Deng, M., & Lin, J. (2020). Production of a bioflocculant by using activated sludge and its application in Pb(II) removal from aqueous solution. *Open Chemistry*, 18(1), 333-338. <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0024>
- Yu, G., He, P., Shao, L., & Zhu, Y. (2009). Enzyme extraction by ultrasound from sludge flocs. *Journal of Environmental Sciences*, 21(2), 204-210. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62252-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62252-4)
- Yuan, Q., Sparling, R., & Oleszkiewicz, J.A. (2011). VFA generation from waste activated sludge: Effect of temperature and mixing. *Chemosphere*, 82, 603-607. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.084>
- Zabaniotou, A., & Theofilou, C. (2008). Green energy at cement kiln in Cyprus — Use of sewage sludge as a conventional fuel substitute. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 12, 531-541. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.017>
- Zhang, X., Yan, S., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2013). Energy balance and greenhouse gas emissions of biodiesel production from oil derived from wastewater and wastewater sludge. *Renewable Energy*, 55, 392-403. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.046>
- Zhang, L., Xu, C. C., Champagne, P., & Mabee, W. (2014). Overview of current biological and thermochemical treatment Technologies for sustainable sludge management. *Waste Management&Research*, 32(7), 586-600. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X14538303>
- Zhang, W., Alvarez-Gaitan, J. P., Dastyar, W., Saint, C. P., Zhao, M., & Short, M. D. (2018). Value-added products derived from waste activated sludge: A biorefinery perspective. *Water*, 10, 545. <https://doi.org/10.3390/w10050545>
- Zhen, G., Lu, X., Kato, H., Zhao, Y., & Li, Y. Y. (2017). Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: current advances, full-scale application and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 559-577. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.187>
- Zheng, X., Ye, Y., Jiang, Z., Ying, Z., Ji, S., Chen, W., Wang, B., & Dou, B. (2020). Enhanced transformation of phosphorus (P) in sewage sludge to hydroxyapatite via hydrothermal carbonization and calcium-based additive. *Science of The Total Environment*, 738, Article 139786. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139786>
- Zhuang, L., Zhou, S., Wang, Y., Liu, Z., & Xu, R. (2011). Cost-effective production of *Bacillus thuringiensis* biopesticides by solid-state fermentation using wastewater sludge: Effects of heavy metals. *Bioresource Technology*, 102, 4820-4826. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.098>



Siirt İli Ekolojik Koşullarında Farklı Sıra Arası ve Sıra Üzeri Mesafelerin Bakla (*Vicia faba* L.)'nın Verim ve Bazı Verim Özelliklerine Etkileri

Sipan Soysal^{1*}, Özge Uçar², Murat Erman³

^{1*} Siirt Üniversitesi, Kurtalan MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0840-6609), sipansoysal@siirt.edu.tr

² Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4650-4998), ozgeonderr@hotmail.com

³ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1435-1982), merman56@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 5 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 2 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.812265)

ATIF/REFERENCE: Soysal, S., Uçar, Ö. & Erman, M. (2020). Siirt İli Ekolojik Koşullarında Farklı Sıra Arası ve Sıra Üzeri Mesafelerin Bakla (*Vicia faba* L.)'nın Verim ve Bazı Verim Özelliklerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 740-745.

Öz

Bu çalışma Siirt ili ekolojik koşullarında 2018-2019 yıllarında farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin baklanın verim ve bazı verim özelliklerine etkilerini belirlemek üzere yürütülmüştür. Denemeler tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Araştırmada bakla tohumu olarak Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından tescil ettirilen Salkım çeşidi kullanılmıştır. Sıra arası mesafeler (25, 50 ve 75 cm), sıra üzeri mesafeler ise (15 ve 25 cm) olacak şekilde uygulanmıştır. Tohumların ekimleri (25 cm x 15 cm), (25 cm x 25 cm), (50 cm x 15 cm), (50 cm x 25 cm), (75 cm x 15 cm) ve (75 cm x 25 cm) olacak şekilde yapılmıştır. Denemelerde bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı, bitkide tane sayısı, 100-tane ağırlığı ve tane verimi özellikleri incelenmiştir. Bu araştırmanın sonuçlarına göre bitki boyu 53,4-61,3 cm, ilk bakla yüksekliği 12,1-17,6 cm, bitkide bakla sayısı 4,8-7,8 adet bitki⁻¹, bitkide tane sayısı 18,8-25,6 adet bitki⁻¹, 100-tane ağırlığı 123,0-126,3 g ve tane verimi ise 175,1-187,3 kg da⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Bu çalışma kapsamında gözlemlenen bütün özellikler bakımından 25 cm sıra arası, 15 cm sıra üzeri mesafede bakla yetiştirilmesiyle en yüksek sonuçları alınmıştır. Sonuç olarak Siirt ili ekolojik koşullarında tane verimini artırmak amacıyla bakla tarımında en uygun sıra arası mesafenin 25 cm, sıra üzeri mesafenin ise 15 cm olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakla, Sıra arası, Sıra üzeri mesafe, *Vicia faba* L.

The Effects of Different Row Spacing and Intra-row Spacing on the Yield and Some Yield Components of Broad Bean (*Vicia faba* L.) in the Ecological Conditions of Siirt Province

Abstract

This study was carried out to determine the effects of different row spacing and Intra-row spacing on the yield and some yield components of broad bean in the ecological conditions of Siirt province in 2018-2019. Trials were laid out in 3 replications according to factorial trial design in random blocks. Salkım variety registered by Aegean Agricultural Research Institute was used as broad bean seed in the research. Row spacings were applied as (25, 50 and 75 cm) and intra-row spacings as (15 and 25 cm). Sowing of the seeds was made as (25 cm x 15 cm), (25 cm x 25 cm), (50 cm x 15 cm), (50 cm x 25 cm), (75 cm x 15 cm) and (75 cm x 25 cm). In trials plant height, first pod height, number of pods per plant, number of seeds per plant, 100-grain weight and grain yield were investigated. According to the results of this study, plant height, first pod height, number of pods per plant, number of seeds per plant, 100-grain weight and grain yield varied between 53,4-61,3 cm, 12,1-17,6 cm, 4,8-7,8 pcs plant⁻¹, 18,8-25,6 pcs plant⁻¹, 123,0-126,3

* Sorumlu Yazar: sipansoysal@siirt.edu.tr

g and 175,1-187,3 kg da-1. In terms of all the components observed within the scope of this study, the highest results were obtained by growing pods at 25 cm row spacing and 15 cm intra-row spacing. As a result, in order to increase the grain yield in broad bean cultivation in the ecological conditions of Siirt province, it has been determined that the optimum row spacing is 25 cm and the intra-row spacing is 15 cm.

Keywords: Broad bean, Row spacing, Intra-row spacing, *Vicia faba* L.

1. Giriş

İnsan ve hayvan beslenmesinde önemli yer tutan yemeklik tane baklagil türlerinden biri olan bakla önemli bir bitkisel protein kaynağıdır. Gelişmiş ülkelerde yaşayan insanların tükettikleri gıdalarda protein kaynaklarını ağırlıklı olarak hayvansal ürünler oluşturmakta iken, gelişmemiş ve az gelişmiş ülkelerde insanların protein kaynaklarını bitkisel proteinler oluşturmaktadır. Bakla, içerdiği protein, vitamin ve mineraller bakımından beslenmede önemli bir bitkidir. Bakla, azot fiksasyonu ile en fazla azot kazandıran baklagil bitkisidir. Atmosferde serbest halde bulunan elementel azotu kullanan bakla bitkisinin toprak üstü aksamında 19-32 kg/da azot depolanmaktadır. Bu bitki insan beslenmesinin yanı sıra hayvan yemi olarak biçerek de değerlendirilebilmekte ve yeşil gübreleme ile toprağa karıştırılarak toprağın yapısında iyileştirilmesinde önem arz etmektedir (Heinzmann, 1981; Alan ve Geren, 2006). Ayrıca derin kökleriyle toprağın daha alt katmanlarına inerek buralarda bulunan besin elementleri ve sudan faydalanabilmektedir. Hasattan sonra kalan bitki artıkları toprağın içeriğinin zenginleştirilmesi bakımından da önemlidir. Bu açıdan bakla diğer kültür bitkileri ile ekim nöbetine girerek kendinden sonra yetiştirilecek bitkiler için de daha iyi bir toprak bırakmaktadır.

Üretim alanı ve miktarı bakımından dünyada en az yetiştiriciliği yapılan bakla, Türkiye’de ise yemeklik tane baklagiller arasında 4. sırada yer almaktadır. Dünyada 2018 yılında 25.118.130 da alanda, 49.230.900 ton bakla üretilmiş, 196 kg da-1 verim elde edilmiştir (FAO, 2020). 2019 yılında Türkiye’de 23.120 da alanda, 5.484 ton bakla üretilmiş ve 237 kg da-1 verim alınmıştır (TÜİK, 2020). Bahsedilen veriler kuru bakla yetiştiriciliği için geçerlidir. Taze bakla üretim verileri dâhil edilmemiştir. Bitkisel üretimde çevreye ve insanlara zarar vermeden verim ve kaliteyi artırmak birincil amaçtır. Verimliliği artırmak amacıyla yetiştirme teknikleri içerisinde en uygun yöntem belirlenmelidir. Bitkisel üretimde kullanılan gübreler ile verimi artırmak mümkündür ancak tek başına yeterli değildir. Birim alanda yetiştirilen bitki sayısı da verimin artırılmasında önem arz etmektedir. Birim alanda bitki sayısının fazla olması bitkilerin güneş ışığından daha fazla faydalanabilmek için birbirleriyle rekabet etmeleri sonucu vejetatif gelişmelerini teşvik etmekte ancak verimliliği düşürmektedir.

Birim alanda bitki sayısının artması o alanda bulunan besin maddeleri ve suyun daha fazla bitki tarafından kullanılması anlamına gelmektedir. Birim alanda bitki sayısı daha az olduğunda bitkiler su ve besin maddesi için rekabet ihtiyacı duymamaktadırlar ve iyi bir gelişim göstermektedirler. Bu durumda bitki başına verim artmakta ancak bir dekar alandaki bitki sayısı azaldığında toplam verim azalmaktadır. Bitkisel üretimde verimi artırmak için bitkilerin en iyi gelişimi gösterebileceği ve toplam verimin en yüksek olacağı ekim sıklığı uygulanmalıdır. Bu amaçla yetiştiricilikte sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin en iyi şekilde belirlenmesi gereklidir. Bitkilerin yetiştiriciliğinde uygulanacak sıra arası ve sıra üzeri mesafe

yetiştiriciliğin yapıldığı iklim ve toprak koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu çalışma ile Siirt ili ekolojik koşullarında farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin baklanın verim ve bazı verim özelliklerine olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Siirt ili ekolojik koşullarında farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin bakla bitkisinin verim ve bazı verim özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu araştırma 2018-2019 yıllarında yürütülmüştür. Çalışma Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü deneme arazisinde yürütülmüştür. Bu çalışmada bakla tohumu olarak Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından tescil ettirilen Salkım çeşidi kullanılmıştır. Salkım çeşidi, kuru tane tüketimine uygun, dik gelişen, 37-70 cm boylanabilen, tane verimi 355-448 kg/da arasında değişen sertifikalı bir bakla çeşididir (ETA, 2018).

Araştırmanın yürütüldüğü 2018, 2019 yılları ve uzun yıllar ortalamasına ait iklim verileri Tablo 1’de verilmiştir. Yetiştirme sezonu boyunca 2018 yılı ortalama sıcaklık değeri uzun yıllar ortalamasından yüksek, 2019 yılı ortalama sıcaklık değeri ise uzun yıllar ortalaması ile yakınlık göstermektedir. Toplam yağış miktarı 2018 yılında uzun yıllar ortalaması ile yakınlık gösterirken, 2019 yılında uzun yıllar ortalamasına göre daha yüksektir. Uzun yıllar ortalaması ve 2018 yılına ait ortalama nispi nem değerleri aynı ve 2019 yılı ortalama nispi nem değerinden düşüktür.

Çalışma tesadüf bloklarında faktöriyel deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Sonbaharda deneme alanı pulluk ile sürülmüştür. İlkbaharda ise ekim öncesinde kültivatör ile yüzlek sürülmüş ve tapan çekilmiştir. Bakla yetiştiriciliğinde sıra arası mesafe (25, 50 ve 75 cm) ve sıra üzeri mesafe (15 ve 25 cm) olarak belirlenmiştir. Tohumların ekimi sıra arası ve sıra üzeri mesafeler (25 cm x 15 cm), (25 cm x 25 cm), (50 cm x 15 cm), (50 cm x 25 cm), (75 cm x 15 cm) ve (75 cm x 25 cm) olacak şekilde yapılmıştır. Araştırmanın yürütüldüğü deneme alanı toprakları su tutma kapasitesi yüksek, hafif alkali, kireçli, organik madde, azot ve fosfor içeriği bakımından fakir, potasyum içeriği bakımından zengindir. Denemelerde ekimden önce 15 kg/da DAP gübresi kullanılmıştır. Ekim yapılan sıralar elle markör kullanılarak çizilmiştir. Tohumlar her parselde 4 sıra ve ekim derinliği 4-5 cm olacak şekilde ve 03.03.2018 ve 05.03.2019 tarihlerinde ekilmiştir. Bitkiler bitkiler doğal yağış koşullarında yetiştirilmiştir. Yabancı ot temizliği elle yapılmıştır. Antraknoz hastalığı için kimyasal mücadele yapılmıştır. Her parselin kenarlarından birer sıra ile parsel baş ve sonlarından 0,5 m’lik kısımlar kenar tesiri olarak belirlenmiştir. İç kısımda kalan alanda gözlem ve hasat yapılmıştır. Bu alan içerisinde gözlem yapmak için 10 bitki seçilmiştir. Bu çalışmada bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı, bitkide tane sayısı, 100-tane ağırlığı ve tane verimi özellikleri incelenmiştir. Bitkiler 05.07.2018 ve 06.07.2019 tarihlerinde elle hasat ve harman edilmiştir. Denemeler sonucunda elde edilen veriler JMP istatistik paket programında analiz edilmiştir.

Tablo 1. Denemenin yürütüldüğü alana ait iklim verileri*

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)			Yağış miktarı (mm)			Ortalama Nispi Nem (%)		
	2018	2019	UYO	2018	2019	UYO	2018	2019	UYO
Mart	13,7	8,3	10,1	47,6	182,0	92,3	55,9	63,5	59,2
Nisan	16,8	11,9	15,3	61,6	175,6	91,7	47,6	66,8	53,8
Mayıs	19,8	21,9	20,0	139,6	64,4	69,5	59,2	41,8	49,6
Haziran	27,4	29,1	27,0	10,0	1,2	10,8	31,7	26,5	28,7
Temmuz	32,3	30,2	30,6	0,6	0,0	2,7	20,1	23,0	23,3
Top./Ort.	22,0	20,3	20,6	264,8	423,2	267,0	42,9	44,3	42,9

*UYO, Uzun yıllar ortalaması (1963-2019)(Siirt Meteoroloji Bölge Müdürlüğü Kayıtları)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Siirt ili ekolojik koşullarında farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin bakla bitkisinde verim ve bazı verim özellikleri üzerine etkilerine ait ortalamalar ile LSD grupları Tablo 2’de ve Tablo 3’te verilmiştir.

3.1. Bitki Boyu

Bitki boyuna yılların etkisi istatistiksel bakımdan önemli bulunmuştur. Bitki boyu çalışmanın ikinci yılında ilk yıla göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum 2019 yılında bitkinin ilk gelişme dönemlerinde yağışların toprakta azotun mineralizasyonuna katkı sağlamasıyla bitkilerin bundan faydalanarak vejetatif gelişimlerini artırması ile açıklanabilir. Çalışmanın her iki yılında da sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin bitki boyuna etkisini istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek bitki boyu 25 cm sıra arası mesafeden en düşük bitki boyu ise 75 cm sıra arası mesafeden elde edilmiştir. Sıra arası mesafe arttıkça, bitki boyu değerleri azalmıştır. Daralan sıra aralığında birim alanda bulunan bitki sayısı artmakta ve bitkiler besin maddesi, su ve güneş ışığından daha fazla faydalanabilmek için rekabete girerek boylarını uzatma eğilimine girmektedirler. En yüksek bitki boyu 15 cm sıra üzeri mesafeden, en düşük bitki boyu ise 25 cm sıra üzeri mesafeden alınmıştır. İnteraksiyonun bitki boyuna etkisi çalışmanın ilk yılında önemli bulunmazken, ikinci yılında önemli bulunmuştur. 2019 yılında en yüksek bitki boyu 25 cm sıra arası x 15 cm sıra üzeri mesafe interaksiyonundan, en düşük bitki boyu ise 50 cm sıra arası x 25 cm sıra üzeri mesafeden elde edilmiştir (Tablo 2). Önkür ve Keskin (2019) sıra arası ve sıra üzeri mesafeler arttıkça bitki boyunun da azaldığını bildirmişlerdir. Temel ve Keskin (2019) sıra üzeri mesafenin bitki boyunu önemli düzeyde etkilemediğini, sıra arası mesafe azaldıkça bitki boyunun da azaldığını tespit etmişlerdir. İşlek ve Ceyhan (2015), Ölmez (2014) ve Atmaca (2008) sıra arası mesafe azalıp, ekim sıklığı arttıkça bitki boyunun artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Uçar (2020) ise sıra arası mesafe azaldıkça bitki boyunun arttığını tespit etmiştir. Sarihan ve ark. (2006), sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin bitki boyunu önemli düzeyde etkilemediğini belirtmişlerdir.

3.2. İlk Bakla Yüksekliği

Baklada ilk bakla yüksekliğine yılların etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş olup, en yüksek ilk bakla yüksekliği 2019 yılında elde edilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü ikinci yılda bitkilerin gelişim dönemlerinin başında yağın yağışlar ile bitkiler toprakta bitkilerin kullanabileceği forma dönüşen azottan

daha iyi faydalanarak boylarını artırma eğilimine girmişler ve buna bağlı olarak ilk bakla yükseklikleri artış göstermiştir. Erdemci (2012), düşen yağış miktarının fazla olmasının bitkilerin vejetatif gelişim dönemini uzattığını ve çiçeklenmeyi geciktirerek bitki boyunu artırdığını ve buna bağlı olarak ilk bakla yüksekliğini artırdığını bildirmiştir. Sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin ilk bakla yüksekliğine etkisi 2018 ve 2019 yılında istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Çalışmanın her iki yılında da en yüksek ilk bakla yüksekliği 25 cm sıra arası mesafeden, en düşük ilk bakla yüksekliği ise 75 cm sıra arası mesafeden alınmıştır. Sıra arası mesafe arttıkça ilk bakla yüksekliği değerleri düşüş göstermiştir. En yüksek ilk bakla yüksekliği değerleri 2018 ve 2019 yılında 15 cm sıra üzeri mesafeden, en düşük değerler ise 25 cm sıra üzeri mesafeden elde edilmiştir. İnteraksiyonun ilk bakla yüksekliğine etkisi her iki yılda da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek ilk bakla yüksekliği değeri 25 cm sıra arası x 15 cm sıra üzeri mesafede, en düşük değer ise 50 cm sıra arası x 25 cm sıra üzeri mesafede tespit edilmiştir (Tablo 2). Uçar (2020), Gürbüz (2017), İşlek (2016), İşlek ve Ceyhan (2015) ve Atmaca (2008) sıra arası mesafelerin ilk bakla yüksekliğini önemli düzeyde etkilemediğini tespit etmişlerdir. Toğay ve Engin (2000) ise sıra arası mesafenin azaldıkça bitkilerin güneş ışığından faydalanabilmek için rekabete girdiklerini, boyları ve ilk bakla yüksekliklerinin arttığını belirtmişlerdir. Beycioğlu (2016) sıra arası ve sıra üzeri mesafeler azaldıkça ilk bakla yüksekliğinin arttığını bildirmiştir.

3.3. Bitkide Bakla Sayısı

Bitkide bakla sayısına yılların etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Araştırmanın ikinci yılında bitkide bakla sayısı ilk yıla nazaran daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun 2018 yılında çiçeklenme döneminde aşırı yağın yağışların çiçeklenme ve bakla bağlamayı olumsuz etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin bitkide bakla sayısına etkisi 2018 ve 2019 yılları itibari ile istatistiksel bakımdan önemli bulunmuştur. 2018 yılında en yüksek bitkide bakla sayısı 25 cm sıra arası mesafeden, en düşük bitkide bakla sayısı ise 50 cm sıra arası mesafeden elde edilmiştir. 2019 yılında ise en yüksek bitkide bakla sayısı 25 cm sıra arası mesafeden, en düşük bitkide bakla sayısı ise 50 cm sıra arası mesafeden alınmıştır. Çalışmanın her iki yılında da en yüksek bitkide bakla sayısı 15 cm sıra üzeri mesafeden, en düşük bitkide bakla sayısı ise 25 cm sıra üzeri mesafeden elde edilmiştir. İnteraksiyonun bitkide bakla sayısına etkisini iki yılda da önemli bulunmuş olup, en yüksek bitkide bakla sayısı değeri 25 cm sıra arası x 15 cm sıra üzeri mesafede, en düşük değer ise 50 cm sıra arası x 25 cm sıra üzeri mesafede saptanmıştır (Tablo

2). Karakuş ve ark. (2004) sıra arası mesafe arttıkça bitkide bakla sayısının da artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Toğay ve ark. (2005) bitki sıklığı arttıkça bitkide bakla sayısının azaldığını bildirmişlerdir. Uçar (2020) sıra aralığı azaldıkça bitkide bakla sayısının arttığını saptamıştır. Atmaca (2008) ve Toğay ve Toğay (2001) sıra arası mesafe arttıkça bitkide bakla sayısının da artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Demirel (1996) sıra arası ve sıra üzeri mesafe azaldıkça bitki başına meyve sayısının arttığını saptamıştır. Beycioğlu (2016) sıra arası ve sıra üzeri mesafeler arttıkça bitkide bakla sayısının arttığını bildirmiştir.

3.4. Bitkide Tane Sayısı

Baklada bitki tane sayısına yılların etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. 2019 yılında bitkide tane sayısının 2018 yılına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin bitkide tane sayısına etkisi istatistiki olarak

çalışmanın iki yılında da önemli bulunmuştur. En yüksek bitkide tane sayısı 25 cm sıra arası mesafeden, en düşük bitkide tane sayısı ise 75 cm sıra arası mesafeden elde edilmiştir. Sıra arası mesafe arttıkça bitkide tane sayısı azalmıştır. Araştırmanın her iki yılında da en yüksek bitkide tane sayısı 15 cm sıra üzeri mesafeden, en düşük bitkide tane sayısı ise 25 cm sıra üzeri mesafeden alınmıştır. 2018 ve 2019 yılları itibari ile bitkide tane sayısına interaksyonun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Her iki yılda da en yüksek bitkide tane sayısı 25 cm sıra arası x 15 cm sıra üzeri mesafeden, en düşük bitkide tane sayısı ise 50 cm sıra arası x 25 cm sıra üzeri mesafeden elde edilmiştir (Tablo 3). Uçar (2020) sıra arası mesafe azaldıkça bitkide tane sayısının arttığını bildirmiştir. Atmaca (2008), Toğay ve Toğay (2001), Özen (1998) ve Akdağ ve Engin (1987) ise sıra arası mesafe arttıkça bitkide tane sayısının arttığını belirtmişlerdir.

Tablo 2. Baklada farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelere ait bitki boyu, ilk bakla yüksekliği ve bitkide bakla sayısı ortalamaları ve grupları

Yıl	Sıra arası mesafe	Bitki boyu (cm)			İlk bakla yüksekliği (cm)			Bitkide bakla sayısı (adet bitki ⁻¹)		
		Sıra üzeri mesafe			Sıra üzeri mesafe			Sıra üzeri mesafe		
		15 cm	25 cm	S.A. Ort.	15 cm	25 cm	S.A. Ort.	15 cm	25 cm	S.A. Ort.
2018	25 cm	58,6	55,1	56,8 a	14,9 a	14,4 ab	14,7 a	6,6 a	6,4 a	6,5 a
	50 cm	56,1	53,7	54,9 b	14,0 b	12,1 d	13,1 b	6,0 b	4,8 d	5,4 b
	75 cm	54,8	53,4	54,1 b	13,2 c	12,8 c	13,0 b	5,4 c	5,2 c	5,3 b
	S.Ü. Ort.	56,5 a	54,1 b	55,3 B	14,0 a	13,1 b	13,6 B	6,0 a	5,5 b	5,7 B
2019	25 cm	61,3 a	59,7 ab	60,5 a	17,6 a	16,4 b	17,0 a	7,8 a	7,3 b	7,6 a
	50 cm	59,5 b	54,9 d	57,8 b	16,1 b	13,8 d	15,0 b	6,9 c	5,7 f	6,3 c
	75 cm	58,7 b	56,9 c	57,2 b	15,0 c	14,9 c	15,0 b	6,7 d	6,4 e	6,6 b
	S.Ü. Ort.	59,8 a	57,2 b	58,5 A	16,2 a	15,0 b	15,6 A	7,1 a	6,5 b	6,8 A

3.5. 100-Tane Ağırlığı

Baklada 100-tane ağırlığına yılların etkisi istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. 2019 yılı 100-tane ağırlığı değerleri 2018 yılı değerlerine göre yüksek bulunmuştur. Sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin 100-tane ağırlığına etkisi iki yılda da önemli bulunmuştur. 2018 ve 2019 yılları itibari ile 25 cm sıra arasından en yüksek 100-tane ağırlığı elde edilirken, 75 cm sıra ağırlığından en düşük 100-tane ağırlığı alınmıştır. Çalışmanın her iki yılında da en yüksek 100-tane ağırlığı 15 cm sıra arası mesafede, en düşük 100-tane ağırlığı ise 25 cm sıra arası mesafede belirlenmiştir. İnteraksyonun 100-tane ağırlığına etkisi 2018 ve 2019 yıllarında istatistiki olarak önemli bulunmuştur. İki yılda da en yüksek 100-tane ağırlığı 25 cm sıra arası x 15 cm sıra üzeri mesafeden, en düşük 100-tane ağırlığı ise 50 cm sıra arası x 25 cm sıra üzeri mesafeden elde edilmiştir (Tablo 3). Uçar (2020) sıra arası mesafenin 100-tane ağırlığı üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığını tespit etmiştir. Atmaca (2008), sıra arası mesafe azaldıkça 100-tane ağırlığının arttığını belirlemiştir. Ölmez (2014), Yiğitoğlu ve Anlarsal (2012) ve Özçelik ve ark. (2001) ise sıra arası mesafe arttıkça 100-tane ağırlığının arttığını bildirmişlerdir. Demirel (1996), sıra arası mesafe ve sıra üzeri mesafe arttıkça 100-tane ağırlığının da arttığını tespit etmiştir.

3.6. Tane Verimi

Baklada tane verimine yılların etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Çalışmanın ikinci yılında tane verimi ilk yıla göre yüksek bulunmuştur. Çalışmanın ilk yılında çiçeklenme döneminde aşırı yağın yağışların tane verimini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Yiğitoğlu ve Anlarsal (2012), çiçeklenme döneminde aşırı yağın yağışların tane verimini azalttığını bildirmişlerdir. Sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin tane verimi üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuş olup, her iki yılda da en yüksek tane verimi 25 cm sıra arası mesafeden, en düşük tane verim ise 75 cm sıra arası mesafeden elde edilmiştir. Sıra arası mesafe arttıkça tane verimi düşmüştür. 2018 ve 2019 yılları itibari ile en yüksek tane verimi 15 cm sıra üzeri mesafeden, en düşük tane verimi ise 25 cm sıra üzeri mesafeden alınmıştır. İnteraksyonun tane verimine etkisi çalışmanın iki yılında da önemsiz bulunmuştur (Tablo 3). Önkür ve Keskin (2019) sıra arası ve sıra üzeri mesafeler arttıkça tane veriminin azaldığını bildirmişlerdir. Uçar (2020), Gürbüz (2017), Ölmez (2014), Atmaca ve ark. (2009), Atmaca (2008) ve Özçelik ve ark. (2001) sıra arası mesafe azaldıkça tane veriminin arttığını tespit etmişlerdir. Demirel (1996), sıra arası ve sıra üzeri mesafe azaldıkça tane veriminin arttığını saptamıştır.

Tablo 3. Baklada farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelere ait bitkide tane sayısı, 100-tane ağırlığı ve tane verimi ortalamaları ve grupları

Yıl	Bitkide tane sayısı (adet bitki ⁻¹)			100-tane ağırlığı (g)			Tane verimi (kg da ⁻¹)			
	Sıra arası mesafe	Sıra üzeri mesafe			Sıra üzeri mesafe			Sıra üzeri mesafe		
		15 cm	25 cm	S.A. Ort.	15 cm	25 cm	S.A. Ort.	15 cm	25 cm	S.A. Ort.
2018	25 cm	23,0 a	22,3 b	22,7 a	125,0 a	124,9 ab	125,0 a	184,4	181,4	182,9 a
	50 cm	21,6 c	18,8 f	20,5 b	124,5 bc	123,0 e	123,8 b	182,2	175,2	178,7 b
	75 cm	21,0 d	20,0 e	20,2 b	124,1 c	123,6 d	123,7 b	180,4	175,1	177,7 b
	S.Ü. Ort.	21,9 a	20,4 b	21,1 B	124,5 a	123,8 b	124,2 B	182,3 a	177,2 b	179,8 B
2019	25 cm	25,6 a	25,0 b	25,3 a	126,3 a	125,9 b	126,1 a	187,3	185,1	186,2 a
	50 cm	23,8 c	21,5 f	22,6 b	125,6 c	123,7 e	124,6 b	184,6	183,5	184,1 b
	75 cm	22,9 d	22,3 e	22,7 b	124,8 d	123,9 e	124,4 c	180,0	179,2	179,6 c
	S.Ü. Ort.	24,1 a	22,9 b	23,5 A	125,6 a	124,5 b	125,0 A	184,0 a	182,6 b	183,3 A

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar diğer çalışmalardan bazıları ile benzerlik göstermekte bazıları ile farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların denemelerde kullanılan bitkilerin tür, çeşit ve genotiplerinin, yapılan gübrelemenin, ekim sıklıklarının, sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin, denemelerin yapıldığı bölgelerin toprak ve iklim şartlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

4. Sonuç

Siirt ili ekolojik koşullarında farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin bakla bitkisinde verim ve bazı verim özellikleri üzerine etkilerini saptamak amacıyla yürütülen bu araştırma kapsamında bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı, bitkide tane sayısı, 100-tane ağırlığı ve tane verimi özellikleri incelenmiştir. Azalan sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin baklada tane verimini artırdığı tespit edilmiştir. Çalışmanın her iki yılında da denemelerden alınan gözlemler sonucunda incelenen tüm özellikler bakımından en yüksek değerler 25 cm sıra arası mesafe, 15 cm sıra üzeri mesafeden elde edilmiştir. Azalan sıra arası ve sıra üzeri mesafeler baklada incelenen tüm parametrelerde değerleri artırmıştır. Sonuç olarak Siirt ili ekolojik şartlarında bakla tarımında verimi artırmak amacıyla 25 cm sıra arası ve 15 cm sıra üzeri mesafede ekim yapılması önerilmektedir.

Kaynakça

- Akdağ, C. ve Engin, M. (1987). Ekim sıklığının Tokat yöresinde üç nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşidinde verim ve verim unsurlarına etkileri üzerine bir araştırma. Cumhuriyet Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 3(1); 103-114.
- Alan, Ö. ve Geren, H. (2006). Ödemiş-İzmir koşullarında yetiştirilen bazı bakla (*Vicia faba* var. *major*) çeşitlerinin tohum verimi ve diğer bazı özellikleri üzerinde bir araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 43(1), 13-20.
- Atmaca, E. (2008). Eskişehir koşullarında bazı nohut çeşit ve hatlarında farklı ekim zamanı ve sıra arası mesafelerinin verim, verim unsurları ve kalite üzerine etkisi. (Yükseklisans Tezi), Ankara Üniversitesi, Ankara.

Atmaca, E., Çiftçi, C.Y., Çakır, S., Akın, R. ve Karaman, Y. (2009). Eskişehir koşullarında bazı nohut çeşit ve hatlarının farklı ekim zamanı ve sıra arası mesafelerden verim unsurları ve kalite üzerine etkisi. Türkiye VIII. Tarla Bitkileri Kongresi, Hatay.

Beycioğlu, T. (2016). Kahramanmaraş koşullarında börülce (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) bitkisine uygulanan farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelerinin verim unsurlarına etkisi. (Yükseklisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.

Demirel, H. (1996). Kahramanmaraş koşullarında yarfıstığı çeşitlerinde sıra arası ve sıra üzeri mesafelerinin verim ve verim unsurları üzerine etkisi. (Yükseklisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.

Erdemci, İ. (2012). Güneydoğu Anadolu Bölgesi koşullarında farklı nohut (*Cicer arietinum* L.) genotiplerinin yazlık ve kışlık ekimlerinde bazı tarımsal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.

ETAE (Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü), (2018). Tescilli çeşit kataloğu. Erişim adresi <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/etae/Menu/68/Tescilli-Cesit-Katalogu-2018>

FAO (2020). Food and agriculture data. Erişim adresi <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Gürbüz, S. (2017). Farklı ekim zamanı ve sıra arası mesafelerinin nohutta (*Cicer arietinum* L.) verim ve verim unsurlarına etkisi. (Yükseklisans Tezi), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.

Heinzmann, F. (1981). Assimilation von Luftstickstoff durch verschiedene Leguminosenarten und dessen Verwertung durch Gefreidenachfrüchte, Diss, Hohenheim, page:132.

İşlek, M.M. (2016). Nohutta farklı bitki sıklıklarının tane verimi ve bazı tarımsal özellikler üzerine etkileri. (Yükseklisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Konya.

İşlek, M.M. ve Ceyhan, E. (2015). Nohutta farklı bitki sıklıklarının tane verimi ve bazı tarımsal özellikler üzerine etkileri. Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi, 3(1), 1-7.

Karakuş, M., Çiftçi, V., Toğay, Y. ve Toğay N. (2004). Van-Gevaş koşullarında farklı sıra aralıklarının fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) de verim ve bazı verim öğelerine etkisi. YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi, 15(1), 57-62.

- Ölmez, M. (2014). Nohut (*Cicer arietinum* L.)'ta sıra arası mesafesi ile bitki sıklığının verim ve verim öğeleri üzerine etkileri. (Yükseklisans Tezi), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.
- Önkür, H. ve Keskin, B. (2019). Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'nın Tohum Verimi ve Bazı Bitkisel Özellikleri Üzerine Sıra Üzeri ve Sıra Arası Mesafelerinin Etkileri. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(Ek Sayı 1), 51-59.
- Özçelik, H., Bozoğlu, H., Pekşen, E. ve Mut, Z. (2001). Farklı ekim zamanı ve bitki sıklıklarında yetiştirilen nohut çeşitlerinin tane verimi ve bazı özelliklerinin tespiti. *Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi, 17-21 Eylül 2001*, Tekirdağ, Cilt I, 333-338 s.
- Özen, N. (1998). Trakya koşullarında ekim sıklığının nohutta (*Cicer arietinum* L.) verim ve verim unsurlarına etkisi. (Yükseklisans Tezi), Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Sarıhan, E.O., İpek, A., Arslan, N. ve Gürbüz, B. (2006). Farklı Sıra Arası ve Sıra Üzeri Mesafelerinin Kekik (*Origanum vulgare* var. *hirtum*)'de Verim ve Verim Öğeleri Üzerine Etkisi. *Ankara Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(3), 246-251.
- Temel, I. ve Keskin, B. (2019). Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'nın Ot Verimi ve Bazı Verim Unsurlarına Farklı Sıra Üzeri ve Sıra Arası Mesafelerin Etkileri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 522-532.
- Toğay, N. ve Engin, M. (2000). Van koşullarında sıra aralığı ve serpmeye ekimin mercimek (*Lens culinaris* Medic) çeşitlerinde verim ve verim öğelerine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(4), 11-15.
- Toğay, Y. ve Toğay, N., 2001. Nohutta (*Cicer arietinum* L.) farklı sıra aralıklarının bazı tarımsal özellikler üzerine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(2), 32-35.
- Toğay, N., Toğay, Y., Erman, M., Doğan, Y. ve Çığ, F. (2005). Kuru ve Sulu Koşullarda Farklı Bitki Sıklıklarının Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinde Verim ve Verim Öğelerine Etkileri. *YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(4), 417-421.
- TÜİK (2020). Bitkisel üretim istatistikleri. Erişim adresi <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Uçar, Ö. (2020). Farklı sıra arası mesafeleri, tavuk gübresi dozları ve tohum ön uygulamalarının nohut (*Cicer arietinum* L.)'un verim, verim öğeleri ve nodülasyonu üzerine etkileri. (Doktora Tezi), Siirt Üniversitesi, Siirt.
- Yığıtoğlu D. ve Anlarsal, A.E. (2012). Kahramanmaraş koşullarında farklı bitki sıklıklarının kışlık ve yazlık ekilen bazı nohut çeşitlerinde (*Cicer arietinum* L.) verim ve verim ile ilgili özelliklere etkisi. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(2), 11-20.



Laktoperoksidaz Enziminin Sülfamat Türevleri Bileşikleri Üzerine İnhibisyon Profili

Hande Usanmaz^{1*}, Ufuk Atmaca²

¹ Sinop Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Laboratuvar Teknikleri, Sinop, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3851-9601)

² Atatürk Üniversitesi, Oltu Meslek Yüksek Okulu, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5598-0443)

(İlk Geliş Tarihi 10 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 7 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.767395)

ATIF/REFERENCE: Usanmaz, H., & Atmaca, U. (2020). Laktoperoksidaz Enziminin Sülfamat Türevleri Bileşikleri Üzerine İnhibisyon Profili. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 746-750.

Öz

Sülfamat iskeleti içeren birçok doğal ürün ve ilaç etken maddelerinde bulunmaktadır. Son zamanlarda, sülfamatlar bileşiklerinin bulundukları fonksiyonel gruplarından dolayı malzeme bilimcisi ve farmakolog tarafından daha fazla ilgi görmektedirler. Peroksidazlar (POD), metabolik fonksiyonlarından dolayı gıda ve ilaç endüstrisinde enzimatik reaksiyonlarda ve klinik teşhislerde önemli kullanım alanında yer alırlar. Laktoperoksidaz (LPO, EC 1.11.1.7) peroksidaz ailesinin bir üyesidir. Bu enzim sütte, tükürükte ve gözyaşında bulunan bir oksidoredüktaz olup, patojen mikroorganizmalara karşı yeni doğanların bağırsak sistemlerini ve meme bezlerini korumada önemli bir role sahip olmaktadır. Memeli sütlerinden edilen LPO enzimi, bakterilerin büyümesinin baskılanmasında ve bakteri inhibisyonunun desteklenmesinde oldukça önemlidir. Sığırlar LPO'sunun bakteriyal büyümeyi inhibe etmesi, H₂O₂ ve tiyosiyanat içeren peroksidaz sistemine atfedilir. Bu sistemin antimikrobiyal etkisi sütte doğal olarak oluşmuştur. LPO enzimi üzerine yapılan antibakteriyal çalışmalarda LPO-tiyosiyanat ve peroksit sisteminin patojenik bakterilerde önemli derecede inhibisyona sebep olduğu tespit edilmiştir. LPO'nun birçok uygulama alanı vardır. Peroksidazlar hem gıdalarda hem de farmakolojik uygulamalarda koruyucu olarak kullanılır ve süt işleme tesislerinde nakil esnasında sütün muhafazası amacıyla süt endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, LPO enzimi üzerine Metil benzoilsülfamat, Metil (2-bromobenzoil) sülfamat, Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat, Metil (1-naphthoil) sülfamat, Metil (2-metilbenzoil) sülfamat, Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat, Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat, Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat, Metil (4-metoksibenzoil) sülfamat ve Metil (isoquinoline-1-karbonil) sülfamat bileşiklerinin in vitro etkilerini belirlemektir. Bu sülfamat türevi bileşiklerinin LPO enzimi üzerindeki inhibisyon etkisini belirlemek için, enzim aktiviteleri ölçülerek her bir inhibitör için Lineweaver-Burk grafikleri çizildi; Ki sabiti ve inhibisyon tipleri bu çizilen grafiklerden bulunarak hesaplandı. Ki değerleri sırasıyla Metil benzoilsülfamat 0,70 µM, Metil (2-bromobenzoil) sülfamat 0,025 µM, Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat 0,018 µM, Metil (1-naphthoil) sülfamat 0,047 µM, Metil (2-metilbenzoil) sülfamat 0,043 µM, Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat 0,19 µM, Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat 0,39 µM, Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat 0,42 µM, Metil (4-metoksibenzoil) sülfamat 0,078 µM, Metil (isoquinoline-1-karbonil) sülfamat 0,075 µM olarak belirlendi. Metil (4-isopropilbenzoil)sülfamat bileşiği yarışmasız inhibisyon ve diğer maddeler yarışmalı inhibisyon gösterdiği kaydedildi. Metil (2-metilbenzoil)sülfamat bileşiği ise en etkili inhibitör özelliğini yarışmalı inhibisyon tipi LPO enzimi üzerine 0.018 ± 0.024 µM Ki değeri ile göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Enzim inhibisyonu, laktoperoksidaz, memeli sütleri, sülfamat

Inhibition Profile of Lactoperoxidase Enzyme on Sulfamate Derivatives

Abstract

They are found in many natural products and active ingredients that contain a sulfamate skeleton. Recently, due to the functional groups of sulfamates compounds, they have received more attention from the material scientist and pharmacologist. Due to their metabolic functions, peroxidases (POD) are important in enzymatic reactions and clinical diagnoses in the food and pharmaceutical industry. Lactoperoxidase (LPO, EC 1.11.1.7) is a member of the peroxidase family. This enzyme is an oxidoreductase found in milk, saliva and

* Sorumlu Yazar: Sinop Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Laboratuvar Teknikleri, Sinop, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3851-9601, husanmaz@sinop.edu.tr

tears and has an important role in protecting the gut systems and mammary glands of newborns against pathogenic microorganisms. The LPO enzyme from mammalian milk is very important in suppressing the growth of bacteria and promoting bacterial inhibition. Inhibition of bacterial growth of bovine LPO is attributed to the peroxidase system containing H₂O₂ and thiocyanate. The antimicrobial effect of this system occurs naturally in milk. In antibacterial studies on LPO enzyme, LPO-thiocyanate and peroxide system has been found to cause a significant inhibition of pathogenic bacteria. LPO has many application areas. Peroxidases can be used as preservatives in both food and pharmacological applications, and are used in the milk industry for milk preservation during transport in milk processing plants. The aim of this study is to determine the in vitro effects of Methyl benzoylsulfamate, Methyl (2-bromobenzoyl) sulfamate, Methyl (3-phenylpropanoyl) sulfamate, Methyl (1-naphthoyl) sulfamate, Methyl (2-methylbenzoyl) sulfamate, Methyl (2-iodobenzoyl) sulfamate, Methyl (2-phenyl), Methyl (4-isopropylbenzoyl) sulfamate, Methyl (4-methoxybenzoyl) sulfamate and Methyl (isoquinoline-1-carbonyl) sulfamate compounds on LPO enzyme. To determine the inhibition effect of these sulfamate derivative compounds on the LPO enzyme, Lineweaver-Burk plots were drawn for each inhibitor by measuring enzyme activities; K_i constant and inhibition types were calculated from these plotted graphs. K_i values were determined as Methyl benzoylsulfamate 0.70 µM, Methyl (2-bromobenzoyl) sulfamate 0.025 µM, Methyl (3-phenylpropanoyl) sulfamate 0.018 µM, Methyl (1-naphthoyl) sulfamate 0.047 µM, Methyl (2-methylbenzoyl) sulfamate 0.043 µM, Methyl (2-methylbenzoyl) sulfamate 0.043 µM -Iodobenzoyl) sulfamate 0.19 µM, Methyl (2-phenylbutanoyl) sulfamate 0.49 µM, Methyl (4-isopropylbenzoyl) sulfamate 0.42 µM, Methyl (4-methoxybenzoyl) sulfamate 0.078 µM, Methyl (isoquinoline-1-carbonyl) sulfamate 0.075 µM, respectively. Methyl (4-isopropylbenzoyl) sulfamate compound was noted to exhibit non-competitive inhibition and other substances showed competitive inhibition. Methyl (2-methylbenzoyl) sulfamate compound, on the other hand, showed its most effective inhibitory feature on competitive competitive inhibition type LPO enzyme with a value of K_i 0.018 ± 0.024 µM.

Keywords: Enzyme inhibition, lactoperoxidase, mammalian milk, sulfamate

1. Giriş

Sülfamat grupları birçok doğal ürün ve ilaç molekülleri de bulunmaktadır (Ilardi et al. (2014)). Örneğin, 5'-O- (N-isoleucil) sülfamoil nükleosid türevleri antibakteriyel aktiviteye sahiptirler (Peterson et al. (1992)). Sülfamat grubu içeren Avasimibe ateroskleroz ve hiperlipidemi tedavisinde kullanılmaktadır (Llaverias et al. (2003)). Ayrıca, sülfamat grupları amid, karbamat ve sülfonamid için yararlı bir biyoizosterik ikame görevi görebilmektedir (Albright et al. (1983)).

Biyolojik sistemlerin katalizörleri olan enzimler kimyasal dönüşümleri sağlayan protein yapısında moleküllerdir. İnsan genomunun büyük bir kısmı enzimlerin şifrelerini bulundurmaktadır (Lehninger, (2005)). Enzimlerin en önemli fonksiyonları katalitik güçleri ve spesifik olmalarıdır. Birçok enzimin aktiviteyi spesifik moleküllerin ve iyonların bağlanmasıyla inhibe edilebilir. Enzimlerin biyolojik sistemlerde inhibe olması kontrol mekanizmasıdır. Ayrıca birçok ilaç toksik moleküller enzimleri inhibe edebilirler. (Berg et al. (2014)). Canlı hücrelerde metabolik reaksiyonların yürüyebilmesi için, serbest radikallere ve oksijen metabolizmasının toksik etkilerine karşı korunması gerekir. Bu koruma sisteminin başında, süperoksitdismutaz, katalaz, glutatyon peroksidaz, glutatyon redüktaz, proteazlar, fosfolipaz ve peroksidazlar gibi antioksidan enzimler ve tokoferol, ubikinon gibi antioksidan moleküller etkilidir. Antioksidan enzim ve moleküller aerobik hücrelerde lipid peroksidasyonu ve diğer serbest radikal aracılı reaksiyonları inhibe ederek hücreleri oksidatif strese karşı korurlar. Antioksidanlar, lipid peroksidasyonu gibi çoğu kronik hastalığın ilerlemesine engel olurlar (Gülçin et al. (2010a)).

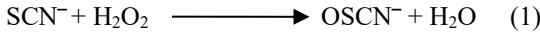
Peroksidazlar (POD: H₂O₂ - Oksidoredüktaz E.C.1.11.1.7), oksidoredüktaz enzimleridir. Metabolizma sırasında oluşan reaktif oksijen türleri enzimler sayesinde zararsız moleküllere dönüşürler (Davies, (1995); Champe et al. (2007)). Peroksidazlar antioksidan özellik göstererek elektron alıcısı olarak hidrojen peroksiti kullanan organik ve inorganik substratların aralarında gerçekleşen oksidasyonu katalizlerler (Hussain et al. (1995)). Peroksidazlar çok yaygın olarak prokaryotlarda, ökaryotlarda ve fotosentetik hücrelerde bulunurlar. (Van Huystee, (1987)).

Memelilerdeki peroksidaz enzimleri; sütte, tükürük bezlerinde ve göz yaşında; LPO (Kumar and Bhatla, (1995)), lökositlerde, trombositlerde, karaciğerde ve dalakta; miyeloperoksidaz, uterus, akciğer duvarlarında, sitoplazma ve mitokondrielerde; glutatyon peroksidaz, mikrozoimler ile lizozomlarda; peroksidazlar lokalize olmuştur (Pütter and Becker, (1987)).

Peroksidaz ailesinin bir üyesi olan Laktoperoksidaz (LPO, E.C. 1.11.1.7), inek ve insan sütünün normal bir bileşenidir. Memelilerin süt, tükürük ve gözyaşı bezleri ile bunlara ait salgılarda bulunmakta ve hem kimyasal hem de immünojenik olarak benzer özellikler göstermektedir. Patogen mikroorganizmalara karşı yeni doğanların bağırsak sistemlerini ve meme bezlerini korumada önemli bir role sahiptir (Kumar and Bhatla, (1995)).

LPO enzimi % 8-10 karbonhidrattan oluşan bir glikoproteindir. LPO bazik bir proteindir ve izoelektrik pH değeri 9,2'dir (Kussendrager and van Hooijdonk, (2000)). LPO, 612 amino asit kalıntısı, tek bir hem protez grubu, dört veya beş karbonhidrat zinciri içeren tek bir polipeptid zincirinden oluşur (Paul et al.1985) ve yaklaşık 78 kDa molekül ağırlığı ile toplam kütleinin yaklaşık % 10'unu oluşturur. (Elagamy et al. (1992); Reiter and HaErnuly, (1984); Sisecioglu et al. (2010)). Katalitik merkezdeki hem grubu protoporfirin IX dur ve polipeptid zincirine disülfid köprüsü boyunca kovalent olarak bağlanmıştır (Thanabal and La Mar, (1989)). LPO enzimidaki demir bileşimi 0,07 % dir (Booth et al. (1989)).

LPO, tiyosiyanatı, hipotiyosiyanata okside etmek için, hidrojen peroksitten yararlanan, çeşitli anatomik kısımlarda aktive olur (Paul et al. (1985)). Psödohalojenler, tiyosiyanatlar veya halojenler, enzim için bu gibi antimikrobiyal etkileri gösteren ikinci substratlar olarak işlev görürler (Reiter and Perraudin, (1991)). Bu enzim üzerine yapılan antibakteriyel çalışmalarda LPO-tiyosiyanat ve peroksid sisteminin patojenik bakterilerde önemli derecede inhibisyona sebep olduğu tespit edilmiştir (Jacob et al. (1998)). Bu sistemin aktivasyonu iki reaksiyon maddesinin tiyosiyanat ve hidrojen peroksid konsantrasyonu ile orantılıdır ve antimikrobiyal etkisi sütte doğal olarak oluşur. LPO hidrojen peroksid varlığında, tiyosiyanatın antibakteriyel özelliklere sahip hipotiyosiyanata dönüşmesini katalize eder (Haddain et al. (1996)).



LPO enziminin birçok bakteri ve mantar suşunu yok ettiği bilinmektedir (Gulcin et al., 2006). LPO enzimi geniş bir antifungal aktivite gösterir (Jacob, (1998); Sisecioglu, (2009)). Mastit memelilerde bakteri inflamasyonudur. Birkaç antibakteriyel ve antifungal suş üzerinde farklı konsantrasyonlarda tiyosiyanat-H₂O₂ maddesinin etkileri, bu süt endüstrisi sorununu çözmek için incelenmiştir (Uguz and Ozdemir, (2005); Sisecioglu (2010)). LPO enziminin, tiyosiyanat-H₂O₂ sistemi ile gerçekleşen bu reaksiyon sitoplazmik membranı etkileyerek enzimlerin aktivitesini inhibe ederek ve bakteriyel büyümeyi hücre zarlarına zarar vererek azaltabilirler (Sharma, et al., (2013)).

LPO enziminin biyolojik önemi, mikroorganizmaların istilasına karşı doğal bir koruma sistemi içermesi, hayvan hücrelerini çeşitli zararlar ve peroksidatif etkilere karşı koruması olarak belirlenmiştir (Reiter and HaÈrnulv, 1984; Wolfson and Sumner, 1993). LPO enzimi, yenidoğan bebeklerinin sindirim sistemindeki patojen mikroorganizmalara karşı savunma sisteminin önemli bir rol oynar. Bu enzim memelilerin immün olmayan biyolojik savunma sisteminin doğal bir bileşeni olup, tiyosiyanat iyonunun antibakteriyel hipotiyosiyanata oksidasyonunu katalize eder (Kumar and Bhatla, 1995).

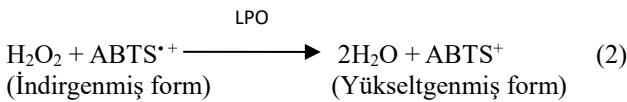
Bu çalışmada LPO enzimi üzerine, yaygın olarak antioksidan gıda katkı maddeleri, ön ilaçlar veya ilaçlar olarak kullanılan sülfamat türevi maddelerin LPO üzerindeki inhibitör etkilerini araştırması amaçlandı. Bu sülfamat türevi maddeleri, önemli biyoaktif bileşiklerdir ve bunlar çeşitli farmakolojik faaliyetlerle ilişkilendirilirler. Bu amaçla LPO enzimi çeşitli memeli sütlerinden saflaştırılmış, daha sonra bu sülfamat türevi maddeler için IC₅₀ değerleri, Ki sabitleri ve inhibisyon tipleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Sülfamat türevi maddeler grubumuz tarafından literatürdeki gibi sentezlenmiştir (Atmaca, (2019)). LPO enzimi ticari olarak satın alındı.

2.1. Laktoperoksidaz Aktivitesinin Ölçümü

Aktivite ölçümü, H₂O₂ tarafından 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonik asit) (ABTS) kromojenik substratın yükseltgenmesi ve oluşan renkli bileşiğin meydana getirdiği absorbans artışının 412 nm'de izlenmesi esasına dayanır (Shindler and Bardsley, (1975)).



Aktivite tayininde şu prosedür takip edildi: 3 mL'lik spektrofotometre küvetine 2.8 mL 1 mM ABTS ve 0.1 mL 3.2 mM H₂O₂ pipetlendi. 0.1 mL enzim çözeltisi ilave edilerek, küvet alt üst edildikten sonra spektrofotometreye yerleştirilerek köre karşı 412 nm'de absorbans artışı, 3 dakika süreyle her 60 saniyede bir olmak üzere kaydedildi. Kör olarak enzim çözeltisi yerine 0.1 M fosfat tamponu pH=6,0 konularak diğer çözeltiler aynı oranda kullanıldı. Aktivite hesabında 1 dakikalık absorbans artışı esas alınmıştır.

2.2. İn Vitro İnhibisyon Araştırmaları

Sabit substrat konsantrasyonunda (ABTS) 5 farklı inhibitör konsantrasyonunda her bir inhibitör için aktivite değerleri hesaplandı, %Aktivite ve buradan %50 inhibisyona sebep olan inhibitör konsantrasyonu değerleri IC₅₀ çalışıldı. Daha sonra 5 farklı sabit substrat konsantrasyonun da ve her bir inhibitör için 3 farklı sabit inhibitör konsantrasyonlarında Linewaver-Burk grafikleri yardımıyla Ki değerleri tespit edildi.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Sülfamat bileşikleri, sülfon grubuna bir amino ve bir -OR grubunun bağlı olduğu biyolojik aktiviteye sahip bileşiklerdir (Hartwig 1998). İhtiva ettikleri bu gruplar ilaç olma özelliği kazandırmakta ve günümüzde anti-kanser tedavisinde, antiflemetuar, antibakteriyel, antiviral vb. kullanılan ilaçların yapılarında bulunduğu bilinmektedir (Goddard-Borger ve Stick, (2007); Atmaca, (2020)). Bu sebeple sülfamat bileşikleri hem sentetik farmasötik kimya alanında hem de kullanım alanları bakımından mekanistik organik kimya alanında oldukça önemli bir yere sahiptirler (Daryadel ve ark., (2018)). Bununla birlikte, sülfamat türevi bileşikler LPO enzim aktivitesi üzerindeki etkisi bilinmemektedir. LPO üzerine bu maddelerin inhibisyon etkileri incelenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Sülfamat türevi bileşiklerinin LPO enzim inhibisyon etkisi

	IC ₅₀ Değeri nM	Ortalama Ki sabiti nM	İnhibisyon türü
Metil benzoilsülfamat	0,70 μM	0,70 ± 0,070 μM	Yarışmalı
Metil (2-bromobenzoil) sülfamat	0,025 μM	0,025 ± 0,050 μM	Yarışmalı
Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat	0,018 μM	0,018 ± 0,0041 μM	Yarışmalı
Metil (1-naphthoil) sülfamat	0,047 μM	0,047 ± 0,0060 μM	Yarışmalı
Metil (2-metilbenzoil) sülfamat	0,043 μM	0,043 ± 0,0052 μM	Yarışmalı
Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat	0,19 μM	0,19 ± 0,0404 μM	Yarışmalı
Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat	0,39 μM	0,39 ± 0,085 μM	Yarışmalı
Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat	0,42 μM	0,42 ± 0,382 μM	Yarışmasız
Metil (4-metoksibenzoil) sülfamat	0,078 μM	0,078 ± 0,0422 μM	Yarışmalı
Metil (isoquinoline-1-karbonil) sülfamat	0,075 μM	0,075 ± 0,024 μM	Yarışmalı

Sonuçlardan da görüleceği üzere (Çizelge 1) Metil benzoilsülfamat, Metil (2-bromobenzoil) sülfamat, Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat, Metil (1-naphthoil) sülfamat, Metil (2-metilbenzoil) sülfamat, Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat, Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat, Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat, Metil (4-metoksibenzoil) sülfamat ve Metil (isoquinoline-1-karbonil) sülfamat bileşikleri için en küçük IC₅₀ ve Ki değerleri Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat için elde edilmiştir. Sülfamatlar biyoaktif bileşiklerin önemli grubunu oluşturmaktadır. Sülfamatlar antioksidan davranışına ve potansiyel sağlığa ilgili yararına artan ilgi vardır. Fakat yürütülen bazı çalışmalarda sülfamat bileşiklerin çeşitli zararlı etkileri belirtilmiştir. Sülfamat içeren besinleri tüketirken dikkatli olmalıyız, çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir ki bu moleküllerin farklı enzimler üzerine etkisi vardır.

Bazı sülfamat maddelerin enzim aktivitesi üzerindeki önleyici etkileri in vitro şartlar altında test edildi; IC₅₀ değerleri aktivite % - [inhibitör] grafikleri kullanılarak hesaplandı. Metil benzoilsülfamat, Metil (2-bromobenzoil) sülfamat, Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat, Metil (1-naphthoil) sülfamat, Metil (2-metilbenzoil) sülfamat, Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat, Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat, Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat, Metil (4-metoksibenzoil)sülfamat ve Metil (isoquinoline-1-karbonil)sülfamat bileşikleri LPO enzimi inhibisyonunun IC₅₀ değerleri sırası ile 33 µM, 36,47 µM, 23,89 µM, 24,75 µM, 69,3 µM, 40,76 µM, 53 µM, 63 µM, 43,31 µM, 36,47 µM bulunmuştur. Ki değerleri Lineweaver-Burk eğrileri kullanılarak hesaplanarak, Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de gösterildiği gibi, LPO enzimi için, Metil benzoilsülfamat, Metil (2-bromobenzoil)

4. Sonuç

Sonuç olarak, Metil benzoilsülfamat, Metil (2-bromobenzoil) sülfamat, Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat, Metil (1-naphthoil) sülfamat, Metil (2-metilbenzoil) sülfamat, Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat, Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat, Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat, Metil (4-metoksibenzoil) sülfamat ve Metil (isoquinoline-1-karbonil) sülfamat bileşikleri LPO enziminin aktif bölgesine bağlanarak inhibisyona neden olmuştur. LPO enziminin biyosidal aktivitesi, katalize ettiği kimyasal reaksiyonların ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Reaksiyonun ana ürünü olan hipotiyosiyanat, çeşitli proteinlerin tiyol grupları ile etkileşime girer ve bu da patojenlerin hayatta kalması için önemli bir role sahiptir. LPO enziminin bakteriler üzerindeki etkisi, sülfhidrilin oksidasyonundan önegelir. -SH gruplarının oksidasyonu bakteriyel sitoplazmik zarın glikoz, potasyum iyonları, amino asitler ve peptidleri taşıma yeteneğini kaybetmesine neden olur. Bu çalışma gösteriyor ki bu sülfamat bileşikleri LPO enziminin aktivitesini azaltmaktadır. LPO enziminin aktivitesi ve tiyosiyanat bileşimi laktasyon periyodunda önemlidir. Bundan dolayı LPO enzimi yenidoğanların bağışıklık sisteminde büyük rol oynar. Bu çalışmada kullanılan moleküllerden Metil benzoilsülfamat, Metil (2-bromobenzoil) sülfamat, Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat, Metil (1-naphthoil) sülfamat, Metil (2-metilbenzoil) sülfamat, Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat, Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat, Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat, Metil (4-metoksibenzoil) sülfamat ve Metil (isoquinoline-1-karbonil) sülfamat bileşikleri yapı itibarı ile daha fazla sulfon, amid ve -OR grubuna sahiptir ve LPO enzimini daha iyi inhibe ettiği görülmektedir. Bu ise enzim aktivitesinin azalması immun sistemin zayıflaması anlamına gelmektedir. Anti-kanser tedavisinde, antiflemetuar,

sülfamat, Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat, Metil (1-naphthoil) sülfamat, Metil (2-metilbenzoil) sülfamat, Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat, Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat, Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat, Metil (4-metoksibenzoil) sülfamat ve Metil (isoquinoline-1-karbonil) sülfamat bileşikleri maddeleri Ki sabitleri $0,018 \pm 0,0041 \mu\text{M}$ ile $0,70 \pm 0,070 \mu\text{M}$ aralığındaydı. Metil benzoilsülfamat, Metil (2-bromobenzoil) sülfamat, Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat, Metil (1-naphthoil) sülfamat, Metil (2-metilbenzoil) sülfamat, Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat, Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat, Metil (4-metoksibenzoil) sülfamat ve Metil (isoquinoline-1-karbonil) sülfamat bileşikleri yarışmalı inhibisyon Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat yarışmasız inhibisyon etkisi göstermiştir. Bilindiği üzere sülfamatlar, sulfon grubuna amin ve -OR grubunun bağlı olan bileşiklerdir (Atmaca 2019). Bu çalışmadan kinetik sonuçlar (IC₅₀ ve Ki) incelendiğinde görülüyor ki Metil benzoilsülfamat, Metil (2-bromobenzoil) sülfamat, Metil (3-fenilpropanoil) sülfamat, Metil (1-naphthoil) sülfamat, Metil (2-metilbenzoil) sülfamat, Metil (2-iyodobenzoil) sülfamat, Metil (2-fenilbutanoil) sülfamat, Metil (4-isopropilbenzoil) sülfamat, Metil (4-metoksibenzoil) sülfamat ve Metil (isoquinoline-1-karbonil) sülfamat bileşikleri sütü inhibe etmiştir. Metil benzoilsülfamat, Metil (2-bromobenzoil)sülfamat, Metil (3-fenilpropanoil)sülfamat, Metil (1-naphthoil)sülfamat, Metil (2-metilbenzoil)sülfamat, Metil (2-iyodobenzoil)sülfamat, Metil (2-fenilbutanoil)sülfamat, Metil (4-isopropilbenzoil)sülfamat, Metil (4-metoksibenzoil)sülfamat ve Metil (isoquinoline-1-karbonil)sülfamat bileşikleri için Ki sonuçları kıyaslandığında LPO enziminin en güçlü inhibitörü Metil (3-fenilpropanoil)sülfamat bileşiğinin olduğu görülmüştür ve $0,018 \pm 0,0041 \mu\text{M}$ seviyede inhibe ettiği bulunmuştur.

antibakteriyel, antiviral vb. kullanılan ilaçların yapılarında bulunduğundan dolayı sülfamat bileşiklerin kullanımı emziren annelerin emzirme süreleri boyunca dikkat edilmelidir.

Kaynakça

- Albright, J.D., Devries, V.G., Du, M.T., Largis, E.E., Miner, T.G., Reich, M.F., Shepherd, R.G. (1983). Potential antiatherosclerotic agents. 2. (Aralkylamino)- and (alkylamino)benzoic acid analogs of cetaben J. Med. Chem. 26 1393e1411.
- Atamer M, Kocak C, Cimer A, Odabasi S, Tamucay B, Yamaner N. (1999). Some quality characteristics of Kasar cheese manufactured from milk preserved by activation of lactoperoxidase/thiocyanate/hydrogen peroxide (LP) system. *Milchwissenschaft*, 54: 553-556.
- Atmaca, U. (2019). Efficient and one-pot synthesis of novel sulfamates from carboxylic acids. *Tetrahedron* 75 (34), 130467.
- Atmaca, U. (2020) Tek Kapta Yeni Bir Yöntemle Alkollerden Potansiyel Biyolojik Aktif Azidosülfonil Bileşiklerinin Sentezi. *Journal of the Institute of Science and Technology*. 0(1): 345-356.
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Stryer, L. (2014). Biyokimya. *Palme Yayıncılık*, 241-247p, Ankara.
- Booth, KS, Kimura, S., Lee, HC., Ikeda-Saito, M., & Caughey, WS. (1989). Bovine myeloperoxidase and lactoperoxidase each contain a high affinity binding site for calcium. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 160, 879±902.
- Champe, P.C., Harvey, R.A., Ferrier, D.R. (2007). Lippincott's Illustrated Reviews Serisinden: Biyokimya. *Nobel Tıp Kitapevleri*, Bursa

- Daryadel S, Atmaca U, Taslimi P, Gulcin I, Celik M. (2018). Novel sulfamate derivatives of menthol: Synthesis, characterization, and cholinesterases and carbonic anhydrase enzymes inhibition properties. *Archiv Der Pharmazie*. 351.
- Davies, KJ. (1995). Oxidative stress: the paradox of aerobic life. *Biochem Soc Symp*. 61:1-31.
- de Wit JN, van Hooydonk ACM. (1996). Structure, functions and applications of lactoperoxidase in natural antimicrobial systems. *Netherlands Milk & Dairy Journal*. 50: 227±244.
- Demir Y, Beydemir Ş. (2015). Purification, refolding, and characterization of recombinant human paraoxonase-1. *Turkish Journal of Chemistry*. 39(4): 764-776.
- Elagamy, E., Ruppanner, R., Ismail, A., Champagne, C.P., and Assal, R. (1992). Antibacterial and antiviral activity of camel milk protective proteins. *J. Dairy. Res*. 59, 169-175.
- Goddard-Borger ED, Stick RV. (2007). An efficient, inexpensive, and shelf-stable diazotransfer reagent: Imidazole-1-sulfonyl azide hydrochloride. *Organic Letters*. 9: 3797-800
- Gulcin I, Mshvildadze V, Gepdiremen A, Elias R. (2006). Screening of antioxidant and antiradical activity of monodesmosides and crude extract from *Leontice smirnowii* Tuber. *Phytomedicine*. 13: 343-351.
- Haddain MS, Ibrahim SA, Robinson RK. (1996). Preservation of raw milk by activation of the natural lactoperoxidase systems. *Food Control*. 7: 149-152.
- Gülçin, İ., Kirecci, E., Akkemik, E., Topal, F., Hisar, O. (2010a). Antioxidant and Antimicrobial Activities of an Aquatic Plant: Duckweed (*Lemna minor* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 34, 175-188.
- Haddain, M.S., İbrahim, S.A., and Robinson, R.K. (1996). Preservation of raw milk by activation of the natural lactoperoxidase systems. *Food Control*. 7, 149-152.
- Hartwig JF. (1998). Carbon-heteroatom bond-forming reductive eliminations of amines, ethers, and sulfides. *Accounts of Chemical Research*. 31: 852-60.
- Hussain S, Slikker W, Ali SF. (1995). Age related changes in antioxidant enzymes, superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase and glutathione in different region of mouse brain. *International Journal of Developmental Neuroscience*. 13: 811-817.
- Ilardi, E.A. Vitaku, E. Njardarson, J.T. (2014). *J. Med. Chem*. 57, 2832e2842.
- Jacob BM, Monoj NK, Haridas M. (1998). Antibacterial property of goat milk lactoperoxidase. *Indian Journal of Experimental Biology*. 31: 808.
- Kumar R, Bhatla KL. (1995). Purification, crystallization and preliminary x-ray crystallographic analysis of lactoperoxidase from buffalo milk. *Acta Crystallographica*. 51: 1094.
- Kussendrager KD, van Hooijdonk ACM. (2000). Lactoperoxidase: physico-chemical properties, occurrence, mechanism of action and applications. *British Journal of Nutrition*. 84: 19-25.
- Lehninger, A.L., Nelson, D.L., Cox, M.M. (2005). Principles of biochemistry, 3. Baskıdan çeviri (Çeviri editörü: Kılıç N.), *Palme Yayıncılık*.
- Llaverias, G., Laguna, J.C. Alegret, M. Cardiovasc. (2003) *Drug Rev*. 21, 33e50
- Paul, K.G., and Ohlsson, P.I. (1985). In the Lactoperoxidase System: Pruitt KM, and Tenovue YO, (Eds.) *Chemistry and Biological Significance, New York, USA: Marcel Dekker Inc*. p.15-29.
- Peterson, E.M., Brownell, J., Vince, R. (1992). *J. Med. Chem*. 35, 3991e4000.
- Pütter, J., and Becker, R. (1987), *Methods of Enzymatic Analysis: Peroxidases* Bergmeyer, third edition, VCH, New York, s.286.
- Reiter, B., & HaÈrnulv, G. (1984). Lactoperoxidase antibacterialsystem: natural occurrence, biological functions and practical applications. *Journal of Food Protection*, 47, 724±732.
- Reiter, B., & Perraudin, JP. (1991). Lactoperoxidase: biological functions. In *Peroxydases in Chemistry and Biology*. pp. 143±180. Boca Raton: CRC Press.
- Sharma, S., Singh, A. K., Kaushik, S., Sinha, M., Singh, R. P., et al. (2013). Lactoperoxidase structural insights into the function, ligand binding and inhibition. *International journal of biochemistry and molecular biology*. 4(3), 108.
- Shindler, J.S., and Bardsley, W.G. (1975). Steady-state kinetics of lactoperoxidase with ABTS as chromogen. *Biochem. and Biophys. Res. Comm*. 67, 1307.
- Sisecioglu M, Cankaya M, Ozdemir H. (2009). Effects of some vitamins on lactoperoxidase enzyme activity. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 79: 188-194.
- Sisecioglu, M., Gulcin, I., Cankaya, M., Atasever, A., & Ozdemir, H. (2010). The effects of norepinephrine on lactoperoxidase enzyme. *Scientific Research and Essays*. 5, 1351-1356.
- Thanabal, V., & La Mar, GN. (1989) A nuclear Overhauser effect investigation of the molecular and electronic structure of the heme crevice in lactoperoxidase. *Biochemistry*, 28, 7038±7044.
- Uguz, M.T., & Ozdemir, H. (2005). Purification of bovine milk lactoperoxidase and investigation of antibacterial properties at different thiocyanate mediated. *Applied. Biochemistry and Microbiology*. 41, 397-401.
- Van Huystee, R.B. (1987). Some molecular aspects of plant peroxidase biosynthetic studies. *Ann. Rev. Plant. Physiol*, 38, 205.
- Wolfson, LM., & Sumner, SS. (1993). Antimicrobial activity of the lactoperoxidase system. *A review. Journal of Food Protection*. 56, 887±892.



Mengen'de Yetişen Bazı Yabani Mantar Türlerinin Doğal Boya Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi

Filiz Yıldız^{1*}, Nigar Merdan², Habip Dayıoğlu³, Emine Dilara Koçak⁴

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Bolu, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7757-8888), akin_f@ibu.edu.tr

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Moda ve Tekstil Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7246-4849), nmerdan@ticaret.edu.tr

³ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Moda ve Tekstil Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2069-4412), hdayioğlu@ticaret.edu.tr

⁴ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0656-6430), dkocak@marmara.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 1 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 12 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.762480)

ATIF/REFERENCE: Yıldız, F. Merdan, N. Dayıoğlu, H. & Koçak D.E. (2020). Mengen'de Yetişen Bazı Yabani Mantar Türlerinin Doğal Boya Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 751-759.

Öz

Bu çalışmada, doğal boya olarak chantarelle (*Cantharellus Cibarius*), porcini (*Boletus Edulis*) ve trumpet (*Craterellus Tubaeformis*) yabani mantarların ekstraksiyon ürünleri kullanılmıştır. *Cantharellus Cibarius*, *Boletus Edulis* ve *Craterellus Tubaeformis* türlerinden mantarlar Bolu Mengen ilçesinden toplanmış, yıkandıktan sonra etüvde (40°C ± 2°C) 8 saat kurutulmuştur. Materyal olarak 160 denye % 100 ipek iplik kullanılmıştır. Boyamalarda kullanılacak ipek iplikler laboratuvar tipi boyama makinesinde (Termal) 20 g/l zeytinyağı sabun çözeltisi 1 saat kaynatılmış ve ardından materyale sıcak ve soğuk yıkama işlemleri yapılarak materyaller kurutulmuştur. Boyamadan önce ipek iplikler bakır sülfat, potasyum alüminyum sülfat, potasyum dikromat, kalay (II) klorür, demir (II) klorür ve demir (III) klorür ile mordanlanmıştır. Çektirme yöntemine göre, iplikler laboratuvar boyama makinesinde 60 dakika kaynama sıcaklığında boyanmış, flotte içerisinde soğutulmaya bırakılarak 12 saat sonra örneklere, soğuk taşar yıkama, sıcak yıkama, kaynar sabunlama ve soğuk durulama işlemleri yapılmıştır. Kurutma işleminden sonra renk koordinatları oluşturmak için spektrofotometre (Datacolor Spectra Flash 600 plus- D65/ 10°) ile renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Boyanmış örneklerin yıkama, sürtme ve ışık haslıkları incelenmiştir. Sonuç olarak: Mordan maddelerinin, toplam renk farklılığı (ΔE^*) değişiminde etkili olduğu belirlenmiş ve en yüksek toplam renk farklılık değeri, bakırsülfat mordanının kullanıldığı boyamada elde edilmiştir. ($\Delta E^*=10.2884$). Açıklık – koyuluk (ΔL^*) eksenine göre renk değerlendirilmesinde, potasyum bikromat ile mordanlanmış örnek dışında, diğer boyamalarda renk standarttan daha açık elde edilmiştir.

Chantarelle, *porcini* ve *trumpet* mantarlarından elde edilen boyarmaddeler ile ipekli materyalin boyanmasında *Renk Kuvveti* (K/S) değerleri karşılaştırıldığında; en iyi renk veriminin demir (II) klorür ile mordanlandıktan sonra porcini mantarından elde edilen doğal boya ile boyanmış ipek materyalde elde edildiği görülmektedir. Mordansız boyama ve demir (III) klorür, potasyum dikromat ve kalay klorür mordanları ile yapılan tüm boyamalarda renk verimi oldukça düşüktür.

Porcini mantarından elde edilmiş doğal boya ile boyanmış örneklerde, en yüksek toplam renk farklılık değerinin, demir (II) klorür mordanının kullanıldığı boyamada elde edildiği görülmüştür. *Trumpet* mantarından elde edilen doğal boya ile boyanmış ipek örneklerinde; en yüksek toplam renk farklılık değeri, bakır sülfat mordanının kullanıldığı boyamada elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Boya, Yabani Mantar, İpek İplik, Renk Özellikleri.

* Filiz YILDIZ: akin_f@ibu.edu.tr

Evaluation of Some Wild Mushroom Species Growing in Mengen as a Natural Dye Source

Abstract

In this study, extraction products of *chantarelle* (*Cantharellus Cibarius*), *porcini* (*Boletus Edulis*) and *trumpet* (*Craterellus Tubaeformis*) wild mushrooms were used as a natural dyes. *Cantharellus Cibarius*, *Boletus Edulis* and *Craterellus Tubaeformis* mushroom species were collected from Bolu Mengen district, washed and then dried in the oven ($40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) for 8 hours. 100% silk treat with 160 denye was used as a material to be dyed. The silk treads to be used in dyeing, were boiled in a laboratory type dyeing machine (Emsey Teknik) by applying 20g/l olive oil soap solution for 60 minutes, and then the material was dried by performing hot and cold water washing processes. Before dyeing, silk treads were mordanted with copper sulphate, potassium aluminum sulphate, potassium dichromate, tin(II)chloride, iron(II)chloride and iron(III)chloride to see the effects of different mordants. According to the exhaustion method, the silk yarns were dyed in the laboratory dyeing machine for 60 minutes at boiling temperature (around 98°C), then left to cool in the dyeing liquor, finally followed cold overflow washing, hot washing and cold rinsing additionally. After drying the samples, color measurements were carried out with a spectrophotometer (Datacolor Spectra Flash 600 Plus-D65/10°) to create color coordinates. Color fastness to washing, rubbing and light of the dyed samples were examined. As a result, it was determined that mordant substances were effective in the change of total color difference (ΔE) and the highest value was obtained in the dyeing using copper sulphate mordant (ΔE 10.2884). In the evaluation of the color according to the lightness-darkness (ΔL) axis, the color was obtained lighter than the standard in other dyeings, except for the sample that was mordanted with potassium dichromate.

Comparing the color strength (K/S) values of the dyestuffs obtained from *chantarelle*, *porcini* and *trumpet* mushrooms on the dyed silk, it was observed that the best color yield was obtained in the silk material dyed with natural dye obtained from *porcini* mushroom after being mordanted with iron (II) chloride. The color yield was very low in the dyeing without mordant and all dyeing with iron (III) chloride, potassium dichromate and tin chloride mordants.

In the samples dyed with natural dyes obtained from *porcini* mushroom, the highest total color difference value was obtained in the dyeing using iron(II)chloride mordant. Silk samples dyed with natural dye obtained from *trumpet* mushroom, the highest total color difference value achieved in the dyeing using copper sulphate mordant.

Keywords: Natural Dye, Wild Mushroom, Silk Yarn, Colour Properties.

1. Giriş

Doğal boyarmaddelerin tekstil liflerinde kullanılması Hindistan ve Mezopotamya'da MÖ 4000 yıllarında başlamış, sentetik boyarmaddelerin sentezlenerek üretilmesine kadar önemini koruyarak 19. yüzyıl sonlarında önemini yitirmiştir. Sentetik boyarmaddelerin, çevreye vermiş olduğu zararlar ve alerjiye sebep olması gibi nedenlerle günümüzde doğal boyalara olan ilgi artmıştır (Santis ve Moresi, 2007). Bitkilerden, hayvanlardan, bakterilerden ve mantarlardan türetilen doğal boyaların biyo-bozunurluğu ve düşük alerjik reaksiyonları nedeniyle sentetik renklendiricilere biyo-uyumlu, güvenli ve yenilenebilir alternatifler olduğuna inanılmaktadır (Rather ve ark., 2016).

Doğal boya kaynağı olarak kullanılan birçok bitkinin renklilik ve haslık özelliklerinin incelendiği çalışmalar literatürde yer almaktadır (Mirjalili ve ark., 2011; Lee ve Kim 2004; Priti ve ark., 2013). İpeğin doğal boyarmaddelerle renklendirilmesinde, çok çeşitli mordan maddeleri kullanılmış ve bu maddelerin boyamaların renklilik özelliğine etkileri incelenmiştir (Vankar ve ark. 2007; Prabhu ve ark. 2011). Lifleri katyonikleştirme (Nakpathom ve ark., 2018), plazma ve fikse maddeleri ile ön işlem (Dayioğlu ve ark., 2015), ultrasonik enerji ve ozonla ön işlem (Benli ve Bahtiyari, 2015), gama ışınlarının boyamaya

etkisi (Bhatti ve ark., 2010) gibi doğal boyanın liflere ilgisini artırmak için bazı teknikler de geliştirilmiştir.

Birçok doğal boya bitkisinin antioksidan ve UV koruma özellikleri vardır. Antioksidan etkiden sorumlu yapıların fenolik asitler, flavonoidler, tokoferoller gibi fenolik gruplar olduğu bilinmektedir (Prusty, A.K. ve ark. 2010; Wang ve ark. 2009; Mongkholrattanasit ve ark. 2011; Mongkholrattanasit ve ark. 2011). Araştırmacılar, doğal boyarmaddelerin uygulamalarına ait ultrasonik enerji, mikrodalga enerjisi ve süperkritik karbondioksit ile boyama gibi birçok yeni yöntem geliştirmişlerdir (Vankar ve Shanker,2006; Elshemy 2011; Liu ve ark. 2018; Shahid ve ark. 2013).

Bu araştırmada, *chantarelle* (*Cantharellus Cibarius*), *porcini* (*Boletus Edulis*) ve *trumpet* (*Craterellus Tubaeformis*) yabani zehirli olmayan mantar ekstraktları ile boyanmış ipekli materyalin kolorimetrik ve haslık özellikleri incelenmiştir. Literatürde farklı kaynaklardan elde edilmiş doğal boyaların ipek ve diğer tekstillerin renklendirilmesinde kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma mevcut olmasına karşın, mantarların doğal boya olarak kullanıldığı çalışmalar daha azdır. *Dermocybe Sanguinea* mantarından antrakinin pigmentlerinin izolasyonu için basit bir enzimatik yöntem geliştirilerek glukozit formundaki emodin ve dermosinbin pigmentleri elde edilmiştir (Hynninen ve ark., 2000). *Sarcodon Imbricatus* (Rice ve Beebe, 1980), *Hydnellum Peckii* (Bessete ve Bessete, 2001), *Phaeolus Schweinitzii*

(Räisänen R. 2002), *Laetiporus Sulphureus* (Weber ve ark., 2004), *Ganoderma Applanatum*, *Coriolus Versicolor* ve *Amanita Muscaria* (Perumal, 2004) çeşitli liken ve mantarlarda bulunan pigmentlerin kimyasal yapıları (Raisanen, 2009), mantarlardan elde edilen doğal boyaların pamuk ve ipek kumaşlara uygulanabilirliği (Karuppan ve ark., 2014), bazı mantarlardaki doğal antrokinon emodin ve dermocybin yapılarının poliestere, poliamid ve yün boyamadaki renk ve haslık özellikleri (Raisanen ve ark., 2001; Raisanen ve ark., 2001), *Pycnoporus Sanguineus* mantarından mikro dalga enerjisi kullanılarak ekstrakte edilen doğal boyanın ipekli materyal için renk ve haslık özellikleri incelenmiştir (Ahmad ve ark., 2014). Mantarların tedavi etme ve boya üretim özellikleri, (Tidke ve ark., 2006), chaga mantar ekstraktına (*Inonotus obliquus*) uygulanan gama ışınlarının, renk ve antioksidan özelliklerini iyileştirdiği (Kim ve ark., 2009), Chanterelle Mushroom ve *Cantharellus cibarius* mantarlarının antioksidan aktivitesinin incelendiği (Ebrahimzadeh ve ark., 2015), Chanterelle ve *Cantharellus cibarius* mantarlarının iltihap tedavisi ve yara iyileştirici özellikleri (Nasiry ve ark., 2017), yabani mantar ekstrelerindeki toplam fenolik içeriği ile antioksidan aktiviteleri arasında ilişkinin incelendiği (Cheung ve ark., 2003) çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Ayrıca literatür de yenilebilir bir mantar türü olan *Pleurotus ostreatus*'un, sulu çözeltilerden Cr (VI) iyonlarının biyosorpsiyonu için biyosorbent olarak kullanılabilirliği üzerine çalışmada mevcuttur (Sarıkaya, 2019).

Bu çalışmada, doğal boya olarak *chantarelle* (*Cantharellus Cibarius*), *porcini* (*Boletus Edulis*) ve *trumpet* (*Craterellus Tubaeformis*) yabani mantarların ekstraksiyon ürünleri kullanılmıştır. *Cantharellus Cibarius*, *Boletus Edulis* ve *Craterellus Tubaeformis* türlerinden mantarlar Bolu Mengen ilçesinden toplanmış, yıkandıktan sonra etüvde (40°C ± 2°C) 8 saat kurutulmuştur. Materyal olarak 160 denyede % 100 ipek iplik kullanılmıştır. Boyamalarda kullanılacak ipek iplikler laboratuvar tipi boyama makinesinde (Termal) 20 g/l zeytinyağı sabun çözeltisi ile 1 saat kaynatılmış ve ardından materyale sıcak ve soğuk yıkama işlemleri yapılarak materyaller kurutulmuştur. Boyamadan önce ipek iplikler bakır sülfat, potasyum alüminyum sülfat, potasyum dikromat, kalay (II) klorür, demir (II) klorür ve demir (III) klorür ile mordanlanmıştır. Çektirme yöntemine göre iplikler, laboratuvar boyama makinesinde 60 dakika kaynama sıcaklığında boyanmış, flotte içerisinde soğutulmaya bırakılmıştır. 12 saat sonra örneklere, soğuk taşar yıkama, sıcak yıkama, kaynar sabunlama ve soğuk durulama işlemleri yapılmıştır. Kurutma işleminden sonra renk koordinatları oluşturmak için spektrofotometre (Datacolor Spectra Flash 600 plus- D65/ 10°) ile renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Boyanmış örneklerin yıkama, sürtme ve ışık haslıklarına bakılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak 160 denye iplik numarasında % 100 ipek iplik kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan mantarlar (*Cantharellus Cibarius*, *Boletus Edulis* ve *Craterellus Tubaeformis*) Bolu ili Mengen ilçesi ormanlarından elde edilmiştir. Çalışma da doğal boya olarak kullanılan mantarlar Şekil 1'de verilmiştir. Doğal boyarmadde olarak kullanılan mantarlar yapılarında Melanin, Karotenoid, Emodin, Dermocybin pigmentlerini içermektedir (Şekil 2).



Cantharellus Cibarius.(Anonim 1)

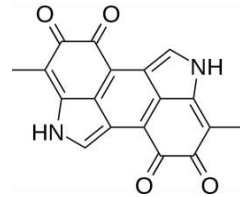


Boletus edulis Bull.(Anonim 2)

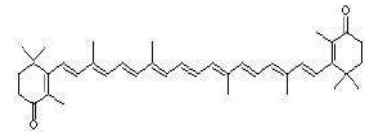


Craterellus tubaeformis (Anonim 3)

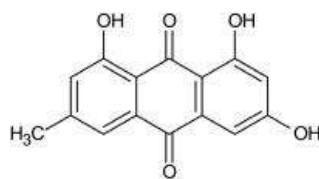
Şekil 1. Doğal Boya Kaynağı olarak Kullanılan Mantarlar



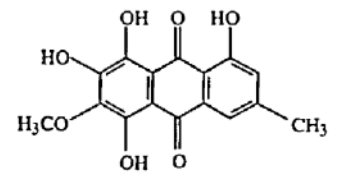
Melanin



Karotenoid



Emodin



Dermocybin

Şekil 2. Bazı Mantarlardaki Pigmentler

2.2. Metod

2.2.1. İpeğin Serisininin Uzaklaştırılması

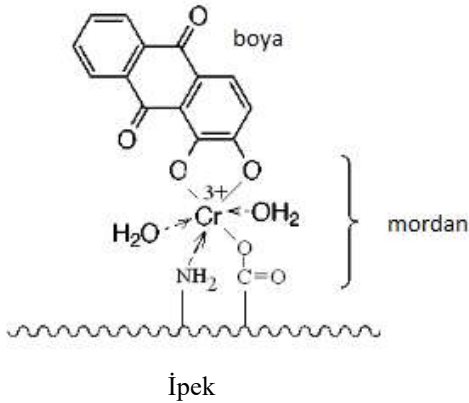
Boyamalarda kullanılacak 160 denyede 2 g ipek iplik, laboratuvar tipi boyama makinesinde (Termal) 20 g/l zeytinyağı sabun çözeltisi ile pH 8'de, 1/50 flotte oranındaki flottede 1 saat kaynama sıcaklığında çalışılmıştır. Ardından flotte oranı 1/50 olan flottelerde, ilk yıkama 60 °C'de 15 dakika, ikinci yıkama 40 °C'de 15 dakika ve son yıkamada oda sıcaklığında olmak üzere yıkanmıştır ve ipek iplik numuneleri etüv de 105°C'de 2 dakika kurutulmuştur.

2.2.2. Boyarmadde Ekstraksiyonu

Cantharellus Cibarius, *Boletus Edulis* ve *Craterellus Tubaeformis* mantarları destile suda, oda sıcaklığında (20 °C) yıkandıktan sonra etüvde (40°C ± 2°C) 8 saat kurutulmuştur. Daha sonra 40 g kurutulmuş mantar, flotte oranı 1/20 olacak şekilde 60 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra, manyenik karıştırıcı yardımı ile kaynama sıcaklığında 60 dakika kaynatılmış, süzülerek boyamaya hazır duruma getirilmiştir.

2.2.3. Mordanlama

Liflerin doğal boyalara karşı ilgisi fazla olmadığı için mordanlama işlemi yapılır. Metal mordanlar, tekstil materyallerinin doğal boya ile boyanmasında en çok tercih edilen maddelerdir. Bu maddeler boya ile lif arasında lif - mordan - boya kompleksini oluştururlar (Şekil 3).



Şekil 3. Mordan Yardımı ile Boya - Metal Kompleks Oluşumu

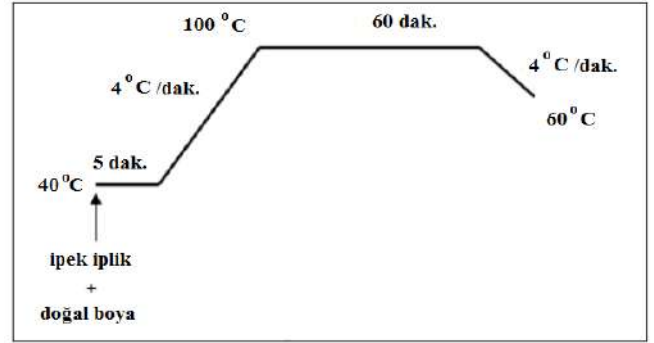
Bu çalışmada ipek örneklerinin mordanlanmasında ön mordanlama yöntemi kullanılmıştır. Mordanlama işleminde bakır sülfat, potasyum alüminyum sülfat, potasyum dikromat, kalay (II) klorür, demir (II) klorür ve demir (III) klorür olmak üzere 6 farklı mordan kullanılmıştır.

Mordanlama işleminde flotte oranı 1/40 olacak şekilde ayarlanmış ve bütün mordanlar için %1 mordan maddesi (materyal ağırlığına göre) kullanılarak, laboratuvar boyama makinesinde, 60 dakika kaynama sıcaklığında çalışılmış ve materyallerdeki fazla çözelti uzaklaştırılarak kendi halinde kurutulmaya bırakılmıştır.

2.2.4. İpek İpliklerinin Boyanması

Boyamalar çektirme yöntemine göre yapılmış ve elde edilen boya ekstraktları seyreltilmeden kullanılmıştır. Şekil 4'de verilen sıcaklık-zaman diyagramına göre 2 g ağırlıktaki ipek iplik örnekleri, flotte oranı 1/40 olan flottede boyanmıştır. Daha sonra flotte içerisinde 12 saat soğutulmaya bırakılmış ve örnekler

soğuk taşar yıkama (250 ml), 60°C sıcak yıkama (100ml), kaynar sabunlama (1 g/l noniyonik deterjan 100 ml) ve soğuk durulama (100ml) işlemleri yapılmıştır. Örnekler etüvde 105°C'de 2 dakika kurutulmuştur.



Şekil 4. Boyamaların Sıcaklık-Zaman Diyagramı

2.2.4. Ölçüm Metotları

Çalışmada elde edilen boyama örneklerinin toplam renk farklılıkları, renk kuvvetleri ve renk haslık değerleri belirlenmiş ve aşağıda açıklanmıştır.

2.2.4.1. Renk Ölçümleri

Renk ölçümleri için Datacolor SF 600 renk ölçüm cihazı ve Datamaster bilgisayar programı kullanılmıştır. CIELab sistemine göre, D65 illuminatı altında 10° standart gözlemci kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerde, mordanlanmadan boyanmış örnek standart olarak kabul edilmiştir. Renklerin ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* ve ΔH^* değerleri aşağıda verilen denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]} \quad (1)$$

Burada; ΔL^* açıklık – koyuluk, a^* kırmızılık – yeşillik, b^* sarılık – mavilik, ΔE^* toplam renk farklılığını ifade etmektedir.

Boyanmış örneklerin renk kuvveti değerleri denklem 2'de verilen (K/S) Kubelka-Munk eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$K/S = (1 - R)^2 / 2R \quad (2)$$

Burada, K absorpsiyon katsayısını, S saçınım katsayısını, R maksimum absorpsiyondaki dalga boyunda lifin reflektans değerini ve K/S ise renk kuvvetini ifade etmektedir.

2.2.4.2. Renk Haslık Ölçümleri

Boyanmış örneklerin yıkama haslıkları, yıkama haslık test cihazında (Gyrowash-James H. Heal) ISO 105-C06 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Boyanmış olan numuneler 4 g/l olacak şekilde hazırlanmış olan ECE deterjanı çözeltisinden 1/100 flotte oranında 40 °C sıcaklıkta, 30 dakika Gyrowash Washer Tester Cihazında işlem görmüş ve gri skala ile değerlendirilmiştir.

Boyanmış olan ipek ipliklerin sürtme haslık testleri, Crockmeter Test cihazında ISO 105-X12:2016 'ya göre test edilmiş ve gri skala ile yaş ve kuru lekeleme haslık değerleri belirlenmiştir. Boyamaların ışık haslıkları ise ışık haslık test cihazında (Atlas Alfa 150 S) EN ISO 105 – B02-1994 standardına göre gerçekleştirilmiş ve renk değişimi mavi skala ile değerlendirilmiştir.

FeCl ₃			
-------------------	--	--	--

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde araştırma sonuçlarında elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.1. Renklerin Subjektif Değerlendirilmesi

Serisini uzaklaştırılmış, mordansız ve 6 farklı mordan maddesi ile mordanlandıktan sonra boyanmış ipek ipliklerinin renk görüntüleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Boyanmış İpek İpliklerin Renk Görüntüleri

Adı	Chantarelle	Porcini	Trumpet
Mordansız			
CuSO ₄			
KAl(SO ₄) ₂			
K ₂ Cr ₂ O ₇			
SnCl ₂			
FeCl ₂			

3.2. Renk Ölçüm Sonuçları

3.2.1. ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* Değerleri

CIELab sistemine göre, D65 illuminatı altında 10° standart gözlemci kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerde, mordanlanmadan boyanmış örnek standart olarak kabul edilerek denklem 1'e göre ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri hesaplanmıştır. Tablo 2'de Chantarelle (*Cantharellus Cibarius*) mantarından elde edilen doğal boya ile boyanmış örneklerin ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri yer almaktadır.

Chantarelle (*Cantharellus Cibarius*) mantarından elde edilen doğal boya ile boyanmış örneklerin ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Altı farklı mordan maddesi ile mordanlama yapıldıktan sonra, chantarelle mantarından elde edilen doğal boya ile boyanmış ipek örneğinde, mordan maddelerinin toplam renk farklılığı (ΔE^*) değişiminde etkili olduğu belirlenmiştir. Mordansız boyamaların standart olarak kabul edildiği renk ölçümlerinde en yüksek toplam renk farklılık değeri, bakırsülfat mordanının kullanıldığı boyamada elde edilmiştir ($\Delta E^*=10.2884$). Açıklık – koyuluk (ΔL^*) eksenine göre renk değerlendirilmesinde, potasyum bikromat ile mordanlanmış örnek dışında, diğer boyamalarda renk standarttan daha açık elde edilmiştir. Kırmızı- yeşil (Δa^*) ekseninde, potasyum alüminyum sülfat ve kalay(II)klorürün kullanıldığı boyamalarda renk, kırmızı nüansa kaymıştır. Mavi-sarı ekseninde (Δb^*) ise, sadece potasyum alüminyum sülfat mordanlı boyamada renk, sarı nüanslıdır. Boyamaların genellikle doygunluk değeri (ΔC^*) düşük ve renkler mattır (Tablo 2).

Tablo 2. Chantarelle (*Cantharellus Cibarius*) Mantarından Elde Edilen Doğal Boya ile Boyanmış Örneklerin ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* Değerleri

Adı	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*
CuSO ₄	10,2884	9,780	-0,420	-3,060	-3,080
KAl(SO ₄) ₂	0,17059	0,079	0,150	0,019	0,040
K ₂ Cr ₂ O ₇	1,340	-1,340	-0,010	-0,009	-0,009
SnCl ₂	1,1737	1,010	0,560	-0,210	-0,179
FeCl ₂	6,9329	4,269	-1,850	-5,140	-5,34
FeCl ₃	4,2574	2,629	-1,449	-3,019	-3,179

Porcini (*Boletus Edulis*) mantarından elde edilen doğal boya ile boyanmış örneklerin ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Porcini mantarından elde edilmiş doğal boya ile boyanmış örneklerde, en yüksek toplam renk farklılık değerinin, demir (II) klorür mordanının kullanıldığı boyamada elde edildiği görülmüştür ($\Delta E^*= 6,8967$). Potasyum alüminyum sülfat,

potasyum dikromat ve kalay (II) klorürün mordan olarak kullanıldığı boyamalar standarttan daha koyudur. Bakır sülfat, kalay klorür ve demir (II) klorürde, renk maviye kayarken, doygunluk azalmış, potasyum alüminyum sülfat, potasyum dikromat ve demir (III) klorürde ise renk sarıya doğru giderken doygunluk yani kroma artmıştır. Kırmızı - yeşil ekseninde boyamalar genellikle kırmızı yönündedir (Tablo 3).

Tablo 3. Porcini (*Boletus Edulis*) Mantarından Elde Edilen Doğal Boya ile Boyanmış Örneklerin ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* Değerleri

Adı	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*
CuSO ₄	4,3527	4,08	0,41	-1,46	-1,43
KAl(SO ₄) ₂	1,5536	-1,40	0,44	0,51	0,55
K ₂ Cr ₂ O ₇	3,3501	-2,3	0,17	2,43	2,43
SnCl ₂	3,0927	-1,56	-0,05	-2,67	-2,66
FeCl ₂	6,8967	6,61	-0,33	-1,94	-1,97
FeCl ₃	2,5162	1,6	0,09	1,94	1,93

Trumpet (*Craterellus Tubaeformis*) mantarından elde edilen doğal boya ile boyanmış örneklerin ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri ise Tablo 4'te verilmiştir.

Trumpet mantarından elde edilen doğal boya ile boyanmış ipek örneklerinde; en yüksek toplam renk farklılık değeri, bakır

sülfat mordanının kullanıldığı boyamada elde edilmiştir ($\Delta E^*=11,1287$). Trumpet mantarına ait bütün boyamalar standarttan daha açık, daha mat ve mavi nüanslıdır. Kırmızı- yeşil eksen için ise bakır sülfat mordanın kullanıldığı boyama hariç, diğerlerinde renk yeşil nüanslıdır (Tablo 4).

Tablo 4. Trumpet (*Craterellus tubaeformis*) Mantarından Elde Edilen Doğal Boya ile Boyanmış Örneklerin ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* Değerleri

Adı	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*
CuSO ₄	11,1287	10,19	0,91	-4,38	-4,31
KAl(SO ₄) ₂	3,9999	3,36	-0,21	-2,16	-2,18
K ₂ Cr ₂ O ₇	1,2866	1,11	-0,03	-0,65	-0,65
SnCl ₂	3,8301	2,39	-0,37	-2,97	-2,99
FeCl ₂	9,0056	6,85	-1,3	-5,7	-5,83
FeCl ₃	4,3587	3,88	-0,61	-1,89	-1,96

3.2.2. Renk Kuvveti Değerleri

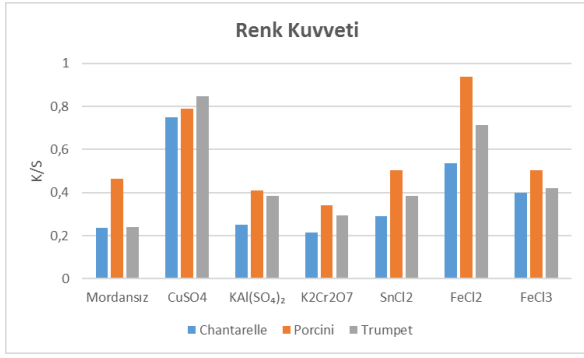
Boyamaların 400-700 nm dalga boyunda, 10'ar nanometre aralıkla ölçülen reflektans değerleri belirlenerek, minimum

absorpsiyona ait, boyamanın renk kuvveti değeri denklem 2'ye göre hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Chantarelle (*Cantharellus Cibarius*), Porcini (*Boletus Edulis*) ve Trumpet (*Craterellus Tubaeformis*) Mantarlarından Elde Edilen Doğal Boya ile Boyanmış Örneklerin Minimum Absorpsiyondaki (400nm) Renk Kuvveti (K/S) Değerleri

Adı	Chantarelle	Porcini	Trumpet
Mordansız	0,2348	0,4656	0,2412
CuSO ₄	0,7498	0,7880	0,8464
KAl(SO ₄) ₂	0,2499	0,4106	0,3859
K ₂ Cr ₂ O ₇	0,2128	0,3417	0,2959
SnCl ₂	0,2896	0,5021	0,3838
FeCl ₂	0,5362	0,9367	0,7119
FeCl ₃	0,3976	0,5030	0,4202

Ayrıca Tablo 5 yardımı ile oluşturulan boyamaların renk kuvveti grafikleri Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Chantarelle (*Cantharellus Cibarius*), Porcini (*Boletus Edulis*) ve Trumpet (*Craterellus Tubaeformis*) Mantarları ile Boyanmış Örneklerin Minimum Absorbsiyondaki (400nm) Renk Kuvveti (K/S) Grafikleri

Chantarelle, porcini ve trumpet mantarlarından elde edilen boyarmaddeler ile ipekli materyalin boyanmasında renk kuvveti (K/S) değerleri karşılaştırıldığında; en iyi renk veriminin demir (II) klorür ile mordanlandıktan sonra porcini mantarından elde edilen doğal boya ile boyanmış ipek materyalde elde edildiği görülmektedir. Mordansız boyama, potasyum alüminyum sülfat, potasyum dikromat, kalay(II)klorür ve demir(III)klorür mordanları ile yapılan tüm boyamalarda renk verimi oldukça düşüktür.

3.2.3. Chantarelle (*Cantharellus Cibarius*), Porcini (*Boletus Edulis*) ve Trumpet (*Craterellus tubaeformis*) Mantarlarından Elde Edilen Doğal Boya ile Boyanmış İpek İpliklerinin Haslık Testleri

Çalışmada kullanılan mantar ekstraktı boyamalarından elde edilen ışık, yıkama ve sürtme haslık değerleri, Chantarelle (*Cantharellus Cibarius*) Tablo 6’da, Porcini (*Boletus Edulis*) Tablo 7’de ve Trumpet (*Craterellus Tubaeformis*) Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 6. Chantarelle (*Cantharellus Cibarius*) Mantar Ekstraktı ile Boyanmış Örneklerin Renk Haslıkları

	Işık	Renk Değişimi	Yıkama						Sürtme	
			CA	CO	PA	PET	PAN	WO	Kuru	Yaş
Mordanlar										
Mordansız	3	3	3/4	3/4	4	4	3/4	4	3/4	3
Bakır sülfat	3	3	3/4	3	4	3/4	3/4	4	4	3/4
Potasyum Al sülfat	3	3/4	4	3/4	4	4	3/4	4/5	4	4
Potasyum dikromat	3	3	4	3/4	3/4	3/4	3/4	4/5	4	3/4
Kalay klorür	3	3	3/4	4	3/4	4	4	4/5	4	3/4
Demir (II) klorür	3	3	4	4	4	3/4	4	4	4	3/4
Demir (III) klorür	3	3	3/4	3/4	4	3/4	3/4	3-4	4	3/4

Tablo 7. Porcini (*Boletus Edulis*) Mantar Ekstraktı ile Boyanmış Örneklerin Renk Haslıkları

	Işık	Renk Değişimi	Yıkama						Sürtme	
			CA	CO	PA	PET	PAN	WO	Kuru	Yaş
Mordanlar										
Mordansız	3	3	3/4	3/4	4	4	3/4	4	4	3/4
Bakır sülfat	3	3	3/4	3/4	4	3/4	3/4	4	4	3/4
Potasyum Al sülfat	3	3/4	4	3/4	3/4	4	3/4	4	4	4-5
Potasyum dikromat	3	3	3/4	3/4	4	3/4	3/4	4/5	4	3/4
Kalay klorür	3	3	4	4	4	3/4	3/4	4/5	4	4-5
Demir (II) klorür	3	3/4	4	4	4	3/4	4	4	3/4	3/4
Demir (III) klorür	3	3	3/4	3/4	4	3/4	3/4	3-4	3/4	3/4

Tablo 8. Trumpet (*Craterellus Tubaeformis*) Mantar Ekstraktı ile Boyanmış Örneklerin Renk Haslıkları

	Işık	Renk Değişimi	Yıkama						Sürtme	
			CA	CO	PA	PET	PAN	WO	Kuru	Yaş
Mordanlar										
Mordansız	3	3	3/4	3/4	3/4	4	3/4	4	4	3/4
Bakır sülfat	3	3	3/4	3/4	4	3/4	4	4	4	3/4
Potasyum Al sülfat	3	3/4	4	4	3/4	4	3/4	4	4	3
Potasyum dikromat	3	3	3/4	3/4	4	3/4	4	4/5	3/4	3/4
Kalay klorür	3	3	4	4	3/4	4	3/4	4/5	4	3/4
Demir (II) klorür	3	3/4	3/4	3/4	4	3/4	4	4	4	3
Demir (III) klorür	3	3	3/4	4	4	3/4	3/4	3-4	4	3/4

Bolu ili Mengen ilçesinden toplanmış olan *chantarelle* (*Cantharellus Cibarius*), *porcini* (*Boletus Edulis*) ve *trumpet* (*Craterellus Tubaeformis*) cinsi, zehirli olmayan mantarların, ipek materyalin boyanmasında, doğal boya kaynağı olarak araştırıldığı bu çalışmada, bakır sülfat, potasyum alüminyum sülfat, potasyum dikromat, kalay (II) klorür, demir (II) klorür ve demir (III) klorür olmak üzere altı farklı mordanla yapılan boyamaların haslık değerleri orta derecededir (3-4). Bilindiği üzere doğal boyaların haslık özellikleri düşüktür. Haslık özelliklerini iyileştirmek için mordanlama işlemi yapılmaktadır (Zuber ve ark. 2020). Mordan madde açısından haslık özellikleri kıyaslandığında, mordan madde türünün numunelerin haslık özelliklerini çok fazla etkilemediği görülmüştür.

4. Sonuç

Doğal boya olarak *chantarelle* (*Cantharellus Cibarius*), *porcini* (*Boletus edulis*) ve *trumpet* (*Craterellus tubaeformis*) yabancı mantarların ekstraksiyonun kullanıldığı bu çalışmada ipek kumaşın farklı mordan maddelerle boyanması incelenmiştir. Boyamadan önce ipek iplikler bakır sülfat, potasyum alüminyum sülfat, potasyum dikromat, kalay 2 klorür, demir 2 klorür ve demir 3 klorür ile ön mordanlama işlemine tabi tutulmuştur. Boyama işleminden sonra numunelerin spektrofotometrik ölçümleri ve

Kaynakça

Ahmad, W. Y. W., Noor, N. Md., Ahmad, M. R., Ab Kadir. M. I., (2014). Microwave-Assisted Extraction as a Rapid Extraction to Produce Natural Dyes from *Pycnoporus sanguineus* Mushroom. Proceedings of the International Colloquium in Textile Engineering, Fashion, Apparel and Design 2014 (ICTEFAD 2014) pp 95-98.

Anonim 1. *Cantharellus cibarius* Fr.; <https://www.amazon.com/Chanterelle-Mushroom-Cantharellus-cibarius-Mycelium/dp/B0122VBTA4> (erişim tarihi 05.02.2020)

Anonim 2. *Boletus edulis* Bull. : Fr.; <https://www.mondofunghi.com/boletus-edulis-funghi-porcini.html> (erişim tarihi 25.01.2020)

Anonim 3. *Craterellus tubaeformis*; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trompetenpifferling_Craterellus_tubaeformis.jpg (erişim tarihi 15.01.2020)

Anonim 4. <https://en.wikipedia.org/wiki/Melanin#/media/File:Melanin.svg> (erişim tarihi 25.07.2019)

Anonim 5. <http://www.food-info.net/tr/caro/stru.htm> (erişim tarihi 02.02.2020)

Benli, H., Bahtiyari, M.I. (2015). Combination of ozone and ultrasound in pretreatment of cotton fabrics prior to natural dyeing, *Journal of Cleaner Production*, 89, 116-124.

Bessete, A., Bessete AR. (2001). *The rainbow beneath my feet: A mushroom dyer's field guide*, Syracuse: Syracuse University Press, pp. 118.

Bhatti, I. A., Adeel, S., Jamal, M. A., Safdar, M., Abbas, M. (2010). Influence of gamma radiation on the colour strength and fastness properties of fabric using turmeric (*Curcuma longa* L.) as natural dye. *Radiat. Phys. Chem.*, 79, 622-625.

haslık özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlara göre, mordan maddelerinin, boyamaların CIELAB ve renk koyulukları üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca mordan çeşidinin haslıklar üzerinde kayde değer bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Üç farklı mantardan elde edilmiş doğal boyarmaddelerle boyanmış ipeklili materyallerin, boyama ve haslık özelliklerine metal mordanların etkilerinin incelendiği bu çalışma, farklı mordanlar ve farklı tekstil materyelleri ile genişletilebilir. Konvansiyonel yöntem dışında çevre dostu boyama yöntemleride kullanılabilir.

5. Bilgilendirme

Bu çalışma Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi tarafından 2014.18.06.740 numaralı bap projesi ile desteklenmiştir.

Cheung, L.M., Cheung, P.C.K., Ooi, V.E.C. (2003). Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food Chemistry* 81, 249-255.

Dayioglu, H.;Kut, D., Merdan, N., Canbolat, Ş. (2015). The Effect of Dyeing Properties of Fixing Agent and Plasma treatment on Silk Fabric Dyed with Natural Dye Extract Obtained from *Sambucus Ebulus* L. *Plant. Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1609 – 1617.

Ebrahimzadeh, M.A., Safdari, Y., Khalili, M. (2015). Antioxidant Activity of Different Fractions of Methanolic Extract of the Golden Chanterelle Mushroom *Cantharellus cibarius* (Higher Basidiomycetes) from Iran. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. v17.i6.pages. 557-565.

Elshehy, N.S. (2011). Unconventional Natural Dyeing Using Microwave Heating with Cochineal as Natural Dyes, *Research Journal of Textile and Apparel*, 15, 4, 26-36.

Hynninen, P.H., Räisänen, R.,Elovaara, P. (2000). Preparative Isolation of Anthraquinones from the Fungus *Dermocybe sanguine* Using Enzymatic Hydrolysis by the Endogenous β -Glucosidase. *Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences* Volume 55, Issue 7-8, Pages 600-610.

Karuppan P., Sekarenthiran, S. C., Velusamy K., Sadasivam M., Mahalingam P., Ramayanam, B. M. ; Devi S. (2014). Prospective Aspects of Myco-Chrome As Promising Future Textiles. *Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8) 2014.s. 412-416.*

Kim, J.H., Sung, N.Y., Kwon, S.K., Srinivasan, P., Song, B.S., Choi, J.I., Yoon, Y., Jin Kyu Kim, J.K., Byun, M.W., Kim, M.R., Lee, J.W. (2009). Gamma-irradiation improves the color and antioxidant properties of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract. *J Med Food*. 12(6):1343-7.

Kozarski, M., Klaus, A., Jakovljevic, D., Todorovic, N., Vunduk, J., Petrović, P., Niksic, M., Miroslav M Vrvic, M.M., Leo van Griensven, L.V. (2015). Antioxidants of Edible Mushrooms. *Oct. 27; 20(10): 19489-19525.*

- Lee, Y.H., Kim, H.D. (2004). Dyeing properties and colour fastness of cotton and silk fabrics dyed with *Cassia tora* L. extract. *Fiber. Polym.* 5, 303-308.
- Liu, M., Zhao, H., Wu, J., Xiong, X., Zheng, L. (2018). Eco-friendly curcumin-based dyes for supercritical carbon dioxide natural fabric dyeing, *Journal of Cleaner Production*, 197,1262-1267.
- Mirjalili, M., Nazarpoor, K., Karimi, L. (2011). Extraction and identification of dye from walnut green husks for silk dyeing. *Asian J. Chem.* 23, 1055–1059.
- Mongkhlorattanasit, R., Krystufek, J., Wiener, J., Vikova, M. (2011). Dyeing, fastness, and UV protection properties of silk and wool fabrics dyed with eucalyptus leaf extract by the exhaustion process. *Fibres Text. East. Eur.* 19, 3, 94-99.
- Mongkhlorattanasit, R., Krystufek, J., Wiener, J., Vikova, M. (2011). UV protection properties of silk fabric dyed with eucalyptus leaf extract. *The Journal of The Textile Institute* . Volume 102, 2011 - Issue 3. Pages 272-279.
- Nakpathom, M., Somboon, B., Narumol, N., Mongkhlorattanasit, R. (2018). Dyeing of Cationized Cotton with Natural Colorant from Purple Corn cob, *Journal of Natural Fibers*, 15, 5, 668-679.
- Nasiry, D., Khalatbary, A.R., Ebrahimzadeh, M.A. (2017). Anti-Inflammatory and Wound-Healing Potential of Golden Chanterelle Mushroom, *Cantharellus cibarius* (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, , 19(10):893-903
- Perumal K. (2004). Isolation, extraction and dyeing performance of fungal pigment from *Ganoderma applanatum*, *Coriolus versicolor* and *Amanita muscaria*. *J. Mycol. Pl. Pathol.* 34: 690-691.
- Prabhu, K.H., Teli, M.D., Waghmare, N.G. (2011). Eco-friendly dyeing using natural mordant extracted from *Embllica officinalis* G. Fruit on cotton and silk fabrics with antibacterial activity. *Fiber. Polym.* 12, 753-759.
- Tayade, P.B., Adivarekar, R.V. (2013). Adsorption kinetics and thermodynamic study of *Cuminum cyminum* L. dyeing on silk. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Volume 1, Issue 4, Pages 1336-1340.
- Prusty, A.K., Das, T., Nayak, A., Das, N.B. (2010). Colourimetric analysis and antimicrobial study of natural dyes and dyed silk. *J. Clean. Prod.* 18, 1750-1756.
- Rangel-Castro JI., Staffas A., Danell E., (2002) The ergocalciferol content of dried pigmented and albino *Cantharellus cibarius* fruit bodies, *Mycol. Res.* 106 (1): 70–73
- Rather L.J., Shahid I. ul, Khan M.A., Mohammad F.. (2016) Adsorption and kinetic studies of *Adhatoda vasica* natural dye onto woolen yarn with evaluations of colorimetric and fluorescence characteristics, *J. Environ. Chem. Eng.* 4 (2) 1780–1796.
- Raisanen R. (2009) Dyes from lichens and mushrooms. In: Bechtold B, Mussak R (eds) *Handbook of natural colorants*. Wiley, UK, pp 183–200.
- Raisanen R, Nousiainen P, Hynninen PH (2001) Emodin and dermocybin natural anthraquinones as a high temperature disperse dye for polyester and polyamide. *Text Res J* 71:922–927.
- Raisanen R, Nousiainen P, Hynninen P.H. (2001) Emodin and dermocybin natural anthraquinones as mordant dye for wool and polyamide. *Text Res J* 71:1016–1022.
- Räisänen R. (2002). Anthraquinones from fungus *Dermocybe Sanguinea* as textile dyes. Academic Dissertation, University of Helsinki, Finland
- Rice M.C. and Beebee D. (1980). *Mushrooms for color*. Eureka, CA: Mad River Press; pp. 153.
- Santis, D.D., Moresi, M. (2007). Production of alizarin extracts from *Rubia tinctorum* and assessment of their dyeing properties, *Industrial Crops and Products* 26, 151–162.
- Sarıkaya, A. G. (2019). Sulu Çözeltilerden Cr(VI)'nin Biyosorpsiyonunda *Pleurotus ostreatus*'un Biyokütle Olarak Kullanımının Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1173-1183.
- Shahid, M., Islam, S., Mohammad, F. (2013). Recent advancements in natural dye applications: A review. *Journal of Cleaner Production* 53,310–331.
- Tidke, G., Rai, M.K. (2006). Biotechnological Potential of Mushrooms: Drugs and Dye Production. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. Volume 8, Issue 4, pages 351-360
- Vankar, P.S., Shanker, R., Verma, A. (2007). Enzymatic natural dyeing of cotton and silk fabrics, without metal mordants, *Journal of Cleaner Production* 15, 1441-1450.
- Vankar, P.S., Shanker, R. (2006). Sonicator dyeing of cotton and silk fabric by *Ixora coccinea*. *Asian Text. J.*, 77-80.
- Wang, L., Wang, N., Jia, S., Zhou, Q. (2009). Research on dyeing and ultraviolet protection of silk fabric using vegetable dyes extracted from *Flos Sophorae*. *Text. Res. J.* 79, 1402-1409.
- Weber, R.W., Mucci, A., Davoli, P. (2004). Laetiporic acid, a new polyene pigment from the wood-rotting basidiomycete *Laetiporus sulphureus* (Polyporales, Fungi). *Tetrahedron Lett.* 45: 1075-1078.
- Zuber, M., Adeel, S., Rehman, F., Anjum, F., Muneer, M., Abdullah, M., Zia, K.M. (2020). Influence of microwave radiation on dyeing of bio-mordanted silk fabric using neem bark (*azadirachta indica*)-based tannin natural dye, *Journal of Natural Fibers*, Volum 17, No 10, p. 1410–1422
- ISO 105-C06, Test for Colour Fastness of Textiles-Colour Fastness to Washing.
- ISO 105-X12:2016, Tests for Colour Fastness -Part X12: Colour Fastness to Rubbing.
- EN ISO 105-B02-1994 Colour fastness to artificial light: Xenon Arc Fading Lamp Test



Modifiye Nanobentonitle Sulu Ortamdan Fenol ve 4-Klorofenolün Giderilmesi

Mustafa Uçar^{1*}, Dilek Kayıran², Atilla Evcin³

^{1*} Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1445-3361), ucarm@aku.edu.tr

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2282-1374), dilekkayiran@hotmail.com

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0163-5097), evcin@aku.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 27 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 10 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.774567)

ATIF/REFERENCE: Uçar, M., Kayıran, D., Evcin, A. (2020). Modifiye Nanobentonitle Sulu Ortamdan Fenol ve 4-Klorofenolün Giderilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 760-768.

Öz

Son yıllarda endüstri ve tarımda kullanılan kimyasal ve ilaçlar deşarj edildikleri ortamlarda tüm canlılar için zararlı olmaya başlamıştır. Çevre koruma ajansları ve belediye gibi kurumların bu konudaki hazırladıkları yönetmeliklerle zararlı kimyasallar sınıflandırılmış ve atık sularda bulunabilecek minimum derişimler belirlenmiştir. Bu sınır değerler dışında kalan atık sular için saflaştırma ve arıtma prosesleri zorunlu hale gelmiştir. Çalışmamızda fenol (P) ve 4-klorofenolün (4-CP) modifiye alkil amonyum nanobentonit (MANB) ile kesikli sistemde, sulu çözeltiden giderimi araştırılmıştır. P ve 4-CP adsorplanmasında denge zamanı, konsantrasyon, pH etkisi, adsorbent dozaj etkisi ve desorpsiyonu incelenmiştir. Adsorplanan miktarı; P için 4,69 mg/g, 4-CP için 6,18 mg/g olarak elde edilmiştir. Denge zamanı 45 dak. olup adsorbentin desorpsiyonu % 30 (v/v)' luk etil alkol ortamında yapılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri 25, 35 ve 45°C değişik sıcaklık aralıklarında yapılmıştır. Örneklerin kimyasal yapı, termal ve morfolojik karakterizasyonu başlangıçta ve adsorpsiyondan sonra yapılmıştır. Çalışılan maddelerin başlangıç derişiminin MANB mikrokürelerin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm modellerine uygunluğu incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanobentonit, Modifikasyon, Adsorbent, Fenol, Atık sular

Removal of Phenol and 4-Chlorophenol from Aqueous Environment with Modified Nanobentonite

Abstract

In recent years, chemicals and drugs used in industry and agriculture have started to be harmful to all living things in the environments in which they are discharged. With the regulations prepared by environmental protection agencies and municipalities, hazardous chemicals are classified and minimum concentrations in wastewater are determined. Purification and purification processes have become mandatory for wastewater outside these limit values. In our study, the removal of phenol (P) and 4-chlorophenol (4-CP) with modified alkyl ammonium nanobentonite (MANB) from the aqueous solution was investigated. Balance time, concentration, pH effect, adsorbent dosage effect and desorption were investigated in P and 4-CP adsorption. Adsorbed amount; 4.69 mg/g for P and 6.18 mg/g for 4-CP. Balance time 45 min. and the adsorbent desorption was performed in 30% (v/v) ethyl alcohol medium. Adsorption experiments were carried out at different temperature ranges of 25, 35 and 45°C. Chemical structure, thermal and morphological characterization of samples were performed at the beginning and after adsorption. The suitability of the initial concentrations of the studied substances to the MANB microspheres was investigated for Langmuir and Freundlich adsorption isotherm models.

Keywords: Nanobentonite, Modification, Adsorbent, Phenols, Wastewater.

* Corresponding Author: ucarm@aku.edu.tr

1. Giriş

Bentonitler, ağırlıklı olarak smektit kil minerallerinden oluşan, sulu ortamda şişme özelliğine sahip, asidik ortamda aktifleştirilebilen, geniş yüzey alanlı bir kildir. Ülkemizde Tokat, Edirne, Çankırı, Ordu, Giresun ve Konya'daki maden ocaklarından çıkarılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından endüstride geniş kullanım alanları mevcuttur (İpekoğlu vd., 1997).

Fenoller ve türevleri, atık sudaki önemli miktarları ile günümüz yaşamında yaygın olarak kullanılan kimyasallardır. Klorofenoller (CP'ler) organik kökenli kirletici sınıfına dahildir. Klorofenoller insan sinir ve solunum sistemlerini ciddi şekilde etkiler ve ciddi sağlık tehlikelerine neden olur. Güçlü bir kokuya sahip, biyolojik olarak parçalanabilirliği zayıf, toksik ve kanserojen özelliklere sahip ortamlarda kalıcıdır. Çevre Koruma Ajansı (EPA) P ve 4-CP'leri tehlikeli kirleticiler olarak sınıflandırmış olup, bunların giderilmesi ve tayinlerine büyük önem vermiştir (Uçar 2019, Uçar vd., 2020). Bu gibi kirleticilerin su ortamından uzaklaştırılmasında çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar arasında biyodegradasyon (Olaniran and Igbinoza 2011), ileri oksidasyon prosesleri ile oksidasyon (Pera vd., 2004) ve adsorpsiyon (Dabrowski vd., 2005, Soto vd., 2011) en yaygın kullanılanlardır (Kuśmierk 2016). Bu bileşiklerin su ortamından uzaklaştırılmasında bir çok farklı hammadde, kimyasal ve polimer kullanılmış olup, bunların başında zeolit, bentonit, sepiyolit, modifiye edilmiş manyetik maya ve polimerik mikroküreler gibi değişik adsorbentler gelmektedir (Şenel vd., 2006, Kuleyin 2007, Uçar vd., 2009, Denizli vd., 2001, Denizli vd., 2002, Evcin vd., 2014, Uçar vd., 2014, Uçar vd., 2015, Uçar 2019, Uçar vd., 2020).

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, Nourmoradi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, sulu çözeltilerden 4-CP uzaklaştırmak için iki katyonik yüzey aktif madde (heksa desil trimetil amonyum bromür, HDTMA ve tetra desil trimetil amonyum bromür, TTAB) ile modifiye edilmiş montmorillonit (Mt) kullanmışlardır (Nourmoradi vd., 2016).

Hernandez ve arkadaşları çalışmalarında kil aljinat nanokompozitlerinin özellikleri farklı P ve 4-CP'ün sulu çözeltilerden uzaklaştırılması değerlendirilmiştir. Bu amaçla, Mt. sentezlenen kompozitler için kullanılmıştır. İlki, Mt. Puebla Eyaletinden (Meksika eyaleti) ham mineral; ikincisi, organo modifiye edilmiş bir Mt. heksadesil trimetilamonyum iyonları (HDTMA) ile; ve üçüncüsü, dialkil dimetilamin iyonları (C14-C18) ile modifiye edilmiş ticari bir kildir. Morfolojileri, termal ve spektroskopik özellikleri değerlendirilmiş, maksimum adsorpsiyon kapasiteleri hesaplanmış ve kinetik adsorpsiyon modelleri incelenmiştir (Hernandez vd., 2018).

Garmia ve arkadaşları, kompozit organo bentonit / aljinat taneciklerinin çıkarılması için adsorbanlar olarak potansiyelini araştırmıştır. Sulu çözeltilerden 2,4-diklorofenolün (2,4 DCP) uzaklaştırılması için bentonit, ilk önce katyonik yüzey aktif maddeler oktadesil trimetil amonyum, heksadesil trimetil amonyum ve fenil trimetil amonyum ile modifiye edilmiş, daha sonra adsorban kompozit boncuklar oluşturmak için kalsiyum aljinat ile kapsüllenmiştir. Örneklerin yapısal özelliklerindeki değişimi incelemek için X ışını kırınımı kullanılmıştır (Garmia vd., 2018).

Banat ve arkadaşları tarafından (2000), sulu çözeltilerden bentonitle P'nin adsorpsiyon potansiyeli araştırıldı. Temas

süresi, başlangıç konsantrasyonu, pH, çözücünün varlığı ve bentonitin desorpsiyon karakteristiklerinin değerlendirilmesi için kinetik ve izoterm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. P'ün adsorpsiyonunun, artan P konsantrasyonu ile arttığı ve çözelti pH değerinin artmasıyla azaldığı görülmüştür.

Aksu ve Yener, klorofenoller (o-klorofenol ve p-klorofenol) uzaklaştırmak için granül aktive edilmiş karbonun yerine kurutulmuş aktive edilmiş çamur ve uçucu külün kullanımı incelenmiştir. Sonuçlar, tüm mono-klorlanmış P-sorbent sistemleri için denge verilerinin Redlich-Peterson modelini incelenen konsantrasyon aralığında en iyi şekilde uyduğunu göstermiştir (Aksu ve Yener 2001).

PHEMA mikro boncuklarını taşıyan Cibacron Blue F3GA, klorofenollerin (P, m-klorofenol (3-CP), 4-CP ve 2,4,6-triklorofenol (2,4,6-TCP)) giderilmesi için araştırıldı. PHEMA mikro küreler, bir başlatıcı (azobisisobutyronitril) varlığında HEMA'nın modifiye edilmiş süspansiyon polimerizasyonu ile hazırlandı. Klorofenollerin Cibacron Blue taşıyan mikro kürelere maksimum adsorpsiyon sırası: 3-CP > 4-CP > 2,4,6-TCP > P şeklindedir. CP'lerin adsorpsiyonu pH arttıkça azalmıştır (Denizli vd., 2001). P ve CP'ler üzerine yaptığımız benzer çalışmalarda bulunmaktadır (Denizli vd., 2002, Uçar vd., 2014, Evcin vd., 2014, Uçar vd. 2015, Uçar 2019).

P ve türevlerinin aktif karbonlar üzerine adsorpsiyonu, bu konuyla ilgili çok sayıda makaleye dayanmaktadır. Bu olayın üzerinde karbon türü, karbon yüzey işlevleri, bir arada var olan sıvı fazının pH değeri, oksijen varlığı, elektrolitlerin eklenmesi, vb. çok sayıda faktörün önemli etkisi olduğu bilinmektedir (Dabrowski vd., 2005).

Kuleyin tarafından yapılan çalışmada, P ve 4-CP'ün sürfaktan ile modifiye edilmiş zeolit tarafından adsorpsiyon özellikleri araştırılmıştır. Temas süresi, adsorban doz, başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklık gibi çeşitli deneysel parametrelerin P ve 4-CP'ün uzaklaştırılması üzerindeki etkilerini değerlendirmek için bir başka çalışma daha yapılmıştır (Kuleyin 2007).

Sanjay ve arkadaşları P ve 2-CP'ün uzaklaştırılmasının karşılaştırılması ticari zeolit-Y, FAZ-Y ve SMZ-Y kullanılarak da çalışılmışlardır. pH, adsorban dozu ve konsantrasyonun P ve 2-CP'ün adsorpsiyonu üzerindeki etkisi gibi çeşitli parametrelerin etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Anyon varlığının P ve 2-CP'ün adsorpsiyonu üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. P ve 2-CP'ün adsorpsiyonu üzerine yapılmış benzer çalışmada, yüzeyi uçucu kül ile modifiye edilmiş zeolitler kullanılarak atık sulardan P ve 2-CP'leri uzaklaştırmak için metod geliştirilmiştir (Sanjay vd., 2008).

Ahmaruzzaman, derleme çalışmasında doğal adsorban malzemelerin eleştirel bir analizini ve özelliklerini, avantajlarını ve sınırlamalarını açıklamıştır. Bu derleme makalesinde tartışılan fenolik bileşiklerin adsorpsiyonu ile ilgili çeşitli sorunlar ve dezavantajlar vardır. İncelemeden, düşük maliyetli adsorbanların belirli fenolik bileşikler için yüksek ayırma kabiliyetleri gösterdiği açıktır (Ahmaruzzaman 2008).

Majdan ve arkadaşları, sodyum bentonit ile modifiye edilmiş dimetilbenzilohtadesilamonyum klorür (DMBOAK), spektral ve X ışınları analizlerini incelemiştir. FT-IR spektrumlarında asimetric ve simetric gerilme titreşimleri, yüzey aktif madde derişimiyle bentonit fazda metilen zinciri daha düşük frekanslara doğru CH₂ simetric gerilme titreşimleri ortaya çıktığını göstermiştir (Majdan vd., 2008).

Şentürk vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada katyonik bir yüzey aktif maddesi, setil trimetilamonyum bromür (CTAB) ile modifiye edilmiş doğal bir bentonit, P'nin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için bir adsorban olarak kullanıldı. Doğal ve modifiye edilmiş bentonitler (organobentonit) bazı enstrümental tekniklerle (FTIR, XRD ve SEM) karakterize edildi. Adsorpsiyon çalışmaları bir kesikli sistemde gerçekleştirildi ve çözelti pH'ı, temas süresi, başlangıç P konsantrasyonu, organobentonit konsantrasyonu ve sıcaklık gibi çeşitli deneysel parametrelerin etkileri organobentonite P adsorpsiyonu üzerine değerlendirildi. Maksimum P giderimi pH 9,0'da gözlemlendi.

Uçar vd çalışmasında, çok çeşitli toksik bileşiklerden, özellikle aromatik moleküllerden gelen suyun kimyasal kontaminasyonu, insan toksisiteleri nedeniyle ciddi bir çevresel sorundur. Bu çalışmada, P ve CP'lerin uzaklaştırılması için Manisa-Gördes bölgesinden (AMGC) aktifleştirilmiş klinoptilolit araştırılmıştır (Uçar vd., 2015).

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Deneysel çalışmadaki başlangıç maddeleri (P, 4-CP, etil alkol (C₂H₅OH), HCl, CH₃COOH/NaCH₃COO, NaOH, NH₃/NH₄) Merck kalitesinde olup herhangi bir saflaştırma işlemine tabi tutulmadan kullanılmıştır.

2.1.1. Bentonit

Bu çalışmada MANB kullanılmıştır. Nanobentonitin modifikasyonu ilgili literatürde ayrıntılı olarak verilmiştir (Majdan vd., 2008). Çalışmada kullanılan bentonitin XRF analizi Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan bentonitin XRF analizi (%W)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
47,42	16,60	2,54	1,92	2,77	0,27	0,13	0,10	0,01
F	Cl	TiO ₂	MnO	ZnO	As ₂ O ₃	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	A.Z. (LOI)
0,12	0,08	0,13	0,07	0,01	0,01	0,01	0,07	27,79

A.Z. (LOI) : Ateş yasıtı

2.2. Adsorpsiyon Deneyleri

Adsorpsiyon deneyleri için stok çözeltiler hazırlanmış ve değişik konsantrasyonlarda çalışılmıştır. Farklı başlangıç denge çalışmalarında 4-CP (10-400 ppm) konsantrasyonları kullanılmıştır. Adsorpsiyon kinetiği, denge ve termodinamiğin ölçülmesine yönelik deneysel prosedürler, önceki çalışmalarımızda ayrıntılı olarak tarif edilmiş ve tartışılmıştır (Denizli vd., 2001, Denizli vd., 2002, Uçar vd., 2014, Evcin vd., 2014, Uçar vd., 2015, Uçar 2019). 4-CP'nin konsantrasyonu, 280 nm'de DR 5000 spektrofotometre kullanılarak belirlendi. Adsorpsiyon kapasitesi Denklem (1) kullanılarak hesaplandı:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) * V}{m} \quad (1)$$

Denklemden;

q_e=Dengedeki adsorplanan madde miktarı, mg/g

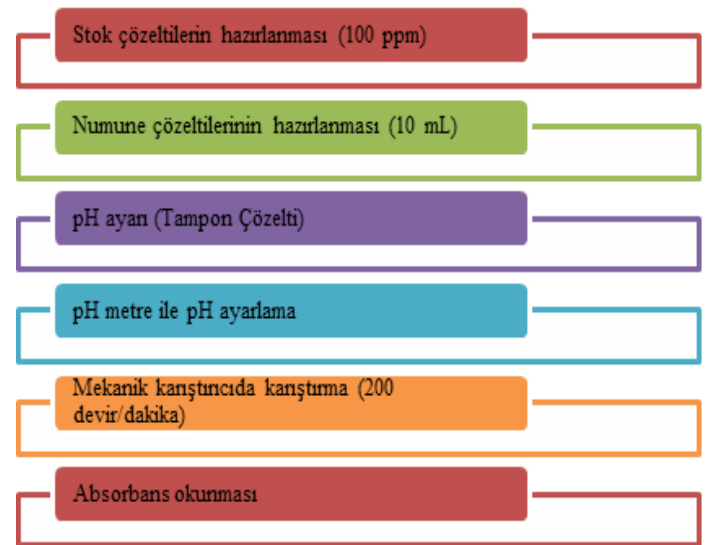
C₀= Başlangıçtaki P ve 4-CP derişimi, mg/L

C_e = Dengeki çözeltide P ve 4-CP derişimi, mg/L

V = Çözelti hacmi, L

m = Adsorban miktarı, g

Kalibrasyon ve adsorpsiyon deneyleri işlem basamakları Şekil 1 ve Şekil 2 ' de verilmiştir. Konsantrasyon aralığı 100-1000 ppm, sıcaklık aralığı ise 25°C, 35°C ve 45°C olarak seçilmiştir.



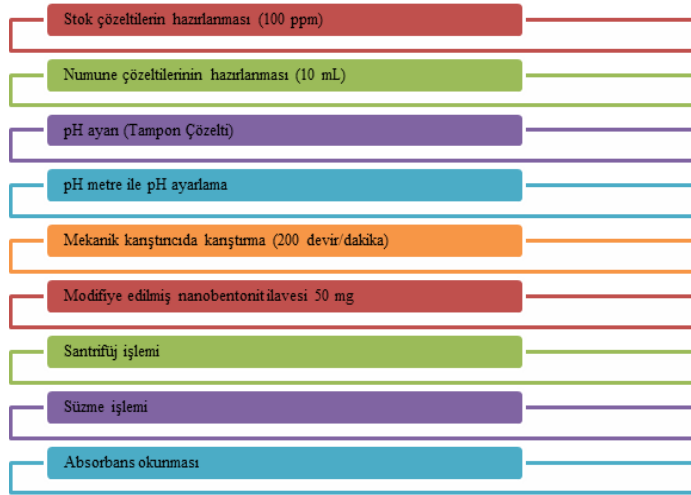
Şekil 1 Kalibrasyon deneyleri işlem adımları.

2.3. Katyon Değişim Kapasitesi

Bir kilin katyon değişim kapasitesi (KDK), toprak yüzeylerinde kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}) ve potasyum (K^+) gibi pozitif yüklü iyonları (katyonlar) tutabilen negatif yüklü alanların miktarının bir ölçüsüdür. Elektrostatik kuvvetlerle tutulan katyonlar elektrostatik olarak kil çözeltisindeki katyonlarla kolayca değiştirilebilir, böylece daha yüksek bir KDK değerine sahip bir kil, düşük KDK değerine sahip bir kile göre yeterli miktarlarda Ca^{2+} , Mg^{2+} ve K^+ muhafaza etme kapasitesine sahiptir. Bentonitin KDK değeri ASTM 837C standartları izlenerek hesaplanmıştır.

2.4. Rejenerasyon Deneyleri

Toksik kirlenmelerin uzaklaştırılması için adsorpsiyon teknolojisi, kirlenmiş desorpsiyondan sonra adsorbanların rejenerasyonunun verimliliğine bağlıdır. Biriktirilen kirlenmiş hafif ve ucuz desorbing maddesi kullanılarak yıkanır (desorbe edilir) ve daha sonra adsorbent başka bir döngü için yeniden üretilir. Adsorbentin rejenerasyonu, işlem maliyetini düşük tutmak için çok önemli olabilir. Bu çalışmada da adsorpsiyondan sonra, adsorbent % 30 (v/v)'luk etanol çözeltisiyle rejenerasyon edilmiştir.



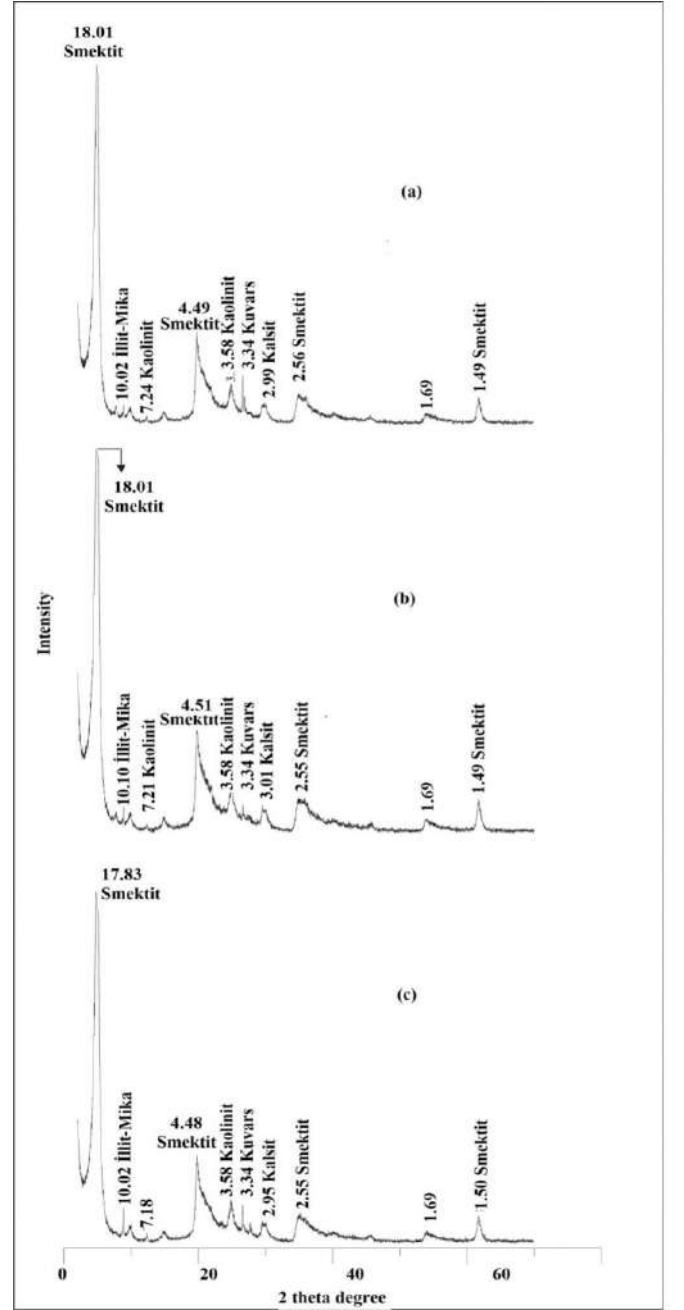
Şekil 2 Adsorpsiyon deney adımları

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. XRD Analiz Sonuçları

X ışını difraksiyonu (XRD), kristalin malzemelerin karakterizasyonu için güçlü bir tahribatsız tekniktir. Yapılar, fazlar, tercih edilen kristal yönelimleri (doku) ve ortalama tane büyüklüğü, kristallik, gerilim ve kristal kusurları gibi diğer yapısal parametreler hakkında bilgi sağlar (Dann, 2002). Şekil 3'de Nanobentonit örneğinin XRD analizi verilmiştir.

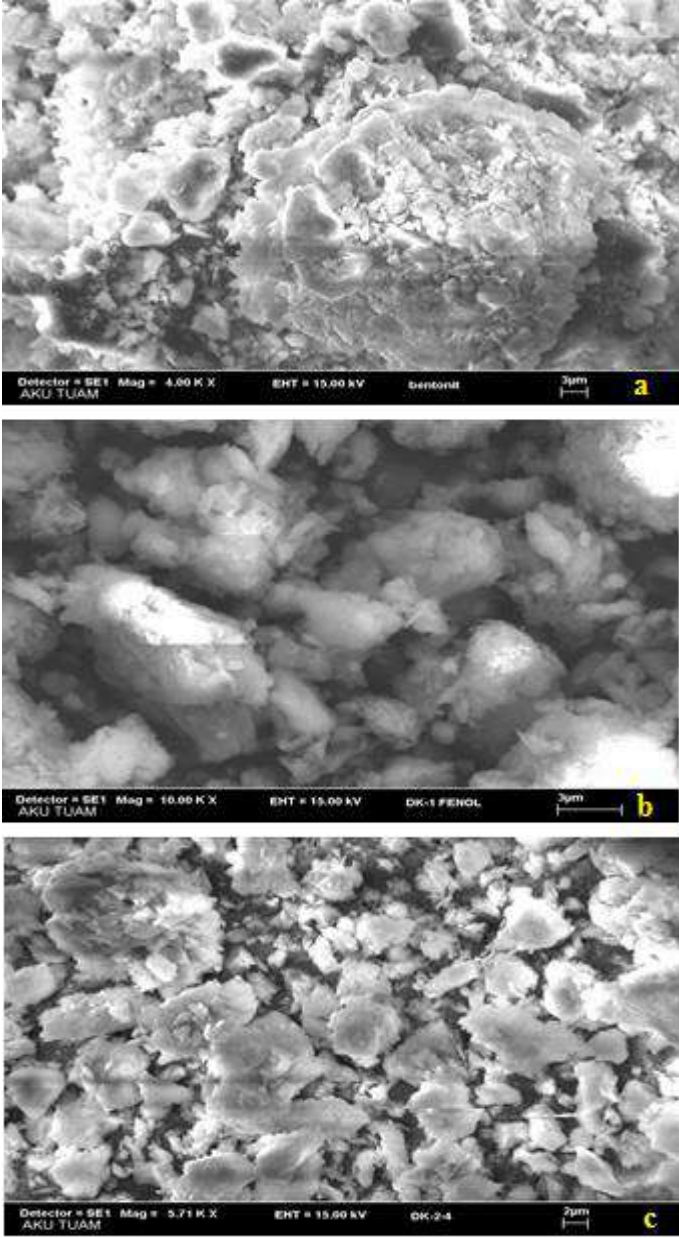
Modifikasyon işleminin etkisini görebilmek amacıyla nanobentonit örneklerinden adsorpsiyondan önce ve sonra numuneler analiz edilmiştir. Analizlerindeki ana fazlar smektit, illit-mika, kaolinit, kuvars, kalsit olarak elde edilmiştir. Modifiye edilmiş nanobentonitin katman kalınlığı 17,83 iken MANB, P ve 4-CP adsorpladığında değeri 18,01'e yükselmiştir. Modifikasyondan sonra adsorbentin P ve 4-CP'ü adsorpladığında katman kalınlığında değişim gözlenmiştir.



Şekil 3 MANB'in b) 4-CP adsorpsiyon sonrası ve c) adsorpsiyon öncesi XRD analizi.

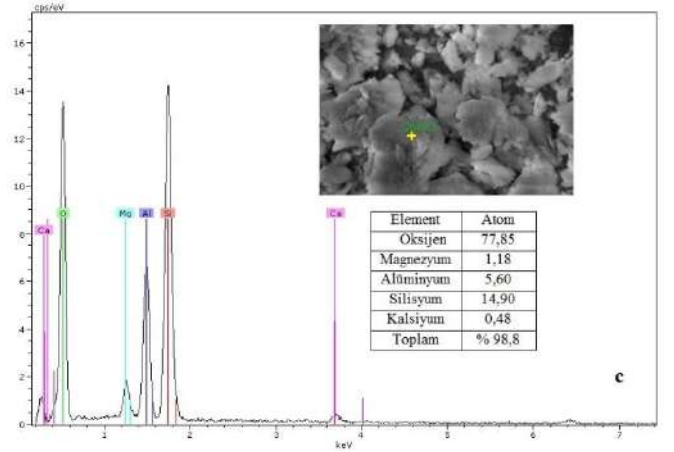
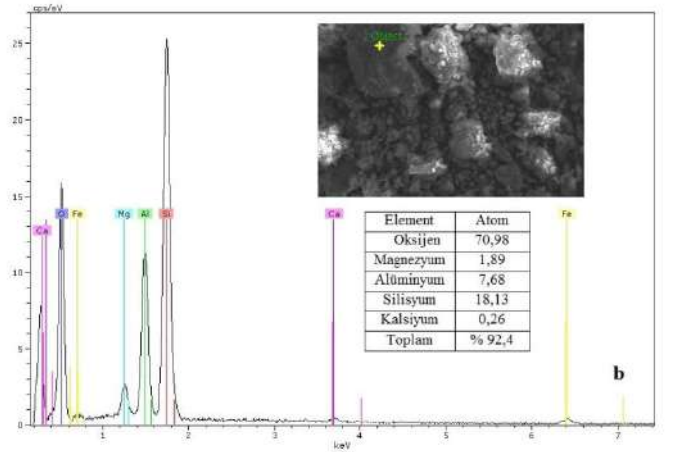
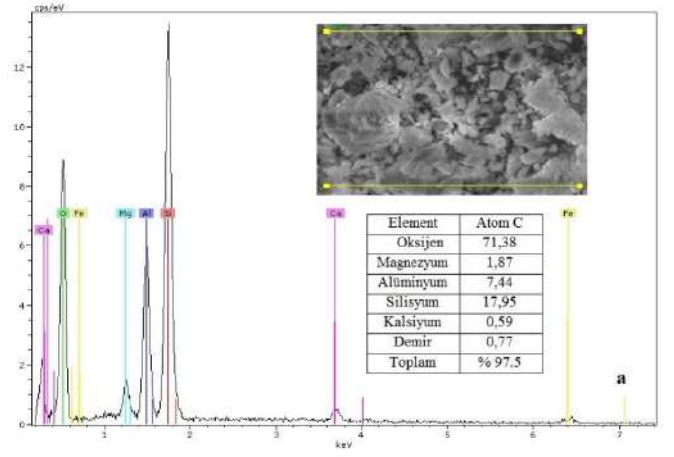
3.2. SEM ve EDX Analizleri

Taramalı elektron mikroskobu, yüksek çözünürlüklü görüntüleme, element analizi ve son zamanlarda kristalografik analizin değerli bir kombinasyonunu sunar. Bentonit gibi iletken olmayan numuneler altın, bakır, platin, altın ve karbon gibi malzemelerle magnetron sıçratma tekniğiyle kaplanarak analize hazır hale getirilir. Karbon kaplı P ve 4-CP'ün adsorpsiyon öncesi ve sonrasındaki SEM fotoğrafları Şekil 4a, 4b ve 4c' de gösterilmiştir.



Şekil 4. MANB'in SEM analiz görüntüsü a) adsorpsiyon öncesi b) P adsorpsiyon sonrası c) 4-CP adsorpsiyon sonrası.

Energy Dispersive X-ray (EDX) mikroanalizi, numunelerde bulunan elementlerin varlığını ortaya koyan karakteristik X ışınlarının üretimine dayanan elektron mikroskopisine bağlı temel analiz tekniğidir. P ve 4-CP'ün adsorpsiyon öncesi ve sonrasındaki EDX verileri Şekil 5a, 5b ve 5c'de verilmiştir. Şekil 5'den MANB'in adsorpsiyon öncesinde oksijen, magnezyum, alüminyum, silisyum, kalsiyum ve demir gibi elementler belirlenmiş olup, bu elementler simektitin mineral yapısını oluşturmaktadır. Elementlerin % miktarlarındaki bu artış adsorpsiyon prosesiyle alakalı olduğu düşünülmektedir. Adsorpsiyon sonrası EDX analizinde demir elementine rastlanmamıştır.

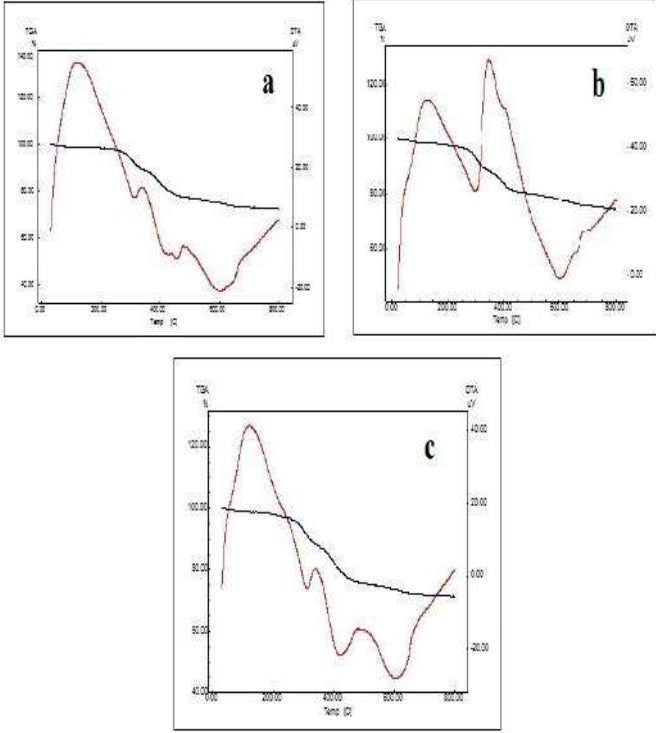


Şekil 5. MANB'in SEM-EDX verileri a) adsorpsiyon öncesi b) P adsorpsiyon sonrası c) 4-CP adsorpsiyon sonrası.

3.3. DTA-TGA Analizi

DTA/TG, bir numunenin termal özelliklerini tek bir deneyde karakterize edebilen eşzamanlı bir termal analiz cihazıdır. TG bileşeni, ayrışma, indirgeme veya oksidasyonun meydana geldiği sıcaklıkları ölçer. Eşzamanlı olarak ayrışma, oksidasyon ve örnek kilo kaybı veya kazancı ile sonuçlanan diğer fiziksel veya kimyasal değişikliklerle ilişkili ağırlık değişikliklerini ölçer. DTA bileşeni, ayrışma işlemlerinin endotermik veya ekzotermik olup olmadığını gösterir. DTA ayrıca erime, kristalleşme ve cam geçişleri gibi kütle kaybının meydana gelmediği faz değişikliklerine karşılık gelen sıcaklıkları da ölçer

(Kara, 1999). Modifiye edilmiş nanobentonit numunelerinin 700-1000 °C sıcaklık aralığında termal analizi için yapılan DTA-TG analiz grafikleri Şekil 6' da verilmiştir. Şekil 6a ve 6c' de 150°C de bağlı suyun uzaklaştığı bir ekzotermik pik oluşturduğu görülmüştür. Şekil 6b'de, Şekil 6a ve 6c' den farklı olarak 400°C de de ekzotermik pik görülmüştür. Bunun sebebi, 400°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hidroksil gruplarının ve CO₂'in dekompozisyonu gerçekleşir (Sarıgök, 1987, Oruçoğlu vd., 2010, Yariv, 2004, Bors vd., 2001, Xie vd., 2001a, 2001b, Kozak and Domka 2004, Dultz vd., 2005, Yıldız vd., 2006, Akçay, 2006, Zhu and Chen 2000, Zhu Zhu 2007, Majdan vd., 2008, Atia, 2008).



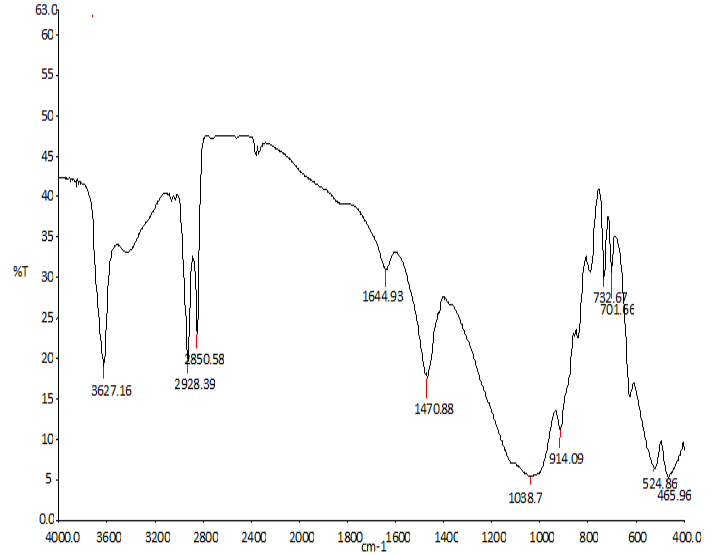
Şekil 6. MANB'in DTA-TG grafikleri a) adsorpsiyon öncesi b) P adsorpsiyon sonrası c) 4-CP adsorpsiyon sonrası.

3.3. FT-IR Analiz Sonuçları

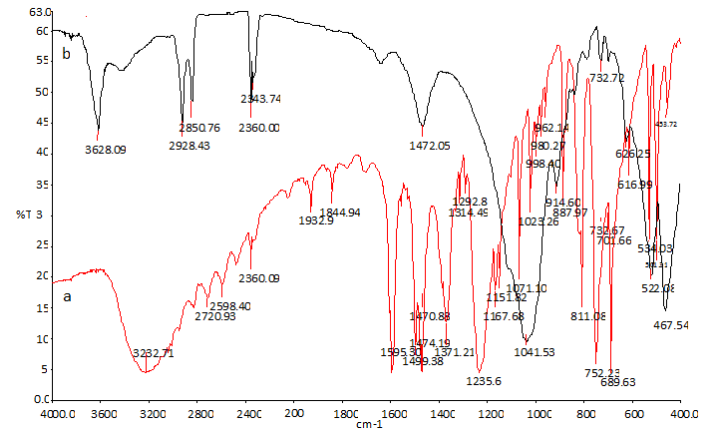
MANB'in adsorpsiyon öncesi ve sonrası FT-IR analizine ait grafikler Şekil 7-9' da verilmiştir. Şekil 7-9'da FT-IR analizlerine ait dalga boyları ve bunlara ait gerilme ve titreşim pikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan malzemelerin IR bantları ve karşılık gelen grupları.

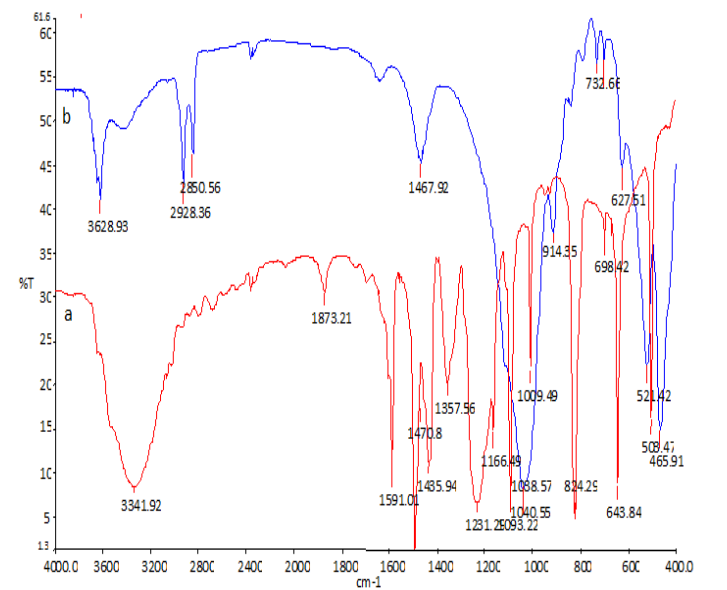
Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Gruplar
3400-3700	OH gerilme piki
2900-2850	CH titreşimi
1666-1472-1467	C=C zincir gerilmesi
1036- 1041-1040	(Al, Si) -O bağı
732	Si- O bağı



Şekil 7. MANB'in FT-IR spektrumu.



Şekil 8. MANB'in FT-IR spektrumu a) P adsorpsiyonu öncesi b) P adsorpsiyonu sonrası.



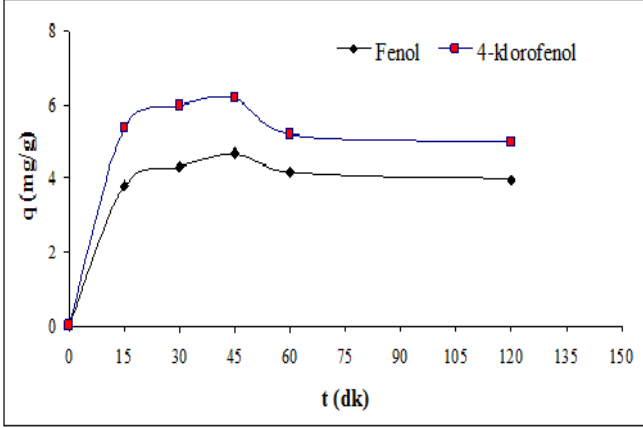
Şekil 9. MANB'in a) 4-CP b) 4-CP adsorpsiyonu sonrası FT-IR spektrumu.

Doğal pH’ da (6,38±1) P ve 4-CP’nün kalibrasyon eğrileri çizilmiş P için doğru denklemi $y= 0,0043x + 1,5979$, $R^2=0,9903$ ve 4- klorofenol için $y= 0,01x + 1,509$ $R^2= 0,9938$ çıkmıştır.

3.4. Adsorpsiyon Sonuçları

3.4.1. Adsorpsiyon Zamanı

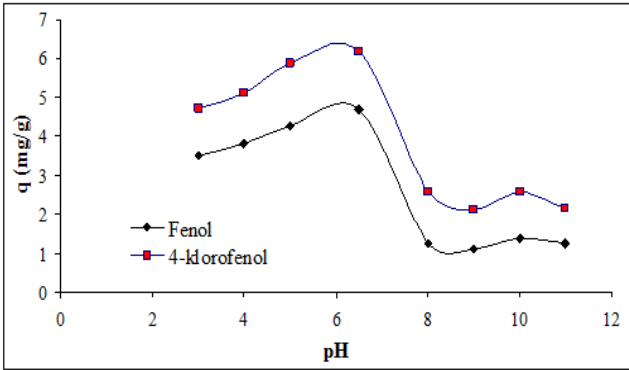
MANB’e adsorplanan P ve 4-CP’nün zamana bağlı değişimi Şekil 10’ da verilmiştir.



Şekil 10 Modifiye edilmiş nanobentonit P ve 4- CP adsorpsiyonunun zamana bağlı değişimi ($C_0=100$ mg/L, $T= 25$ °C, $pH= 6,38$ $k/s=5$ g/L, karıştırma hızı= 200 D/D).

3.4.2. pH Etkisi

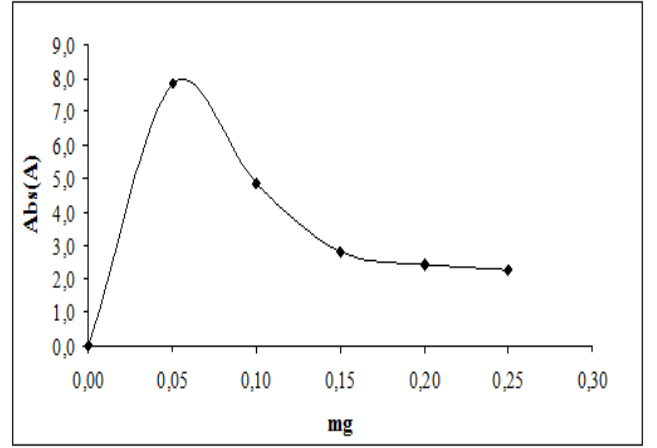
P ve 4-CP adsorpsiyonuna pH etkisi incelenmiş ve sonuçları Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11 MANB’e P ve 4-CP adsorpsiyonununun pH ile değişimi ($C_0=100$ mg/L, $T= 25$ °C, $k/s=5$ g/L, $t= 45$ dk karıştırma hızı=200 D/D).

3.4.3. Adsorbent Dozaj Etkisi

P ve 4-CP adsorpsiyonuna adsorbent dozaj miktarı incelenmiş ve deneysel bulguları Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12 Adsorbent (MANB) doz miktarı ($C_0=100$ mg/L, $T= 25$ °C, $t= 45$ dk karıştırma hızı=200 D/D).

3.4.4. Sıcaklığın Etkisi

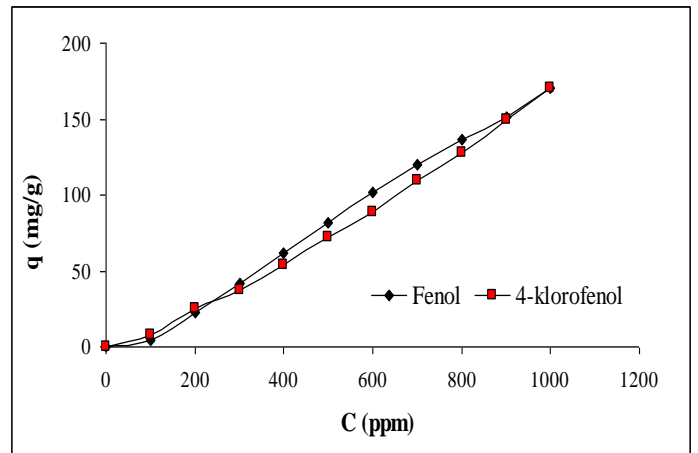
P ve 4-CP adsorpsiyonuna sıcaklık etkisi incelenmiş ve termodinamik verileri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3 Modifiye Edilmiş Nanobentonitin Entalpi ve Entropi Değişimleri.

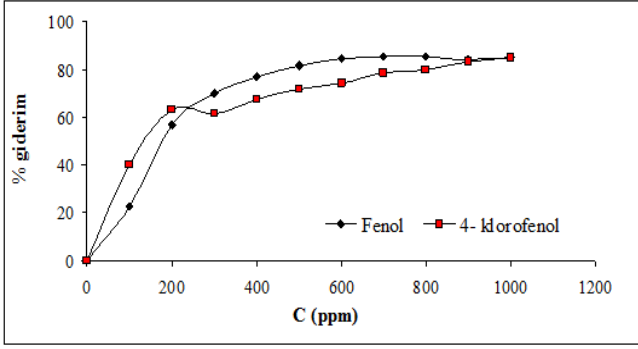
Adsorbat	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (kJ/mol)	ΔG° (kJ/mol)		
			298 °K	318 °K	338 °K
P	-10,122	-0,028	-1,594	-1,340	-0,884
4-CP	-19,752	-0,059	-2,128	-1,187	-0,934

3.4.5 Konsantrasyon Etkisi

P ve 4-CP adsorpsiyonuna konsantrasyon etkisi incelenmiş ve sonuçları Şekil 13 ve 14’de verilmiştir.



Şekil 13 MANB’e adsorplanan P ve 4-CP’nün konsantrasyonla değişimi ($pH= 6,38$, $T=25$ °C, karıştırma hızı=200 D/D, $k/s= 5$ g/L, $t= 45$ dk).



Şekil 14 MANB'e adsorplanan P ve 4- CP'ün % giderim verileri (pH = 6,38, T= 25°C, karıştırma hızı=200 D/D, k/s=5 g/L, t= 45 dk).

3.4.6 Adsorpsiyon İzotermeleri

P ve 4-CP adsorpsiyonun kinetik parametreleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4 MANB'in Freundlich ve Langmuir İzoterm verileri (T= 25 °C, pH=6,8 karıştırma hızı=200 D/D, k/s= 5 g/L).

Adsorbant	Freundlich Katsayıları	P	4-CP	Langmuir Katsayıları	P	4-CP
Nanobentonit	K_F	0,0049	0,8650	K_L	-0,0030	0,0600
	1/n	1,6723	1,2020	Q^0	-178,5710	-20,0000
	R^2	0,9706	0,9416	R^2	0,6645	0,8467

3.4.7 Katyon Değişim Kapasitesi

KDK verileri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5 MANB'e ait KDK değerleri.

KDK	MNPB	P	4-CP
(me q/100g)	27,17	16,30	10,87

4. Sonuç

MANB için adsorpsiyon denge süresi, 100 mg/L başlangıç derişiminde P ve 4-CP için belirlenmiştir. Bu maddelerin adsorpsiyonunun başlangıçta son derece hızlı olduğu ve yaklaşık 45 dakika içinde doygunluk yüzey konsantrasyonuna ulaştığı gözlenmiştir.

P ve 4-CP'ü adsorplayan MANB (katı/sıvı=5 g/L, T=25°C) ortam pH'ı doğal pH (pH= 6,38 ±1) olarak bulunmuştur. P ve 4-CP'ün başlangıç derişimi 100 mg/L olduğunda P için 4,69 mg/g, 4-CP için 6,18 mg/g adsorpladığı bulunmuştur. Adsorplama sırası 4-CP > P sırasına göre azalmaktadır.

Farklı pH' larda yapılan adsorpsiyon deneylerinde maksimum adsorpsiyonun doğal pH değerinin yaklaşık pH=6,38±1 olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek pH'larda adsorpsiyon miktarının azaldığı gözlenmiştir.

MANB P ve 4-CP'ün adsorpsiyonu fenollerle bentonit yüzeyi arasındaki elektrostatik kuvvetten kaynaklanan çekim ile olduğu düşünülmektedir. Burada, zıt elektrik yüklerine sahip olan adsorbant ile adsorbant yüzeyinin birbirlerini çekmesi önem kazanmaktadır.

MANB'in yeniden kullanılabilirliğini belirlemek için, adsorpsiyon denemesinde kullanılan bentonit %30 (v/v) etanol çözeltisi ile işleme tabi tutulmuş ve en az 3 kez kullanılabileceği bulunmuştur. MANB numunelerinin DTA verileri incelendiğinde MANB'in 150°C de yapısındaki zayıf ve kuvvetle bağlanmış suyun uzaklaşarak bir ekzotermik pik oluşturduğu bulunmuştur.

Elde edilen verilere göre en uygun adsorpsiyon izoterm modelinin Freundlich adsorpsiyon izoterm modeline uyduğu bulunmuştur.

25°C, 35°C ve 45°C süspansiyon sıcaklıklarında yapılan deneylerinde ise sıcaklığın yükselmesiyle adsorpsiyon değerlerinde azalma görülmüştür. Adsorpsiyon gideriminin % 98-%99 değerine kadar yükselmesi, uygulanan adsorpsiyon modeli sonucunda adsorpsiyon ısısının 10 kcal/mol' den düşük olması, P ve 4-CP'ün fiziksel olarak adsorplandığını göstermektedir. Ayrıca adsorplanan ile adsorplayan arasında bağ Vander Waals çekiminden kaynaklanmaktadır.

MANB Gibbs Serbest enerji değişimi verilerinin negatif olduğu görülmektedir. Gibbs Serbest enerji değişiminde negatif değerler adsorpsiyonun kendiliğinden olduğunu kanıtlamaktadır. Değişik sıcaklıklarda yapılan adsorpsiyon deneylerinde ΔH değerlerinin (P için -10,122 kJ/mol, 4-CP için -19,752 kJ/mol) ve ΔS° değerlerinin (P için -0,0028, 4-CP için -0,059 kJ/mol) negatif olduğu bulunmuştur. ΔH 'ın negatif çıkması reaksiyonun ekzotermik olduğunu ΔS° sonuçlarının negatif çıkması ise prosesin düzensizliğinde azalma olduğunu göstermektedir. Hem ΔH ' ın hem de ΔS° 'negatif olması reaksiyonun düşük sıcaklıklarda kendiliğinden olduğunu göstermektedir.

Genel olarak bu çalışma değerlendirildiğinde, P ve 4-CP'ün MANB kullanılarak uzaklaştırılmasında etkili doğal bir adsorbent olabileceği sonucuna varılmış ve çok düşük maliyetli ve kolay bir metotla uzaklaştırılabileceği bulunmuştur.

5. Teşekkür

Yazarlar, eleştirel yorumları ve makalelerinin kalitesini önemli ölçüde artıran faydalı önerileri için hakemlere ve adsorbantı temin eden sayın Prof. Dr. Marek Majdan'a teşekkür eder.

Kaynakça

- Ahmaruzzaman M. (2008). Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 143, 48-67.
- Akçay M. (2006). Characterization and adsorption properties of tetrabutyl ammonium montmorillonite (TBAM) clay:

- Thermodynamic and kinetic calculations. *Journal of Colloid and Interface Science*, 296, 16-21.
- Aksu, Z. ve Yener, J. (2001). Comparative adsorption/biosorption study of monochlorinated phenols onto various sorbents. *Waste Management*, 21, 695-702.
- Atia, A.A. (2008). Adsorption of chromate and molybdate by cetylpyridinium bentonite. *Applied Clay Science*, 41, 73-84.
- Banat, F. A., Al-Bashir, B., Al-Asheh, S., Hayajneh, O. (2000). Adsorption of phenol by bentonite. *Environmental Pollution*, 107, 391-398.
- Bors, J., Patzko, A., Dekany, I. (2001). Adsorption behavior of radioiodides in hexadecylpyridiniumhumate complexes. *Applied Clay Science*, 19, 27-37.
- Dabrowski, A., Podkoscielny, P., Hubicki, Z., Barczak, M. (2005). Adsorption of phenolic compounds by activated carbon-a critical review. *Chemosphere*, 58, 1049-1070.
- Dann, S.E. (2002) Reactions and Characterization of Solids (Basic Concepts In Chemistry), *Royal Society of Chemistry, Cambridge*, 201.
- Denizli, A., Özkan G. and Uçar M., (2002), Dye-affinity microbeads for removal of phenol and nitrophenols from aquatic systems. *Journal of Applied Polymer Science*, 83 (11), 2411-2418
- Denizli, A., Özkan G and Uçar M., (2001). Removal of Chlorophenols from Aquatic Systems with Dye-affinity Microbeads. *Separation and Purification Technology*, 24, 255-262.
- Dultz, S., Riebe, B., Bunnenberg, C. (2005). Temperature effects on iodine adsorption on organo-clay minerals II. Structural effects. *Applied Clay Science*, 28,17-30.
- Evcin A., Uçar M., Kayıran D., Selimoğlu M., 4 Klorofenolün Hidroksiapatit ile Sulu Ortamdan Uzaklaştırılması. AKÜ FEMÜBİD 14 (2014) OZ5737 (233-237).
- Garmia D., Zaghouane-Boudiaf H., Viseras Ibbora C., (2018). Preparation and characterization of new low cost adsorbent beads based on activated bentonite encapsulated with calcium alginate for removal of 2,4-dichlorophenol from aqueous medium. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115, 257-265.
- Hernández-Hernández, K.A., Illescas, J., Díaz-Nava, C., Martínez-Gallegos, S., Muro, C., Ortega-Aguilar, R., Rodríguez-Alba, E., Rivera, E., (2018). Preparation of nanocomposites for the removal of phenolic compounds from aqueous solutions. *Applied Clay Science*, 157, 212-217.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y., Barut, A. (1997). Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim İzmir, 51-57.
- Kara, M. (1999). *Toksik Ağır Metal İyonlarının Sepiyolit Üzerine Adsorpsiyon Mekanizması* (Doktora Tezi), İTÜ, İstanbul, s.247.
- Kozak, M., and Domka, L. (2004). Adsorption of the quaternary ammonium salts on montmorillonite. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 65:441-445.
- Kuleyin A. (2007). Removal of Phenol and 4-Chlorophenol by Surfactant- Modified Natural Zeolite. *Journal of Hazardous Materials*, 144, 307-315.
- Kuśmierk, K. (2016). The removal of chlorophenols from aqueous solutions using activated carbon adsorption integrated with H₂O₂ oxidation. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 119, 19–34.
- Majdan, M., Maryuk, O., Gladysz-Plaska, A., Pikus, S., Kwiatkowski, R., (2008). Spektral characteristics of the bentonite loaded with benzyldimethyloctadecyl ammonium chloride, hexadecyltrimethyl ammonium bromide and dimethyldioctadecyl ammonium bromide. *Journal of Molecular Structure*, 874, 101-107.
- Nourmoradi H., Avazpour M, Ghasemian N, Heidari M, Moradnejadi K., KhodarahmiF., Javaheri M., Mohammadi Moghadam F., (2016). Surfactant modified montmorillonite as a low cost adsorbent for 4-chlorophenol: Equilibrium, kinetic and thermodynamic study. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 59, 244-251.
- Olaniran A.O., Igbinsola, E.O., (2011). Chlorophenols and other related derivatives of environmental concern: properties, distribution and microbial degradation processes. *Chemosphere* 83, 1297-1306.
- Pera-Titus, M., Garcia-Molina V., Banˆos MA., Gimenez J., Esplugas, S., (2004). Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: a general review. *Appl Catal B Environ* 47, 219-256.
- Oruçoğlu, E ve Hacıyakupoğlu, S., (2010). *Organo-bentonitler ve karakterizasyonlarında kullanılan yöntemler*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Enerji Enstitüsü, Ayazağa Kampüsü, İstanbul.
- Sarıgök, Ü, (1987). Anorganik Endüstriyel Kimya, Güryay Matbaacılık, İstanbul.
- Sanjay P, K., Priti A, M., Amit K, B and Sadhana S, R (2008). Adsorption of phenol and o- chlorophenol on surface altered fly ash based molecular sieves. *Chemical Engineering Journal*, 138, 73-83.
- Soto ML, Moure A, Dominguez H and Parajo J.C., (2011). Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: a review. *J Food Eng*,105,1-27.
- Şenel S, Kara A, Alsancak G and Denizli A, *J. Hazardous Materials*, (2006). B138, 317-324.
- Şentürk, H.B., Özdeş D., Gündoğdu A., Duran C., Soylak M., (2009). Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption Onto Organomodified Tirebolu Bentonite: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Study. *Journal of Hazardous Materials*, 172, 353-362.
- Uçar S. (2009). *Sulu Ortamda Bulunan Fenol ve Klorofenollerin Aktive Edilmiş Klinoptilolit Kullanılarak Uzaklaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Uçar, M., Evcin, A., Kayıran, D., Ünverdi, H., Klorofenolün Al₂O₃ Katkılı Hidroksiapatit ile Sulu Ortamdan Uzaklaştırılması. AKÜ FEMÜBİD 14 (2014). OZ5737, (225-232).
- Uçar, S., Evcin, A., Uçar, M., Alibeyli, R., Majdan, M (2015). Aktive Edilmiş Klinoptilolit Kullanılarak Sulu Ortamdan Fenol ve Klorofenollerin Uzaklaştırılması. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 43(3), 235-249.
- Uçar M., (2019). Adsorption of chlorophenolic compounds on activated clinoptilolite. *Adsorption Science & Technology*, 37, 664-679.
- Uçar, M., Erçolak, K ve Uçar S., (2020). Removal of Phenol and Nitrophenols from Aquatic System With Cibacron Blue F3GA Attached mPHEMA, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7 (3), 1518-1528.
- Xie, W., Gao, Z., Liu, K., Pan, W.P., Vaia, R., Hunter, D and Singh, A. (2001a) Thermal characterization of organically modified montmorillonite. *Thermochimica Acta*, 367-368, 339-350.
- Xie, W., Gao, Z., Pan, W.P., Hunter, D., Singh, A., Vaia, R. (2001b) Thermal degradation chemistry of alkyl quaternary ammonium montmorillonite. *Chemistry of Materials*, 13, 2979-2990.
- Yariv, S. (2004). The role of charcoal on DTA curves of organo-clay complexes: an overview. *Applied Clay Science*, 24, 225-236.
- Yıldız, N., Gönülşen, R ve Çalimli, A. (2006). Tek ve çift katyonlu organobentonitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu, *Kibited*, 1, 2, 93-105.
- Zhu, L. and Chen, B., (2000). Sorption Behavior of p-nitrophenol on the Interface between Anion-Cation Organobentonite and Water. *Environmental Science & Technology*, 32, 3374-3378.
- Zhu, L., Zhu, R. (2007). Simultaneous sorption of organic compounds and phosphate to inorganic-organic bentonites from water. *Separation and Purification Technology*, 54: 71–76.



An Assessment of Elderly Bedrooms in Nursing Homes, in Terms of Human Wellbeing and Sustainability: An Example Case from Brussels

Zerrin Funda Üruk^{1*}, Tuğçe Öztürk²

^{1*} Istanbul Gelisim University, Faculty of Fine Arts, Department of Interior Architecture and Environmental Design, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-3994-5883), zfuruk@gelisim.edu.tr

² Istanbul Gelisim University, Faculty of Fine Arts, Department of Interior Architecture and Environmental Design, Istanbul Turkey (ORCID: 0000-0002-9917-1410), tozturk@gelisim.edu.tr

(First received 5 September 2020 and in final form 4 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.821357)

ATIF/REFERENCE: Üruk, Z. F. & Öztürk, T. (2020). An Assessment of Elderly Bedrooms in Nursing Homes, in Terms of Human Wellbeing and Sustainability: An Example Case from Brussels. *European Journal of Science and Technology*, (20), 769-773.

Abstract

The built environment influences the well-being of elderly people in nursing homes. In order to make sustainable designs for the effective use of the physical environment, we can take lessons from existing nursing home buildings, taking into account the physical activity and social life quality of the elderly. For that reason, a case study was made to examine current nursing home spaces. In the methodology part, an extensive analysis of the bedroom spaces of the nursing home in Brussels, where Senior Assist Nursing Homes is located, is analyzed. They are discussed by their spatial features such as spatial organization, sustainable and correct use of furnitures, materials and equipments, etc. according to the regulations. As a result of the analyzes, an evaluation table was created. The evaluation table includes the spatial standards of bedroom spaces of nursing homes in Brussels. According to these criterias, the case is examined and evaluated by their adequacies with the regulation and elderly needs. Also the methodology includes the use of photos of bedroom spaces taken from the personal of institution of chosen nursing home. In the research process of the nursing homes which are spatially arranged within the framework of the regulations, and standards will be discussed and evaluated within the scope of human well-being and sustainability especially elderly. Accordingly, considering the application of standards in elderly nursing homes, there will be an evaluation of how much of these standards are applied in reality and are they suitable and enough for elderly needs through example. Meeting the minimum standards that are determined according to the regulations and which must be applied is a quite important issue on human well-being.

Keywords: Interior Architecture Design, Nursing homes, Physical Environment Control, Sustainability, Spatial standards.

Huzur Evlerindeki Yaşlı Yatak Odalarının İnsan Sağlığı Ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi: Brüksel'den Örnek Bir Durum

Öz

Fiziksel çevre koşulları, huzurevlerindeki yaşlıların yaşam koşullarını etkilemektedir. Fiziksel çevrenin etkin kullanımına yönelik sürdürülebilir tasarımlar yapabilmek için, yaşlıların fiziksel aktivite ve sosyal yaşam kalitesi göz önünde bulundurularak, mevcut huzurevi binalarından öğretiler çıkarabiliriz. Bu nedenle, mevcut huzurevi alanlarını incelemek için bir vaka çalışması yapılmıştır. Metodoloji bölümünde, Senior Assist Huzurevleri'nin bulunduğu Brüksel'deki huzurevinin yatak odası alanlarının geniş bir analizi incelenmiştir. Bu alanlar, yönetmeliklere göre mekansal organizasyon, sürdürülebilir ve doğru mobilya seçimi, malzeme ve ekipman kullanımı gibi mekansal özellikleri ile tartışılmıştır. Analizler sonucunda bir değerlendirme tablosu oluşturulmuştur. Değerlendirme tablosu Brüksel'deki huzurevlerinin yatak odası alanlarının mekansal standartlarını içermektedir. Bu kriterlere göre örnek mekan, yönetmelik ve yaşlı ihtiyaçları çerçevesinde yeterliliklerine göre incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca metodolojide, seçilen huzurevi kurumunun yatak odası alanları fotoğraflarının kullanımını içermektedir. Yönetmelikler çerçevesinde mekansal olarak düzenlenen huzurevlerinin araştırma süreci, başta yaşlılar olmak üzere insan sağlığı ve sürdürülebilirlik kapsamında ele alınacak ve değerlendirilecektir. Buna göre, standartların yaşlı bakımevlerinde uygulanması dikkate alındığında, bu standartların gerçekte ne

* Corresponding Author: zfuruk@gelisim.edu.tr

kadar uygulandığı ve yaşlı ihtiyaçlarına uygun ve yeterli olup olmadığı örnekler üzerinden değerlendirilecektir. Yönetmeliklere göre belirlenen ve uygulanması gereken asgari standartların karşılanması insan sağlığı açısından oldukça önemli bir konudur.

Anahtar Kelimeler: İç Mimari Tasarım, Huzur evleri, Fiziksel Çevre Kontrolü, Sürdürülebilirlik, Mekansal standartlar.

1. Introduction

Today, aging and elderly places have become an important field of study. The elderly population is increasing rapidly and the need for institutions that may be an alternative to classical institutional nursing homes has increased due to this increase in the aging population. In the 21st century, one of the most important problems that came to the forefront for all countries of the world was aging. Today, as people live longer and birth rates decrease, the elderly population rate increases numerically and proportionally and our world gradually enters demographic aging process.

The built environment influences the well-being of elderly people in nursing homes. In order to design for enablement, physical activity, and social connectivity there are lessons to be learnt from current nursing home buildings (McIntyre and Harrison, 2017).

Studies related to nursing homes have been carried out in the fields of psychology, home economy, social services, elderly care, elderly health. Although there are many studies on the effects of spatial features on people, nursing homes are out of this subject. Based on this situation, it was aimed to conduct a study and support the study with an example whether the nursing home in Brussels are sufficient in terms of spatial qualities depending on the social, psychological and biological needs of the elderly. Accordingly, considering the application of standards in elderly nursing homes, there will be an evaluation of how much of these standards are applied in reality and are they suitable, sustainable and enough for elderly needs through example.

In the methodology part, there is a broad analysis of the example of nursing home bedroom spaces from Brussels where is Senior Assist Nursing Homes. They are discussed by their spatial features such as spatial organization, sustainable and correct use of furnitures, materials and equipments, etc. according to the regulations. As a result of the analyzes, an evaluation table was created. The evaluation table includes the spatial standards of bedroom spaces of nursing homes in Brussels. According to these criterias, the case is examined and evaluated by their adequacies with the regulation and elderly needs. Also the methodology includes the use of photos of bedroom spaces taken from the personal of institution of chosen nursing home.

In the research process of the nursing homes which are spatially arranged within the framework of the regulations, and standards will be discussed and evaluated within the scope of human well-being especially elderly.

2. Material and Method

2.1. Elderly Needs Within the Scope of Well-Being

In the 21st century, one of the most important problems that came to the forefront for all countries of the world was

aging. Today, as people live longer and birth rates decrease, the elderly population rate increases numerically and proportionally and our world gradually enters the demographic aging process. The World Health Organization (WHO) has dealt with aging chronologically and according to its classification;

- Adolescent 0-18 years old
- Young 18-65 years old
- Young-elderly 65-74 years old
- Elderly 74-84 years old
- Very elderly 85 years and older

The explosion in the elderly population, which emerged without the necessary social support systems, continues with an increase of 3% per year. According to UN research, in the next 30 years, the number of elderly people over the age of 65 will more than double the world over. It is estimated that the number of people aged 65 and over, which was 1 billion in 2019, will increase by 34 percent to 1.4 billion in 2030, reach 1.5 billion in 2050 and 3.1 billion in 2100. (WHO, 2020).

As a result of these datas, well-being of the elderly population comes forward as an important issue on all over the world. According to the report of the United Nations' "Economic Performance and Social Progress Measurement Commission" (Stiglitz-Sen-Fitoussi Report) in 2010, it was determined that there are eight main criteria that should be taken into account simultaneously when defining human welfare;

- 1) Material living standards (income, consumption and wealth);
- 2) Health;
- 3) Education;
- 4) Personal activities including work;
- 5) Political voice and governance;
- 6) Social connections and relationships;
- 7) Environment (present and future conditions);
- 8) Insecurity, of an economic as well as physical nature.

Furthermore, the Report posits that the sustainability of well-being factors measured is an integral factor in terms of their worth. Beyond these founding assumptions, the Report recognizes that both objective and subjective factors are important in the measurement of the eight dimensions of human well-being listed above (Wikiprogress, 2020).

This study focuses on seventh dimension which is environment. In this study, suitability of built environments' designs for elderly use is discussed. In this context, understanding of elderly needs in terms of physical conditions, space organization and design of built environments is quite important.

According to Kalinkara, when the places where elderly people will live are designed by considering their functional competencies, it is possible to carry out their daily activities without being tied to anyone or with a light support. There are design principles that should be applied in order for elderly users

to move freely on their own and to maintain their daily lives independently and safely. These;

- Physical Environment Factors (visual, auditory and thermal comfort)
- Space Organization (relationship between spaces, organization in one space)
- Equipment Design (user-equipment compatibility, function-equipment compatibility) (Konuk and Kaya, 2018).

It is important that the living spaces to be designed have an ergonomic structure in order to ensure that older individuals do not lag behind the independent life they are accustomed to. Ergonomics aims at designing everything that is open to human use and interaction as human-oriented, improving the person's life performance, ensuring the safety and happiness of the user, ensuring the health conditions at the best levels.

According to the scientific studies, as spatial requirements of nursing homes we can said that they should have correct spatial organization, correctly constructing the relationship between spaces, suitable use of equipment needed, appropriate visual, auditory, thermal comfort conditions, choosing the right materials, accurate sizing of architectural elements like windows, doors, etc. and circulation areas. All countries have set some standards to be implemented in organizations such as nursing homes, in line with their regulations. The standards in Brussels according to the "Regulation of Nursing Homes and Elderly Care and Rehabilitation Centers", the standards of the bedroom space are expressed in the evaluation chart in findings chapter.

In the case study part, application of these standards in Brussels is discussed detailed with the examples chosen from Brussels within the scope of human well-being and sustainability in terms of suitable design of nursing home bedroom spaces (Presidential Legislation Information System, 2020).

2.2. Case study: Brussels Nursing Home Example

In the methodology part, there is a broad analysis of the example of nursing home bedroom spaces from Brussels where is Senior Assist Nursing Homes. They are discussed by their spatial features such as spatial organization, correct use of furnitures, materials and equipments, etc. according to the regulations. As a result of the analyzes, an evaluation table was created. The evaluation table includes the spatial standards of bedroom spaces of nursing homes in Brussels. According to these criterias, the case is examined and evaluated by their adequacies with the regulation and elderly needs. Also the methodology includes the use of photos of bedroom spaces taken from the personal of institution of chosen nursing home. For Brussels case study, a single bedroom space of Senior Assist Nursing Home is choosed where is in Londerzeel, Brussels (Fig-1).



Figure 1. Senior Assist Londerzeel Nursing Home Master Plan

The bedroom plan consists of a total of 21,53 m², 17,05 m² of sleeping area and 4,48 m² of wet space arranged for single use. The room has a bed, wardrobe, sitting element, table and chair suitable for single use. It is observed that suitable arrangements have been made in the space for wheelchair users. Accordingly, there are holding bars for elderly users and the shower area is suitable for wheelchair access. Circulation in wet volume is also suitable for such users. The panel which the sink is connected is movable. In this way, it is ensured that the user meets his/her needs more easily. Door openings are also suitable in this respect. The wide window opening also makes it possible to utilize daylight as much as possible (Fig-2).

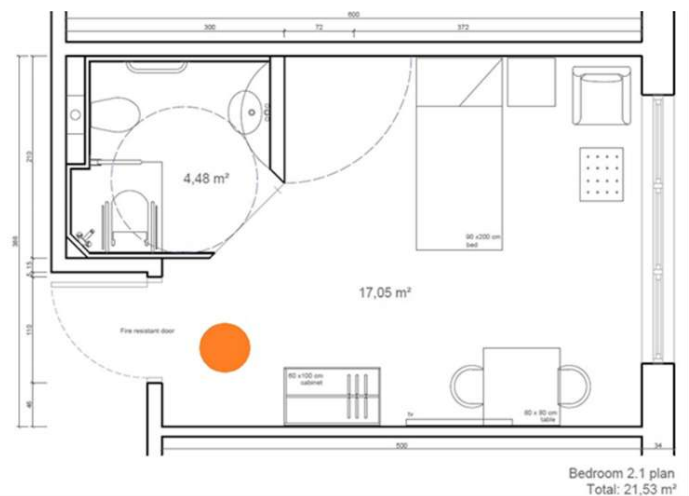


Figure 2. Senior Assist Londerzeel Nursing Home Single Bedroom Plan

The colors preferred in the room are quite plain and relaxing. In this way, the user will be able to customize his/her room. There are emergency call button and holding bar next to the bed. The use of bed is suitable for such institutions (Fig-3). There are enough holding bars in the toilet and shower areas. The emergency call button is also available in this area. Also there is ventilation system in the bathroom. The height of the sink and the use of the mirror are correct for the disabled user (Fig-4).



Figure 3. Senior Assist Londerzeel Nursing Home Single Bedroom Photos



Figure 4. Senior Assist Londerzeel Nursing Home Wet Area Photos

3. Results and Discussion

The standards in Brussels according to the “Belgian Nursing Homes Framework Regulation (2006)”, the standards of the bedroom space are expressed in the evaluation chart in table 1 and conformity of the sample to the standards was measured. According to the Belgian Nursing Homes Framework Regulation (2006); minimum standards regarding the structure and equipment of the spaces are specified and accordingly, the standards for the bedroom space are specified below; (Table 1).

Table 1. The Evaluation Chart of Nursing Home

The standards for the bedroom space of nursing homes in Belgium	available	unavailable
Rooms should be spacious enough for people to use and should be equipped with maximum comfort.	x	
The maximum number of beds allowed in the rooms is 2.	x	
Single room surface area cannot be smaller than 8 m ² , double room surface area cannot be smaller than 12 m ² .	x	
Adequate privacy should be provided in double rooms.	No double rooms	
The rooms should conform to the normative designated surface area, but appropriate width should be provided for the residents in need of care.	x	
The rooms should have wardrobes,	x	

tables and chairs, armchairs and TV units.		
There should be alarm system at bedside and bathroom areas where necessary.	x	
Room spaces should be adequately equipped with the necessary equipment for wheelchair users.	x	
It is essential that the floor material used in the interior is hygienic.	x	
The rooms should have a wet space including elderly toilet, shower tray and equipment.	x	
Bathrooms must be equipped for wheelchair users.	x	
There should be sinks that provide hot and cold water in the bathroom.	x	
There should be ventilation system in toilet and bathroom areas.	x	

The room has a bed, wardrobe, sitting element, table and chair suitable for single use. It is observed that suitable arrangements have been made in the space for wheelchair users. Accordingly, there are holding bars for elderly users and the shower area is suitable for wheelchair access. Door openings are also suitable in this respect. Circulation in wet volume is also suitable for such users. The panel which the sink is connected is movable. In this way, it is ensured that the user meets his/her needs more easily (Fig-5).

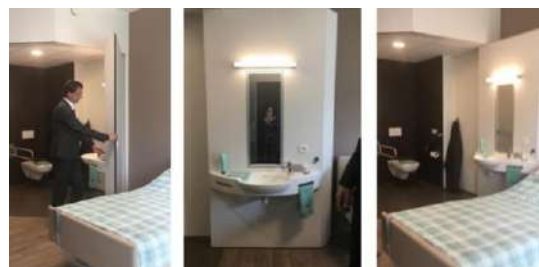


Figure 5. Senior Assist Londerzeel Nursing Home Wet Area Photos

The wide window opening also makes the room possible to utilize daylight as much as possible. The colors preferred in the room are quite plain and relaxing. In this way, the user will be able to customize his/her room. There are emergency call button and holding bar next to the bed. The use of bed is suitable for such institutions. For the sustainable design, all the bathrooms have ventilation system and there are enough holding bars in the toilet and shower areas. The emergency call button is also available in this area. The height of the sink and the use of the mirror are correct for the disabled user (Fig-6).



Figure 6. Senior Assist Nursing Home Bedroom Inside Photos

4. Conclusions and Recommendations

One of the most important points to consider when designing a space is to provide appropriate physical environmental conditions for those who use the space. If the factors in the physical environment, the organization and design of the space and equipment are not arranged correctly, the space causes discomfort in the comfort of the users as well as damages and losses that may cause their health. For the use and user of the space; People living in spaces designed by paying attention to criteria such as visual, auditory and thermal comfort, relationship between spaces, ergonomics, indoor air quality, noise annoyance, etc., lead their lives happier and more comfortably.

The concept and conditions of nursing homes and elderly care centers have shown great developments from past to present. According to this, in the places where the elderly live in crowded ways, today, places that give importance to the individual needs of the elderly. The bedrooms have also improved a lot during this process. Recently, the understanding of the elderly to be cared for in his/her own home environment and comfort has become widespread. Meeting the minimum standards that are determined according to the regulations and which must be applied is a quite important issue on human well-being and sustainability. It is obvious that, the research and rehabilitation center for elderly and disabled people expected to be formed in the light of the regulations should be programmed and checked in a comprehensive way for the buildings to be built in this area.

References

- Berkin, G., Özcan, U., (2017), "Oturmanın Ergonomisi", Yapı Dergisi (ISSN: 1300-3437, DAAI-Design and Applied Arts Index), Sayı: 426, s:140.
- Hedge A.L., Rhodes R. (2010). "Assessment of lighting in independent living facilities and residents' perceptions", Journal of Applied Gerontology, 29(3)
- Huls, M., de Rooij, S.E., Diepstraten, A., Koopmans, R., Helmich, E. (2015)." Learning to care for older patients: hospitals and nursing homes as learning environments". Med. Educ. 49 (3), 332–339.
- Kayacan, T., Özel, Y., Kayacan, B., "Kente Kazandırılan Yeni Yaşam Alanları" European Journal of Science and Technology, sayı:6, Ağustos 2019, ss. 679-687, ISSN NO: 2148-2683
- Konuk, M., Kaya A. Huzurevleri ve Tasarım Ölçütlerinin İrdelenmesi: Bolu ve Düzce Örnekleri. Tykhe Journal of Art and Design. Vol. 3/5 (2018), pp. 271-294.

Loe, M., Moore, C.D. (2012). "From nursing home to green house: changing contexts of elder care in the United States". Journal of Applied Gerontology. 31 (6), 755–763.

Lök, N. & Akın, B. (2013, Şubat). Domestic environmental risk factors associated with falling in elderly. Iranian Journal of Public Health, 42(2):120-128.

Malmberg, B., Zarit, S.H., (1993). "Group homes for people with dementia: a Swedish example". Gerontologist 33 (5), 682–686.

McIntyre, L., Harrison, I. The effects of built environment design on opportunities for wellbeing in care homes. International Journal of Architectural Research. Vol. 11/1 (2017), pp.138-156.

Nakanishi, M., Nakashima, T., Sawamura, K. (2012), "Quality of life of residents with dementia in a group-living situation: an approach to creating small, homelike environments in traditional nursing homes in Japan". Nihon Koshu Eisei Zasshi, 59 (1), 3–10.

Özcan, U., Erol, İ., (2018), Organik Mimarlık, Dicle Üniversitesi I Uluslararası Mimarlık Sempozyumu, 4-6 Ekim, Diyarbakır, Türkiye.

Özcan, U., (2019), "Yapıda HVAC Sistem Seçimi", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (e-ISSN: 1308-6529, ULAKBİM TR Dizin, EBSCO Discovery Service) ,23 (1), s: 212.

Özcan, U., Cestel, T., (2020), "Reggio Emilia Sistemi ve Mekânsal Kurguya Etkisi", Yapı Dergisi (ISSN: 1300-3437, DAAI-Design and Applied Arts Index), Sayı: 459, s:46.

Özcan, U., Erol, İ., (2018), A Sustainable Material / Polli Brick, 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 19-21 October, Ankara, Turkey.

Özcan, U., Erol, İ., (2018), Mimari Tasarımda Endüstriyel Ahşap Yapı Elemanları, II. International Symposium On Multidisciplinary Academic Studies, 16-17 November, Istanbul / Turkey.

Özel, Y. Kayacan, B. "Seri, Bant Üretim Mobilya Tasarım-Üretim Sürecine Etkisi Ve Modüler Mobilya", European Journal of Science and Technology, Yıl 2020, Cilt, Sayı 19, Sayfalar 623- 632

Özel Y., Kayacan B., Irmak Y. "Geçmişten Günümüze Montajı Kullanıcı Tarafından Yapılan Mobilyaların Sektördeki Yeri" İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 15(30)2016, s153.

Özel, Y., Ürük, Z. F. "Use of Plastic Materials in Furniture Design and Production", International Journal of International Journal of Advanced Research and Review, Yıl:4, sayı:1, Ocak 2019, ss. 1-13, ISSN NO: 2455-7277

Peters Roderick, Nursing Homes Visit, roderick.peters@acalis.com (12.04.2017), zfuruk@gelisim.edu.tr (17.04.2017).

Presidential Legislation Information System, Regulation of Nursing Homes and Elderly Care and Rehabilitation Centers. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=4414&MevzuatUr=7&MevzuatTertip=5> (08/05/2020).

Türkiye Cumhuriyeti Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı, Sosyal İçerme Politikaları Alanında Kurumsal Kapasitenin Artırılması Projesi, Demans Bakım Modeli Raporu, Ankara, 2017

Türkiye Cumhuriyeti Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı, Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Türkiye'de Yaşlıların Durumu ve Yaşlanma Ulusal Eylem Planı Uygulama Programı, Ankara, 2013

WHO, 10 Facts on Ageing and Health. <https://www.who.int/features/factfiles/ageing/en/> (17/06/2020).

Wikiprogress, Human Well-Being. http://wikiprogress.org/articles/jobs-and-work/human-well-being/#cite_note-Sen-6 (17/06/2020)



Performance Evaluation of Major Classification Algorithms for Aggressive Driving Detection using CAN-bus Data

Berat Karabulut¹, Özgür Karaduman^{2*}, Murat Karabatak³, Haluk Eren⁴

¹ Firat University, Faculty of Engineering, Department of Software, Elazig, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8712-3382), beratkabulut@gmail.com

^{2*} Firat University, Faculty of Engineering, Department of Software, Elazig, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6569-3616), okaraduman@firat.edu.tr

³ Firat University, Faculty of Technology, Department of Software, Elazig, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6719-7421), mkarabatak@firat.edu.tr

⁴ Firat University, School of Aviation, Air Traffic Management, Elazig, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4615-5783), heren@firat.edu.tr

(First received 29 May 2020 and in final form 6 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.743076)

ATIF/REFERENCE: Karabulut, B., Karaduman, Ö., Karabatak, M. & Eren, H. (2020). Performance Evaluation of Major Classification Algorithms for Aggressive Driving Detection using CAN-bus Data. *European Journal of Science and Technology*, (20), 774-782.

Abstract

Detection of driver moods associated to driving style such as drowsy, distracted, vigilant, calm, or aggressive driving is one of the main problems of Advanced Driver Assistance Systems and it obviously plays vital role in the prevention of traffic accidents. The main goal of this study is to compare the performances of major Supervised Learning based Classification Algorithms (SLCAs) for aggressive driving detection, which is one of the fundamental problems for understanding driver mood or driving style through CAN (Control Area Network) bus sensor data. These algorithms utilize CAN-bus data acquired by OBDII (On-board Diagnostics) socket of the vehicle. In our experiments, to get ground truth data, many trials referring to aggressive and calm driving have been conducted by different subject drivers and these sensor data have been labeled as “aggressive” and “calm”. Afterwards, these transformed into training data to assess performances of SLCAs. As a result, the Naïve Bayes Classifier has been found to be more successful than the others.

Keywords: CAN-bus, Driving safety, Aggressive driving, Intelligent vehicles, Classification algorithms.

CAN-bus Verileri Kullanarak Agresif Sürüş Tespiti için Temel Sınıflandırma Algoritmalarının Performans Değerlendirmesi

Öz

Uykulu, dikkati dağılmış, dikkatli, sakin ya da agresif sürüş gibi sürüş tarzıyla ilişkili olan sürücü ruh hallerinin tespiti İleri Sürücü Destek Sistemlerinin (İSDS) ana problemlerinden biridir ve trafik kazalarının önlenmesinde hayati rol oynamaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, CAN-bus sensör verilerini kullanarak sürücü ruh halini veya sürüş tarzını anlamanın temel problemlerinden birisi olan agresif sürüş tespiti yapmak için Eğitici Öğrenme Tabanlı Sınıflandırma Algoritmalarının (EÖSAs) performanslarını karşılaştırmaktır. Bu algoritmalar, aracın OBDII soketinden elde edilen CAN-bus verilerini kullanır. Deneylerde, referans verilerini elde etmek için agresif ve sakin sürüşe ilişkin bir çok deneme sürüşü farklı sürücüler tarafından gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler “agresif” ve “sakin” olarak etiketlenmiştir. Ardından, EÖSA’ların performansını değerlendirmek üzere eğitim verilerine dönüştürülmüştür. Yapılan performans değerlendirme sonucunda, Naïve Bayes sınıflandırıcısının diğerlerinden daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: CAN veriyolu, Sürüş güvenliği, Agresif sürüş, Akıllı araçlar, Sınıflandırma algoritmaları.

* Corresponding Author: Firat University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, Elazig, Turkey, ORCID: 0000-0002-6569-3616, okaraduman@firat.edu.tr

1. Introduction

1.1. Motivation

Every year in the world, thousands of traffic accidents occur, resulting in many injuries and deaths. These accidents many of which result in loss of life and property are often caused by driver mistakes. According to NHTSA and Vantage Auto Club data, 66% of fatal traffic accidents are caused by “aggressive driving” (safemotorist, iii.org, aaafoundation). For example, according to the statistics of the Turkish Statistical Institute and Research Department, 313.746 out of the 1.229.364 traffic accidents, which result in death and injury in Turkey in 2018, namely 89.6%, are caused by the drivers (tuik.gov.tr). About 55% -70% of these mistakes are driver mistakes which can be defined as “aggressive driving”. According to aforementioned information, it can be concluded that driving styles and driver moods play an important role in traffic accidents.

1.2. Problem Statement and Proposed Approach

In the most general sense, "aggressive driving" can be defined as performing dangerous driving with risk of accident by making sudden speed or position changes that violate traffic rules. It is generally assumed that aggressive driving is in the form of low gear driving, sudden braking, sudden acceleration, sudden departure, sudden and frequent gear shifting, and uncontrolled lane change. Therefore, the real problem here is that sudden driving movements of the driver can be detected, which can represent a “driving mood” in a means. The existing mood of driver maybe different from his/her driving style. This situation looks like a player in a theatre. His/her existing mood can be happy but he/she plays like in unhappy person role. In a similar manner happy driver can drive aggressive. In opposite, an unhappy driver can drive calm in response to his/her driving experience or professionalism. Without acquiring and processing driving data on steering wheel, driving style of a driver cannot be understood. This state can be considered as “driving mood” rather “driver mood”. As shown in Figure 1, State C is the impulsive response of State A. Likewise, State E is the impulsive response of State C. In this study, to detect these movements it has been used the OBDII information of the vehicle received via CAN bus, which includes the vehicle's internal sensor information. By means of the built-in sensors, it can be obtained clues for detecting driving moods thanks to the driver's pedal movements and associated information such as speed, acceleration, and RPM (Revolution per Minute) of the vehicle.

In this study, external sensors such as cameras, radars, or LIDARs are not utilized. Therefore, the cost of problem is tried to be minimized solely using vehicle internal sensors. Specified classification algorithms are employed to detect aggressive driving via the CAN bus data. Data acquisition is carried out through CAN bus on a designated parkour.

There are three stages of moods referring State A, State C, and State E in Figure 1. Also, there are two stages affecting mentioned moods addressing State B and State D. We assume driver’s native mood looks like a system. If an impulse like State B is applied to the system, State C is obtained. Then, State D is applied to State C. The final one is the responsive state (State E) to previous impulsive state (State D). Two different types of driving have been experimented, which are labelled as “aggressive driving” and “calm driving”.

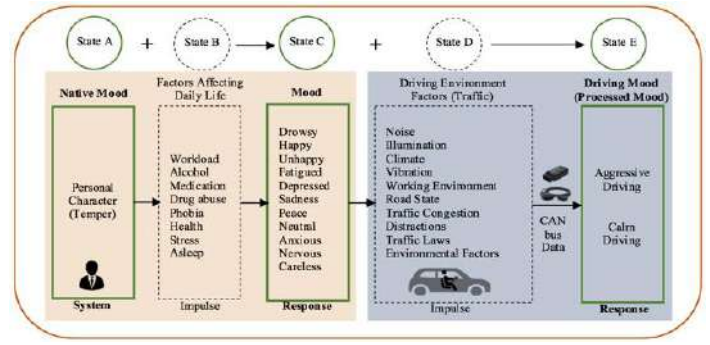


Figure 1. The story of driving behavior.

Performance of the deployed algorithms has an important role in estimating driving style. As a matter of this fact, it needs to be assessed specified algorithms. The proposed approach allows researchers to find best algorithm for related problem. In this study, some well-known methods have been deployed, which are ANN, Naïve Bayes, SVM, C4.5 (J48), and K-Nearest Neighbor algorithms.

1.3. Related Works and Contributions

In the literature, many sensors have been used for determining driving style, one of which is external camera. Ö. Kumtepe et al. introduced a camera based system to detect driving style (Kumtepe et al, 2015; Kumtepe et al, 2016). They obtained aggressive driving rate using aforementioned components as nearly 90%. There are many driving behaviour estimation studies based on smartphone sensors in literature (Trivedi et al, 2011; Eren et al., 2012; Bergasa et al., 2014; Koh et al., 2015; Li et al., 2016; Oliver et al., 2019). One of them is that of Bergasa et al. they were exploited by smartphone sensor data such as GPS sensor, acceleration sensor, and its camera to obtain aggressive driving level. Lane weaving and drifting rates are found, and aggressive driving scoring is performed. Authors in their study get a performance over 82%. Moreover, Fuzzy classification method is preferred in some of studies (Imkamon et al, 2008; Wu et al, 2012; Songkroh et al, 2014; Fazio et al, 2016; Arefnezhad et al, 2019; Wesseleny et al, 2019). Determination of aggressive driving without CAN bus data is achieved by the studies in (Waitkus et al, 2014; Li et al, 2014; Vignali et al, 2019; de Naurois et al, 2019). Simulator based studies rather using real vehicles exist in pressed resources introducing criteria for aggressive driving (Doshi et al, 2010; Gregoriades et al, 2013; Shirazi et al, 2014; Keklikoglou et al, 2018). Some of studies comprise influence of aggressive driving estimation on emission (Dia et al, 2015; Sun et al, 2016; Stogios et al, 2019; Faria et al, 2019).

OBDII sensor data is also involved in some of the aforementioned studies. Besides, attribute selection for CAN bus data reduction is conducted (Karaduman et al, 2013; Taylor et al., 2015; Fugiglando et al., 2018; Lokman et al., 2019; Le et al., 2020). The proposed study introduces an approach comparing calm and aggressive driving classification algorithms and exploits internal sensors existing in subject vehicle. As known, most of the vehicles have different kind of internal sensors. However, we have preferred common sensors existing in most of vehicles. To cope with this main problem, we have tried to use minimum number of sensors. Therefore, this scheme brings cost efficiency, portability, and compactness due to not using external sensors such as camera, radar, LIDAR, GPS, and smartphone sensors. In this study, some training based methods are used by real experimental subjects on a specified route, which are ANN, Naïve Bayes, SVM, C4.5, and

KNN. This comparative approach tries to find best supervised algorithm for aggressive and calm driving detection problem.

1.4. Paper Organization

Section II provides comprehensive details about methodology including Data Acquisition, Normalization, Learning and Classification Algorithms, Validation and Performance Evaluation. Section III comprises Experimental Results, subsections of which consist of data collection via CAN bus, estimation results of normalization, performance measure of selected algorithms, validation and performance evaluations. Conclusion and future works are in Section IV.

2. Material and Method

While determining driving style of a motorist, a system diagram with all the stages including performance comparison of potential classification methods and utilization of internal sensors' information via CAN bus are provided in Figure 2.

In the first stages, training data are collected, which includes aggressive and calm driving. The second stage comprises normalization process. In the stage three, the data labelled as aggressive/calm are trained by specified algorithms, which are ANN, SVM, KNN, C4.5, and Naïve Bayes. The last stage includes performance comparisons for aforementioned algorithms supporting with validation.

2.1. Data Acquisition

The main goal of the study is to assess performances of driving style detection for specified classification algorithms using OBDII sensor data. All the data are collected on a specified route. Two types of individual experiments representing aggressive and calm driving are conducted to get ground truth data. In this manner, two different data tables are obtained. For the classification, all the sensor data are not involved in the process. Hence, specified attributes are selected from OBDII sensor data as shown in Table I. The other sensor data are not selected, since they reveal same characteristics for both aggressive and calm driving, in other words, they don't expose discriminative features

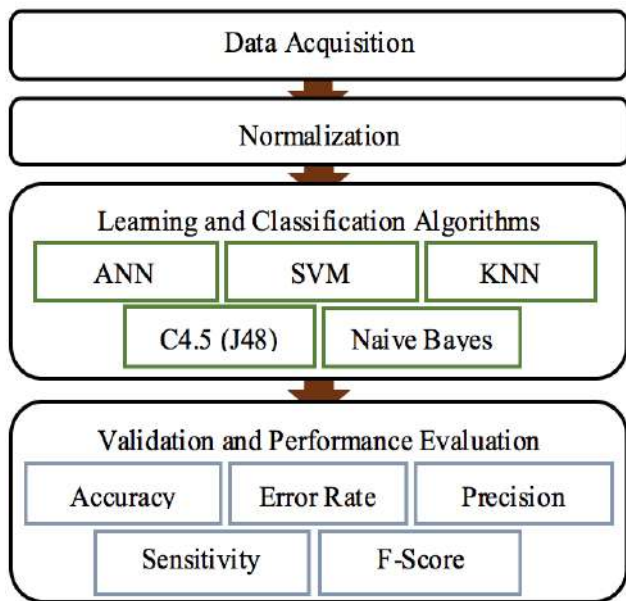


Figure 2. Stages of the proposed system

Table 1. The selected sensor data model

Sensor Data Type						
Number	A1	A2	A3	A4	A5	...
X1	A1 ₁	A2 ₁	A3 ₁	A4 ₁	A5 ₁	
X2	A1 ₂	A2 ₂	A3 ₂	A4 ₂	A5 ₂	
X3	A1 ₃	A2 ₃	A3 ₃	A4 ₃	A5 ₃	
.	
.	
Xn-1	A1 _{n-1}	A2 _{n-1}	A3 _{n-1}	A4 _{n-1}	A5 _{n-1}	
Xn	A1 _n	A2 _n	A3 _n	A4 _n	A5 _n	

2.2. Normalization

Normalization is utilized to provide steady distribution of data sets employed by classification algorithms, to reduce their significance suppressing scale differences of sensor data, and to prevent from performance loses in the stages of learning and classification. Selected attribute set is represented by A=A1, A2, ..., An-2, An-1, An, whose normalization formula can be provided as

$$NormA = \frac{A_i - A_{min}}{A_{max} - A_{min}} \tag{1}$$

where A_i refers to attribute value to be normalized, NormA denotes normalized attribute value, A_{min} indicates minimum attribute value, and A_{max} represents maximum attribute value.

2.3. Training Aggressive/calm Driving using Specified Classification Algorithm

In order to realize training process in the classification algorithms, CAN bus data should be labelled as aggressive or calm subsequently to data acquisition process.

Therefore, driving style can be classified in the end of supervised learning process. Here, we prefer binary labelling in which aggressive driving is indicated by "1", and calm driving is represented by "0". Table II comprises normalized aggressive and calm driving dataset. Figure 3 symbolizes driving style in binary form

Table 2. Normalized aggressive and calm driving datasets

	A1	A2	A3	A4	A5
1	NormA1 ₁	NormA2 ₁	NormA3 ₁	NormA4 ₁	NormA5 ₁
1	NormA1 ₂	NormA2 ₂	NormA3 ₂	NormA4 ₂	NormA5 ₂
.
0	NormA1 _n	NormA2 _n	NormA3 _n	NormA4 _n	NormA5 _n

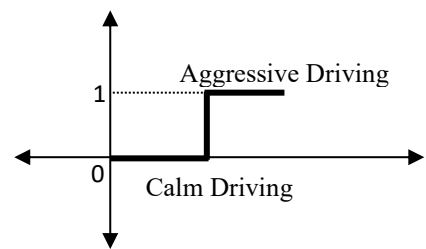


Figure 3. Labelling driving style in binary form

2.3.1. Artificial Neural Network

One of the classification algorithms in the proposed approach is Artificial Neural Network (ANN). Selection of transfer function is a significant stage for ANN. Correlation coefficient is utilized in this selection, which is provided in Equation 2. Correlation coefficient (r) comprising magnitude and direction, varying from -1 to +1, gives the relationship between estimated and actual results. Hence, the relationship between ground truth and estimated result can be evaluated.

$$r_{xy} = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{N}}{\sqrt{[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}][\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}]}} \quad (2)$$

where x refers to independent variable, y represents dependent variable, and N indicates number of observations. All the correlation results are plotted in Figure 4, which are Linear Transfer Function (PURELIN), Unipolar Sigmoid Transfer Function (LOGSIG), and Bipolar Sigmoid Transfer Function (TANSIG). Here, the TANSIG being at closest value to +1 appears most stable estimation.

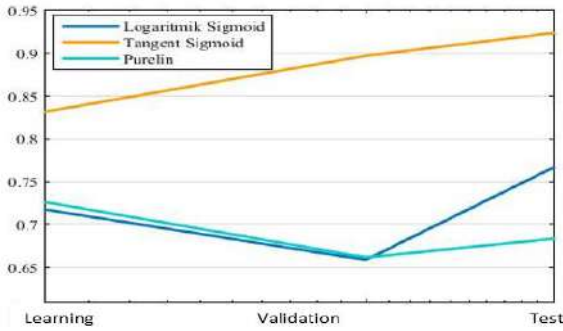


Figure 4. Correlation values of the transfer function

Table 3. Correlation coefficients

	Learning	Validation	Test
	r	r	r
LogSig	0,71744	0,65875	0,76662
TanSig	0,83182	0,89724	0,92370
Purelin	0,72618	0,66166	0,68348

Transfer estimation is given by

$$F(\text{NET}) = \frac{(e^{\text{NET}} + e^{-\text{NET}})}{(e^{\text{NET}} - e^{-\text{NET}})} \quad (3)$$

considering TANSIG which is selected as transfer function. Designed ANN model is illustrated in Figure 5.

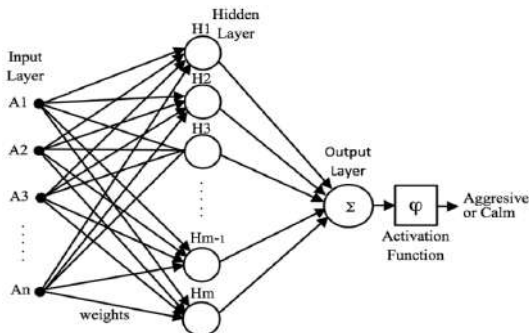


Figure 5. Designated ANN

2.3.2. Naïve Bayes

Another classification algorithm which is employed by this study is Naïve Bayesian algorithm. Each of attributes located in this classifier is conditional independent. Trained variable is conditional dependent to these attributes. In the statistical calculations of the Naïve Bayesian algorithm, data sets are firstly determined. Given $i=1, \dots, n$ data sets can be defined as $x_i = [A1_i, A2_i, A3_i, A4_i, A5_i, \dots]$. Each of these data sets have m number of classes (cj). Aggressive or calm probability of class j is estimated by

$$P(c_j | x) = P(x | c_j) \cdot P(c_j) / P(x) \quad (4)$$

Independent features are also obtained by

$$P(c_j | x) = \prod_{i=1}^n P(x_i | c_j) = P(x_1 | c_j) \cdot P(x_2 | c_j) \cdot \dots \cdot P(x_n | c_j) \quad (5)$$

2.3.3. K-Nearest Neighbors

The KNN classification algorithm possesses a memory based structure. For this reason, data to be classified are repeatedly calculated in each iteration. In the algorithm, variables replacing in data sets are represented by a space with n-dimensional as many as sample data numbers, which are as shown in Table I. Each training data indicates a point $\{A1_i, A2_i, A3_i, A4_i, A5_i, \dots, An_i\}$ in n-dimensional space. Following training stages, new samples referring to test data of the system are added to the nearest neighbor class determining K-number of neighbors through training data. While the classification is proceeded, distances to variables of groups are calculated and one with shortest distance is obtained. This variable set is added to the class. For n-dimensional space, the coordinate plane indicating variable set class to be added is given in Figure 6. There is different distance estimation algorithms in literature. In this study, well-known Euclidian distance measure is performed. X_u in Figure 6 denotes data to be classified. Euclidian distance calculation to find class of data is provided in.

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

where x_i and y_i represent distance at horizontal and vertical axis

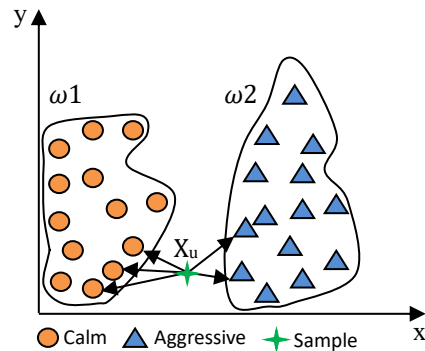


Figure 6. Correlation plane of KNN classification

2.3.4. Support Vector Machine

In this study, SVM is aimed to find hyper plane virtual line separating calm and aggressive driving classes at equal and furthest distance. Dashed lines determine the border line of closest data to the other groups. Thus, the distance between these two groups is divided into two portions through the hyper plane. Class of streaming test data is obtained by border line at equal distance

to both class using training data. Hyper plane line discriminating aggressive and calm driving is determined by SVM coordinate system.

2.3.5. C4.5 Algorithm (J48 Algorithm)

One of the algorithms that is preferred in this study is C4.5 or J48 algorithm. Decision trees are utilized for classification in C4.5 algorithm. It can continue classifying even if missing information occurs. Threshold value of each variable set, for example $k=1, \dots, n$ and $A5_k = \{A5_1, A5_2, A5_3, \dots, A5_n\}$ in Table I, should be determined for classification, and all the values located in variable set should be sorted. The threshold value is obtained by calculating the median value of these sorted data as

$$T_i = \frac{A_k + A_{k+1}}{2} \tag{7}$$

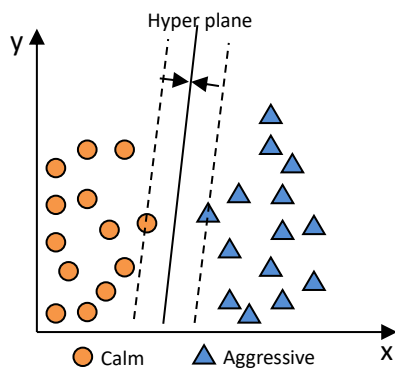


Figure 7. SVM coordinate plane

To find locations of data group in branch of tree, the entropy of each one should be obtained right after getting threshold values. Uncertainty measure for each parameter is thus determined, and these parameters are sorted considering their discrimination level. Entropy values are calculated by

$$H(S) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i) \tag{8}$$

where $H(S)$ refers to entropy values of S , n denotes number of messages generated, and p_i indicates probability for generating messages.

2.4. Validation and Performance Evaluation

In order to reveal the relationship between the variables in the dataset, training data which are labelled as aggressive or calm are trained using classification algorithms, and thus aggressive or calm driving classification is performed. Estimation performance for ANN can be given by

$$MSE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{9}$$

where MSE refers to Mean Square Error, k indicates number of data, y_i represent value at instant i , and \hat{y}_i denotes i th predicated values at instant i . Here, the least error means the most accurate estimation. The validation for Naïve Bayes, SVM, KNN, and C4.5 is achieved by recall and precision values. There is a reverse correlation between recall and precision values as shown in Figure 8.

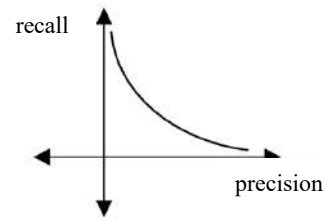


Figure 8. The relation between recall and precision

In some situations, while precision result is high, recall value may be low. For that reason, the result may not be meaningful as shown in Figure 8. Therefore, harmonic average value of arising results is obtained to get F-Score value, which refers to performance value. Table IV includes data classification results in which TP denotes True Positive, FN represents False Negative, FP indicates False Positive, and TN refers to True Negative. Furthermore, Equation 10 denotes accuracy rate estimation, Equation 11 represents error rate estimation, Equation 12 refers to precision estimation, Equation 13 indicates recall estimation, and Equation 14 reveals F-Score estimation (Sokolova at al., 2006).

Table 4. Data classification results (confusion matrix)

	<i>Estimated (No)</i>	<i>Estimated (Yes)</i>	
<i>Actual (No)</i>	TN	FP	$TN + FP$
<i>Actual (Yes)</i>	FN	TP	$FN + TP$
	$TN + FN$	$FP + TP$	

$$\text{Accuracy rate} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \tag{10}$$

$$\text{Error rate} = \frac{FP+FN}{TP+FP+FN+TN} \tag{11}$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \tag{12}$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \tag{13}$$

$$\text{F-Score} = \frac{2 \cdot \text{recall} \cdot \text{precision}}{\text{recall} + \text{precision}} \tag{14}$$

3. Experimental Results

3.1. Data Acquisition via CAN bus

In this study, five different drivers get a specified lap in two times for collecting data as shown in Figure 9. Drivers were asked for driving either aggressive or calm in each trial lap. Therefore, this process provides a table including ground truth data for aggressive and calm driving through same route. The main goal of this study is to estimate driving style of drivers through OBDII and to compare achievements of classification algorithms. Classification process needs characteristically attributes. All the sensor data acquired by OBDII is not distinctive. For this reason, optimum variables are selected to accomplish classification, which are A1, A2, A3, A4, and A5 referring to MAF (grams/sec), Calculated Load (%), RPM, Instant Economy Cost (100 Km/L), and Vehicle Speed (Km/h), respectively. The rest does not have characteristically attributes for discriminating aggressive or calm

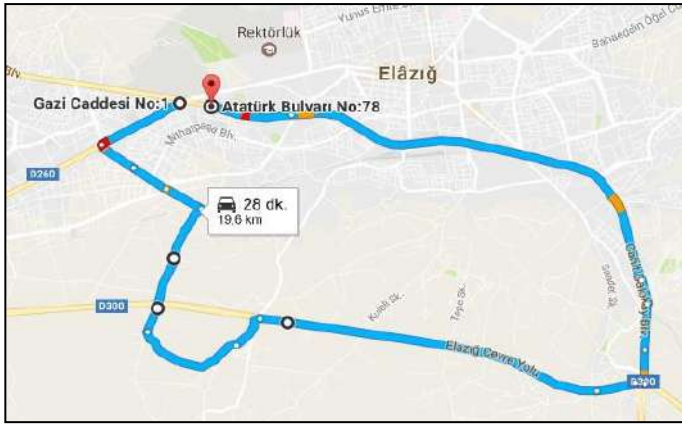


Figure 9. Data collection route

driving. The specified route on which sensor data is collected is shown in Figure 9. Selected sensor data for the specified route is provided in Table V addressing raw training data set. In the Driving Type column of the table, aggressive and calm driving are labelled as “1” and “0”, respectively. The sensor data through CAN bus varies by vehicle brand and series. Selected attributes are common for most of the vehicles. Aggressive dataset consist



Figure 10. Data acquisition via OBDII

of data of 281 rows, and calm data set consist of 372 rows. Sample snapshots for data acquisition experiment in vehicle are shown in Figure 10.

Table 5. Raw training dataset

No	Driving Type	A1	A2	A3	A4	A5
		MAF	Calculated Load	RPM	Instant Economy	Vehicle Speed
1	1	5,74	96,8	2246	10,5	39,8
2	1	6,11	98,8	2411	10,6	42,9
.	1	.	.	.	.	.
281	1	5,54	87,8	2170	10,5	38,5
282	0	0,87	14,9	861	1	0,6
283	0	0,94	15,7	805	1,1	0,6
.	0	.	.	.	.	.
652	0	0,85	14,9	865	2	1,2
653	0	0,87	14,9	861	1	0,6

A1: MAF (grams/sec), A2: Calculated Load (%), A3: RPM, A4: Instant Economy Coast (100 Km/L), A5: Vehicle Speed (Km/h)

Table 6. Normalized training datasets

No	Driving Type	A1	A2	A3	A4	A5
		MAF	Calculated Load	RPM	Instant Economy	Vehicle Speed
1	1	0,685	0,968	0,399	0,178	0,762
2	1	0,735	0,988	0,444	0,179	0,821
.	1	.	.	.	.	.
281	1	0,659	0,878	0,378	0,178	0,737
282	0	0,034	0,149	0,022	0,016	0,011
283	0	0,044	0,157	0,007	0,018	0,011
.	0	.	.	.	.	.
652	0	0,032	0,149	0,023	0,033	0,023
653	0	0,034	0,149	0,022	0,016	0,011

3.2. Normalization

Collected data should be normalized before training, validation, and test processes. Therefore, relative amplitude differences in sample data are suppressed, and also this process minimizes ill-effect of input data with outliers on the running system operation. The input data are taken into the normalization range between 0 and +1 as given in Equation 1 denoting min-max operation. Normalized data for aggressive and calm driving are given in Table VI.

3.3. Training, validation, and test for ANN

The selection of transfer function to be employed by ANN is achieved, which is given in Equation 2. Correlation performance of transfer functions are obtained as shown in Figure 4. Then, the bipolar sigmoid transfer function (TANSIG) exposing best performance is selected. Number of hidden layer in ANN is determined by some factors including over fitting and performance to be involved in optimum layer. As it can be remembered, the layout of the proposed ANN model is provided in Figure 5. Distribution of training, validation, and test process results for the proposed ANN is shown in Figure 11.

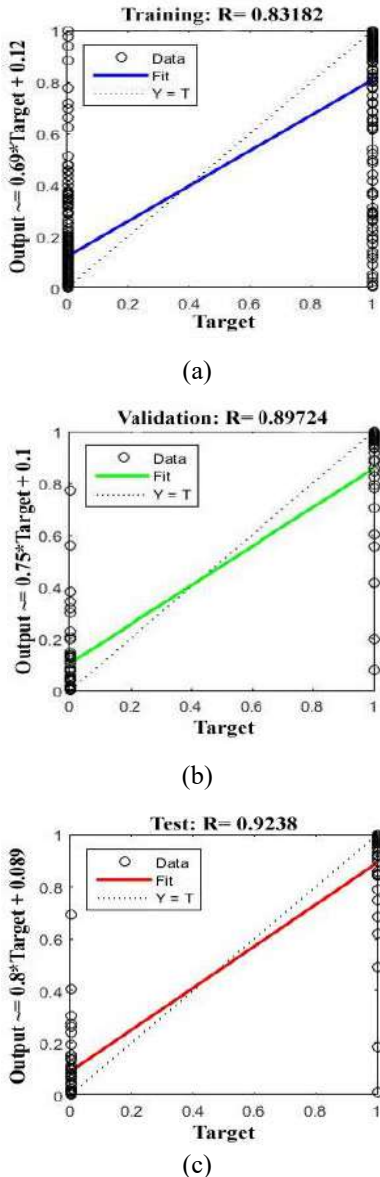


Figure 11. Performance results of ANN, (a) training performance, (b) validation performance, (c) test process performance

3.4. Performance measure of Naïve Bayes, KNN, SVM, C4.5 and ANN

Confusion matrix for the investigated algorithms is provided in Table VII, considering 94% training data and 6% test data. The results in confusion matrix is substituted by Equation 10, 11, 12, 13, and 14; then performance results are obtained as given in Table VIII including accuracy rate, error rate, precision, recall, and F-Score.

Table 7. Confusion matrix

The Algorithms	Performance Results			
	TN	FN	FP	TP
Naive Bayes	17	2	1	20
KNN	15	3	3	19
SVM	17	4	1	18
C4.5 (J48)	15	3	3	19
ANN	16	3	2	19
TP: True Positive	FN: False Negative			
FP: False Positive	TN: True Negative			

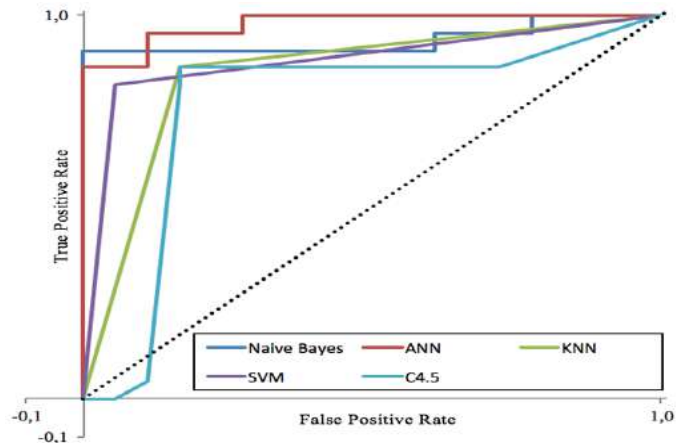


Figure 12. ROC curves indicating performance of the algorithms

Table 8. Performance results the algorithms

Algorithms	Performance Measures				
	Accuracy Rate	Error rate	Precision	Recall	F-Score
Naive Bayes	0,925	0,075	0,95	0,909	0,930
KNN	0,850	0,150	0,86	0,864	0,864
SVM	0,875	0,125	0,94	0,818	0,878
C4.5 (J48)	0,850	0,150	0,86	0,864	0,864
ANN	0,875	0,125	0,90	0,864	0,884

3.5. Validation and Performance Evaluation Process

The validation process has been carried out using new aggressive and calm driving data which is different from previous training data. In the acquisition stage, raw test data addressing to calm and aggressive driving have been recorded. Then, normalization process is applied for them. And then, aforementioned algorithms have been experimented by test data.

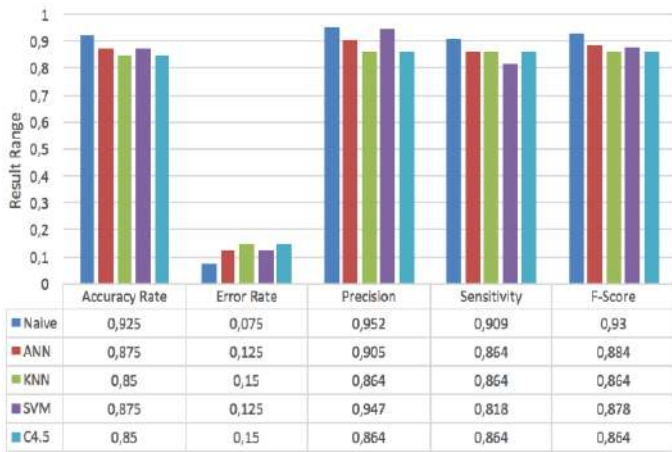


Figure 13. Performance results of the algorithms in bar representations

Performance results are provided in Table VII. By means of recall (sensitivity) and precision values, we can obviously perform a logical interpretation between both indicators being inverse parabolic relationship. Therefore, we have focused on interpreting of F-Score and harmonic average values obtained by Equation 14. Further, accuracy rate gives a valuable clue to have an idea for performance of existing algorithms. On the other hand, in Table VIII, accuracy rate and F-Score values of the algorithms are close to each other.

ROC curve referring to test results of the classification algorithms are shown in Figure 12. Also, Table VII is converted to bar representation for visually clarifying the issue as provided in Figure 13. Accuracy rate, F-Score, precision, and recall (sensitivity) scores of Naïve Bayes algorithm are better than those of the others, and ROC curve validates this situation. Hence, their error rates are less than those of the rest.

4. Conclusions and Recommendations

In the present study, we have compared the performance results of specified algorithms for aggressive and calm driving by means of limited internal sensors. According to the F-Score rate of 93%, Naïve Bayes is estimated as best performance value. The F-Score performance rates of Artificial Neural Network, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbors, and C4.5 (J48) algorithms are calculated as 88%, 87%, 86%, and 86% in ascending order. The difference between both algorithms showing best and least performance is 7%, which is the meaningful result in specified trials. In the next study, we are planning to deploy embedded software estimating driving style through driving mood involving in Fuzzy Logic approach for aggressive and calm driving mood.

References

https://www.safemotorist.com/articles/road_rage.aspx (Last access 06.12.2020)

<https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-aggressive-driving> (06.12.2020)

<https://aaafoundation.org/2015-traffic-safety-culture-index/> (06.12.2020)

<http://www.tuik.gov.tr/> (06.12.2020)

Kumtepe, Ö., Akar, G. B., & Yüncü, E. (2015). On Vehicle Aggressive Driving Behavior Detection Using Visual Information. In *2015 Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 795-798).

Kumtepe, Ö., Yüncü, E., & Akar, G. B. (2016). A Multimodal Approach for Aggressive Driving Detection. In *2016 Signal Processing and Communication Application Conference* (pp. 729-732).

Johnson, D. A., & Trivedi, M. M. (2011, October). Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform. In *2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 1609-1615). IEEE.

Eren, H., Makinist, S., Akin, E., & Yilmaz, A. (2012, June). Estimating driving behavior by a smartphone. In *2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (pp. 234-239). IEEE.

Bergasa, L. M., Almería, D., Almazán, J., Yebes, J. J., & Arroyo, R. (2014, June). Drivesafe: An app for alerting inattentive drivers and scoring driving behaviors. In *2014 IEEE Intelligent Vehicles symposium proceedings* (pp. 240-245). IEEE.

Koh, D. W., & Kang, H. B. (2015, June). Smartphone-based modeling and detection of aggressiveness reactions in senior drivers. In *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 12-17). IEEE.

Li, F., Zhang, H., Che, H., & Qiu, X. (2016, November). Dangerous driving behavior detection using smartphone sensors. In *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 1902-1907). IEEE.

Roider, O., Wegener, S., Stark, J., Judmaier, P., Michelberger, F., & Barberi, A. (2019). Merging Virtual World with Real-Life Behavior: A Concept for a Smartphone App to Influence Young People’s Travel Behavior. *Transportation research record*, 2673(4), 241-250.

Imkamon, T., Saensom, P., Tangamchit, P., & Pongpaibool, P. (2008, May). Detection of hazardous driving behavior using fuzzy logic. In *2008 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology* (Vol. 2, pp. 657-660). IEEE.

Wu, B. F., Chen, Y. H., & Yeh, C. H. (2012, November). Fuzzy logic based driving behavior monitoring using hidden markov models. In *2012 12th International conference on ITS telecommunications* (pp. 447-451). IEEE.

Songkroh, A., Foopratepsiri, R., & Lilakiataskun, W. (2014, June). An intelligent risk detection from driving behavior based on BPNN and Fuzzy Logic combination. In *2014 IEEE/ACIS 13th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)* (pp. 105-110). IEEE.

Fazio, P., Santamaria, A. F., De Rango, F., Tropea, M., & Serianni, A. (2016, May). A new application for analyzing driving behaviour and environment characterization in transportation systems based on a fuzzy logic approach. In *Unmanned Systems Technology XVIII* (Vol. 9837, p. 983707). International Society for Optics and Photonics.

Arefnezhad, S., Samiee, S., Eichberger, A., & Nahvi, A. (2019). Driver drowsiness detection based on steering wheel data applying adaptive neuro-fuzzy feature selection. *Sensors*, 19(4), 943.

Vesselenyi, T., Rus, A., Mitran, T., Moca, S., & Lehel, C. (2019, October). Fuzzy Decision Algorithm for Driver Drowsiness Detection. In *SIAR International Congress of Automotive and Transport Engineering: Science and Management of Automotive and Transportation Engineering* (pp. 458-467). Springer, Cham.

Vaitkus, V., Lengvenis, P., & Žylius, G. (2014, September). Driving style classification using long-term accelerometer

- information. In *2014 19th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)* (pp. 641-644). IEEE.
- Li, Y., Miyajima, C., Kitaoka, N., & Takeda, K. (2014, October). Measuring aggressive driving behavior using signals from drive recorders. In *17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 1886-1887). IEEE.
- Vignali, V., Bichicchi, A., Simone, A., Lantieri, C., Dondi, G., & Costa, M. (2019). Road sign vision and driver behaviour in work zones. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *60*, 474-484.
- de Naurois, C. J., Bourdin, C., Stratulat, A., Diaz, E., & Vercher, J. L. (2019). Detection and prediction of driver drowsiness using artificial neural network models. *Accident Analysis & Prevention*, *126*, 95-104.
- Doshi, A., & Trivedi, M. M. (2010, June). Examining the impact of driving style on the predictability and responsiveness of the driver: Real-world and simulator analysis. In *2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (pp. 232-237). IEEE.
- Gregoriades, A., Florides, C., Lesta, V. P., & Pampaka, M. (2013, October). Driver behaviour analysis through simulation. In *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* (pp. 3681-3686). IEEE.
- Shirazi, M. M., & Rad, A. B. (2014). Detection of intoxicated drivers using online system identification of steering behavior. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *15*(4), 1738-1747.
- Keklikoglou, A., Fitzpatrick, C. D., & Knodler, M. A. (2018). Investigation of time and speed perception using a driving simulator. *Transportation research record*, *2672*(37), 132-140.
- Dia, H., & Panwai, S. (2015, December). Impact of Driving Behaviour on Emissions and Road Network Performance. In *2015 IEEE International Conference on Data Science and Data Intensive Systems* (pp. 355-361). IEEE.
- Sun, J., Zhen, A., Li, C., Zhang, M., & Hu, X. (2016, October). A vehicles' CO₂ emission monitoring platform combined with driver's driving behavior. In *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia)* (pp. 1-2). IEEE.
- Stogios, C., Kasraian, D., Roorda, M. J., & Hatzopoulou, M. (2019). Simulating impacts of automated driving behavior and traffic conditions on vehicle emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *76*, 176-192.
- Faria, M. V., Duarte, G. O., Varella, R. A., Farias, T. L., & Baptista, P. C. (2019). Driving for decarbonization: assessing the energy, environmental, and economic benefits of less aggressive driving in Lisbon, Portugal. *Energy Research & Social Science*, *47*, 113-127.
- Karaduman, O., Eren, H., Kurum, H., & Celenk, M. (2013, December). An effective variable selection algorithm for Aggressive/Calm Driving detection via CAN bus. In *2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)* (pp. 586-591). IEEE.
- Taylor, A., Japkowicz, N., & Leblanc, S. (2015, December). Frequency-based anomaly detection for the automotive CAN bus. In *2015 World Congress on Industrial Control Systems Security (WCICSS)* (pp. 45-49). IEEE.
- Fugiglando, U., Massaro, E., Santi, P., Milardo, S., Abida, K., Stahlmann, R., ... & Ratti, C. (2018). Driving behavior analysis through CAN bus data in an uncontrolled environment. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *20*(2), 737-748.
- Lokman, S. F., Othman, A. T., Bakar, M. H. A., & Musa, S. (2019, July). The Impact of Different Feature Scaling Methods on Intrusion Detection for in-Vehicle Controller Area Network (CAN). In *International Conference on Advances in Cyber Security* (pp. 195-205). Springer, Singapore.
- Le, Q., Jiang, K., & Zhang, F. (2020). Design of automatic detection system for vehicle networking communication abnormal data based on CAN bus. *International Journal of Information and Communication Technology*, *16*(2), 123-139.
- Sokolova, M., Japkowicz, N., & Szpakowicz, S. (2006, December). Beyond accuracy, F-score and ROC: a family of discriminant measures for performance evaluation. In *Australasian joint conference on artificial intelligence* (pp. 1015-1021). Springer, Berlin, Heidelberg.



Faster R-CNN Evrişimsel Sinir Ağı Üzerinde Geliştirilen Modelin Derin Öğrenme Yöntemleri ile Doğruluk Tahmini ve Analizi: Nesne Tespiti Uygulaması

Okan Yılmaz¹, Hakan Aydın², Ali Çetinkaya^{3*}

^{1*} İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4412-1771)

² İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0122-8512)

³ İstanbul Gelişim Üniversitesi, Teknoloji Transfer Ofisi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4535-3953)

(İlk Geliş Tarihi 23 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 5 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.753896)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz, O., Aydın, H. & Çetinkaya, A. (2020). Faster R-CNN Evrişimsel Sinir Ağı Üzerinde Geliştirilen Modelin Derin Öğrenme Yöntemleri ile Doğruluk Tahmini ve Analizi: Nesne Tespiti Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 783-795.

Öz

Günümüz teknolojisiyle sonuçların daha doğru şekilde elde edilmesi için yapay zeka, makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarından faydalanılarak başarılı sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar içerisinde, başarı (succes) ve kayıp oranlarının (loss), seçilen algoritmaların performanslarını etkileyen en önemli faktörlerin; farklı eğitim adımları (epoch) ve veri setlerindeki karmaşık olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, belirli bir algoritmanın belirlenmiş bir nesneden oluşturulan veri seti üzerinde çalıştırılarak başarılı bir şekilde tespit etme işleminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada Faster R-CNN (Faster Region Based Convolutional Networks) evrişimsel sinir ağı kullanılarak 18 ayrı deney içerisinde 502 adet görüntü ile oluşturulan veri setinin derin öğrenme teknikleriyle nesne tespit işlemi gerçekleştirilmiştir. Nesne tanıma yaparken fotoğraf, video ve anlık olarak görüntü alınabilecek kamera seçeneklerinin bulunduğu ara yüz tasarlanmıştır. Çalışmada farklı eğitim adımları ile modeli eğitip, en doğru oranla tahmin yapan eğitim adımı değeri bulunmaya çalışılmıştır. Eğitim sürecinde en başarılı tahmin oranının bulunması için ise farklı eğitim adımlarıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan toplam 100.000 eğitim adımlık eğitimin sonucunda elde edilen başarı oranı %97,835 ve kayıp oranı %2,165'tir.

Anahtar Kelimeler: Faster R-CNN, Nesne tanıma, Object Detection API, Evrişimsel Sinir Ağı, Derin Öğrenme.

Accuracy Estimation and Analysis of The Model Developed on The Faster R-CNN Evolutionary Neural Network Using Deep Learning Methods: Object Detection Application

Abstract

With today's technology, successful results are tried to be achieved by using artificial intelligence, machine learning and deep learning algorithms in order to obtain the results more accurately. In studies in the literature, it has been found that success and loss rates, the most important factors affecting the performance of selected algorithms, are complex in different training steps (epoch) and data sets. In this study, it is aimed to successfully detect a particular algorithm by running it on a dataset created from a specified object. In this study, object detection was performed using deep learning techniques of the data set created with 502 images in 18 separate experiments using the Faster R-CNN (Faster Region Based Convolutional Networks) convolutional neural network. An interface is designed with camera options that can take photos, videos, and images instantly when deconstructing objects. In the study, we tried to find the value of the training step that trains the model with different training steps and estimates the most accurate ratio. In order to find the most

* Sorumlu Yazar: İstanbul Gelişim Üniversitesi, Teknoloji Transfer Ofisi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4535-3953, alacetinkaya@gelisim.edu.tr, 0212 422 70 00 – D.No: 7187

successful prediction rate in the training process, experiments were conducted with different training steps. A total of 100,000 training steps, the success rate achieved as a result of the training is 97.835% and the loss rate is 2,165%.

Keywords: Faster R-CNN, Object detection, Object Detection API, Convolutional Neural Networks, Deep Learning.

1. Giriş

Günümüzde, teknolojinin gelişmesiyle birlikte gelişmeye devam eden bir konu olan yapay zeka, 1956 yılında John McCarthy tarafından bir toplantı sırasında adını duyurmuştur. Gelişmeye devam etmesiyle birlikte 2006 yılında Geoffrey Hinton tarafından sunulan çoklu öğrenme tanımı, derin öğrenmenin başlangıcı için ön ayak olmuştur. İnsan iş yükünü hafifletmek, daha doğru sonuçlara ulaşmak, çözüme en hızlı şekilde ulaşabilmek adına gerekliliğini koruyan bir konu olan derin öğrenme, sağlık sektörü, otomotiv sektörü, otonom sistemler, güvenlik sistemleri, görüntü işleme, ses tanıma gibi birçok çalışma alanında kullanılmaya başlamıştır.

Birçok alanda olduğu gibi nesne tanıma alanında da kullanılmaya başlayan yapay zeka, insanlar için bu alanda da birçok kolaylık sağlamasıyla bilinmektedir. Görme engelli kişilerin nesne tanıma sayesinde çevresinde olan nesnelere algılayabilmesi bu alandaki bir örnektir. Görüntü işleme, günümüzde bulunan şirketlerin çeşitli amaçlar için kullandıkları ve hızla büyümekte olan bir yöntemdir. Bu yöntem mühendislik ve bilgisayar alanlarında da temel araştırma alanı oluşturur. Bu yöntem fotoğraf, video ve kamera üzerinden anlık olarak alınan görüntüler girdi olarak verilmektedir ve girdi olarak verilen verilerin işlenmesiyle elde edilen görüntü içerisinde yararlı bilgiler elde etmeyi amaçlayan bir yöntemdir.

Derin öğrenme görüntü işleme ve analizi, ses işleme ve analizi, robotik sistemler, kanser gibi ciddi hastalıkların teşhisi gibi çok fazla alanda kullanılmaya başlanılmıştır. Görüntülerde bulunan nesnelere en hızlı ve doğru şekilde tespit etmek amacıyla geliştirilen ilk algoritmayı Viola Jones 2001 yılında geliştirmiştir (Viola ve ark., 2001). Günümüzde bulunan sınıflandırma yöntemlerine ait algoritmaları derin öğrenmenin makine öğrenmesinin karşısında daha performanslı ve doğruluk oranına sahip olması sebebiyle alternatif olarak bir derin öğrenme algoritması kullanılmış ve sınıflandırma işlemi yapıldığı görülmüştür (Döş ve ark., 2019). Makine öğreniminde önemli aşamalardan biri olan özellik vektörlerinin çıkarılması ve bu vektörlerin çıkarılmasında ihtiyaç duyulan uzman bilgilerinin kullanılması, uzman kişileri çok meşgul etmektedir ve aynı zamanda çok fazla zaman aldığı görülmüştür. Bu yüzden makine öğrenimi bir veriyi ön işleme tabi tutulmadan ve uzmanların bilgilerinden yararlanılmadan işlenilemez olduğu görülmüştür. Derin öğrenme ise makine öğreniminin aksine öğrenme işlemlerini ham veri üzerinden yaptığı görülmüş ve bu işlemlerin, oluşturulan modellerin farklı katmanlarda kullanılmasıyla tamamlandığı görülmüştür (Inik ve ark., 2017). Elde edilmiş olan görüntülerin içerisinde yüz olup olmadığını gösteren bir sistem üzerinde yapılan testlerin sonucunda ise OpenCV ile gelen Viola & Jones sınıflandırıcısından daha başarılı doğruluk oranlarının elde edildiği görülmüştür (Baykara, 2018).

Geliştirilen uygulamada güvenliği, kullanıcı adı ve paroladan daha üst düzeye çıkarmak için yüz tanıma işleminin kullanıldığı görülmüştür (Vurgun, 2017). Yüz ifadelerini baz alarak duygu tespiti temel duyguların (mutlu, kızgın, üzgün, iğrenme, korku, şaşırma ve nötr) olmak üzere 7 tanesi baz alınarak geliştirilmiştir.

4 erkek ve 3 kadın olmak üzere toplam 7 kişiden 9296 adet görüntü üzerinde veri seti oluşturulmuştur (Sağbaş ve ark., 2019). Gerçek zamanlı olarak kamera görüntülerinden alınmış olan yüz görüntülerinin işlenmesi sonucunda elde edilen cinsiyet bilgisi ve kameraya olan uzaklığı incelenerek ekrana belirlenen reklamların görüntülenmesinin sağlanması amaçlanmıştır (Kabasakal, 2018). E-ticaret platformlarında kullanıcılara renk ve desen seçmeleri halinde önerilen kıyafet değerlendirilmelerini sunmasının hedeflendiği vurgulanmıştır. Desen analizi için Hough Dönüşüm Algoritması kullanılmış aynı zamanda renk sınıflandırılması için ise Bulanık Mantık Sistemi kullanıldığı görülmüştür (Abusabra, 2018).

Gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada Melanom türünün tanısını yapması için tasarlanmış olan C4Net sinir ağı modeli ve aynı zamanda günümüzde çok duyulan AlexNet, VGGNet, GoogLeNet, ResNet gibi derin öğrenme modelleri ve yapay sinir ağları kullanılmış aynı zamanda ise yine çok duyulmuş olan en yakın komşu algoritması gibi makine yöntemlerini de içerisinde barındıran deneysel bir çalışma yapıldığı görülmüştür. Yapılmış olan bu çalışmada C4Net sinir ağı modeli %96,94 oranındaki bir doğrulukla teşhisi doğru koyarak diğer modellere göre daha başarılı sonuç elde ettiği görülmüştür (Yıldız, 2019). Kadınlarda görülen kanser çeşidi olan meme kanseri, kanser türleri arasında ölümle sonuçlanan akciğer kanserinden sonra ki en ölümcül kanser türü olmasından dolayı ve bu kanser türünün en önemli iyileşme sürecinde ise birinci sırada erken teşhis yer almasından dolayı bu yapılan çalışma ile bu teşhisin kolaylaştırılması öngörülmüştür (Alpaslan, 2019). Kan yapılarında bulunmakta olan beyaz kan hücreleri sayesinde önemli olan bu bilgilere ulaşmanın sağlık sektörü için önemli olmasından dolayı ve bu bilgilere ulaşmak için mikroskop görüntüleri hekimler tarafından manuel olarak incelenip elde edilen bulgulardan sonuçların çıkarılması yorucu ve zaman kaybına sebebiyet vermesinden kaynaklı bu iş yükünü hafifletmek amacının hedeflendiği görülmüştür (Çam ve ark., 2019). Antep fıstığına ait verilerin alınarak kalite oranına göre sınıflandırılması hedeflenmiştir. Derin öğrenme ağı ile Antep fıstıklarına ait 11 adet sınıflandırılma grubundan 2750 tane görüntü verileriyle eğitildiği gözlemlenmiştir. Test edilmesi için ise gerçek zamanlı görüntülerin ve bilgisayar görüntülerinin kullanıldığı görülmüştür. Elde edilen test sonuçlarına göre %100 oranında başarılı olduğu görülmüştür (Rashid, 2019).

Uzmanların incelemekte olduğu MR görüntülerinin daha hızlı incelenmesinin gerektiği ve bu sayede beyin tümörlerinden kaynaklanan ölümlerin en aza ineceği kanısı ortaya çıkmış ve yapılmış olan bu çalışmada MR görüntülerinden tümörü kolayca bulup yerini uzmanlara bu durumu bildirebilecek bir tümör tespit sisteminin geliştirilmesi hedef gösterilmiştir. Geliştirilen bu sistemde Bölgesel tabanlı Evrişimsel Sinir Ağları (BESA) kullanılmış ve aynı zamanda bu sistemin Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) mimarisini de içerisinde barındırdığı görülmüştür (Arı ve ark., 2017). İnfertilite hastalığının teşhisinde kullanılan spermogram (sperm testi) isimli testin önemi vurgulanmış ve hem daha kolay hem de objektif olarak değerlendirilmesi hedef gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında infertil hastalığına sahip olan 15 hastaya ait olan spermaların testi sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri örnek olarak alındığı vurgulanmıştır (Başarslan, 2018). Klasik yöntemde insan gücüyle yapılmakta

olan kan hücrelerinin sayımı sebebiyle ortaya çıkmış olan güvenilirliğin azalması, verimliliğin düşük olması ve yüksek düzeyde öznelik gibi eksiklerinin bulunmasından dolayı mikroskobik ortamda elde edilecek olan kan örneği görüntüleri baz alınarak bu örnekler üzerinde görüntü işleme yöntemleri kullanılarak kan hücrelerinin tespitinin yapılması ve aynı zamanda sayılarını bulup sınıflandırılmasını gerçekleştiren bir yazılımın geliştirilmesi hedef gösterilmiştir (Karakuzulu, 2018). Diyabetik Retinopati hastalığı üzerinde sınıflandırma yapılırken evrimsel sinir ağları kullanılmış test verisi olarak ta MESSIDOR veri setinin kullanıldığı görülmüştür. Elde edilen test sonuçlarına göre %95'lik bir başarı oranının kazanıldığı görülmüştür (Tükel, 2019).

Fiziksel ve motor engelli kişilerin doktorları tarafından sınıflandırma işlemlerinin yapılabilmesi için birçok etken bulunduğundan bu süreç zor ve uzun süren bir işlem olduğu için sınıflandırmaları konusundaki zorluğu göz önüne alınarak örnek bir çalışma önerilmiştir (Karacı, 2020). İşitme problemi yaşayan kişilerin yaşam koşullarını kolaylaştırma amacının hedeflendiği görülmüştür. Bu çalışmada Türk İşaret Dili (TİD)'ne ait olan parmak hareketleri Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks, CNN) yöntemi kullanılarak yazı diline çevrildiği görülmüştür (Ezel, 2018). Su kalitesini tespit etmek açısından önemli bir role sahip olan ve 4 türü bulunan Spirulina isimli alg mikroorganizmasının otomatik olarak tespit edilmesi hedef gösterilmiştir. Bu tespit işlemleri geleneksel olarak uzmanlar aracılığıyla manuel olarak yapılmasından kaynaklı olarak ortaya çıkabilecek hataların sonucunda yanlış işlemler gerçekleştirilebileceğinden dolayı otomatik yapılacak tespit işlemleri uzmanlara olabildiğince yardımcı olması hedef gösterilmiştir. Bu yöntemden elde edilen verilere göre %84 başarı oranının elde edildiği görülmüştür. Diğer yöntemlerle karşılaştırılması için diğer yöntemlerle de test edilmiş ve bunun sonucunda elde edilen sonuçlara göre SURF %63 oranında, FAST %64 oranında, CNN ise %99 oranında bir başarı elde ettiği görülmüştür (Sıddık, 2019). İşitme ve görme engelli kişilerin el hareketlerinin algılanması ve istenilen işlemlerin gerçekleştirilmesi için 2D görüntülerin yapılarından faydalanabilmek ve aynı zamanda eğitilmelerinin kolay olmasından kaynaklı olarak CNN mimarisinin kullanıldığı görülmüştür (Mahmood, 2019).

Saldırı tespit sistemlerinin performansının geliştirilmesi için, Deep Feed-Forward neural network (derin ileri besleme yapay sinir ağı), Random Forest (Rastgele Orman) ve Gradient Boosting Tree (Gradyan Arttırma ağacı) isimli sınıflandırma yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür. Test işlemlerinin yapılması için ise UNSW-NB15 ve CICIDS2017 veri setleri kullanılmıştır. Aynı zamanda Apache Spark kullanılarak derin öğrenme tekniği uygulanmış ve elde edilen sonuçlara göre CICIDS2017 veri seti ikili sınıflandırmada %99,99 doğruluk oranını yakalarken çoklu sınıflandırma için ise DNN yöntemi %99,56 doğruluk oranıyla yüksek seviyede olduğu görülmüştür (Faker, 2019). Gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada, DDOS tespiti, IDS tanıma, Epileptik nöbet tanımlama ve başka bir veri seti olan basamak sınıflandırma veri setlerinin kullanıldığı görülmüştür (Karim, 2019).

Atmege328P mikrodenetleyici kontrollü konveyör bant sisteminin ve görüntü işleme teknolojisinin entegre olarak çalışarak önceden tanımlanmış ürünleri parça şeklinde ayırmak için bir sistem tasarlanmıştır (Danışman ve ark., 2017). RFID

teknolojisiyle birlikte derin öğrenme tekniklerini kullanarak konum bulma işleminin gerçekleşmesi hedef gösterilmiştir. Sistemin eğitilebilmesi için 60 cm kenarlardan oluşan kare bir alanın her bir köşesinden ölçümler alınarak dijital ortama aktarılmış ve vektörlere dönüştürülmüş ve eğitime tabi tutulduğu söylenmiştir (İşleyici, 2019). Doğada bulunan mantarların insanlar tarafından yenilmesi ve bu mantarların bazı çeşitlerinin zehirli olmasından dolayı yaşanabilecek sıkıntıların önüne geçmek hedef gösterilmiştir. Selçuk Üniversitesi Kampüsü'nde bulunan mantar türlerinin sınıflandırılması için görüntü işleme tekniklerinden olan K-NN algoritması ve Naive Bayes algoritmasının kullanıldığı gözlemlenmiştir. Testler ile K-NN algoritmasıyla %80 doğruluk oranı, Naive Bayes algoritmasıyla ise %96 doğruluk oranı elde edildiği görülmüştür (Erkan, 2019). İnsansız hava araçlarının (İHA) düşük maliyet, yüksek hız ve aynı zamanda yüksek hassasiyet ile elde ettiği verilerin büyük miktarda veri içermesinden dolayı elde edilen bu verilerin detay tespit aşamalarını manuel olmak şartıyla operatörler aracılığıyla yapılmasından dolayı bu çalışma ile otomatik bir şekilde yapılmasının hedeflendiği görülmüştür (Kabadayı ve ark., 2019). İnternette alınan fotoğraflar kullanılarak oluşturulmuş olan RidNet veri seti ile yedi adet farklı yüz ifadesi için derin öğrenme teknikleri kullanılarak duygu belirlemesinin yapıldığı görülmüştür. Sonrasında ise literatürde popüler olmuş olan AlexNet, GoogLeNet, ResNet101 gibi evrimsel sinir ağları yöntemleriyle RidNet üzerinden transfer öğrenimi yapılmış ve test verileri olarak ise Compound Facial Expressions of Emotion (CE) ve Static Facial Expressions in the Wild (SFEW) veri setleri belirlendiği görülmüştür. (SWEF) ise RidNet ile eğitilmiş olan diğer ağlara oranla belirgin üstünlük sağladığı görülmüştür (Koç ve ark., 2019).

Otonom araçların yaya geçidi, trafik lambaları gibi nesnelerin tanıtılmasının ve algılanmasının hedeflendiği görülmüştür. 172 fotoğrafta toplamda 185 adet yaya geçidi tabelası bulunduğu görülmüştür. Tasarlanan otonom aracı ise parkurda test edilmiş ve testin başarıyla gerçekleştiği görülmüştür (Bingöl, 2018). Trafik denetimleri, otopark kontrolleri, otoyol denetlemelerinin iş yükünü hafifletmek amacı öngörülmüştür. Kameralar aracılığı ile alınan görüntüler işlenerek plaka tanımlaması yapabilen bir sistem geliştirilmiştir (Bayram, 2020). Görüntü işleme teknikleri kullanılarak trafik işaretlerinin sınıflandırılması hedeflenmiştir. Bu sistemde 43 adet farklı sınıf grubu ve 39.209 tanesi eğitim, 12.630 tanesi test olmak üzere toplamda ise 51.839 adet görüntüyü içerisinde barındıran German Traffic Sign Recognition Benchmark (GTSRB) veri seti kullanılmıştır (Tiryaki, 2019). Trafik yoğunluk haritalarından elde edilen görüntüler işlenerek trafik yoğunluk bilgisi üreten bir yöntem sunulduğu görülmüştür (Çavdaroğlu, 2016). Araçların otomatik olarak sürücüye ihtiyaç duymadan yol gidebilmesi için PID kontrol tabanlı model geliştirilmiş ve sürüş simülöründe test edildiği görülmüştür (Aki, 2019).

Son zamanlarda süt sığırcılığı yapan işletmelerde ineklerin refah ve sağlıklarının önemi ön plana çıktığı süre içerisinde hayvan takiplerinin bireysel olarak takip edilme ihtiyacı doğmasından dolayı hayvanlardan elde edilen biyometrik veriler kullanılarak bir sistem oluşturup bu sistem aracılığıyla hayvanların bireysel olarak tanınması hedef gösterilmiştir. Gerçekleştirilen test aşamalarından elde edilen sonuca göre %98,44 oranında başarı elde edilirken bu sistemin uzmanlara yardımcı olabileceği kısmında olumlu sonuca varıldığı görülmüştür (Dandil ve ark., 2019). Yaban hayvanlarının türlerini

belirlemek ve aynı zamanda sayımlarının kontrolünü sağlamak hedef olarak gösterilmiştir. Bu sistem için gauss karma modelleri (GMM) yöntemi ile videolardan alınmış olan görüntülerin arka planlarının çıkarıldığı görülmüştür. Sonra ise arka plan ve ön plandaki görüntüler kullanılarak hayvanların öznitelikleri çıkarılmıştır. Testini gerçekleştirme için ise yaban hayvanlarının yoğunlukla görüldüğü yerlerden alınan video görüntüleri ile alan testi, öznitelik testi ve renk testleri yapılmış olup bunun sonucunda ise tilki, kurt, geyik ve yaban atından oluşan 4 türün doğruluk tespiti %100 oranında tamamlandığı görülmüştür (Yabanova ve ark., 2019). Nesne takibi (Başarir, 2019) ile gerçek zamanlı olarak video görüntülerinden elde edilen meyvelere ait verilerin alınması ve bu meyvelerin boyutlarına göre sınıflandırılmasının amaçlandığı vurgulanmıştır. Bu sınıflandırılmanın gerçekleşmesi için görüntü işleme yöntemlerinden birisi olan EmguCV kütüphanesi kullanılmıştır (Akıncı, 2017). Görüntü işleme teknikleriyle (Aydın, 2019) görüntü işleme yöntemleri kullanılarak optik işaretleme yapılması hedeflenmiştir. Test edilmek üzere 100'den fazla sınav kağıdı kullanılmış elde edilen test sonuçlarına göre %100 doğruluk oranıyla başarı elde edildiği görülmüştür (Balq, 2019). Sınıf ortamında bulunan öğrencilerin tespiti ve hareketlerinin analizi yapılarak dikkat dağınıklıklarının oranlarını tespit etme amacı vurgulanmıştır. OpenCV ve Dlib kütüphaneleri kullanılmış ve aynı zamanda C++ programlama dili ile bir yazılım geliştirildiği görülmüştür (Uçar, 2019). Görüntü sınıflandırma işlemlerinin gömülü sistemler üzerinden denenerek elde edilen başarı bu mimaride, %85,9 oranında olurken aynı zamanda bu mimari 4 saat içerisinde eğitilmiş olup 0,7 ms içerisinde sonucu sunduğu vurgulanmıştır (Çalık, 2018). OpenCV ile geliştirilen bir yazılımda yapılan testlerin sonuçları ele alındığında yüz görüntüleri üzerinde ön profilden alınan bilgilerin eşleşmesi %85-90 oranında bir doğruluk payıyla başarı elde ederken bu performansa direkt olarak etki eden durumlar ise elde edilen görüntülerin çözünürlüğü, kalitesi, ışıklandırması gibi etmenlerden oluştuğu görülmüştür (Tombak, 2019).

Haber türlerinin sınıflandırılmasında Support Vector Machines (SVM) yöntemi ve Recurrent Neural Network (RNN) yöntemi olmak üzere 2 ayrı yöntem kullanılmıştır (Abbas, 2019). Nesne tanımlama için kullanılmış olan SVM yöntemi %7 başarı oranıyla ekstra bir başarı sağlarken aynı zamanda eğitilmesinde ve sonuç üretmesinde 250 ms gibi bir zamana ekstra olarak ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Elde edilen bu verilere göre SVM ve CNN mimarilerinin beraber kullanılmamasının öngörüldüğü görülmüştür (Çalık, 2018). Yüz algılanması için sınıflandırma işlemleri yapılırken aynı zamanda cinsiyet tespitini yapması için Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Evrimsel Sinir Ağları (CNN) sınıflandırıcıları da kullanılmıştır. SVM sınıflandırıcısı ise öznitelik çıkarımlarında elde edilen başarı oranı %75,32 olurken HOG yönteminin elde ettiği başarı oranı ise %80,58 olduğu görülmüştür. CNN sınıflandırıcısı ile de %94,76 oranında bir başarı elde edildiği görülmüştür (Kabasakal, 2018).

Yapılmış olan altyapılarda oluşabilecek çatlakların açabileceği sorunların tespitinin yapılması için yer radarı analizleri kullanılarak tahribatsız yöntemin incelenmesi hedef gösterilmiştir. Derin öğrenme algoritması olan Evrimsel Sinir Ağı (ESA) kullanılarak sınıflandırılmış ve yapılmış olan bu sınıflandırılmanın doğruluk oranının hesaplandığı görülmüştür (Tanimu, 2019). Hasta kişilerin maksimum oksijen tüketmesindeki değerlerinin tahmin edilebilmesi üzerinde tasarlanan sistem Destek Vektör Makinesi Support Vector

Machine (SVM), Çok Katmanlı Algılayıcı Multilayer Perceptron (MLP) ve Tek Karar Ağacı Single Decision Tree (SDT) gibi modellerde geliştirilerek çalışma içerisinde karşılaştırma yapılmıştır (Abdulkader, 2019).

Derin öğrenme ve görüntü işleme yöntemlerinin kullanılarak bir kumaş üzerindeki hataların otomatik olarak tespit edilmesi ve sınıflandırılması için çalışma yapılmıştır. Sınıflandırma yapmak için ise evrimsel sinir ağı yöntemlerinden birisi olan Fast R-CNN kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır (Nawaf, 2019). Derin öğrenme teknikleri kullanılarak araçların sınıflandırılması hedef gösterilmiştir. Bu sistem gerçekleştirilirken Faster R-CNN ResNet50, Faster R-CNN ResNet101, R-FCN ResNet101 ve SSD Mobilenet v2 olmak üzere 4 adet derin öğrenme mimarisi kullanılmış ve bu mimariler ile transfer öğrenme yöntemi eğitimlerinin tamamlandığı görülmüştür. Yapılan testlere göre Faster R-CNN ResNet50 modeli %94,24 başarı oranıyla sınıflandırmada en başarılı model olduğu görülmüştür. kayıp oranları ise her modelde 0,05'ten az olması sebebiyle eğitimin başarısı vurgulanmıştır (Tan, 2019). Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak lineer bir modelin üzerinde parametrelerin tahmin edilmesinde başarı elde edildiği vurgulanmıştır (Karim, 2019).

Ses tanıma işlemlerinin derin öğrenme tekniklerinden birisi olan RNN yapısı kullanılmış test edilmesi için ise Speech Commands veri setinin kullanıldığı vurgulanmıştır. Yapılan testler sonucunda ise %70,63 doğruluk oranında başarı elde edilirken daha fazla verinin kullanılması halinde daha iyi sonuçların elde edilebileceği vurgulanmıştır (Ateş, 2019). Çiçeklerin türlerine göre ayırt edilmesinde evrimsel sinir ağı kullanılarak sınıflandırıldığı ve test sonuçlarına göre çalışma, literatürde bulunan diğer yöntemlere oranla daha başarılı olduğu vurgulanmıştır (Mete, 2019). Elde edilen görüntüler üzerinde işleme yapılarak görüntülerin ait olduğu kişilerin cinsiyeti ve bu kişilerin yaşlarının tahmin edilebilmesi hedef gösterilmiştir (Gündüz, 2019). Orman yangınlarının en aza indirilmesi ve erken müdahale edilebilmesi için çok önemli olan en kısa sürede orman yangınlarının algılanması için Yerel İkili Örüntüler (LBP) ve Law's Doku Enerji Değerler (LAWS) yöntemleri kullanılırken renk öznitelikleri için ise RGB renklerinden duman rengine eş değer olan özniteliklerinin kullanıldığı görülmüştür (Toptaş, 2018).

Gerçekleştirilen bu çalışmada, video, fotoğraf veya kamera üzerinden algılanan görüntüler üzerinde belirtilen nesnelerin var olup olmadığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma gerçekleştirilirken Faster R-CNN ağı kullanılmaktadır. Geliştirilmiş olan ara yüz sayesinde istenilen yöntem (video, fotoğraf veya kamera) seçilerek o yönteme uygun alanların girilmesi sonucunda elde edilen görüntülerdeki nesnelerin tahmin edilme işlemi gerçekleştirilecektir. Tablo 1'de gösterilmekte olan çalışmalardan birbirlerine oranla en yüksek doğruluk oranını elde ederek başarı sağlayan 3 çalışma bulunmaktadır. Teknik olarak, derin öğrenme tekniklerinin kullanıldığı görülen bu çalışmaların farklı algoritmaları kullandığı görülmektedir. Bu çalışmalardan birinin Adadelta optimasyon algoritmasını kullandığı görülmüştür (Karacı, 2020). Diğer bir çalışmada ise derin öğrenme algoritmalarını kullanarak %100 başarı oranı sağladığı görülmüştür (İşleyici, 2019). %100 başarı oranını sağlayan son çalışmanın da derin öğrenme algoritmalarını kullandığı görülmüştür (Rashid, 2019).

Bu çalışmada, ilk olarak derin öğrenme tekniklerinden algoritmalar uygulama yönünden incelenmiştir. Ayrıca literatür taramasından da analizler yapıp veri setleri üzerinde incelemeler yapılmıştır. İncelemesi yapılan algoritmaların genel olarak hangi uygulama alanlarında kullanıldıkları tablo 1 üzerinden başarı ve

hata payı olarak detaylı bilgi verilmiştir. Bu çalışma, belirli bir algoritmanın belirlenmiş bir nesneden oluşturulan veri seti üzerinde çalıştırılarak başarılı bir şekilde nesne tespit etme işleminin gerçekleştirilmesi çalışmaları adına bir fikir sunmaktadır.

Tablo 1. Literatür taraması olarak araştırılan çalışmaların değerlendirilmesi

Çalışma Numarası	Kullanılan Teknik	Kullanılan Algoritma	Alınan Başarı Sonucu	Alınan Hata Payı
Akıncı, İ. B. (2017)	EmguCV	Canny Algoritması	%95	%5
Abusabra, A. K. (2018)	Bulanık Mantık	Hough Dönüşüm Algoritması	%100	%0
Karakuzulu, A. (2018)	Belirtilmemektedir.	Hough Dönüşüm Algoritması	%87 - 96	%4 - 13
Arı, A., & Hanbay, D. (2018)	Evrişimsel Sinir Ağları	Bölgesel Tabanlı Evrişimsel Sinir Ağları	%98,66	%1,34
Kabasakal, B. (2018)	Evrişimsel Sinir Ağları	Fisher Yüz Algoritması	%61,30	%38,70
Toptaş, M. (2018)	Görüntü İşleme Teknikleri	En Yakın Komşu Algoritması	%95,95	%4,5
Çalık, R. C. (2018)	Evrişimsel Sinir Ağları	Belirtilmemektedir.	%85,9	%4,1
Yıldız, O. (2019)	Derin Öğrenme	En Yakın Komşu Algoritması	%96,94	%3,06
Abbas, S. S. I. (2019)	Derin Öğrenme	Destek Vektör Makine Algoritması	%98	%2
Döş, M. E., Uysal, M. (2019)	Derin Öğrenme	Belirtilmemektedir.	%95	%5
Tombak, M. E. (2019)	Görüntü İşleme	OpenCV	%85 - 90	%5 - 10
Rashid, M. K. (2019)	Derin Öğrenme	Derin Öğrenme Algoritmaları	%100	%0
Erkan, Y. R. (2019)	Görüntü İşleme Teknikleri	KNN ve Naive Bayes Algoritması	%96	%4
Faker Faker, O. M. (2019)	Derin Öğrenme	Random Forest ve Gradient Boosting Tree Algoritmaları	%99,56	%0,44
Uçar, M. U. (2019)	Yerel İkili Örüntüler ve Gradyanların Histogramı	Destek Vektör Makine Algoritması	%72,4	%27,6
Tükel, T. (2019)	Evrişimsel Sinir Ağları	Karınca Aslanı Algoritması	%95	%5
Aydın, M. (2019)	Görüntü İşleme	Belirtilmemektedir	%95,22	%4,78
Gündüz, G. (2019)	Derin Öğrenme	Caffe Model Algoritması	%99	%1
Tan, Z. (2019)	Derin Öğrenme	Nesne Tanıma Algoritması	%94,24	%5,76
İşleyici, A. M. (2019)	Derin Öğrenme	Derin Öğrenme Algoritması	%100	%0
Ateş, E. (2019)	Derin Öğrenme	Belirtilmemektedir	%70,63	%29,37
Tiryaki, B. (2019)	Derin Öğrenme	Makine Öğrenme Algoritmaları	%96,22	%3,78
Tombak, M. E. (2019)	Görüntü İşleme	OpenCV	%85 - 90	%5 - 10
Karacı, A. (2020)	Derin Öğrenme	Adadelta Optimizasyon	%100	%0
Bayram, F. (2020)	Derin Öğrenme	Maskeli Bölgesel Evrişimsel Sinir Ağları	%98,46	%1,54

2. Materyal ve Metot

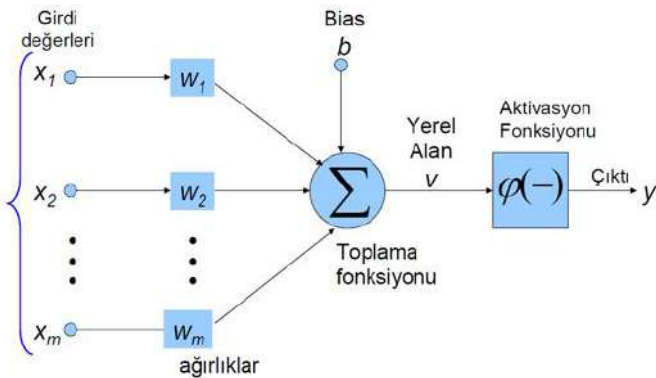
2.1. Çalışmada Önerilen Sistem

Bu çalışmayı gerçekleştirmek için derin öğrenme tekniği olan Faster R-CNN mimarisi ve Object Detection API kullanılmıştır. Nesne tespiti yapılacak yöntemin belirlenmesi için arayüz tasarlanmıştır. Bu arayüz tasarlanırken ise Tkinter kütüphanesi kullanılmıştır. Çalışmada uygulama yapılacak nesne "bardak" olarak seçilmiştir. 502 adet bardak resminden oluşturulan veri setini etiketlemek için "Labelimg" programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde bardakları tek tek etiketleyerek farklı arkaplan ve ışık ortamlarındaki resimlerin doğru olarak sisteme öğretilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede istemin başarı sonucu artmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde 40.000 eğitim adımlarından sonra sistemin aşırı şekilde öğrenmesi nedeniyle doğruluk oranlarında düşüş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Deneylerde anlık kamera görüntülerinin yanında video ve resimler üzerinde de çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Sistemin kontrol yapısı, en az insan kontrolü kadar başarı sağlayabilecek yapay zeka metodu olan derin öğrenme tekniklerine dayanmaktadır. Derin öğrenme, elde edilmiş olan verileri eğiterek dışarıdan gelen ve herhangi bir fikir sahibi olmayan veriler üzerinden varsayımlar yaparak bir sonuca ulaşmayı hedefler. Aynı zamanda yapılan işlemlerin kontrol kolaylığını sağlaması açısından derin öğrenme ile birlikte bardak veri setinin eğitilmesini sağlayan Object Detection API ve Faster R-CNN mimarisi kullanılmıştır. Görüntü işlemleri için OpenCV, arayüz tasarlama işlemleri için ise Tkinter kütüphaneleri kullanılmıştır.

Biyolojik sinir hücresi, sinir sisteminin en temel yapı taşıdır. Görevi ise genel olarak bilgi transferini sağlamaktır. Uyarıları alır, iletir ve cevap verir. Yapay sinir hücresiyle benzerlikleri ve yapısı akson, sinaps, dendrit, miyelin kılıfı ve çekirdekten oluşmaktadır. Yapay sinir ağları, yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş temel bölümü vardır. Bu bölümler Şekil 1'de gösterilmiştir (Çınar, 2018). Tek katmanlı sinir ağlarında giriş ve sonuç katmanları bulunmaktadır (Arı, 2017). Bu katmanlar genel olarak lineer olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Katmanlarda bir veya birden fazla nöron bulunabilmektedir.



Şekil 1. Yapay sinir ağı örneği

Şekil 1 üzerindeki toplama fonksiyonu, hücrenin net girdisini hesaplamak amacıyla gelen veri, kendi ağırlığıyla çarpılır böylelikle ağa girmiş olan net girdi elde edilmektedir. Matematiksel ifadesi Denklem 1'de belirtilmektedir.

$$Net = \sum_{i=0}^n XiWi \quad (1)$$

Şekil 1 üzerindeki çıktılar, aktivasyon fonksiyonunun belirlediği değerlerin sunulduğu yerdir. Bu çıktılar kullanıcıya sunulacağı gibi aynı zamanda farklı bir yapay sinir hücresine de gönderilebilmektedir. Şekil 1 üzerindeki aktivasyon fonksiyonu, bulunmuş olan net girdi üzerinde işlemler yaparak çıktı olarak gösterilecek durumu belirler. Bu durumu belirlemek için farklı aktivasyon fonksiyonları da mevcuttur. Günümüzde popüler olan aktivasyon fonksiyonu ise Sigmoid fonksiyonudur. Sigmoid fonksiyonunun matematiksel ifadesi tablo 1-a üzerinde ve sigmoid fonksiyonunun görseli tablo 1-b üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 1. Sigmoid Fonksiyonu Görseli ve Matematiksel ifadesi

$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	
(a)	(b)

Evrişimsel sinir ağı giriş değeri olarak resim ya da video almaktadır. Alacağı resim veya videonun standart duruma getirilmesi gerekmektedir. Verilecek olan resim veya video matris formatında verilmelidir. Matris formatında almış olduğu veriyi öncelikle evrişim katmanına göndermektedir. Evrişim katmanında gönderilen verinin özelliklerini filtreler uygulayarak algılamaktadır. Daha sonrasında bu veri aktivasyon katmanına iletilmektedir.

Aktivasyon katmanında ise bu veriler işlenerek, doğrusal olmayan özelliklerin tanıtılması gerçekleştirilmektedir. İşlenen bu veriler pooling katmanına ulaştırılır. Pooling katmanında ise 2x2 boyutlarında oluşturulan filtreler, alınan matris üzerinde gezinti uygulayarak en büyük değerleri almaktadır. Alınan değerler flattening katmanına gönderilir. Bu katmanda ise gelen veriler tek boyutlu dizi haline dönüştürülür. Daha sonrasında dönüştürülen veriler Fully-Connected katmanına gönderilir ve bu katmanda ise alınan veriler gizli katmanlara dağıtılmaktadır. Evrişimsel sinir ağının temel yapı taşı olan bu katman, girdi olarak verilen değerlerin özelliklerini algılamakla görevlidir. Görüntüde bulunan belirgin özellikleri ön plana çıkarmak için görüntüye çeşitli filtreler uygulamaktadır. Katmanın matematiksel işlemi Denklem 2'de gösterilmiştir. Denklem 2'de gösterilmiş olan matematiksel ifade, X ifadesi girdi değerini, Y çıktısı aktivasyon fonksiyonunu, b bias, W ifadesi ise filtreyi temsil etmektedir.

$$Y_{mn} = f\left(\sum_{j=0}^{j-1} \sum_{i=0}^{i-1} X_{m+i, n+j} W_{ij} + b\right) \quad (2)$$

R-CNN bölge bazlı nesne tanıma yapılmasında kullanılmaktadır. Öncelikle almış olduğu görüntüde seçici arama uygulayarak o görüntüye ait en iyi ihtimalli olan 2000 adet farklı bölge önerebileceği bölgeleri tanımlar. Daha sonrasında bu 2000 adet bölgenin her birisi Evrişimsel Sinir Ağı mimarisine gönderilir. Evrişimsel sinir ağı ise gelen bölgelerde özellikleri belirler. Bu bölge eğer bir nesneye ait ise seçici arama yöntemiyle

belirlenmiş olan bu bölge evrimsel sinir ağı özellikleri ile birlikte destek vektör makineleri metodunu kullanarak hesaplamalar yapar ve nesneyi verilen örneklerin özelliklerine göre sorgulayarak sonuca ulaşır. Bu işlem uygulanırken görüntü başına belirlenen 2000 adet bölgenin sürekli evrimsel sinir ağıyla işleme sokulduğundan bu işlem oldukça yavaş bir işlem ve gerçek zamanlı olarak yapılacak olan nesne tanıma işlemleri için pek önerilmez ve bu durum farklı bir mimarinin yani Fast R-CNN mimarisinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Inik ve ark., 2017).

R-CNN mimarisinin yaşattığı zaman kaybını önlem adına geliştirilen bu mimaride R-CNN'nin aksine önce bölge belirlemek yerine görüntüyü ilk başta evrimsel sinir ağına göndererek işlem yaptırıyor daha sonrasında evrimsel sinir ağına oluşturmuş olduğu özellik haritasını kullanarak bölge önermesi yapmaktadır. Diğer bir farkı ise CNN'in sınıflandırma için kullanmış olduğu destek vektör makineleri metodunu kullanmayarak derin öğrenme metodu olan softmax classification kullanmaktadır. Bütün işlemler boyunca CNN bir defa kullanıldığı için işlem süresi büyük oranda azalmıştır. Bu işlemde Fast R-CNN gibi öncelikle görüntüyü evrimsel sinir ağıyla işleme sokuyor ve bir özellik haritası elde ediyor. Daha sonrasında bu haritayı Fast R-CNN'den farklı olarak bölge seçimi uygulamak yerine direkt olarak seçici arama uygulanıyor. Daha sonrasında Fast R-CNN gibi bu mimaride softmax classification metodunu kullanarak nesne tanımayı gerçekleştiriyor.

Derin öğrenme çok katmanlı bir yapay sinir ağıdır. Girdi, gizli ve çıktı katmanları mevcuttur. Katmanlar arasındaki ağırlıklar sürekli güncellendiğinden dolayı hata oranının oldukça azaltıldığı görülmüştür. Bu yöntem dışarıdan gelen görüntü verilerini tekrar eden işlemlerle işleyerek bir öğrenim kazanmaktadır. Öğrendiği verilerin öznetelik kümelerini ortaya çıkartarak daha sonrasında hiç karşılaşmamış olduğu bir görüntü verisi geldiğinde öğrendiklerinden yola çıkarak bir sonucu bulmayı hedeflemektedir. Birçok algoritmaya sahiptir. Video, metin, ses gibi verileri işlemek için kullanılan derin öğrenme, ulaşılmış olduğu başarılar sayesinde günümüzde popülerliğini korumaktadır. Gün geçtikçe artmakta olan veri sayılarına karşılık oldukça büyük verilerle yaptığı çalışmalarda daha fazla başarı oranı elde etmesiyle nesne tanıma, veri işleme gibi durumlarda tercih edilen metodların başında gelmektedir. Derin öğrenme algoritmalarının başarı oranları, öğrenme sayılarının oranıyla doğru oranda artmaktadır. Genel olarak lineer olmayan problemlerin çözümü için kullanılmaktadır.

2.3. Çalışma İçin Oluşturulan Veri Seti

Gerçekleştirilen bu çalışmanın ilk aşaması olan eğitim aşamasına başlamadan önce eğitilecek olan görüntülerin elde edilmesi gerekmektedir. 502 adet bardak görüntüsü içerisinde %80'i eğitim verisi olacak şekilde 402 tanesi eğitim verisi, %20'si test verisi olacak şekilde 100 tanesi test verisi olmak üzere

ayrılmıştır. Elde edilen bardak görüntülerinin etiketlenmesi gerekmektedir. Etiketleme işlemi için LabelImg programı kullanılmıştır.



Şekil 2. Etiketleme yapılan görüntü örnekleri

Aynı bardak üzerinden farklı arka planlarda çekilmiş görüntülerin etiketlenmesi Şekil 2 üzerinde gözükmemektedir. Farklı arka planlara sahip olunması, farklı bardaklara sahip olunması eğitim sonunda nesne tanıma yapılırken tespit etme oranını arttırmaya yaramaktadır. Etiketlenen görüntüler .xml uzantısında bir dosya halinde kaydedilmektedir. Her görüntüye ait bir .xml dosyası mevcuttur. Bu .xml dosyası içerisinde Şekil 3 üzerinde gösterildiği gibi görüntüye ait, görüntünün bulunduğu dosya ismi, görüntünün ismi, bulunduğu dosya konumunun, görüntünün boyutlarının, class ismi olarak tanımlanan nesne isminin ve görüntü üzerinde etiketlenen nesnenin çerçeve değerlerinin bulunduğu bazı özellikler tutulmaktadır.

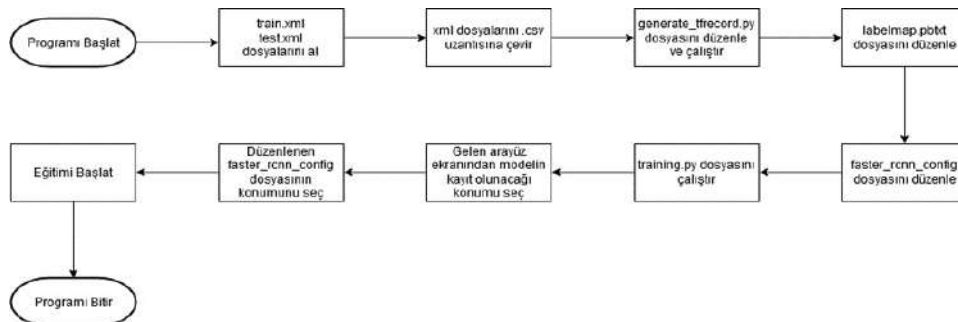
Daha sonrasında etiketleme işlemleri bittikten sonra .xml olarak kaydedilmiş olan görüntü özelliklerini, TFRecord oluşturmak için .csv dosyasına çevrilmesi gerekmektedir. Şekil 3'te *.csv dosyasının içeriği gözükmemektedir. Dönüşüm uygulandıktan sonra model eğitiminde kullanılacak olan TFRecord dosyası oluşturulmaktadır.

```
test_labels.csv - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
filename,width,height,class,xmin,ymin,xmax,ymax
10.JPG,450,600,bardak,149,203,334,486
11.JPG,450,600,bardak,73,150,353,527
12.JPG,450,600,bardak,76,39,433,483
13.JPG,450,600,bardak,95,226,353,531
15.JPG,450,600,bardak,76,151,370,528
16.JPG,450,600,bardak,99,160,370,477
17.JPG,450,600,bardak,125,144,450,524
18.JPG,450,600,bardak,76,145,450,520
18.JPG,450,600,bardak,424,113,450,219
19.JPG,450,600,bardak,143,241,303,503
```

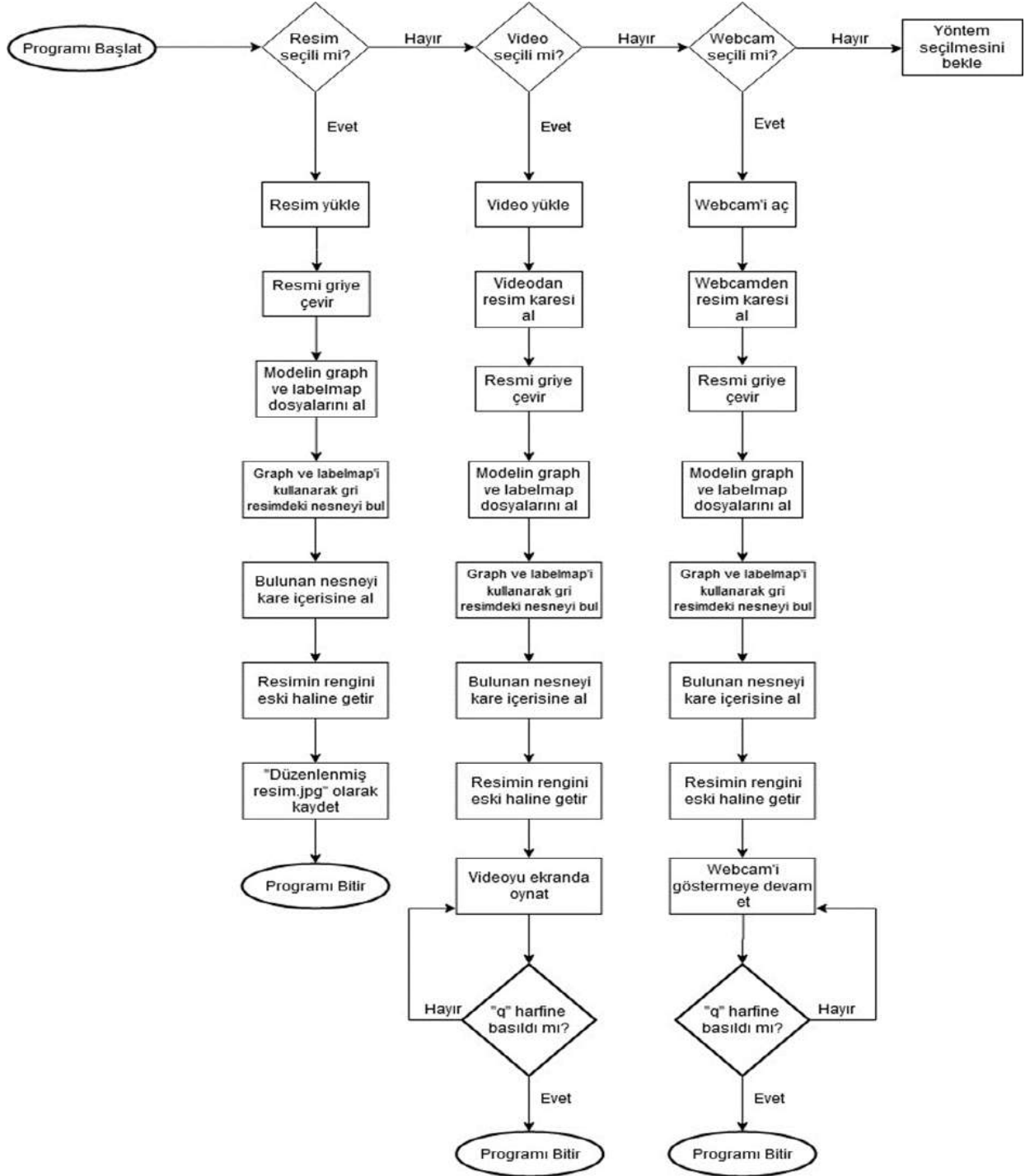
Şekil 3. Csv dosyasına ait örnek

2.4. Çalışmanın Akış Diyagramı

Gerçekleştirilen bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Bu çalışmanın birinci aşaması olan veri setinin hazırlanmasının ardından eğitim işlemine başlanıldığı kısımdır. Sistemin birinci aşamasının akış diyagramı Şekil 4'de verilmiştir. Bu çalışmanın ikinci aşaması ise gerçekleştirilen eğitimin sonunda elde edilmiş olan modelin kullanılmasıyla belirtilen yöntem doğrultusunda istenen görüntü üzerinden nesne tanıma işleminin yapılmasıdır. Sistemin ikinci aşamasının akış diyagramı Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 4. Model eğitme işlemlerinin akış diyagramı



Şekil 5. Nesne tanıma işleminin akış diyagramı

3. Deneysel Çalışmalar

Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada, python programlama dili ile birlikte tensorflow, numpy, tkinter, opencv kütüphaneleri kullanılmış aynı zamanda Eğitilecek olan nesnelere isimlerini ve ID'lerini barındıran LabelMap düzenlenerek Object Detection API üzerinden eğitim gerçekleştirilmiştir. Çalışma boyunca farklı eğitim adımlarında farklı görseller üzerinden deneysel çalışmalar

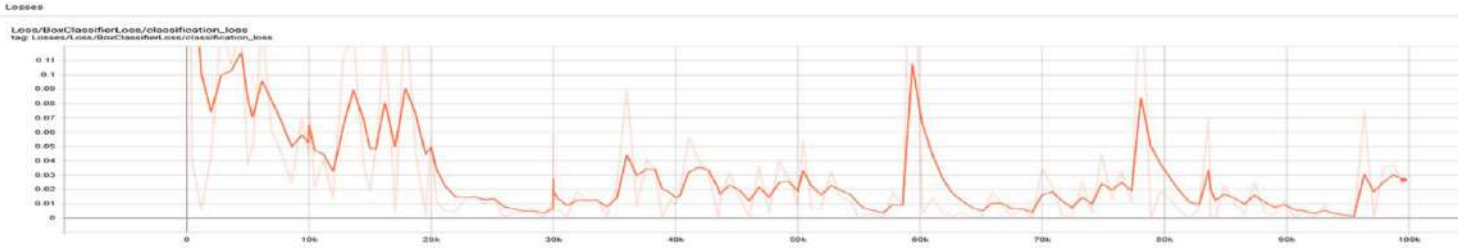
gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sayesinde doğru eğitim adımının bulunması ile bu eğitim adımıyla gerçekleştirilen eğitimin nesne tanıma üzerindeki etkisinin farkı görülebilmektedir. Toplamda 18 adet deney gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen her deney kendi içerisinde 3 farklı aşamada yapılmıştır. Bu deneyler Şekil 6 üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca bu deneylerin her biri için eğitim adımı değiştirilerek deneylerin başarı ve kayıp sonuçları incelenmiştir.

<p>Deneysel 1-a üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 1-b üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 1-c üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>
<p>Deneysel 6-a üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 6-b üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 6-c üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>
<p>Deneysel 11-a üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 11-b üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 11-c üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>
<p>Deneysel 12-a üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 12-b üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 12-c üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>
<p>Deneysel 18-a üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 18-b üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>	<p>Deneysel 18-c üzerinden gerçekleştirilen çalışma</p>

Şekil 6. Uygulama üzerinde gerçekleştirilen deneylerden görüntüler.

Şekil 6’da farklı eğitim adımlarıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmaların görsel karşılaştırmaları gösterilmektedir. Gösterilen bu çalışma görsellerinden yola çıkarak eğitim adımlarının nesne tanıma üzerinde etkisinin, doğru kullanıldığında büyük olabileceği görülmüştür.

Şekil 6 üzerinde belirtilen deneyler farklı ışık ortamlarında, farklı arka planlarda ve söz konusu olan bardakların konumlandırılmaları (yatay-dikey) değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Bu sayede deneylerin başarı ve kayıp sonuçları ölçülmüştür. 18 ayrı deneyin yapılması oluşturulan modelin detaylı şekilde incelenmesini sağlamıştır.



Şekil 7. Eğitim sürecinin kayıp oranları

Şekil 7’de eğitim sürecinde, alınan kayıp oranlarının grafiksel şekli gösterilmektedir. Bu süreçte en düşük kayıp oranına sahip olan adım sayısı 10 farklı eğitim adımı içerisinde 0,018 başarı oranıyla 40.000 eğitim adımı olduğu tespit edilmiştir. Buna rağmen yapılan deneyler sonucunda en başarılı sonucun 100.000 eğitim adımında alındığı görülmüştür. Tablo 2’de çalışma boyunca gerçekleştirilen 18 adet deney gösterilmiştir. Bu deneyler, oluşturulan model üzerinde gerçekleştirilmiş ve her bir deney için aynı veri seti kullanılmıştır. Eğitim sürecinde en başarılı tahmin oranının bulunması için ise farklı eğitim adımlarıyla deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Oluşturulan model üzerinde gerçekleştirilen deneylerin değerlendirilmesi

Çalışma Numarası	Eğitim Sayısı	Alınan Başarı Sonucu	Alınan Kayıp Oranı
Deney 1	1000	0,97134	0,02866
Deney 2	5000	0,96325	0,03675
Deney 3	10000	0,91627	0,08373
Deney 4	20000	0,94462	0,05538
Deney 5	30000	0,94146	0,05854
Deney 6	40000	0,98176	0,01824
Deney 7	50000	0,94528	0,05472
Deney 8	83767	0,92398	0,07602
Deney 9	95513	0,92557	0,07443
Deney 10	100000	0,97835	0,02165
Deney 11	1000	0,97134	0,02866
Deney 12	10000	0,91627	0,08373
Deney 13	50000	0,94528	0,05472
Deney 14	100000	0,97835	0,02165
Deney 15	1000	0,97134	0,02866
Deney 16	10000	0,91627	0,08373
Deney 17	50000	0,94528	0,05472
Deney 18	100000	0,97835	0,02165

Yapılan 1. Deneyde 1000 eğitim adımıyla eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşaması tamamlandıktan sonra yapılmış olan bu deney, verilmiş olan 3 farklı görüntü içerisinde farklı bardakların bulunduğu görüntüler ile gerçekleşmiştir. Aynı zamanda bu bardaklar, farklı yerlerde konumlandırılmış vaziyette gözükmemektedir. Yapılan nesne tanıma işlemi sonucunda Şekil 6 üzerinde gösterilen deney 1-a birbiri ardına saklanmış olan bardaklardan öndeki olan bardak %99 ve arkalarına saklanmış olan bardaklar ise %85 ve %84 doğruluk oranında tahmin edilmiştir. Deney 1-b ‘de ise %99, %92 ve %83’lük oranla bardaklar doğru tahmin edilmiştir. Deney 1-c görüntülerde de aynı şekilde bardaklar %99 oranla doğru tahmin edilmiştir. Deney 1’de alınan başarı sonucu %96,33 olmakla birlikte alınan kayıp oranı ise %3,67’dir.

Yapılan 6. Deneyde 40000 eğitim adımıyla eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşaması tamamlandıktan sonra yapılmış olan bu deney, verilmiş olan 3 farklı görüntü içerisinde farklı bardakların bulunduğu görüntüler ile gerçekleşmiştir. Aynı zamanda bu bardaklar, farklı yerlerde konumlandırılmış vaziyette gözükmemektedir. Şekil 6 üzerinde Deney 6-a ile yapılan nesne tanıma işlemi sonucunda birinci görüntüde birbiri ardına saklanmış olan bardaklardan bir tanesi %99 diğeri ise %94 oranında tahmin edilmiştir. Bu oran 5. Deneye oranla artış sağlamıştır. Sonuncu bardak ise çerçeve içine alınmamıştır. Deney 6-b ile bardaklar %99, Deney 6-c’de bulunan bardaklar ise biri %99 diğeri %100 doğruluk oranıyla tahmin edilmiştir. Deney 6’de alınan başarı sonucu %94,15 olmakla birlikte alınan kayıp oranı ise %5,85’dir.

Yapılan 11. Deneyde 1000 eğitim adımıyla eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşaması tamamlandıktan sonra yapılmış olan bu deney sonuçları Şekil 6 üzerinde verilmiştir. Deney 11 ‘de verilmiş olan 3 farklı görüntü içerisinde, masanın üzerinde bulunan 11 adet farklı bardakların bulunduğu görüntüler ile gerçekleşmiştir. Aynı zamanda bu bardaklar, farklı yerlerde konumlandırılmış vaziyette gözükmemektedir. Yapılan nesne tanıma işlemi sonucunda Deney 11-a’da birbiri ardına saklanmış çok sayıda bardaktan hiçbiri algılanamamıştır. Deney 11-b’de görüntü konumu değiştirilmesine rağmen bardaklar tahmin edilmemiştir. Deney 11-c’de ise görüntü bardaklara yaklaştırıldığında bazı bardakların algılandığı, bazılarının ise algılanmadığı görülmüştür. Deney 11’de alınan başarı sonucu %97,13 olmakla birlikte alınan kayıp oranı ise %2,87’dir.

Yapılan 12. Deneyde 10000 eğitim adımıyla eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşaması tamamlandıktan sonra yapılmış olan bu deney Şekil 6 üzerinde verilmiştir. Deney 12 olan 3 farklı görüntü içerisinde, masanın üzerinde bulunan 11 adet farklı bardakların bulunduğu görüntüler ile gerçekleşmiştir. Aynı zamanda bu bardaklar, farklı yerlerde konumlandırılmış vaziyette gözükmemektedir. Yapılan nesne tanıma işlemi sonucunda Deney 12-a'da birbiri ardına saklanmış çok sayıda bardaktan net belli olan 8 bardak tahmin edilebilirken arkalarda bulunan tam belli olmayan bardaklar tahmin edilememiştir. Deney 12-b'de, görüntü konumu değiştirilerek yapılan bu deneyde 11 adet bardaktan 10 tanesi algılanmış arkada bulunan bardaklardan bir tanesi tespit edilememiştir. Deney 12-c'de ise görüntü bardaklara yakınlaştırıldığında öndeki bardakların algılandığı görülmüştür. Aynı zamanda 2 farklı bardağı 1 bardak olarak algılandığı da görülmüştür. Arkada bulunan bardakların algılanmadığı görülmüştür. Deney 12'de alınan başarı sonucu %91,63 olmakla birlikte alınan kayıp oranı ise %8,37'dir.

Yapılan 18. Deneyde 100000 eğitim adımıyla eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşaması tamamlandıktan sonra yapılmış olan bu deney Şekil 6 üzerinde gösterilmiştir. Deney 18'de verilmiş olan 3 farklı görüntü içerisinde, masanın üzerinde bulunan telefonun içerisindeki bardaklar gösterilmiştir. Aynı zamanda bu bardaklar, farklı yerlerde konumlandırılmış vaziyette gözükmemektedir. Yapılan nesne tanıma işlemi sonucunda Deney 18-a'da telefonun ekranında bulunan bardaklardan 3 tanesi tahmin edilirken telefon ekranında herhangi bir çerçeve çizilmemiştir. Deney 18-b'de telefon ekranında bulunan bardakların hepsi doğru tahmin edilirken telefonun üst kısmında bulunan siyah alanda bardak olarak işaretlenmiştir. Deney 18-c'de telefon ekranındaki 3 adet bardaktan 2 tanesi tek bardakmış gibi işaretlenmiş, diğer 2 bardaktan 1 tanesi doğru işaretlenirken telefon ekranının alt ve üst çerçevesi bardak olarak işaretlenmiştir. Deney 18'de alınan başarı sonucu %97,84 olmakla birlikte alınan kayıp oranı ise %2,16'dır. Yapılan toplam 100.000 eğitim adımıyla eğitilen eğitimin sonucunda elde edilen kayıp oranları Şekil 8 üzerinde verilmiştir.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar

Bu çalışma kapsamında araştırılan en önemli, işlem belirli bir algoritmanın belirlenmiş bir nesneden oluşturulan veri seti üzerinde uygulanarak, başarılı bir şekilde algılanma işleminin yapılıp yapılmadığının araştırılmasıdır. Çalışmanın literatür taraması tablosunda (tablo 1) belirtildiği üzere farklı algoritmalarda farklı sonuçlar görülmüştür. Sonuçların farklılaşmasındaki en önemli etken çalışmalar içerisinde seçilen algoritmaların farklı eğitim adımlarından ve veri setlerindeki karmaşıklardan dolayı anlaşılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada Faster R-CNN algoritmasıyla başarı sonuçlarının farklı eğitim adımlarında en üst düzeyde başarı hedeflemiştir. Bu kapsamda oluşturulan 502 adet resimden oluşan bardak veri seti ile model eğitilmiştir. Eğitilen model üzerinde resim, video ve kamera üzerinde alınan anlık görüntüler ile deneyler yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda en düşük başarı oranı 0,91627 ve en yüksek başarı oranı 0,98176 şeklinde tespit edilmiştir. Bu sonuçlar gösteriyorki eğitim adımlarının (epoch) farklılaştırılması başarı sonucuna doğrudan etki etmiştir. Ayrıca eğitim adımlarının artırılması sistemde aşırı öğrenmeye neden olarak başarı oranının düşmesine sebep olmuştur.

Alınan sonuçlara göre literatür incelemesi yapılan tablo 1'de yer alan çalışmalar incelendiğinde, derin öğrenme tekniği kullanılan çalışmalarda, başarı oranının yüksek olduğu görülmüştür. Derin öğrenme ile birlikte farklı algoritmalar kullanılmış olsa da çalışmaların benzer doğruluk oranlarına sahip oldukları görülmüştür. Gerçekleştirilen bu çalışmada, derin öğrenme teknikleriyle beraber Faster R-CNN ağı kullanılmaktadır. Sistem gücüne bağlı olmakla birlikte, istenildiği takdirde başarı oranı Faster R-CNN ağına oranla daha yüksek model seçilerek tahmin işlemindeki doğruluk oranı artırılabilir. Sistem gücü düşük ise hızlı fakat başarı oranı Faster R-CNN'e göre daha düşük olan modellerde tercih edilebilir.

Yapılan ilk 10 deney incelendiğinde, eğitim adımlarının arttığı durumlarda karmaşık görüntülerin tespiti sırasında problemler ortaya çıktığı görülmektedir. Eğitim adımının gerektiği yerde durmamasıyla birlikte ortaya çıkmakta olan ezber eğitime, deneyler içinde bulunan 9. Deneyde rastlanmıştır. 1. Deneyde tercih edilen eğitim adımı diğer deneylere göre az olmasına rağmen 1. Görüntüdeki en iyi sonuca ulaşmıştır. Son 8 deney incelendiğinde ise bardak fazlalığı ve telefon ekranından gösterilen bardak fotoğraflarının tespiti sırasında eğitim adımının artmasıyla daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Aynı zamanda veri seti hazırlanırken birden fazla bardağın aynı görüntüde etiketlenip, artırılması ve algılanabileceği zor olan durumlarda etiketlenmesi karışık görüntülerde bardak nesnesinin daha kolay ve doğru algılayabileceği düşünülmektedir. Bardak nesnesinin bulunmadığı yerlerin, bardak olarak işaretlenmesi ise veri seti sayısının artırılması ve doğru eğitim adımının belirlenmesiyle aşılabileceği düşünülmektedir. Yapılan deney 6-a ve 6-c görüntülerindeki sol arka tarafta bulunan bardağın algılanmadığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak arka plan rengi ve ışıklandırılmadan dolayı bardağın oluşan rengi ve arka plan renginin benzerliklerinden dolayı algılanmadığı düşünülmektedir. Veri setinde oluşturulacak görüntülerin farklı ışıklandırma ve farklı arka planlarda çekilmiş olmasının sonucunda bu durumun ortadan kalkabileceği düşünülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada 502 adet bardak görüntüsü bulunan veri seti kullanılmıştır. Kullanılan bu veri setinde bardak çeşitliliğinin az olmasından kaynaklı yapılan deneyler kısıtlı olarak gerçekleştirilmiştir. Veri setinde bulunan bardak çeşitlilik sayısı ve toplam görüntü sayısı artırıldığında tahmin etme oranının da artırılabilirdiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, çalışma içerisinde oluşturulan modelin elektronik devre sistemlerinde uygulanması durumunda; güvenlik sistemlerinde, gıda üretim tesislerinde ve imalat endüstrisinde hatalı parça tespit etme uygulamalarında kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu sayede mevcut sistemlerde işlem aşamasında doğruluk tahmini ve analizi yapılarak kalite kontrol süreçleriyle birlikte sistemin başarı oranı artırılabilir.

Kaynakça

- Abbas, S. S. I. (2019). Automatic Text Categorization of Turkish News with Machine Learning and Deep Learning Techniques (Doctoral dissertation, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), Ankara.
- Abdulkader, H. (2019). Derin öğrenme ile maksimum oksijen tüketimi tahmini. (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Abusabra, A. K. (2018). Örüntü ve renk tabanlı mobil kıyafet arama motoru (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Aki, K. (2019). Derin öğrenme tabanlı sürücüsüz araç sistemleri. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Akıncı, İ. B. (2017). Gerçek zamanlı olarak meyveleri görüntü işleme ile sınıflandıran otomasyon sistemi. (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Alpaslan, N. (2019). Meme kanseri tanısı için derin öznitelik tabanlı karar destek sistemi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 213-227.
- Arı, A., & Berberler, M. E. (2017). Yapay Sinir Ağları ile Tahmin ve Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Arayüz Tasarımı. *Acta Infologica*, 1(2), 55-73.
- Arı, A., & Hanbay, D. (2018). Bölgesel evrişimsel sinir ağları tabanlı MR görüntülerinde tümör tespiti. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*.
- Ateş, E. (2019). Derin öğrenme ile sesli komut tanıma. (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Aydın, M. (2019). Görüntü işleme tekniği ile granüler zeminlerde dane boyutu analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Balç, A. A. A. (2019). Görüntü işleme tekniklerini kullanarak optik işaret tanıma sistemi (Doctoral dissertation, Kastamonu Üniversitesi), Kastamonu.
- Başarır, B. (2019). Derin öğrenme tabanlı nesne takibi. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Başarlan, Ş. (2018). Görüntü işleme teknikleri kullanarak sperm sayısı ve hareketliliğinin analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Baykara, S. (2018). Ardışıl sınıflandırıcılar kullanılarak profil yüz sezimi. (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bayram, F. (2020). Derin Öğrenme Tabanlı Otomatik Plaka Tanıma. *Politeknik Dergisi*.
- Bingöl, M. S. (2018). Grafik işleme ünitesi (GPU) tabanlı öğrenme kullanarak otonom araçlar için algılama sisteminin geliştirilmesi/Development of perception system for autonomous vehicles by using GPU-based learning.
- Çalık, R. C. (2018). Gömülü sistem üzerinde evrişimsel sinir ağları ile nesne sınıflandırması (Master's thesis, TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü), Ankara.
- Çam, F., & Güven, A. (2019). Dijital Mikroskop Altında Alınan Kan Hücreleri Görüntülerinden Beyaz Kan Hücrelerinin Algılanması ve Sınıflandırılması. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 15(3), 23-43.
- Çavdaroğlu, G. Ç. (2016). Trafik Yoğunluk Harita Görüntülerinin Görüntü İşleme Yöntemleriyle İşlenmesi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 22-28.
- Çınar U. K. (2018). *Yapay Sinir Ağları ve R Programıyla Uygulama*, Yapay sinir ağı örneği görüntüsü, <https://www.veribilimiokulu.com/yapay-sinir-aglari/>, 21.05.2020.
- Dandil, E., Turkan, M., Boğa, M., & Çevik, K. K. (2019). Daha Hızlı Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları ile Sığır Yüzlerinin Tanınması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 177-189.
- Danışman, A., Kaçar, İ., Danışman, E., & Yalçın, M. K. (2017). Renk ayrıştırıcı bant sisteminin görüntü işleme esaslı kontrolü.
- Döş, M. E., & Uysal, M. (2019). Uzaktan algılama verilerinin derin öğrenme algoritmaları ile sınıflandırılması. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 1(1), 28-34.
- Erkan, Y. R. (2019). Görüntü işleme teknikleri kullanılarak mantar türlerinin tüketilebilirliğinin tespiti. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ezel, E. (2018). Derin öğrenme yöntemi kullanılarak görüntü-tabanlı türk işaret dili tanıma (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Faker Faker, O. M. (2019). Intrusion detection using big data and deep learning techniques (Master's thesis).
- Gündüz, G. (2019). Derin öğrenme ile fotoğraftan yaş ve cinsiyet tespiti. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Inik, Ö., & Ülker, E. (2017). Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 85-104.
- İşleyici, A. M. (2019). Derin öğrenme yaklaşımı ile RFID tabanlı 2 boyutlu konum belirleme uygulaması. (Yüksek Lisans Tezi). KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kabadayı, A., & Uysal, M. (2019). İnsansız hava aracı ile elde edilen verilerden binaların tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 8-14.
- Kabasakal, B. (2018). Uzaklık ve cinsiyet tabanlı akıllı reklam görüntüleme sistemi (Master's thesis, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), Ankara.
- Karacı, A. (2020). Fiziksel ve motor engelli çocukların öz bakım problemlerinin derin sinir ağları ile sınıflandırılması. *Politeknik Dergisi*.
- Karakuzulu, A. (2018). Kan hücrelerinin görüntü işleme teknikleriyle tespiti, sayılması ve sınıflandırılması. (Yüksek Lisans Tezi). Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Karim, M. K. (2019). Veri işleme için derin öğrenme teknikleri kullanarak yeni bir çerçeve. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koç, M., & Özdemir, R. (2019). Yeni Bir Veri Kümesi (RidNet) Kullanarak Kontrolsüz Ortamda Yüz İfadesi Tanımının Derin Öğrenme Yöntemleri ile İyileştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2).
- Mahmood, Z. S. (2019). İşaret dili ile akıllı kontrol sistemi. (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Mete, B. R. (2019). Derin öğrenme ile görüntü sınıflandırma. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Nawaf, A. M. (2019). Görüntü işleme ve makine öğrenme yöntemleri kullanarak kumaş hata tespiti ve sınıflandırması. (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Rashid, M. K. (2019). Görüntü işleme teknikleri kullanılarak Antep fıstığının özellik tespiti ve sınıflandırılması. (Yüksek Lisans Tezi). Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Sağbaş, E. A., Gökalp, O., & Uğur, A. (2019). Yüz İfadesi Tanıma için Mesafe Oranlarına Dayalı Öznitelik Çıkarımı ve Genetik Algoritmalar ile Seçimi. *Veri Bilimi*, 2(1), 19-29.
- Siddik, O. (2019). Görüntü işleme yöntemleri kullanarak otomatik spirulina tespiti. (Yüksek Lisans Tezi). Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Tan, Z. (2019). Derin öğrenme yardımıyla araç sınıflandırma. (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Tanım, M. B. (2019). Yer radarı ham verisi analizi ile kırıkların dalgacık ve derin öğrenme yöntemleri ile tespiti. (Yüksek Lisans Tezi). Yaşar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tiryaki, B. (2019). Trafik işaretlerinin derin sinir ağları ile sınıflandırılması. Tez Yök. (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Tombak, M. E. (2019). Python ve OpenCv ile yüz tanıma ve otomatik Blur uygulaması. (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Toptaş, M. (2018). Orman yangınlarının görüntü işleme yöntemleri ile tespit edilmesi ve sınıflandırılması. (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Tükel, T. (2019). Görüntü işleme ve evrimsel sinir ağları kullanılarak diyabetik retinopati hastalığının tespiti. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uçar, M. U. (2019). Gerçek zamanlı görüntü işleme ile sınıf ortamındaki öğrencilerin tanınması ve dikkat dağınıklıklarının tespiti. (Yüksek Lisans Tezi). İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Viola, P., & Jones, M. (2001, December). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *Proceedings of the 2001 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. CVPR 2001* (Vol. 1, pp. 1-1). IEEE.
- Vurgun, Y. (2017). Biyometrik yüz tanıma dayalı web üzerinden güvenli erişim sistemi tasarımı (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yabanova, İ., & Kaya, K. (2019). Kaynak değeri olan yaban hayvanlarının görüntü işleme tekniği ile tespiti ve sayımı. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 25(2).
- Yıldız, O. (2019). Derin öğrenme yöntemleriyle dermoskopi görüntülerinden melanom tespiti: Kapsamlı bir çalışma. Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, 34(4).



Analysis of Volatile Compounds of Some Turkish Flower Honey Samples by Solid-Phase Microextraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry

Nur Efşan Durmaz^{1*}, Rahmi Ertan Anlı², Yalçın Güçer³, Nevzat Artık⁴

^{1*} Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7254-116X), efsandurmaz@gmail.com

² Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3320-0629), anli@eng.ankara.edu.tr

³ Ankara Üniversitesi, Kalecik Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7280-584X), yguccer@ankara.edu.tr

⁴ Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5583-6719), artik@ankara.edu.tr

(First received 5 July 2020 and in final form 13 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.764544)

ATIF/REFERENCE: Durmaz, N., Anlı, R. E., Güçer, Y. & Artık, N. (2020). Analysis of Volatile Compounds of Some Turkish Flower Honey Samples by Solid-Phase Microextraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry. European Journal of Science and Technology, (20), 796-800.

Abstract

Honey is a nutritious food with economic importance for many countries worldwide. It is very important to know the origin of the flower in evaluating the quality of honey, and it is known that honey volatiles play a major role in differentiating different types of honey based on their plant origin. The solid-phase microextraction (SPME) followed by gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) technique is frequently used in the determination of the flower origin of honey through the analysis of volatile aromatic compounds. In this study, five different flower honey provided from different regions of Turkey and some of volatile aroma components which were determined by GC-MS are dl-alanine (% 2.78), acetic acid (% 5.85), butane (% 2.94), furfural (% 12.37), benzaldehyde (% 1.57), benzeneacetaldehyde (% 4.96), benzoic acid (% 2.6), benzoic acid, 2-ethylhexyl ester (% 0.96), ethanol (% 4.22), nonanal (% 1.41), nonanoic acid (% 2.34), hexanoic acid (% 6.47), octanoic acid (% 4.68), methyl 2-furoate (% 3.85), and ethylhexanoic acid (% 3.27). Thus, the effect of different regions on honey aroma was investigated with the aim to reveal honey varieties based on their content of volatile compounds.

Keywords: Honey, Flower, Volatile aromatic compounds, SPME, GC-MS.

Bazı Türk Çiçek Ballarının Uçucu Bileşenlerinin Katı Faz Mikroekstraksiyonu Ve Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi İle Analizi

Öz

Bal, dünya çapında birçok ülke için ekonomik öneme sahip besleyici bir gıdadır. Bal kalitesini değerlendirmede çiçeğin kökenini bilmek çok önemlidir ve baldaki uçucu maddelerin, farklı balların bitki orijinlerinden ayrılmasında önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Katı-faz mikro-ekstraksiyonu (SPME) ve gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) tekniği, balın çiçek kökeni tayininde uçucu aromatik bileşiklerin analizi ile sıklıkla kullanılır. Uçucu bileşikler SPME tarafından toplanır ve GC / MS ile analiz edilir. Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinden 5 farklı çiçek balının aroma bileşenleri; dl-alanin (% 2.78), asetik asit (% 5.85),

Anahtar Kelimeler: Bal, Çiçek, Uçucu aroma bileşenleri, SPME, GC-MS.

* Corresponding Author: Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7254-116X, efsandurmaz@gmail.com

1. Introduction

Beekeeping provides employment, income, and healthy nutrition for the rural population in developing countries. In recent years, the tendency of the body to provide energy and nutrients from natural sources has been an important factor in the development of apiculture activity in the name of healthy life.

Turkey is a bridge between the Asian and European continents, connects the terms of beekeeping and this location of the country creates an important advantage among world countries in terms of natural wealth. The most known bee product is honey with 99.4% (Kekeçoğlu et al, 2007; Bölüktepe & Yılmaz, 2008).

Honey has high nutritional value, pleasant aroma and taste, and medicinal properties. Its natural nutrients are produced by *Apis mellifera* species, and they are very useful for human nutrition.

Honey is aromatic and viscous and can be used as a sweetener without any treatment (Haroun, 2006). It is also used as an ingredient in the production of various foods. Therefore, it has a wide range of applications in the food industry and is of great economic importance worldwide (Güler, 2005).

The nutritional value of honey is high; the energy content per 100 grams of honey is 303 (1,379) kcal (kj). Due to the rapid absorption of carbohydrates, honey is also suitable for people of all ages. It is especially recommended not only for children but also patients and elderly people due to its healing effects (Blasa et al, 2006).

Honey quality is evaluated based on the herbal source and chemical composition. Plant source is the most important quality parameter of honey, and the price of honey is often directly related to the herbal source of the honey. The composition of different varieties of herbal honey differs due to the origin of regions in which they are produced (Artık & Konar, 2018).

Honey is composed of 70-80% carbohydrates, 18-20% water, and 1-2% proteins, organic acids, phenolic compounds, and mineral substances. The majority of the carbohydrates in the composition of honey are fructose and glucose, while the rest includes mono-, di- and oligo-saccharides (Saxena et al, 2010). The fructose to glucose ratio is 1.0-1.4 in Turkish flower honey (Artık et al, 2011).

Honey can be classified into two groups based on its source as flower and secretion. Flower honey is produced from nectar collected by honey bees from various plants; e.g., clover, sunflower, acacia, vetch, cotton, and citrus. Secretion honey is produced by the bees from the secretions left by the insects called *Basra* (*Marchelina hellenica*) lives on the plants. This insect lives on the plants and produces honey from (Ölmez, 2009). The examples of secretion honeys are pine, fir, and oak (Doğan, 2014).

The content of honey directly depends on the variety and flora (Haroun, 2006). Aroma substances play an important role in determining consumer taste and preference in food. The aroma of various substances is an important criterion that determines the sensory properties of food. Honey has a rich profile of aroma components and contains many volatile compounds (Uçkun, 2011).

The most important part of the aroma in honey is constituted by esters, aldehydes, ketones, alcohols, and volatile acids. Among these compounds, alcohols have the most important place. The aroma substances of honey primarily come from the nectar, which is why honey is named after the aroma of the origin of the nectar as pine honey, etc. (Hişıl & Börekeçioğlu, 1986).

Darcy et al, (1997), investigated the volatile components of Australian honey by solvent extraction. The compounds in the extracts were analyzed by gas chromatography (GC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). As a result of these processes, 55 compounds containing norisoprenoids, monoterpenes, benzene derivatives, aliphatic compounds, and Maillard reaction products were identified. In addition, the following 13 compounds were identified in honey for the first time: four isomeric 3,4-dihydro-3-oxoactinidol, 8,9-dehydrotheaspiro, two isomeric 3-oxoretro- α -ionol, megastigm-4-ene-3,9-dione, 1-phenylbutane-2,3-diol, 1-phenylbutane-2,3-dione, 18-hydroxy oleic acid lactone, 3,5-dihydroxy-2-methyl-4H-pyran-4-one, and 2,5-dimethyl-2,4-dihydroxy-3 (2H) furanone.

In a study conducted by Sunay & Boyacıoğlu (2006), the sensory properties of Turkish honey varieties named according to the region or plant origin were determined by the quantitative descriptive analysis technique. The authors examined 24 different honey samples and determined that especially pine and flower honey had very different descriptive sensory qualities and sensory profiles could be used in both monofloral and polyfloral honey.

2. Material and Method

2.1. Source of Honey Samples

Honey samples were obtained from Ordu, Tunceli, İstanbul, Bitlis and Hakkari provinces in Turkey. Each sample was analyzed twice, and the method was proven by the repeatability test.

2.2. Instrumentation

Aroma analysis was performed using Shimadzu QP-2010 model GC-MS equipped with a Restek RTX-5MS (30 m x 0.25 mm x 0.25 30 m) column. A SPME microextraction syringe with a 65 μ m PDMS/DVB (Supelco, Bellefonte, PA, USA) (Sánchez-Palomo et al, (2005) fiber was used for collecting the volatile compounds from the headspace of the honey samples.

2.3. Sample Preparations

Many trials were performed with GC-MS in pre-trials. For this purpose, different fibers were tested at different temperatures and times. The GC-MS conditions were changed primarily to pressure and flow. The procedure followed is detailed below.

2 g of each honey sample was weighed in vials.

- The honey samples were heated at 60 °C for 10 minutes without fiber to decompose the aroma substances.
- The honey samples were heated at 60 °C for 40 minutes with fiberglass.
- Fiber was finally injected into GCMS.
- The fiber was conditioned in GC-MS for 10 minutes at 250 °C prior to each injection to eliminate any residues in the fiber from the previous honey sample.

2.4. Determination of the Distribution of Volatile Aromatic Components

The method proposed by Selli et al, (2004) was modified by GC-MS. In the preliminary trials, the temperature and time programs were modified due to the observation of the penetration of the peaks within the first 10 minutes of the injection. After the modification, the peaks were completely separated from each other, and more accurate results were obtained. The must was heated to 40 °C and kept at this temperature for 40 minutes using a 65 µm PDMS/DVB (Supelco, Bellefonte, PA, USA) (Sánchez-Palomo et al, 2005) fiber. The fiber was then injected into GC-MS to perform the analysis. The GC-MS parameters of the method used in our research were as follows: injection temperature 250 °C, pressure 49.7 kPa, column flow rate 1.00 mL/min, 2, 240 °C, waiting time at last temperature 10 min, and split ratio 1/10. In order to accurately interpret the peaks obtained after injection, the method parameters of the C7-C30 alkane series were injected into the device and three different (Wiley, FFNSC and NIST) GC-MS libraries were identified. The volatile aroma components found in the must were determined based on a similarity of 85% over the carbon series, and the data were determined as the percentage of the areas of the identified peaks in the total area.

2.5. Source of Honey Samples

Solid phase microextraction (SPME) is a simple and solvent-free sample preparation technique based on the adsorption of volatile components onto the fiber and the desorption of these components from the fiber by GC at the injection port.

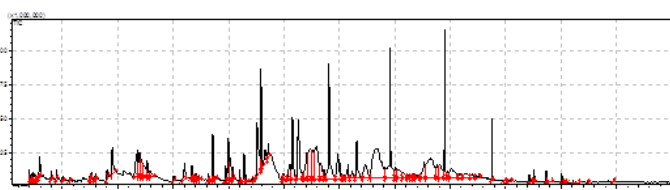
2.6. GC-MS.

2.6.1. Fiber conditioning

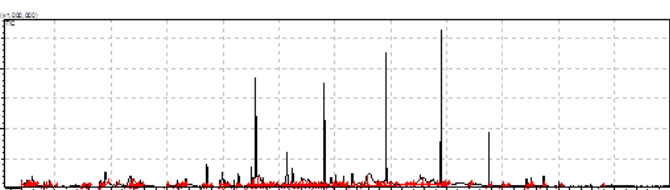
In each new sample, the fiber was conditioned for 10 minutes at 250 °C, and a fiber tip was replaced in five samples.

2.6.2. Fiber conditioning

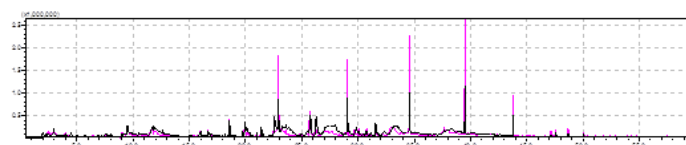
Unknown compounds were identified taking into account the MS spectra of volatile compounds separated by retention times and NIST/EPA/NIH Mass spectral library (NIST 98) compared to authentic standards (Odeh et al, 2007). The GCMS chromatogram of the honey sample collected from Ordu province is shown in Figure 1.



A



B



C

3. Results and Discussion

In this study, the honey samples collected from five different regions of Turkey were analyzed. Since honey is a very complex mixture, aroma substances varied in the samples collected from different regions. The most volatile aroma compounds were found in Bitlis honey, and the least in Hakkari honey. The common components found in most honey varieties are given in Table 1. Acetic acid, furfural, benzaldehyde, benzeneacetaldehyde, benzoic acid and hexanoic acid were found in all five honey samples..

The defined compounds can be divided into different chemical classes: alcohols (e.g. ethanol and 1-butanol), phenols (e.g., phenol and 2-methoxy-4-vinylphenol), ketones (e.g., acetone), organic acids (e.g., acetic and butanoic acid), esters (e.g., ethyl acetate), aldehydes (e.g. furfural and nonanal), aliphatic hydrocarbons (e.g., octane and nonane), aromatic hydrocarbons (e.g., toluene), amino acids (dl-alanine), and benzyl derivatives (benzyl alcohol and benzoic acid) (Wolski et al, 2006).

Alcohols are formed as a result of the oxidative degradation of lipids in honey or the catalyzing aldehydes of reductase enzymes contaminated with honey (Moreira et al, 2010).

Soria et al, (2003), evaluating the phenol compound of the aroma substances in honey, reported the amount of this compound as 4.3 µg/kg. In a study on chestnut and lemon honey, Guyot et al, (1998) detected the phenol compound.

Piasenzotto et al, (2003), investigated the Italian flower honey and detected that furfural, phenyl acetaldehyde, 3-4-5 trimethoxy benzaldehyde compounds as a flavoring agent of the aldehyde group.

Castro-Vázquez et al, (2003) stated that furfural gave honey almond and bread odor, benzaldehyde resulted in almond odor, and phenylacetaldehyde was responsible for the honey-like odor.

Alissandrakis et al, (2009) identified volatile compounds of citrus, chestnut, thyme, pine, acacia, highland and cotton honey samples and found that the compounds obtained mostly belonged to hydrocarbon, alcohol, phenol, aldehyde and ketone groups.

Piasenzotto et al, (2003), analyzed 40 honey samples obtained from different regions of Italy, including five citrus, 10 chestnut, eight eucalyptus, 11 lime, two thyme and four dandelion honey samples and reported that the compounds of the same origin exhibited a similar profile, while some components were only detected in a particular honey sample.

In this study, the components identified in different honey varieties were limonene diol in citrus honey; trans-rose oxide, cis-Rose oxide, p-methyl acetophenone, carvacrol and 8-p-menthen-1,2-diol in lime honey; nitrile compounds in dandelion honey; acetophenone and 1-phenylethanol components in chestnut honey; and acetoin in eucalyptus honey. 2-Phenylethanol was detected in the honey samples of all different plant origins.

In their study that aimed to determine the botanical origin of honey based on volatile aroma substances, Cuevas-Glory et al, (2007), successfully distinguished between eucalyptus and citrus honey using the aroma substances they contained. The authors stated that methyl anthranilate, lilac aldehyde, limonene diol, hotrienol and 1-p-menthen-al compounds characterized citrus honey while nonanol, nonanal, nonanoic acid, and acetoin characterized eucalyptus honey.

Alissandrakis et al, (2009) found the compounds of phenyl ethyl alcohol and 3-methyl-1-butanol in their study on Greek thyme honey. Phenyl ethyl alcohol has also been previously reported to be a compound responsible for rose and floral odors in honey (Etschmann et al, 2002).

Castro-Vázquez et al, (2003) reported 3-methyl-1-butanol compounds as 36.2 µg/kg in seven flower honey. Pino, (2012) reported that the 3-methyl-1-butanol compound provided the almond and fruity odor.

In the current study, the honey variety from Ordu had the highest amount of three components, namely triacetin (10.82 %), benzoic acid (8.94%) and benzeneacetaldehyde (6.47%). These components characterized the quality of Ordu honey. Benzoic acid gives an aroma of fruity grapes.

Honey collected from Hakkari attracted attention with a high rate of (47.8%) hotrienol, which has a moldy aroma. The other two components in this honey were furfural at 6.99% and benzeneacetaldehyde at 7.04%. Benzeneacetaldehyde has a sweet, refreshing aroma similar to peppermint while furfural has a spicy aroma.

In Bitlis honey, there were three components with the highest amountsÇ acetic acid (8.86%), pelargonaldehyde (7.44%), and caprylic acid (7.09%). While acetic acid gives a musky or coumarin-like aroma, pelargonaldehyde provides a fresh, fruity aroma.

Among the honey samples examined, the furfural content of Çanakkale honey (25.13%) was the highest. Furfural is a good quality marker in honey. An excessive amount of furfural may indicate loss of freshness of honey or exposure of honey to high temperatures (Castro-Vazquez et al, 2003). The other two high-level components of this honey were hexane (8.76 %) and methyl 2-furoate (6.88 %).

For Tunceli honey, furfural (12.37%) was found to be at the highest proportion, followed by acetic acid and hexanoic acid at the same percentages (7.94%). In Tunceli honey, the furfural ratio was as high as in Çanakkale honey.

Table 1. Volatile compounds characterized by GC-MS in five samples of Turkish honey

Peak	Compounds	Min %	Max %	Mean concentration %
1	DL-Alanine	1.31	5.89	2.78
2	Acetic acid	4	8.86	5.85
3	Butane	1.07	5.96	2.94
4	Furfural	4.43	25.13	12.37
5	Benzaldehyde	0.94	2.08	1.57
6	Benzeneacetaldehyde	2.79	7.04	4.96
7	Benzoic Acid	0.79	8.94	2.60
8	Benzoic acid, 2-ethylhexyl ester	0.76	1.70	0.96
9	Ethanol	1.07	6.22	4.22
10	Nonanal	1.13	4.06	1.41
11	Nonanoic acid	0.58	3.92	2.34
12	Hexanoic acid	2.57	7.94	6.47
13	Octanoic Acid	2.12	5.72	4.68
14	Methyl 2-furoate	3.35	6.88	3.85
15	Ethylhexanoic acid	1.88	4.53	3.27

4. Conclusions

The origin and flora of honey are of great importance in the Turkish and global markets, but consumers are misled by imitations and adulteration. Since there is no geographical registration in the honey sold, some consumers are deceived into buying low-quality honey at high prices. For this reason, more studies on local or monofloral honey can be performed and geographic registration can be made by determining the characteristics and marker components of honey. Registered

products will have a chance to be marketed as high value added products in both domestic and foreign markets. Thus, not only will honey producers gain but this will also contribute to the national economy and ensure consumer access to reliable food.

This study showed that the analysis of aroma components with GCMS was a very effective method for determining the botanical origin of honey.

Some of the components were found in only certain samples. Thus, identifying these specific components is important in determining the unique character of each honey variety that differentiates it from different products. For example, in this study, the compounds of dimethyl ether, acetone, lactic acid, senecioic acid, linalool oxide, benzyl carbinol, triacetin, butyl butyrate, 1-hexadecanol, propanoic acid, 2-oxo-, furfuryl alcohol, isobutyl acetate, 1,3-dioxolane-4-methanol, and decanal were obtained only from Ordu honey.

In addition, some components were present in all honeys, but their proportions were different. Acetic acid, furfural, benzaldehyde, benzeneacetaldehyde, benzoic acid, and hexanoic acid were found in all five honey samples examined. The differences in the proportions of these components determined the character of honey.

One of the greatest possibilities for an analyst is the GC-MS combination. The chromatographic column provided the conditions that well distinguish tens or even hundreds of components in its matrix. These components are single mass spectrometer device. The spectra showing the particles are examined to elucidate the structure of the compound using the spectral library of the device.

The determination of the aromatic components of honey by the SPME-GC/MS technique can lead to bright ideas for the future. With this technique, the botanical identity and geographical origin of honey can be easily determined in the future. For this purpose, it is necessary to increase the number of studies on honey from various botanical sources (Wolski et al, 2006).

5. Acknowledge

This study was produced from Nur Efsan Durmaz's doctoral thesis. The authors thank Ziya Şahin, the chairman of Turkey Beekeepers Association, for supplying the honey samples.

References

Aliassandrakis, E., Tarantilis, P. A., Pappas, C., Harizanis, P. C., & Polissiou, M. (2009). Ultrasound-assisted extraction gas chromatography–mass spectrometry analysis of volatile compounds in unifloral thyme honey from Greece. *European Food Research and Technology*, 229(3), 365-373.

Artık, N., Bayındırlı, L., & Mert, İ. (2011). Karbonhidratlar, mısır şekeri ve gıda endüstrisinde kullanımı. *Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekleri Federasyonu*.

Artık, N., & Konar, N. (2018). Arı Ürünleri ve Apiterapi-1: Arı Ürünlerinden Bal, Arı Sütü ve Perga Bileşimi. *Türkiye Klinikleri Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları-Özel Konular*, 4(3), 11-19.

Blasa, M., Candiracci, M., Accorsi, A., Piacentini, M. P., Albertini, M. C., & Piatti, E. (2006). Raw Millefiori honey is packed full of antioxidants. *Food Chemistry*, 97(2), 217-222.

Bölüktepe, F. E., & YILMAZ, S. (2008). Arı ürünlerinin bilinirliği ve satın alınma sıklığı. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 8(2), 53-62.

Castro-Vázquez, L., Pérez-Coello, M. S., & Cabezudo, M. D. (2003). Analysis of volatile compounds of rosemary honey. Comparison of different extraction techniques. *Chromatographia*, 57(3-4), 227-233.

Cuevas-Glory, L. F., Pino, J. A., Santiago, L. S., & Sauri-Duch, E. (2007). A review of volatile analytical methods for determining the botanical origin of honey. *Food Chemistry*, 103(3), 1032-1043.

D'Arcy, B. R., Rintoul, G. B., Rowland, C. Y., & Blackman, A. J. (1997). Composition of Australian honey extractives. I. Norisoprenoids, monoterpenes, and other natural volatiles from blue gum (*Eucalyptus leucoxylon*) and yellow box (*Eucalyptus melliodora*) honeys. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(5), 1834-1843.

Doğan, H. (2014). Çiçek Ballarının Kimyasal Fiziksel Ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi (Doctoral dissertation).

Etschmann, M., Bluemke, W., Sell, D., & Schrader, J. (2002). Biotechnological production of 2-phenylethanol. *Applied microbiology and biotechnology*, 59(1), 1-8.

Guyot, C., Bousseta, A., Scheirman, V., & Collin, S. (1998). Floral origin markers of chestnut and lime tree honeys. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(2), 625-633.

Güler, Z. (2005). Doğu Karadeniz Bölgesinde üretilen balların kimyasal ve duyuşal nitelikleri. *Gıda*, 30(6).

Haroun, M. I. Y., & Artık, N. T. D. (2006). Türkiye'de üretilen bazı çiçek ve salğı ballarının fenlik asit ve flavonoid profilinin belirlenmesi (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı).

Hışıl, Y., & Börekçiöğlü, N. (1986). Balın bileşimi ve bala yapılan hileler. *Gıda*, 11(2).

Kekeçoğlu, M., Gürcan, E.K., & Soysal, M.İ. (2007). Türkiye Arı Yetiştiriciliğinin Bal Üretimi Bakımından Durumu. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*.

Moreira, R. F., De Maria, C. A., Pietroluongo, M., & Trugo, L. C. (2010). Chemical changes in the volatile fractions of Brazilian honeys during storage under tropical conditions. *Food Chemistry*, 121(3), 697-704.

Odeh, I., Abu-Lafi, S., Dewik, H., Al-Najjar, I., Imam, A., Dembitsky, V. M., & Hanuš, L. O. (2007). A variety of volatile compounds as markers in Palestinian honey from *Thymus capitatus*, *Thymelaea hirsuta*, and *Tolpis virgata*. *Food Chemistry*, 101(4), 1393-1397.

Ölmez, Ç. (2009). Türkiye'de üretilen farklı çiçek ve salğı bal çeşitlerinin bazı kalitatif ve besinsel özellikleri (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Piasenzotto, L., Gracco, L., & Conte, L. (2003). Solid phase microextraction (SPME) applied to honey quality control. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(10), 1037-1044.

Pino, J. A. (2012). Analysis of odour-active compounds of black mangrove (*Avicennia germinans* L.) honey by solid-phase microextraction combined with gas chromatography–mass spectrometry and gas chromatography–olfactometry. *International journal of food science & technology*, 47(8), 1688-1694.

Sánchez-Palomo, E., Diaz-Maroto, M. C., & Perez-Coello, M. S. (2005). Rapid determination of volatile compounds in grapes by HS-SPME coupled with GC–MS. *Talanta*, 66(5), 1152-1157.

Saxena, S., Gautam, S., & Sharma, A. (2010). Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. *Food chemistry*, 118(2), 391-397.

Selli, S., Cabaroğlu, T., Canbas, A., Erten, H., Nurgel, C., Lepoutre, J. P., & Gunata, Z. (2004). Volatile composition of red wine from cv. Kalecik Karası grown in central Anatolia. *Food Chemistry*, 85(2), 207-213.

Soria, A. C., Martínez-Castro, I., & Sanz, J. (2003). Analysis of volatile composition of honey by solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Separation Science*, 26(9-10), 793-801.

Sunay, A. E., Boyacıoğlu, D., & Maslak, İ. (2006). Türk Ballarında Tanımlayıcı Analiz ve Profil Testi. *Gıda Teknolojisi Dergisi*, 35-38.

Uçkun, O. (2011). Narenciye ve Geven Ballarının Aroma ve Aroma Aktif Bileşiklerinin Belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Wolski, T., Tambor, K., Rybak-Chmielewska, H., & Kedzia, B. (2006). Identification of honey volatile components by solid phase microextraction (SPME) and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). *Journal of Apicultural Science*, 50(2), 115-126.



Determination of Optimal Modulation Amplitude for Electron Spin Resonance (ESR) Dating and Dosimetry Studies of Tooth Enamel

Özgül Karataş*

* Konya Technical University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Electric and Energy, Konya, Turkey
(ORCID: 0000-0003-3848-5800), okaratas@ktun.edu.tr

(First received 27 July 2020 and in final form 7 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.774285)

ATIF/REFERENCE: Karataş, Ö., (2020). Determination of Optimal Modulation Amplitude for Electron Spin Resonance (ESR) Dating and Dosimetry Studies of Tooth Enamel. *European Journal of Science and Technology*, (20), 801-804.

Abstract

Fossil remains, which provide important information about past life and ecology, are especially important in natural history and life evolution. Recently, many interdisciplinary dating studies have been conducted and many different techniques have been used to investigate the data obtained in this field. Electron Spin Resonance (ESR) (or alternatively, Electron Paramagnetic Resonance, EPR) is one of the methods used in absolute dating and dosimetry studies. It is based on determination of the radiation-centered radicals obtained from the radiation dose absorbed by irradiated materials.

One of the important problems in dosimetry and dating studies performed with ESR method is the dependence of experimental parameters on the accumulated dose. The accumulated dose value is effective in determining the actual result of the dating and dosimetric samples. This value is influenced from the stability of the ESR centers, experimental stages, sample preparation or measurement processes.

In this study, how the modulation amplitude parameter affects ESR signal intensity in ESR dating and dosimetry studies of tooth enamel investigated. The selective archaeological animal tooth enamel sample was used from the archaeological site of Köşk Höyük, in Turkey for experimental studies. This sample was prepared with combined processes of mechanical and chemical treatment of tooth in laboratory. Tooth enamel sample was irradiated by ⁶⁰Co gamma-ray source in dose of 1kGy. After irradiation, ESR spectra were recorded at different modulation amplitude values at room temperature using X-band ESR Spectrometer. According to the results obtained, the most suitable modulation amplitude values for ESR measurements of tooth enamel sample examined in the study.

Keywords: ESR, Tooth Enamel, Dating, Dosimetry, Modulation Amplitude.

Diş Minesinin Elektron Spin Rezonans (ESR) Tarihlendirme ve Dozimetri Çalışmalarında En Uygun Modülasyon Genliğinin Belirlenmesi

Öz

Geçmiş yaşam ve ekoloji hakkında önemli bilgiler veren fosil kalıntıları, özellikle doğa tarihi ve canlı evriminde önemli bir yere sahiptir. Son zamanlarda, bu alanda elde edilen verileri değerlendirmek için disiplinler arası tarihlendirme çalışmaları yapılmakta ve birçok farklı teknik kullanılmaktadır.

Elektron Spin Rezonans (ESR) (veya diğer adıyla Elektron Paramanyetik Rezonans, (EPR)) mutlak tarihlendirme ve dozimetri çalışmalarında kullanılan yöntemlerden biridir. Işınlanmış materyaller tarafından soğrulan radyasyon dozu sonucu elde edilen radyasyon merkezli radikallerin belirlenmesi ile ilgilidir. ESR yöntemi ile yapılan dozimetri ve tarihlendirme çalışmalarında önemli sorunlardan birisi, deneysel parametrelerin biriken doz üzerinde bağımlılığının olmasıdır. Materyallerin gerçek yaşlarının belirlenmesinde etkili olan doz değeri ESR merkezlerinin kararlılığından, numune hazırlama ya da ölçüm işlemleri gibi çeşitli aşamalardan etkilenmektedir.

* Corresponding Author: okaratas@ktun.edu.tr

Bu çalışmada, diş minesi ile yapılan ESR tarihlendirme ve dozimetri çalışmalarında modülasyon genliği parametresinin ESR sinyal şiddetini nasıl etkilediği incelendi. Deneysel çalışma için, Köşkhöyük arkeoloji kazı alanından çıkarılan arkeolojik hayvan diş minesi örneği kullanıldı. Ölçüm işleminden önce diş minesi örneği, laboratuvar ortamında diş üzerine mekanik ve kimyasal işlemler uygulanarak hazırlandı. Daha sonra örnek, ⁶⁰Co gama-kaynağı ile yaklaşık 1kGy ışınladı. Işınlama işleminden sonra örneğin ESR spektrumları X-Band ESR Spektrometresi yardımıyla oda sıcaklığında farklı modülasyon genliği değerlerinde kaydedildi. Elde edilen sonuçlara göre, çalışmada incelenen diş minesi örneğinin ESR ölçümleri için en uygun modülasyon genliği değeri belirlendi.

Anahtar Kelimeler: ESR, Diş minesi, Tarihlendirme, Dozimetri, Modülasyon Genliği.

1. Introduction

Electron Spin Resonance (ESR) (or alternatively, Electron Paramagnetic Resonance, EPR) is a powerful and sensitive method for identification of paramagnetic centers and free radicals in solids and liquids (Karatas, 2012; Jonas, 1997). It provides a detailed description for different materials and widely used for a lot of area such as medicine (Sarcan et al., 2020); archaeology (Duval et al., 2018); geology (Lopes et al., 2020); industrial irradiations (Karatas, et al., 2016); dosimetry (Toyoda et al., 2020); dose reconstruction for several radiation events and accidents (Skvortsov et al., 2000) etc.

One of the most reliable materials in dosimetry and dating studies using Electron Spin Resonance (ESR) method is tooth enamel (Duval et al., 2018; Grün, 1989; Han et al., 2016; Harsman et al, 2018; Jonas, 1997; Scholom & Desrosiers, 2014; Todaka et al, 2020). ESR dosimetry and dating using tooth enamel sample is based on detection of the long-lived radiation-induced centers in material (Grün, 1991; Fattibene & Callens, 1002010; Ikeya, 1993). The concentration of these centers can be used to determine the burial time and the radiation dose absorbed by sample (Ivannikov et al., 2002; Rink & Thomson, 2015; Vatnitsky, 2002).

There are many important parameters that affect the intensity of the ESR dosimetric signal, which is a function of the magnetic field, such as microwave power and modulation amplitude (Fattibene & Callens, 2010; Lyons et al., 1988; Murphy, 2009). In many studies with the ESR spectrometer, modulation amplitude is a less determining parameter compared to microwave power (Fattibene & Callens, 2010; Ikeya, 1993; Ivannikov et al., 2002; Galtsev et al., 1996). Considering the previous studies, it has been observed that the variation of this value is quite small (Fattibene & Callens, 2010; Ikeya, 1993). However, the ESR signal often increases linearly at low values of modulation amplitude. When the modulation amplitude becomes comparable to the line width, the signal growth gradually decreases and the lines begin to distort gradually (Ikeya, 1993; Ivannikov et al., 2002). Therefore, to minimize distortions in the ESR signal, it is necessary to take the modulation amplitude smaller than the line width of the ESR signal (Poole, 1982).

In this study, Electron Spin Resonance (ESR) spectra of fossil animal tooth enamel recorded at different modulation amplitude is investigated. The effects of modulation amplitude parameter on ESR signal intensity of tooth enamel studies were obtained experimentally.

2. Material and Method

2.1. Sample Description

In this study, an animal tooth with 3 cm long, obtained from archaeological site of Köşk Höyük, Niğde, Turkey was used. When selecting the tooth sample, a considerable care was taken, that the sample had not any broken and disease, to ensure that the results obtained from the experimental studies are reliable. The sample was brought to the laboratory without cleaning the sediments on it.

2.2. Sample Preparation

In this study, sample preparation was carried out at laboratory in Niğde Ömer Halisdemir University. Firstly, sample was washed in pure water and dried at room temperature. The dried tooth sample was cut transversely using a diamond dentist drill. The crown part and the root part were separated from each other. All parts were kept for one day in the ultrasonic bath at room temperature. After they thoroughly washed with pure water and dried at 30°C in the oven. The dentine parts remaining in the enamel layer on the dried tooth fragments were carefully scraped with a dental drill. The enamel pieces obtained were kept in chemical solvent for cleaning the other calcite components. Then washed with distilled water, and kept in another chemical solvent for removing the organic components contained therein. After samples were washed with pure water again and left to dry.

The dried enamel pieces were grinded and then eliminated in size of 45 µm - 125 µm with using sieves. The powder tooth enamel sample obtained was weighed and placed in sample container for measurements.

2.3. Sample Irradiation

In this study, irradiation of powder tooth enamel sample was performed with ⁶⁰Co gamma-source with a speed of 1.993 kGy/h per hour in irradiation laboratory of Çekmece Nuclear Research and Training Center (ÇNAEM), Turkey. The amount of radiation dose absorbed by sample was calculated with speed of the source and irradiation dose was determined as 1kGy.

2.4. ESR Measurements

After irradiating the powder sample, it was used for obtaining the modulation amplitude of the ESR. ESR spectra of tooth enamel sample have been recorded by using Bruker EMX model X- band ESR Spectrometer in IFW, Dresden, Germany at room temperature. Powder tooth enamel sample has been placed in ESR quartz tube and centered vertically in cavity. The field derivative of microwave power absorption (dP/dH) has been recorded as a function of static magnetic field. The ESR

measurements have been set to obtain analyzable ESR signals as following: The microwave power was 10mW, the modulation frequency was 100 kHz and different modulation amplitude values were between 0.25G and 10G.

3. Results and Discussion

In this study, ESR spectra of gamma irradiated powder tooth enamel sample were recorded at different modulation amplitude values (0.25G, 0.50G, 0.75G, 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, 6G, 7G, 8G, 9G, 10G) at room temperature. These ESR spectra are shown in Figure 1.

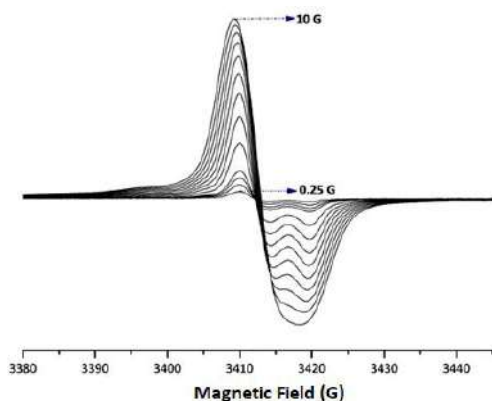


Figure 1. ESR spectra of 1kGy irradiated powder tooth enamel sample recorded in different modulation amplitudes according to magnetic field

As seen in Figure 1., when the modulation amplitude started to increase, deformations of the ESR signal were observed. The expected dating or dosimetric signal was clearly visible at low modulation amplitude values. However, as the modulation amplitude increases, the two splitting peaks at the bottom of the spectrum are increasingly being observed as a single peak. Because, when the line widths of the two split peaks were compared with modulation amplitude values, the line widths of the peaks were smaller than modulation amplitude at high modulation amplitude values. Therefore, at high modulation amplitude values, the distance between two peaks were closed and started to be a single peak.

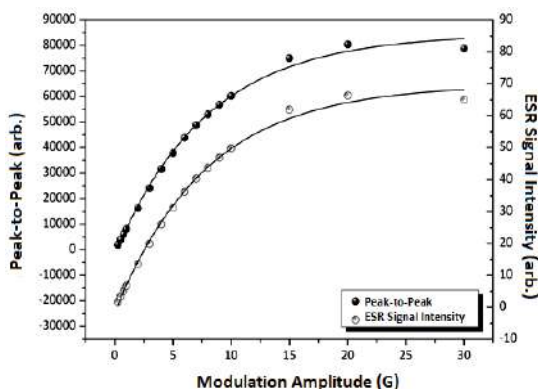


Figure 2. Variation of ESR signal intensity and peak to peak values of 1kGy irradiated tooth enamel sample with different modulation amplitudes

In Figure 2., variation of ESR signal intensity and peak to peak values of 1kGy irradiated powder tooth enamel sample with different modulation amplitudes are shown. It is seen in Figure.2 that the modulation amplitude increased in direct proportion with the signal intensity. As the modulation amplitude increased, the signal intensity increased until the distance between the two splitting peaks at the bottom of the spectrum was closed. Then signal intensity remained constant when two splitting peaks were combined into a single peak.

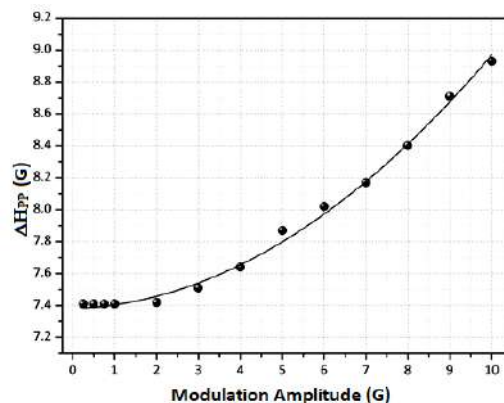


Figure 3. Variation between ΔH_{PP} values of 1kGy irradiated powder tooth enamel sample and different modulation amplitudes

In Figure.3, the magnetic field variations observed in the ESR signal intensity, ΔH_{PP} , were investigated at different modulation amplitude values. According to the spectra at different modulation amplitude values ranging from 0.25 G to 10 G; ΔH_{PP} values were stable until ~2G modulation amplitude and then increased sharply after this value. So, this figure clearly showed that the optimal modulation amplitude values for the dating and dosimetry signal of the tooth enamel sample from Köşkhöyük were between 0.25G and 2G.

It has been experimentally proven that the line width of the dating and dosimetric signal of the tooth enamel sample is around 3G, with the curve fit using the Gaussian function (Ikeya, 1993; Bulur, 1998). The results will be misleading when a higher value than 3G is set for dating and dosimetric studies. So, it is necessary to determine the best value for the modulation amplitude. The smaller modulation amplitude value helps dissolve overlapping signals and prevents deviations in the signal-to-noise ratio results. The behaviors of the ESR peaks obtained at low modulation amplitude clearly indicate that there are multiple overlapping signals with different relaxation behaviors in the respective region of the spectra. The high modulation amplitude value in the dating and dosimetric signals causes the other signals to be hidden. So, the results obtained in this study are agreement with literature and show that the modulation amplitude value should be less than 3G.

4. Conclusions and Recommendations

According to the ESR results of fossil tooth enamel samples, the modulation amplitude was found to be one of the most important parameters affecting the signal intensity in the ESR dating and dosimetric measurements of the tooth enamel

sample. Dosimetric and dating signal for tooth enamel sample is hidden at high values of modulation amplitude. So, when the modulation amplitude is set higher than 3G in ESR dosimetry and dating studies of tooth enamel, the results will be misleading. In this study, the most suitable modulation amplitude values for ESR dating and dosimetry measurements of tooth enamel sample from Köşkhöyük was found to be between 0.25G and 2G. This result is agreement with literature.

5. Acknowledge

The author acknowledges the financial support of the Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBİTAK) by 2214-A International Research Fellowships Program for PhD Students. I am grateful to Prof. Dr. A. Öztan for providing the samples; Prof. Dr. R. Kayalı for fruitful discussions and Dr. V. Kataev for nice possibilities to work with ESR spectrometer at IFW as a guest scientist.

References

- Duval, M., Grün, R., Pares, J. M., Martin-Frances, L., Campana, I., Rosell, J., Shao, Q., Arsuaga, J. L., Carbonell, E. & Bermudez de Castro, J. M. (2018). The first direct ESR dating of a hominin tooth from Atapuerca Gran Dolina TD-6 (Spain) supports the antiquity of Homo antecessor. *Quaternary Geochronology*, 47, 120-137. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2018.05.001>.
- Fattibene, P., & Callens, F. (2010). EPR dosimetry with tooth enamel: A review. *Applied Radiation and Isotopes*, 68, 2033-2116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2010.05.016>.
- Galtsev, V. E., Galtseva E. V. & Lebedev (1996). Optimal registration conditions for tooth EPR dosimetry at low accumulated dose. *Applied Radiation Isotopes*, 47(11/12), 1311-1315. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-8043\(96\)00147-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-8043(96)00147-9).
- Grün, R. (1989). Electron spin resonance (ESR) dating. *Quaternary International* 1, 65-109. [http://dx.doi.org/10.1016/1040-6182\(89\)90010-4](http://dx.doi.org/10.1016/1040-6182(89)90010-4).
- Grün, R. (1991). Potential and problems of ESR dating. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 18(1/2), 143-153. [https://doi.org/10.1016/1359-0189\(91\)90106-R](https://doi.org/10.1016/1359-0189(91)90106-R).
- Han, F., Sun, C., Bahain, J. J., Zhao, J., Lin, M., Xing, S., & Yin, G. (2016). Coupled ESR and U-series dating of fossil teeth from Yiyuan Hominin Site, Northern China. *Quaternary International*, 400, 195-201. <http://dx.doi.org/10.1016/J.QUAINT.2015.05.052>.
- Harsman, A., Toyoda, S. & Johnson, T. (2018). Suitability of Japanese wild boar tooth enamel for use as an electron spin resonance dosimeter. *Radiation Measurements*, 116, 46-50. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2018.07.001>.
- Ikeya, M. (1993). *New applications of ESR-dating, dosimetry, and microscopy*. 2nd Edition, World Scientific Publication, Singapore.
- Ivannikov, A.I., Trompier, F., Gaillard-Lecanu, E., Skvortsov, V.G. & Stepanenko, V.F. (2002). Optimisation of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry*, 101(1-4), 531-538. <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006043>.
- Jonas, M. (1997). Concept and Methods of ESR dating. *Radiation Measurements*, 27(5/6), 943-973. [http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4487\(97\)00202-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4487(97)00202-3).
- Karatas, O. & Aras, E. (2012). Electron Paramagnetic Resonance (EPR) of Gamma-Irradiated Single Crystals of Ethan-1, 2 Disulfonic Acid Disodium. *Journal of Molecular Structure*, 1027, 49-52.
- Karatas, O., Aras, E., Karadag, A. H., İşlek, Y. (2016). Electron Paramagnetic Resonance (EPR) study of gamma-irradiated methyl 4-methyl benzoate (C₉H₁₀O₂). *Radiation Effects & Defect in Solid*, 171(7-8), 651-657. <https://doi.org/10.1080/10420150.2016.1240175>.
- Lopes, R. P., Pereira, J. C., Kinoshita, A., Mollemberg, M., Barbosa Jr., F. & Baffa, O. (2020). Geological and taphonomic significance of electron spin resonance (ESR) ages of Middle-Late Pleistocene marine shells from barrier-lagoon systems of Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 101, 102605. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102605>.
- Lyons, R. G., Bowmaker, G. A. & O'Connor, C. J. (1988). Dependence of accumulated dose in ESR dating on microwave power: A contra-indication to the routine use of low power levels. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 14(1/2), 243-251.
- Murphy, D. M. (2009). *EPR (Electron Paramagnetic Resonance) spectroscopy of polycrystalline oxide systems*, Wiley Publication, Weinheim.
- Bulur, E. (1998). Investigation of paramagnetic properties of tooth enamels by Electron Spin Resonance (ESR) Technique. PhD thesis, The Middle East Technical University, p.56.
- Poole, C.P. (1982). *ESR: A comprehensive treatise on experimental techniques*. 2nd Edition, John Wiley&Sons, Inc., Newyork.
- Rink, W.J. & Thompson, J.W. (2015). *Encyclopedia of Scientific Dating Methods*, Springer Publication, Netherlands, 239-254.
- Sarcan, E. T., Tas, A., Silindir-Günay, M., Ozer, A. Y., Colak, S. & Hekimoglu, B. (2020). ESR investigations of x-ray exposed drugs. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 188, 113311. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113311>.
- Sholom, S., & Desrosiers, M. F. (2014). EPR and OSL emergency dosimetry with teeth: a direct comparison of two techniques. *Radiation Measurements*, 71, 494-497. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2014.03.015>.
- Skvortsov, V. G., Ivannikov, A. I., Stepanenko, V. F., Tsyb, A. F., Khamidova, L. G., Kondrashov, A. E., & Tikunov, D. D. (2000). Application of EPR retrospective dosimetry for large-scale accidental situation. *Applied Radiation and Isotopes*, 52, 1275-1282.
- Todaka, A., Toyoda S., Natsuhori, M., Okada, K., Sato, I., Sato, H. & Sasaki, J. (2020). ESR assessment of tooth enamel dose from cattle bred in areas contaminated due to the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Radiation Measurements*, 136, 106357. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2020.106357>.
- Toyoda, S., Murahashi, M. & Ivannikov, A. (2020). ESR tooth enamel retrospective dosimetry quoted as spin numbers. *Radiation Measurements*, 135, 106333. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2020.106333>.
- Vatnitsky, S. (2002). Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment. *International Atomic Energy Agency (IAEA), (IAEA-TECDOC-1331), Austria*.



Could Mobile Applications' Success be Increased via Machine Learning and Business Intelligence Methods?

Murat Kılınç^{1*}, Çiğdem Tarhan², Can Aydın³

¹ Manisa Celal Bayar University, Computer Research and Application Center, Manisa, Turkey (ORCID: 0000-0003-4092-5967), kilinc.murat@cbu.edu.tr

² Dokuz Eylul University, Department of Management Information Systems, Izmir, Turkey (ORCID: 0000-0002-5891-0635), cigdem.tarhan@deu.edu.tr

³ Dokuz Eylul University, Department of Management Information Systems, Izmir, Turkey (ORCID: 0000-0002-0133-9634), can.aydin@deu.edu.tr

(First received 10 September 2020 and in final form 5 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.793069)

ATIF/REFERENCE: Kılınç, M., Tarhan, Ç. & Aydın, C. (2020). Could Mobile Applications' Success be Increased via Machine Learning and Business Intelligence Methods? *European Journal of Science and Technology*, (20), 805-814.

Abstract

The number of applications developed for mobile platforms is increasing as developer interest is largely directed towards mobile platforms. In addition to the IOS platform, Google Play Store, one of the main platforms where developed mobile applications are published, also has a lot of developer interest, especially because it is open source. But there is no platform that developers can benefit from for elements such as the success that the developed application can provide or what features it should have. In this study, this problem was addressed. Accordingly, it is aimed to estimate and classify success according to the characteristics of the developed application. In addition, the evaluation of the developed application within the scope of business intelligence according to the characteristics of the previously developed applications is one of the main points of the study. Within the scope of the research, Decision Tree Regressor (DTC), Random Forest Regressor (RFR), K-Neighbors Regressor (KNN) and AdaBoost Regressor (ABR) were used for application rating estimates and the accuracy of the metrics were tested with R square score (R²), Mean Square Error (MSE) and Root Mean square Error (RMSE). Estimates for classification Random forest classification (RFC) decision tree classification (DTC), the K-Neighbors Classification (KNC), Classification MLP (MLP), AdaBoost Classification (ABC) and naïve Bayes (GNB) has been tested with the algorithms used and the accuracy of confusion matrix metrics. In this context, DTR with 80.73% and RFR with 82.89% gave the best results for rating estimation, DTC with 86.08% and RFC algorithms with 89.83% gave the best results for success classification. All predictions made with machine learning management in the scope of the study are dynamically shown in the web interface using the Flask framework. Therefore, a platform was created where developers could get Decision Support with business intelligence and the resulting results were analyzed and transferred into the work. In this way, mobile application developers will be able to see their shortcomings, if any, and have a prediction in terms of success.

Keywords: Business Intelligence, Machine Learning, Web Applications, Decision Support System.

Makine Öğrenmesi ve İş Zekâsı Yöntemleriyle Mobil Uygulamaların Başarısı Arttırılabilir mi?

Öz

Mobil platformlar için geliştirilen uygulamaların sayısı, geliştirici ilgisinin büyük ölçüde mobil platformlara yönelmesiyle birlikte artış göstermektedir. IOS platformunun yanısıra, geliştirilen mobil uygulamaların yayımlandığı ana platformlardan birisi olan Google Play Store'da da özellikle açık kaynak kodlu olması sebebiyle, yoğun bir geliştirici ilgisi mevcuttur. Fakat geliştirilen uygulamanın sağlayabileceği başarı ya da hangi özelliklere sahip olması gerektiği gibi unsurlar için geliştiricilerin yararlanabileceği bir platform bulunmamaktadır. Bu çalışmada da bu sorun üzerine gidilmiştir. Bu doğrultuda, geliştirilen uygulamanın özelliklerine göre bir başarı tahminlemesi ve sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca geliştirilen uygulamanın, daha önce geliştirilmiş olan uygulamaların özelliklerine göre iş zekâsı kapsamında değerlendirilmesi de çalışmanın dayanak noktalarından biridir. Arastırma kapsamında, uygulama rating tahminleri için Decision Tree Regressor (DTC), Random Forest Regressor (RFR), K-Neighbors Regressor (KNN) ve AdaBoost Regressor (ABR) kullanılmış ve metriklerin doğruluğu R kare skoru (R²), Mean Square Error (MSE) ve Root Mean Square Error (RMSE) ile test edilmiştir. Sınıflandırma tahminleri için ise Random Forest Classification (RFC), Decision Tree Classification (DTC), K-Neighbors Classification (KNC), MLP Classification (MLP), AdaBoost Classification (ABC) ve Naive Bayes (GNB) algoritmaları kullanılmış ve metriklerin doğruluğu confusion matrix ile test edilmiştir. Bu kapsamda rating tahmini için en iyi sonuçları

* Corresponding Author: Manisa Celal Bayar University, Computer Research and Application Center, Manisa, Turkey, ORCID: 0000-0003-4092-5967, kilinc.murat@cbu.edu.tr

%80.73 ile DTR ve %82.89 ile RFR, başarı sınıflandırması için en iyi sonuçları ise %86.08 ile DTC, %89.83 ile RFC algoritmaları vermiştir. Çalışma kapsamındaki makine öğrenmesi yöntemleriyle yapılan tüm tahminlemeler dinamik bir şekilde Flask framework kullanılarak web arayüzünde gösterilmiştir. Dolayısıyla, iş zekâsı ile geliştiricilerin karar desteği alabileceği bir platform oluşturulmuş ve ortaya çıkan sonuçlar analiz edilerek çalışma içerisine aktarılmıştır. Bu sayede, mobil uygulama geliştiricileri varsa eksikliklerini görebilecekler ve başarı anlamında bir öngörüye sahip olabileceklerdir.

Anahtar Kelimeler: İş Zekâsı, Makine Öğrenmesi, Web Uygulamaları, Karar Destek Sistemi.

1. Introduction

With the increase in the use of smart phones, the mobile application ecosystem has become the most important part of the software industry's cake. Because when evaluated in terms of usage rate, mobile and tablet usage is higher than the desktop usage rate with 53,1% (*Business of Apps*, 2020; *Statcounter*, 2020a; *Statista*, 2020). This situation has led to the creation of application markets such as Google Play and App Store in Android and IOS mobile operating systems and the proliferation of applications developed for these markets (Holzer & Ondrus, 2011). The interest in these markets is higher, with 74,6% on the Android side, especially since most of them are open source. The usage rate in IOS, another large platform, appears to be 24,8% (*Statcounter*, 2020b). With these rates, there are 2.2 million developed applications in the App Store, while there are around 3 million applications in Google Play. According to download statistics, applications on both platforms are expected to be downloaded more than 350 billion times in 2021. While there are an intense developer and user interest for both platforms, the applications developed must be sufficient and sustainable in terms of quality, security and design (Franke & Weise, 2011). IOS and Android users show different behaviours at the point of choosing the application (Zimbra et al., 2017). IOS users are willing to pay extra for sustainable applications in terms of quality, security, and design. So subscription and in-app purchase model is standard. Android users have adopted application models based on ads (Lamhaddab et al., 2019). Advertising-based applications alone may be insufficient in terms of quality and security. For this reason, applications in Google Play must be tested for success before or after they are published, and their deficiencies must be eliminated. However, mobile application developers' inability to successfully test their applications is a problem that concerns both developers and stakeholders investing in the application. For testing in terms of success, a model should be created after analyzing the data of other applications developed. Data is the critical component in the process of creating the model and showing it on the application. Reports, inferences, and predictions that can increase applications' success are possible by analyzing the data comprehensively. This whole process has been made possible by a significant increase in the number of recorded data with the development of information and communication technologies. With this increase, useful and meaningful information could be obtained from the data, and data analysis became more significant (Birant, 2011; Lam, 2004; Olson et al., 2012; Onan, 2015). Popular data centres such as Kaggle can be used for these analyzes, which are both practical and trendy today. Accordingly, the Google Play Applications data set consisting of approximately 10,000 data was used for the research's data-based machine learning and business intelligence model.

When Google Play applications are examined within the scope of success prediction with business intelligence and machine learning, which are the research method, many studies have been found. In a study conducted in the field of health in

2015, 65 mobile applications were examined using a survey method, and mobile applications were classified and divided into specific groups. (Stoyanov et al., 2015). In another study, the classification process was carried out by analyzing the texts written about the applications on the web pages to classify mobile applications (Zhu et al., 2012). In another study conducted in 2017, sentiment analysis was performed using machine learning algorithms with the reviews of more than 200,000 applications. According to the study results, the Support Vector Machine (SVM) algorithm gives the best analysis result with 94%. (Day & Lin, 2017). As seen in the classification studies of mobile applications, the data required for classification have been revealed by text mining, usually using comments written on mobile application stores and web pages about applications (García-Peñalvo et al., 2014). In addition to mobile applications' comments, the inclusion of data roaming in machine learning methods is also included in the literature. In another study conducted by Alfonso and his team in 2015, it was estimated whether there is malware according to the features of mobile applications on Google Play (Munoz et al., 2015). In a similar study, more than 80,000 Android apps flagged as malware were analyzed. As a result of the analysis, applications of unknown type are classified as adware or malware with a rate of 84%. (Martín et al., 2019). In another study conducted in 2020, success was predicted with artificial neural networks using the characteristics of 100 successful and 100 unsuccessful applications (Dehkordi et al., 2020). In another study, approximately 1500 Android applications were examined, and security risk estimation was made with machine learning methods. In the estimation, it was seen that the Random Forest Algorithm (RF) performed better than other algorithms at all risk levels (Cui et al., 2020). Finally, in a study conducted in 2020, it was emphasized that the performance problems that could prevent the effective use of Android applications could be prevented with early solutions. Thus the success of the applications will increase. (Das et al., 2020). After examining similar studies in the literature, machine learning algorithms were used after obtaining information such as scoring, price, number of downloads, number of comments, category, and content of mobile applications in application stores. After the success estimation and classification processes were performed, reporting was made on a management panel using business intelligence tools. Combining both methods and creating a decision support system on the web reveals the study's innovative side that differs from other studies.

2. Material and Method

Within the scope of the business intelligence and machine learning processes creating a decision support structure on the web environment, first of all, the system design was introduced, and the processes in the system design were implemented step by step. In this direction, the Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) standard, which is widely used in data mining and machine learning projects, has been gradually applied

in system design. (Gentner et al., 2018). CRISP-DM process model levels consist of 6 stages. These stages are called business understanding, data understanding, data preparation, modelling,

evaluation, and deployment; the existing data is fully integrated into the system lifecycle process (Figure 1).

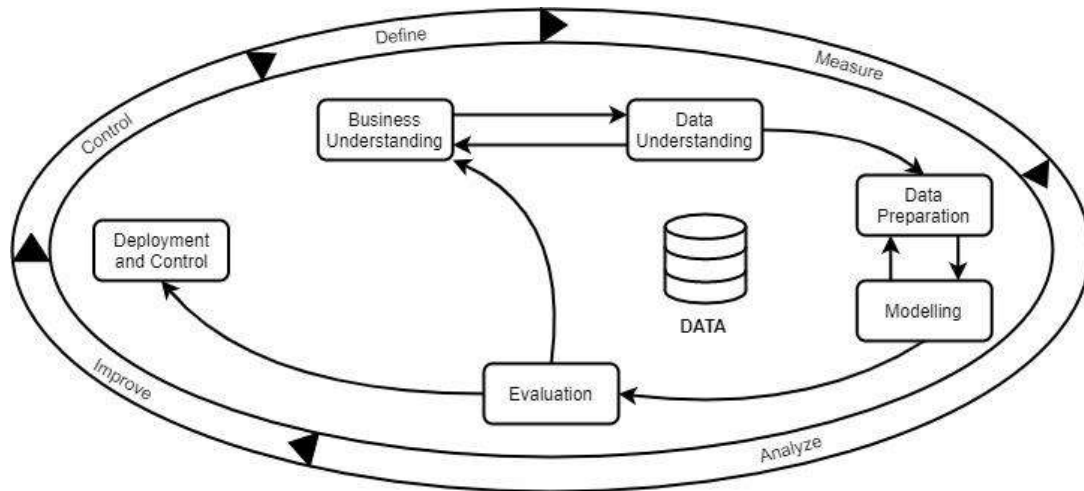


Figure 1. Cross industry standard process for data mining (De Mast & Lokkerbol, 2012; Huber et al., 2019)

2.1. Business-Data Understanding

At the stage of understanding the work, it was clarified what kind of contribution the developed system would contribute to the literature and which software libraries to be used were determined. Also, the problems that may arise during the development of the software have been sought. At the stage of data understanding, the data; how it is in terms of quality, accessibility and sustainability have been evaluated. Therefore, the system design scheme is laid out, and it is planned by specifying how the data will follow in terms of system operation.

The web interface developed in this direction has been evaluated together in terms of business intelligence and machine learning. This evaluation aims to support the suggestions, reports, and inferences to be presented to the user with business intelligence and machine learning. In this context, the data integrated into the system was first analyzed on object-oriented programming languages PHP and Python (Figure 2). Later, visualization, estimation, and classification processes were carried out on the web interface. After all these processes, a decision support system was created by combining business intelligence and machine learning capabilities.

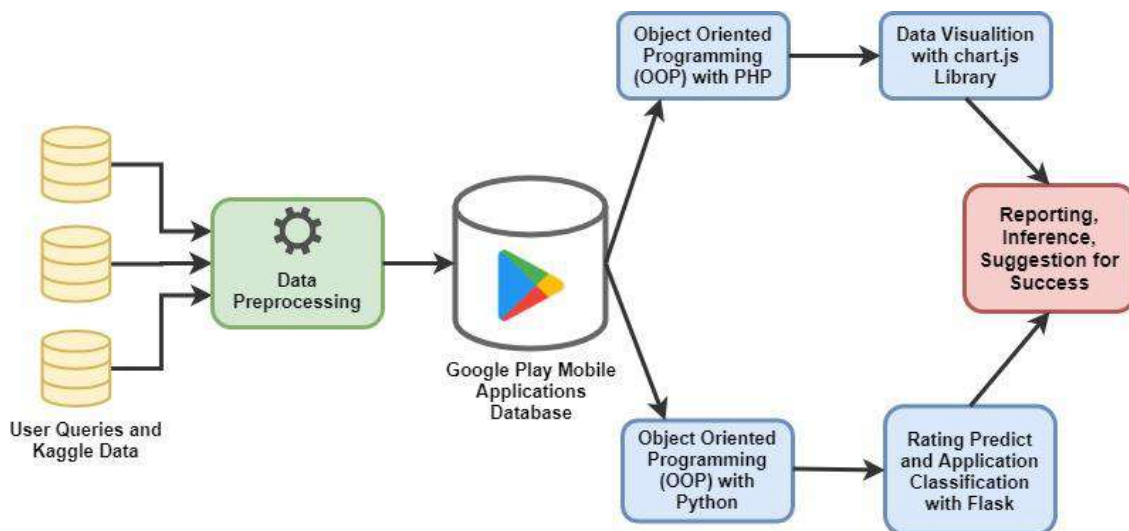


Figure 2. Data path and analysis process in the context of business intelligence

2.1.1. Software Libraries and Structures Used

Application development was carried out in 3 separate processes. For this reason, the software libraries and structures used in each process differ. While developing the web application, e-ISSN: 2148-2683

HTML, CSS on the frontend, and the Chart.js library compiled with object-oriented programming languages PHP, Python, and Javascript on the Bootstrap backend were used. The Flask library, a web framework of the Python programming language, was used for the rating estimation and classification of the application (Table 1). Pandas and Numpy libraries, which provide features

such as reading the data file and performing mathematical operations, were used in the data pre-processing process. The process of making the data ready for machine learning methods was done in this process, and the compilation of all processes was done in Jupyter. Finally, in the machine learning process, the sci-

kit learn library structures were used for prediction and classification methods. Success predict and classification analyzes were made in this process, and Spyder was used as the compiler.

Table 1. Components of the Developed Web Application

	Web Application	Machine Learning	Data Preprocessing
Python Libraries and Structures	Flask Framework	Sklearn Libraries	Pandas, Numpy Libraries
Object-Oriented Programming Languages	PHP, Javascript, Python (It was compiled with VS Code.)	Python (It was compiled with Spyder and VS Code.)	Python (It was compiled with Jupyter.)
Other Tools and Libraries	HTML, CSS, Bootstrap, Chart.js	Google Colab	Weka (Feature Selection)

2.2. Business-Data Understanding

During the data preparation, since the basis of the research is based on the data source, to analyze a sufficient number of data sets in all processes in the system, the "Google Play Store Apps" data set containing many mobile application data was used. (Gupta, 2020). Mobile applications in Google Play have gone through the pre-processing data stage before being analyzed within the scope of various machine learning methods and business intelligence and become ready for analysis. The main finding aimed at this point is to make the data set entirely numerical. Because in the process of using machine learning business intelligence methods on this data set, the data must be completely numerical. In addition, data must be numerical within

the scope of compatibility with the database because the convenience that arises in the transfer to the database stands out clearly (Table 2). Before the pre-processing process, the data set, which was 10.841 rows, 13 columns, and 1.1 MB in size, was numerical and feature selection was made through Weka software. As a result of data pre-processing, missing or incorrect lines were separated from the data set and the number of lines decreased to 9360. In the number of columns, as a result of the feature selection, three columns were deleted from the data set, and the numerical versions of the category and type columns were added to the main table, and a new data set of 12 columns in total was obtained. Also, the new size of the data set was 804 KB (Table 2). Analysis operations can be done more efficiently, thanks to the decreasing size as the data becomes numerical.

Table 2. Data Set Status Before and After Data Preprocessing

Before Preprocessing Data			After Preprocessing Data		
10.841 line	13 column	Size: 1.1 MB	9360 line	12 column	Size: 804 KB
<pre><class 'pandas.core.frame.DataFrame'> RangeIndex: 10841 entries, 0 to 10840 Data columns (total 13 columns): App 10841 non-null object Category 10841 non-null object Rating 9367 non-null float64 Reviews 10841 non-null object Size 10841 non-null object Installs 10841 non-null object Type 10840 non-null object Price 10841 non-null object Content Rating 10840 non-null object Genres 10841 non-null object Last Updated 10841 non-null object Current Ver 10833 non-null object Android Ver 10838 non-null object dtypes: float64(1), object(12) memory usage: 1.1+ MB</pre>			<pre><class 'pandas.core.frame.DataFrame'> Int64Index: 9360 entries, 0 to 10840 Data columns (total 12 columns): App 9360 non-null object Category 9360 non-null object Rating 9360 non-null float64 Reviews 9360 non-null int32 Size 9360 non-null float64 Installs 9360 non-null int64 Type 9360 non-null int64 Price 9360 non-null float64 Content Rating 9360 non-null int32 Genres 9360 non-null object Category_c 9360 non-null int32 Genres_c 9360 non-null int32 dtypes: float64(3), int32(4), int64(2), object(3) memory usage: 804.4+ KB</pre>		

On the other hand, there can be significant differences between the data set's property column values . These large differences can cause properties with small values to be ignored during the classification process. For this reason, the data set should be normalized by compressing it between 0-1 values. For this purpose, the numerical data has been normalized.

$$X_{std} = \frac{(X - X.min(axis = 0))}{(X.max(axis = 0) - X.min(axis = 0))} \quad (1)$$

This normalization may differ in variables that have a scaled value. Ratings of applications are in the range of 0-5. However, e-ISSN: 2148-2683

since the data in the data set is generally in the range of 3 to 5 values, the placement made between 0-1 is distributed only within these limits. As a solution to this situation, the mathematical formula introduced for normalization in the sklearn library was used (1). With the application of the formula to the rating column, all rating values between 0-5 are placed between 0-1 (Figure 3).

[9360 rows x 10 columns]

	0	2	3	...	8	9	Rating
0	0.000000	2.021538e-06	0.189931	...	0.000000	0.000000	0.82
1	0.000092	1.235953e-05	0.139927	...	0.008772	0.000000	0.78
2	0.000185	1.119638e-03	0.086922	...	0.000000	0.000000	0.94
3	0.000277	2.759054e-03	0.249936	...	0.000000	0.000000	0.90
4	0.000369	1.235953e-05	0.027917	...	0.017544	0.000000	0.86
5	0.000461	2.123895e-06	0.055920	...	0.000000	0.000000	0.88
6	0.000554	2.264635e-06	0.189931	...	0.000000	0.000000	0.76

Figure 3. Post-normalization data set

2.3. Modelling

In the modelling process carried out in a supervised learning process, modelling techniques have been applied in a structure that is most suitable for the desired job. Considered in a general context, which algorithms will be used in the modelling process, how to follow the path with these algorithms, and the system's working logic is evaluated. In the process of reaching the decision support system, which is the primary purpose of modelling in practice, it is to evaluate it in a learning model trained with an extensive data set by taking the values obtained from the user (Figure 4). In this context, using 15 estimation and classification methods, the choices are left to the user. However, some methods were removed from the web interface because they delayed the operation of the webserver. After the model creation, the data set was divided into training and test set to determine the quality of the model.

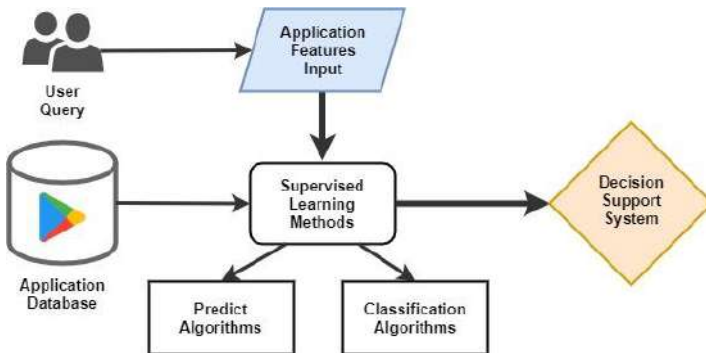


Figure 4. Modeling process for supervised learning methods

Therefore, the data pre-processed in the machine learning process were randomly selected and separated for training and testing and included in the process. In this context, the test data size in the cross-validation section was selected as "test_size = 0.20". A dynamic structure has been created by providing the transfer of the values entered in the web environment to the Python environment with the Flask framework structure. The web application, which passes through the machine learning process with all the system data, is designed to analyze the new incoming data in machine learning processes (Figure 4).

2.4. Evaluation

The regression and classification algorithms used in the research were tested with model evaluation metrics before being used in the application. Accordingly, the accuracy values for the classification algorithms were measured with F1 Score, Precision and Recall, and the accuracy values of the regression algorithms were measured with R2 Score, MSE, and RMSE. First of all, the confusion matrix must be presented to evaluate the accuracy of the classification algorithms. Then, the classification metrics can be evaluated (Table 3).

Table 3. Confusion Matrix

		Real Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

TP: True Positive → The algorithm returns yes, the main result is yes

FP: False Positive → The algorithm returns yes, but the actual result is no

FN: False Negative → The algorithm returns no, the main result is yes

TN: True Negative → The algorithm returns no, the main result is no

In this direction, it should be stated how much of the proposed model results were correctly estimated. For this, accuracy rate measurement is mostly used for classification methods. (Yang et al., 2020). The accuracy rate is obtained by dividing the correctly classified data into all data (2).

$$Accuracy Rate = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (2)$$

After the accuracy ratio, the other two calculations using the confusion matrix are Recall and Precision measurements. The ratio of the number of correctly classified positive samples to the total number of correctly classified positive predicted samples and incorrectly classified negative samples is called sensitivity measurement (Üstün, 2019) (3). The measurement is considered as a metric that indicates how much of the values that need to be positively predicted are positively predicted. It is mainly used in cases where the cost of false negative estimation is high.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3) \quad Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

Based on the results obtained from the confusion matrix, precision measurement is calculated as the ratio of the number of correctly classified positive samples to the total positive samples (4). In other words, it is a measurement parameter that shows how many of the positively predicted values are positive. F1 score is a classification method evaluation metric in which extreme cases are not ignored. Measurement of the metric is obtained by the harmonic mean of the precision and recall values (5).

$$F1 Score = \frac{2 \times Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (5)$$

Metrics such as R2, MSE, and RMSE are frequently used to evaluate regression algorithms. First, the R2 score is calculated by the formula (6). According to the formula, R2 score, which can take a value between -1 and +1, the higher the model fit, the better. When evaluated in terms of the relationship between variables, the R2 score between 0-0.25 is considered to be very weak, between 0.26-0.50 as weak, 0.50-0.69 as a medium, 0.70-0.89 as high, and between 0.90-1.00 as a very high agreement (Erdal, 2015).

$$R^2 Score = 1 - \frac{\sum_i (y_i - y'_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

$$\text{Mean Square Error (MSE)} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (y_i - y'_i)^2 \quad (7)$$

Second, MSE (7) shows how close a regression algorithm is to a set of points. The closer the always-positive MSE is to zero, the better the algorithm can predict. Finally, RMSE is a metric frequently used to find the distance between estimated values and actual values (8). The fact that the RMSE value is close to zero indicates that the algorithm used can make accurate predictions (Aydın, 2018).

$$\text{Root Mean Square Error (RMSE)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (y_i - y'_i)^2} \quad (8)$$

Results of the evaluation of regression algorithms used in the application are shown in the table below (Table 4). According to the results, DTR algorithms with 87% and RFR algorithms, with 91% give the highest accuracy rates. Also, it can be said that these algorithms make an excellent rating estimation because the R2 score is high, and the MSE and RMSE values are close to zero.

Table 4. Comparison of the Results of the Regression Algorithm

Regressor Algorithms	Accuracy Score	R2	MSE	RMSE
DTR	0.87	0.71	0.078	0.297
RFR	0.91	0.75	0.063	0.256
KNN	0.42	0.36	0.169	0.415
ABR	0.14	0.24	0.279	0.533

In the evaluation of classification methods, the algorithms that yielded the best results were DTC with 87% and RFC with 89% (Table 5). At the same time, since these algorithms give an F1 score close to the accuracy value, it is seen that DTC and RFC algorithms make a useful classification. The reason why other methods make classification with lower accuracy values is the characteristic feature of the data set. Because the data set has an unevenly distributed structure, this situation has enabled DTC and RFC algorithms that can classify better in unbalanced data sets to give better results.

Table 5. Comparison of the Results of the Classification Algorithm

Classification Algorithms	Accuracy Score	F1 Score	Precision	Recall
DTC	0.87	0.83	0.81	0.87
RFC	0.89	0.86	0.91	0.83
KNC	0.65	0.57	0.58	0.56
MLP	0.50	0.23	0.25	0.27
ABC	0.46	0.32	0.38	0.28
GNB	0.17	0.31	0.31	0.32

2.5. Deployment and Control

The model introduced and evaluated in the deployment process, which is the last stage of the CRISP-DM process, is implemented. In this direction, the web-based learning system has been successfully implemented for the planned job. (Huang et al., 2005). Within the scope of the study, the model was implemented in the web environment and a web application was developed. All processes control, business intelligence, and machine learning methods were transferred to mobile application developers. Developed web application; It consists of 5 sections called Dashboard, Add App Data, Data Management, Reporting, and Rating Predict. Accordingly, statistics and graphics regarding all data in the database are included on the Dashboard page. All lists and graphics are dynamically designed due to the system operating logic. When new data is entered into the system, the change can be observed instantly. On the Add App Data page, a registration form has been created for adding new applications. Each new data should be added to the system carefully, as it is dynamic and can make changes in general reports and graphics. Multiple queries can be made in line with the criteria specified on the Data Management page, and operations such as updating and deleting the results can be performed (Figure 5).

On the Reporting page, all the data obtained from the database were analyzed in line with various criteria, and the mobile application analysis was revealed in the form of questions and answers. On the Rating Predict page, a structure that performs the prediction and classification of success with machine learning methods according to the features of the developed application. The developer who tests the mobile application developed in this direction receives a rating and success classification estimation after entering the features such as size, category, price, type, content. Then, what needs to be done to improve the result is shown in the form of a report.

Therefore, with the revealed structure, a decision support system was provided, and the reporting capability of business intelligence and the estimation and classification methods of machine learning were combined with the use of the Flask framework (Figure 6). Besides, to strengthen the decision support system with visualization, all data in the system are visualized with unique criteria and presented to the user on the web interface. The data received on the interface side with PHP has been made suitable for visualization with various SQL queries. The data grouped according to various criteria were transferred red to the Chart.js library compiled with Javascript in a way to be visualized dynamically. Dynamic graphics change as data is added to the web application (Figure 7).

The graphics on the dashboard differ according to the type of data. Groups containing value range data are shown in the form of a pie chart, categorized groups in the form of a bar chart, and groups containing average values on graphs showing the average values of all values (Figure 8).

In addition, every query made in the developed system is added to the database as mobile application information. In this way, the data set in which machine learning methods can be used is increased. In other words, algorithms that make regression and classification within the scope of supervised learning will improve themselves as the query is made.

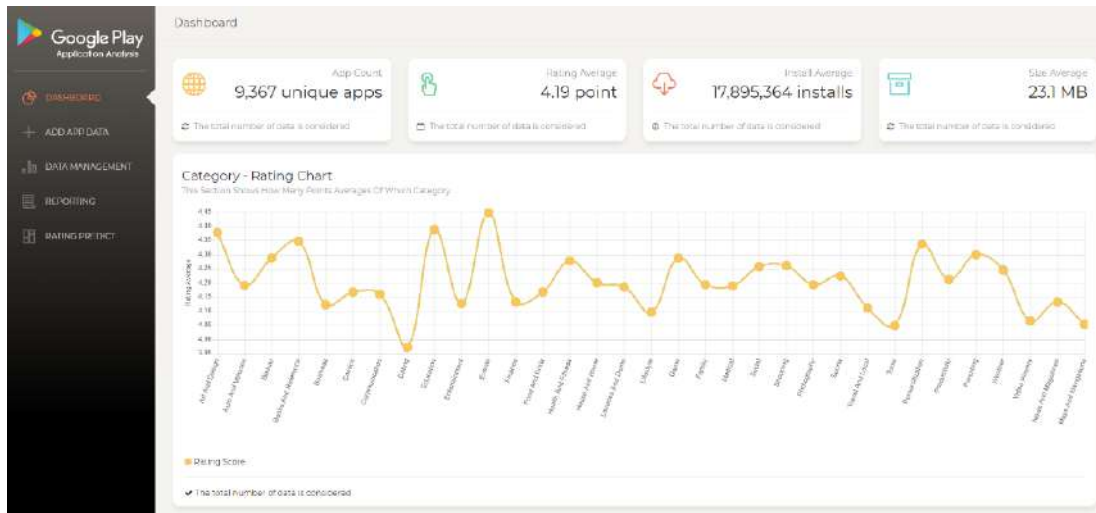


Figure 5. A view from the developed web application interface

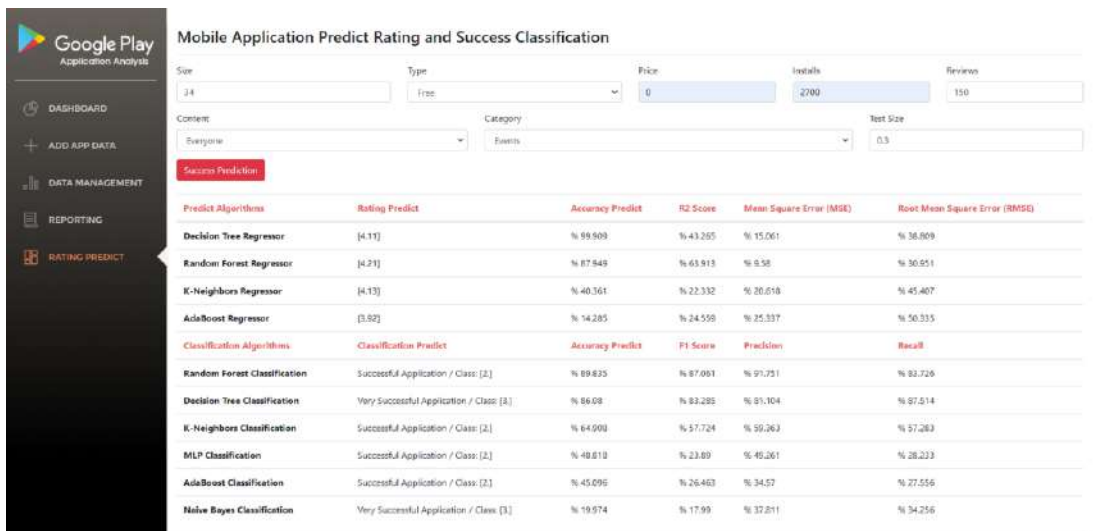


Figure 6. Demonstration of machine learning methods on the web environment with the flask framework

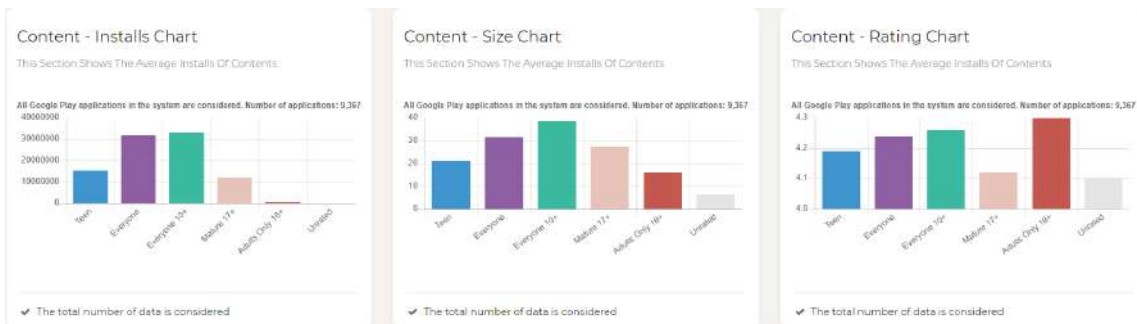


Figure 7. Visualization of data in web application-1

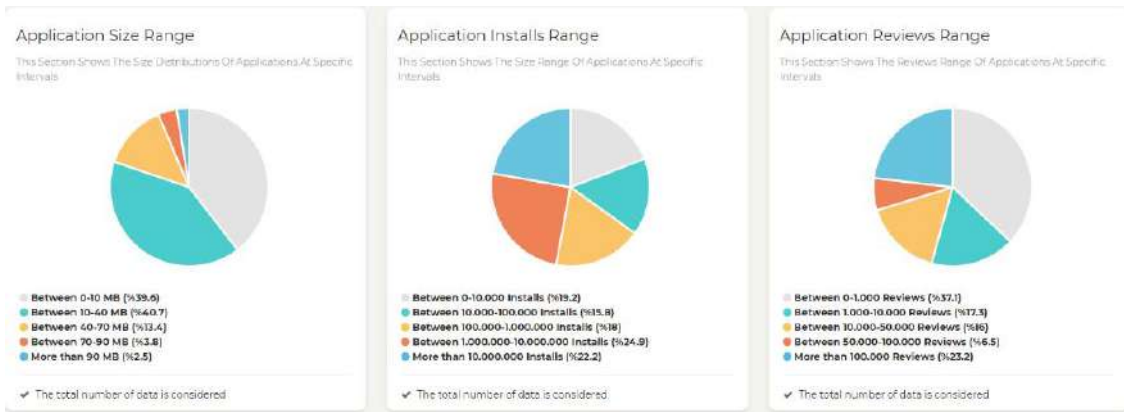


Figure 8. Visualization of data in web application-2

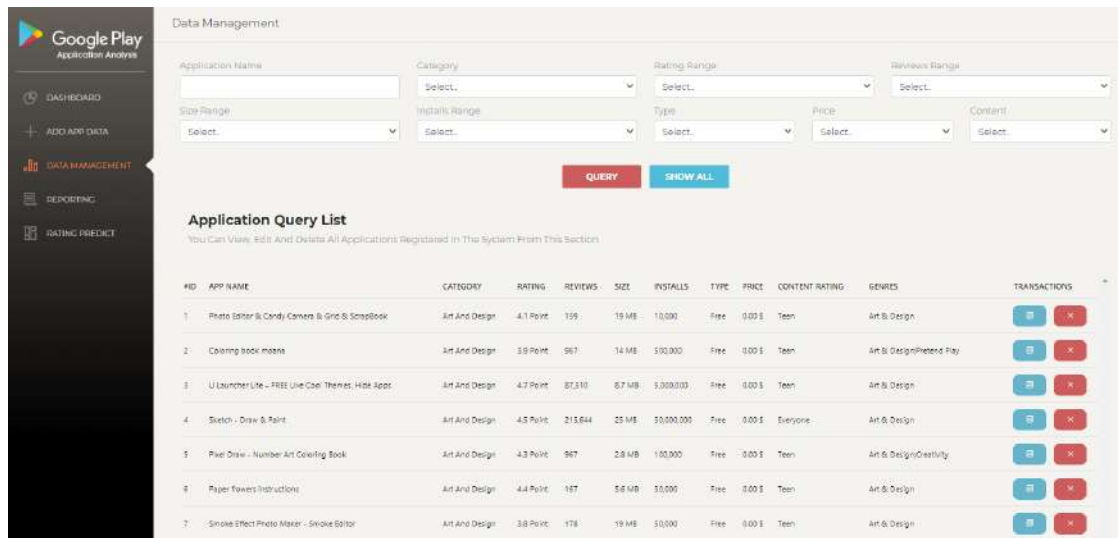


Figure 9. Data management in web application

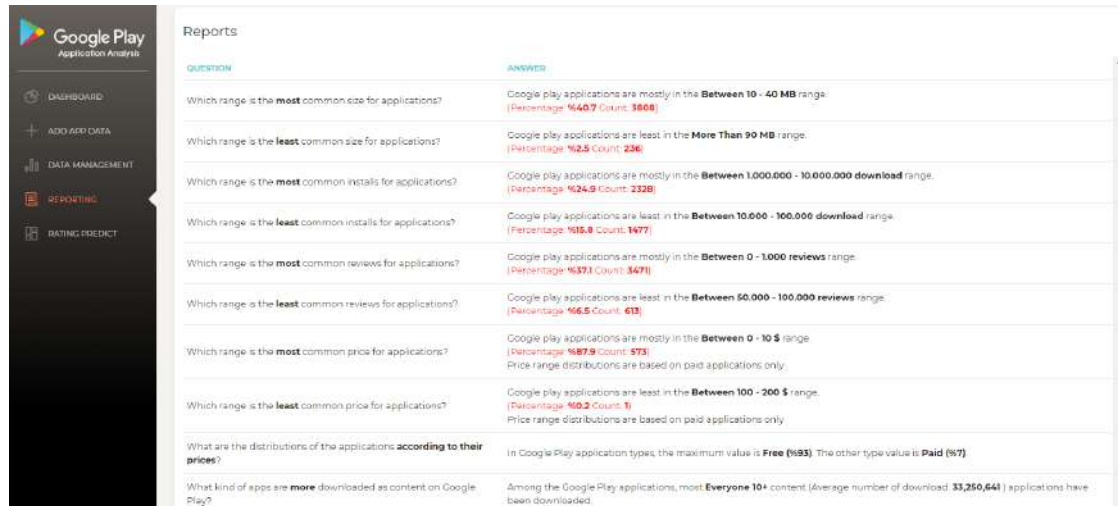


Figure 10. Detailed reporting of mobile application data

The mobile applications included in the platform developed by querying and the existing applications in the system are controlled via the data management page in the interface (Figure 9). Mobile application developers can get information about other applications by searching by category and other features through this page.

Finally, detailed statistics are presented to the developers on the reporting page of the developed application (Figure 10). The

fact that the statistics presented is in the form of questions and answers makes the analysis processes more active. In addition, when the results on the rating predict page and the statistics on the reporting screen are combined, it is seen that information that can increase the decision support of mobile application developers is revealed. For example, a developer whose application entered the system is predicted to be unsuccessful can find the steps to take to eliminate this failure on the reporting page. In this respect, the

developed application should be considered as an environment where applications are tested before being added to application markets.

3. Conclusions

The web-based application developed with business intelligence and machine learning methods allows mobile application developers to test and evaluate their applications. For this reason, the web platform developed is a decision support system. Because the system is designed with the inference and reporting capability of business intelligence, as well as the prediction and classification methods provided by machine learning. In this way, developers will be able to get support in determining the application features through the system developed both before and after the application development phase.

After making comparisons between this platform provided in the field of mobile application development and various methods for estimation and classification in machine learning methods, the choice of the methods that give the most accurate result is left to the user. Because a dynamic structure is created, as the application data is added to the system, the results of the algorithms may vary. However, based on the existing applications in the system, the algorithms that give the best results in rating estimation and success classification were determined. In this context, the rating estimation methods; Decision Tree Regressor (DTR), Random Forest Regressor (RFR), K-Nearest Neighbor Regressor (KNN), Adaboost Regressor (ABR) were applied on the system, and the accuracy percentages of each method were presented to the user besides the estimation made by the model. Among the algorithms used, the best rating estimates were DTR with 87% and RFR with 91%. In the classification methods, Decision Tree Classifier (DTC), Random Forest Classifier (RFC), K-Nearest Neighbor Classifier, Multi-Layer Perception Classifier (MLP), Adaboost Classifier (ABC), Gaussian Naive Bayes (GNB) were used. As a result of the model training made with application data in the system, the best classification algorithms were RFC with 87% and RFC with 89%. In addition, according to the data entered by the application developer, they were provided to test their application in the web environment as "0 = Very Unsuccessful", "1 = Unsuccessful", "2 = Successful", "3 = Very Successful". Within the scope of classification and estimation methods, entering data into the system via web application has been created in a way to strengthen the predictions to be made later. Also, since the entire data set is evaluated within the scope of business intelligence, a decision support structure can be created with dynamic reporting and inferences.

As a result, the study revealed that machine learning and business intelligence work in an integrated manner, creating a decision support structure in mobile application development. Nowadays, it is possible to increase the success factor with the study that can be applied to other fields together with many standards. For this reason, similar systems must be meticulously created and maintained.

The earlier version of the paper was presented in the 6th International Management Information Systems Conference (Kılınc et al., 2019). The previous work only revealed the accuracy values. Additionally, this study shows how this is evaluated with a confusion matrix as well as accuracy values. In this context, besides the classification metrics F1 score, sensitivity and recall values, the regression evaluation metrics R2 Score,

MSE and RMSE values were also added to the study. In contrast to the previous study, classification and regression were examined in different tables in this study. Therefore, the rating predict and application classification areas in the web interface were also changed and presented to the developers.

4. Future Works and Recommendations

Many developers develop applications on Android because it is an open-source to improve their skills, but this should not cause the quality to decrease. Every application published on Google Play must be published after it exceeds a certain quality level. For this, there is a need for predictive and classifying systems for possible success. Thanks to these systems, both developer interest and overall application quality in Google Play will increase. Studies on mobile applications on Google Play are usually done on detecting malware. The average rating of 4.19 can be further increased by efforts to increase the quality and success of the applications. Also, a structure for predicting success can be made mandatory before the application is added to the market. With the decision support to be provided at this level, the quality of applications on Android will increase positively. Otherwise, this may cause Android, which is the most used operating system today, to become an application dump.

On the other hand, the data we use in our study constitutes a small part of the applications in Google Play. With better hardware, the system we have created with machine learning methods can be strengthened using all applications in Google Play. Besides, image processing methods can be used to increase decision support by including other features and images of the applications in the system.

References

- Aydın, C. (2018). Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İtfaiye İstasyonu İhtiyacının Sınıflandırılması. *European Journal of Science and Technology*, 169–175. <https://doi.org/10.31590/ejosat.458613>
- Birant, D. (2011). Comparison of decision tree algorithms for predicting potential air pollutant emissions with data mining models. *Journal of Environmental Informatics*, 17(1), 46–53. <https://doi.org/10.3808/jei.201100186>
- Business of Apps*. (2020). App Download and Usage Statistics. <https://www.businessofapps.com/data/app-statistics/>
- Cui, J., Wang, L., Zhao, X., & Zhang, H. (2020). Towards predictive analysis of android vulnerability using statistical codes and machine learning for IoT applications. *Computer Communications*, 155(February), 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.078>
- Das, T., Di Penta, M., & Malavolta, I. (2020). Characterizing the evolution of statically-detectable performance issues of Android apps. *Empirical Software Engineering*, 25(4), 2748–2808. <https://doi.org/10.1007/s10664-019-09798-3>
- Day, M. Y., & Lin, Y. Da. (2017). Deep learning for sentiment analysis on google play consumer review. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, IRI 2017, 2017-Janua*, 382–388. <https://doi.org/10.1109/IRI.2017.79>
- De Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2),

- 604–614. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>
- Dehkordi, M. R., Seifzadeh, H., Beydoun, G., & Nadimi-Shahraki, M. H. (2020). Success prediction of android applications in a novel repository using neural networks. *Complex & Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00154-3>
- Franke, D., & Weise, C. (2011). Providing a software quality framework for testing of mobile applications. *Proceedings - 4th IEEE International Conference on Software Testing, Verification, and Validation, ICST 2011*, 431–434. <https://doi.org/10.1109/ICST.2011.18>
- García-Peñalvo, F., Conde-González, M., & Matellán, V. (2014). Mobile Apps for Older Users. The Development of a Mobile Apps Repository for Older People. *International Conference on Learning and Collaboration Technologies*, 117–126. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07485-6>
- Gentner, D., Stelzer, B., Ramosaj, B., & Brecht, L. (2018). Strategic Foresight of Future B2B Customer Opportunities through Machine Learning. *Technology Innovation Management Review*, 8(10), 5–17. <https://doi.org/10.22215/timreview/1189>
- Gupta, L. (2020). *Google Play Store Apps Dataset*. Web Scraped Data of 10k Play Store Apps for Analysing the Android Market (Version 6). <https://www.kaggle.com/lava18/google-play-store-apps>
- Holzer, A., & Ondrus, J. (2011). Mobile application market: A developer’s perspective. *Telematics and Informatics*, 28(1), 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2010.05.006>
- Huang, C. J., Liu, M. C., Chu, S. S., & Cheng, C. L. (2005). Application of machine learning techniques to Web-based intelligent learning diagnosis system. *Proceedings - HIS'04: 4th International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, 242–247. <https://doi.org/10.1109/ichis.2004.25>
- Huber, S., Wiemer, H., Schneider, D., & Ihlenfeldt, S. (2019). DMME: Data mining methodology for engineering applications - A holistic extension to the CRISP-DM model. *Procedia CIRP*, 79, 403–408. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.106>
- Kılınc, M., Tarhan, Ç., & Aydın, C. (2019). 6. *International Management Information Systems Conference “Connectedness and Cybersecurity” 09-12. October*. https://2019.imisc.net/img/proceedings_bildiriler.pdf
- Lam, M. (2004). Neural network techniques for financial performance prediction: Integrating fundamental and technical analysis. *Decision Support Systems*, 37(4), 567–581. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(03\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(03)00088-5)
- Lamhaddab, K., Lachgar, M., & Elbaamrani, K. (2019). Porting mobile apps from iOS to android: A practical experience. *Mobile Information Systems*, 2019(iii). <https://doi.org/10.1155/2019/4324871>
- Martín, I., Hernández, J. A., & de los Santos, S. (2019). Machine-Learning based analysis and classification of Android malware signatures. *Future Generation Computer Systems*, 97, 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.03.006>
- Munoz, A., Martin, I., Guzman, A., & Hernandez, J. A. (2015). Android malware detection from Google Play meta-data: Selection of important features. *2015 IEEE Conference on Communications and Network Security, CNS 2015*, 701–702. <https://doi.org/10.1109/CNS.2015.7346893>
- Olson, D. L., Delen, D., & Meng, Y. (2012). Comparative analysis of data mining methods for bankruptcy prediction. *Decision Support Systems*, 52(2), 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.10.007>
- Onan, A. (2015). Şirket İflaslarının Tahminlenmesinde Karar Ağacı Algoritmalarının Karşılaştırmalı Başarım Analizi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 8(1), 9–19. <https://doi.org/10.17671/btd.36087>
- Statcounter. (2020a). Desktop vs Mobile vs Tablet Market Share Worldwide | StatCounter Global Stats. <https://gs.statcounter.com/platform-market-share/desktop-mobile-tablet/worldwide>
- Statcounter. (2020b). Mobile Operating System Market Share Worldwide | StatCounter Global Stats. <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide>
- Statista. (2020). Biggest App Stores in the World 2020. <https://www.statista.com/statistics/276623/number-of-apps-available-in-leading-app-stores/>
- Stoyanov, S. R., Hides, L., Kavanagh, D. J., Zelenko, O., Tjondronegoro, D., & Mani, M. (2015). Mobile App Rating Scale: A New Tool for Assessing the Quality of Health Mobile Apps. *JMIR MHealth and UHealth*, 3(1), e27. <https://doi.org/10.2196/mhealth.3422>
- Üstün, D. (2019). Identification of Breast Cancer Using the Extreme Learning Machine Assisted by Firefly Algorithm. *European Journal of Science and Technology*, 17, 637–644. <https://doi.org/10.31590/ejosat.623816>
- Yang, T. L., Lin, C. H., Chen, W. L., Lin, H. Y., Su, C. S., & Liang, C. K. (2020). Hash Transformation and Machine Learning-Based Decision-Making Classifier Improved the Accuracy Rate of Automated Parkinson’s Disease Screening. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(1), 72–82. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2950143>
- Zhu, H., Cao, H., Chen, E., Xiong, H., & Tian, J. (2012). Exploiting Enriched Contextual Information for Mobile App Classification. *CIKM '12: Proceedings of the 21st ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, 1617–1621. <https://doi.org/10.1145/2396761.2398484>
- Zimbra, D., Sarangee, K. R., & Jindal, R. P. (2017). Movie aspects, tweet metrics, and movie revenues: The influence of iOS vs. Android. *Decision Support Systems*, 102, 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2017.08.002>



Halloysit Nano-Kil, Nano-SiO₂ ve Nano-CaO'in Tekli ve İkili Kullanımının Çimento Esaslı Harçların Özelliklerine Etkileri

Abdul Wakil Qarluq¹, Rıza Polat^{2*}, Fatma Karagöl³

¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9822-7697), wakil.qarluq2010@gmail.com

^{2*} Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8990-035X), rizapolat@atauni.edu.tr

³ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1760-1972), fatma.karagol@atauni.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 09 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 16 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.792365)

ATIF/REFERENCE: Polat, R., Qarluq, A. W. & Karagöl, F. (2020). Halloysit Nano-Kil, Nano-SiO₂ ve Nano-CaO'in Tekli ve İkili Kullanımının Çimento Esaslı Harçların Özelliklerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 815-826.

Öz

Nano boyutlu malzemeler çok büyük özgül yüzey alanlarına sahip oldukları için kimyasal aktiviteleri oldukça yüksektir. Bu yüksek reaktivite özelliği, çimento esaslı malzemelerin farklı özelliklerinin geliştirilmesinde dikkate değer bir rol oynamaktadır. Ayrıca bu malzemelerin filler etkisi ile gözenekleri doldurma mekanizmaları sayesinde yüksek mikro-yapı yoğunluğu elde edilmektedir. Bu sebeple nano parçacıkların kısmen de olsa çimento ile yer değiştirmesi mekanik ve durabilite özelliklerini geliştirmektedir. Bu amaçla, çimento yerine toplam bağlayıcı ağırlığının %1, %3 ve %5'i oranlarında halloysit nano-kil, nano-SiO₂ ve nano-CaO, tekli ve ikili kullanılarak harç karışımları üretilmiştir. Tüm karışımlarda su/bağlayıcı oranı ise 0.38 olarak seçilmiştir. Üretilen harç numunelerin, 7, 28 ve 60 günlük basınç dayanımları, 28 ve 60 günlük ultrases geçiş hızları ve Langavant yöntemi ile hidrasyon ısısı değerleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, nano malzeme kullanılması durumunda tüm karışımların hem erken yaş hem de ileri yaş basınç dayanımları artmıştır. En yüksek basınç dayanımı %3 halloysit nano-kil ve %5 nano-CaO içeren karışımlarda elde edilmiştir. Nano malzemelerin ikili kullanımının, basınç dayanımında tekli kullanım kadar etkili olmadığı tespit edilmiştir. Ultrases geçiş hızları sonuçları, dayanım sonuçları ile paralellik göstermektedir. Nano malzeme kullanılması durumunda hidrasyon ısılarında, nano-CaO içeren numunelerde CaO'in aktivitesinden dolayı artış gözlenmiştir fakat diğer tüm karışımlarda çok önemli bir değişiklik elde edilmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Halloysit nano-kil, Nano-SiO₂, Nano-CaO, Basınç dayanımı, Hidrasyon ısısı, Ultrases geçiş hızı.

The Effects of Single and Binary Usage of Halloysite Nano-Clay, Nano-SiO₂ and Nano-CaO on the Properties of Cement Based Mortars

Abstract

Since nano-sized materials have very large specific surface areas, their chemical activities are quite high. This high reactivity property plays a notable role in improving the different properties of cement-based materials. Besides, a high microstructure density is achieved thanks to the filler effect of these materials and the mechanism of filling the pores. Therefore, the replacement of nanoparticles with cement, even partially, improves its mechanical and durability properties. For this purpose, mortar mixtures were produced using 1%, 3% and 5% halloysite nano-clay, nano-SiO₂ and nano-CaO, single and dual, instead of cement. The water/binder ratio was chosen as 0.38 in all mixtures. Compressive strengths of 7, 28 and 60 days, ultrasonic pulse velocity for 28 and 60 days and heat of hydration were determined by the Langavant method of the produced mortar samples. As a result, in the case of using nanomaterials, the compressive strengths of all mixtures both in early and old age have increased. The highest compressive strength was obtained in mixtures containing 3% halloysite nano-clay and 5% nano-CaO. It has been determined that dual use of nanomaterials is not as effective

* Sorumlu Yazar: rizapolat@atauni.edu.tr; rizapolat@gmail.com

as singular use in compressive strength. Ultrasonic pulse velocity results are in line with strength results. According to the experimental results in the case of using nanomaterials, the hydration heat increased due to the activity of CaO in the samples containing nano-CaO. However, no significant change was obtained in all other mixtures.

Keywords: Halloysit nano-clay, Nano-SiO₂, Nano-CaO, Compressive strength, Hydration heat, Ultrasonic Pulse Velocity.

1. Giriş

Nano malzemeler ile ilgili ilk çalışmalar daha eskiye dayansa da, çimento esaslı malzemelerde kullanımı, 2000'li yılların başlarından bugüne gelişen teknoloji ile birlikte giderek artmıştır. Çimento esaslı malzemelerde, genellikle çapları 100 nm'den küçük olan, nano-SiO₂, nano-Cu₂O₃, nano-TiO₂, nano-Al₂O₃, nano-CaCO₃, nano-Fe₂O₃, nano Fe₃O₄, nano-ZrO₂, nano-ZnO₂, nano-CaO, nano-kil vb. farklı nano malzemeler kullanılmaktadır. Nano boyutta malzemeler, daha büyük boyutlara sahip aynı ürünlerden tamamen farklı olan üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle çimento hamuru ve harçların mekanik, fiziksel, kimyasal ve durabilite özelliklerini geliştirmektedir (Berra et al. 2012; Farzadnia et al. 2013a; Farzadnia et al. 2013b; Jo et al. 2007; Polat et al. 2017). Çimento hamuru doğal nano yapı malzeme olup, tri-kalsiyum silikat (C₃S) ve di-kalsiyum silikatin (C₂S) su ile reaksiyonu sonucu oluşan ve çimento hamurunun hemen hemen tüm özelliklerini etkileyen C-S-H jeli nano boyutlu bir yapıya sahiptir. Buna göre, çimento hamurunun moleküler yapısı nano teknoloji ile modifiye edilerek, betonun özellikleri iyileştirilebilir ve uygun maliyetli ve yüksek performanslı çimento esaslı malzemelerin iyileştirilmesine katkıda bulunulabilir (Morsy et al. 2011).

Kullanılan bu nano boyutta malzemelerle erken ve ileri yaş mekanik özellikler, durabilite ve performansı daha yüksek, boşluk oranı ve geçirimsizliği daha düşük yeni ürünler elde edilmektedir (Feng et al. 2020). Bununla birlikte, bazı durumlarda işlenebilirlik gelişse bile genellikle nano malzemeler çimento esaslı malzemelerin işlenebilirliğini negatif yönde etkilemektedir (Rechtes 2018). Özellikle nano silika gibi amorf yapı nano materyaller sadece fiziksel olarak hidrat ürününü etkilemekle kalmamakta, aynı zamanda hem C₂S hem de C₃S ve su arasındaki reaksiyonla oluşturulan kalsiyum hidroksit (CH) ile reaksiyona girerek puzolan olarak işlev görmek ve ek C-S-H üreterek matrisin yoğun dokusunu arttırmaktadır (Farzadnia et al. 2013c; Hou et al. 2012; Shaikh et al. 2018).

Nano-SiO₂ ile yapılan araştırmalar incelendiğinde, parçacık boyutu 1–500 nm arasında değişen amorf yapı nano-SiO₂'in, yüksek özgül yüzey alanı ve yüksek puzolanik aktivitesinden dolayı çimento esaslı bağlayıcı malzemelerin hidrasyon hızını ve C-S-H jel oluşumunu artırdığı belirtilmiştir. Nano-SiO₂ çimento matrisi içerisinde oluşan boşlukları filler etkisi ile doldurarak ve çimento matrisindeki Ca(OH)₂ ile reaksiyona girerek ilave oluşturduğu C-S-H yapısı sayesinde agresif etkilere karşı mikro yapıyı geliştirir (Allalou et al. 2019; Heikal et al. 2018; Oltulu and Sahin 2011; Stefanidou and Papayianni 2012; Ye et al. 2007). Ayrıca, Nano-SiO₂ taneciklerinin hem yukarıda ifade edilen dolgu etkisi hem de puzolanik aktivitesi sayesinde oluşturulan ek CSH yapısı ile çekirdeklenme bölgesinin oluşumuna katkı sağlanmakta ve çimento harcının ara yüzeyi gelişmektedir (Hosseini et al. 2010). Bunun sonucu olarak, çimento matrisinin boşluk yapısını da geliştirmektedir. Böylece çimento esaslı beton ve harçların erken yaş dayanımını artırdığı (Hou et al. 2012; Li 2004; Rong et al. 2015; Singh et al. 2013; Yu

et al. 2020), işlenebilirlik, durabilite, geçirimsizlik ve yüksek sıcaklıklar altında termal stabilitesini geliştirdiği, priz süresini kısalttığı, erken yaş donma-çözülme hasarını azalttığı gibi birçok özelliğini iyileştirdiği ifade edilmiştir (Heikal et al. 2014; Kara 2020; Mohseni et al. 2015; Polat et al. 2015; Rong et al. 2015; Zahedi et al. 2015). Ayrıca, yüksek aktiviteye sahip bir malzeme olarak nano-SiO₂, gözenekli çözümlerdeki alkali türleriyle reaksiyona girerek ve gözenek yapısını iyileştirmek için jeller oluşturarak, son yıllarda araştırmacıların yoğunlaştığı konulardan olan ve çimentoya alternatif bağlayıcı olan geopolimerlerin mekanik ve durabilite özelliklerini iyileştirmekte (Sumesh et al. 2017) ve yine geopolimer harçların kireçlenmesini engellemektedir (Sun et al. 2020).

Yüksek kimyasal aktivite ve erken yaş yüksek hidrasyon ısısına sahip olan nano-CaO'in hem bu özellikleri hem de puzolanik reaksiyonu sayesinde erken yaş basınç dayanımını artırdığı bilinmektedir (Sun et al. 2020). Ayrıca, Polat et al. tarafından suyla reaksiyonu sonucunda (Ca(OH)₂ oluşumu) %93 civarında hacim genişlemesinden dolayı otojen rötreyi azalttığı ifade edilmiştir (Polat et al. 2019).

Hakamy and Shaikh (2015), nano kil partiküllerinin nano-kompozit çimento hamurlarının fiziko-mekanik ve termal özelliklerini geliştirdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca nano-kil esasen yüksek oranda reaktif SiO₂ ve Al₂O₃ içermektedir ve ek CSH jel üretimi esnasında portlandit tüketimi üzerinde potansiyel bir etkiye sahiptir (Hakamy et al. 2015). Yapılan birkaç çalışmada nano kil ve nano SiO₂'in tek olarak çimento hamurlarının hidrasyon performansları üzerindeki etkileri araştırılmış ve nano SiO₂'in nano kil'den daha etkin olduğu ifade edilmiştir (Gawwad et al. 2017; Heikal et al. 2018).

Son yıllarda nano killerin hem düşük maliyet ve kolay temin edilmesinden hem de çimento ve betonun mühendislik özelliklerini ve performanslarını geliştirmesinden dolayı kullanımı artmıştır. Morfoloji ve kimyasal bileşimlerine göre nano killer kaolinit, bentonit, halloysit, montmorillonit, organik modifiye edilmiş organo killer ve hectorite gibi çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Halloysit nano kil, tüp benzeri bir morfolojiye sahiptir ve Al:Si oranı 1 olan iki katmanlı alüminosilikat yapısından oluşmaktadır (Allalou et al. 2019). Farzadnia et al. tarafından yapılan çalışmada, kimyasal olarak, halloysit nanotüplerin dış yüzeyi SiO₂'ye benzer özelliklere sahipken, iç silindir çekirdeği Al₂O₃ ile ilişkilidir ve bu yapının çimento matrisini geliştirebileceği belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada % 1, 2, 3 halloysit nano kil içeren harçların mekanik özellikleri, akışkanlığı, ısıl davranışı ve dayanıklılığı incelenmiştir. % 3 ve %2 nanokil içeren numunelerin basınç dayanımı ve gaz geçirgenliğinin sırasıyla yaklaşık %24 ve %56 kadar iyileştiği belirtilmiştir (Farzadnia et al. 2013c). Ayrıca, Allalou et al. tarafından yapılan çalışmada, kalsine halloysit nano kilin, düşük klinker çimento harcının mekanik özellikleri ve mikroyapısı üzerindeki etkilerini iyileştirdiği belirtilmiştir (Allalou et al. 2019).

Nano boyutlu malzemelerin birlikte kullanıldığı çalışmalarda ise, nano-SiO₂ ve nano-TiO₂'un birlikte kullanılması durumunda

çimento harçlarının reolojik (Senff et al. 2012), dayanım, hızlı klor geçirirliiği, elektrik iletkenliiği ve su emme özelliklerinin iyileştiği (Mohseni et al. 2015) ifade edilmiştir. Nano-SiO₂ ve nano-CaCO₃'ün optimum oranlarda birlikte kullanımının yüksek performanslı betonların içyapılarını, dayanımlarını (Li et al. 2015) ve boşluk yapısını (Liu et al. 2020) iyileştirdiği ifade edilmiştir. Nano tozların etkinlikleri ve kimyasal yapılarındaki farklılıklardan ve karşılıklı etkileşimlerinden dolayı birlikte kullanımları farklı özellik sağlayabilmektedir. Nano tozların birlikte değerlendirildiği çalışmalar da mevcut olmasına rağmen nano-CaO, halloysit nano kil ve Nano-SiO₂'in çimento esaslı harçların özelliklerine etkileri ile ilgili birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada ise; nano boyutta kullanılan nano-CaO, Nano-SiO₂ ve halloysit nano kilin çimento esaslı harçların özelliklerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı oranlarda halloysit nanokil, Nano-SiO₂ ve nano-CaO, tekil ve ikili (nano-CaO+halloysit nano kil ve nano-CaO+Nano-SiO₂) kullanılarak üretilen harçların hidratasyon ısı, 7, 28 ve 60 günlük basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızı (UPV) değerleri deneysel olarak araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Erzurum Aşkale Çimento Sanayi Tic. A.Ş. tarafından üretilmiş olan TS EN 197-1'e (2012) uygun Normal Portland Çimentosu (CEM I 42.5-R) kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de ve TS EN 196-1 (2016) standardına uygun olarak kullanılan CEN standart kumun elek analizi ise Tablo 2'de verilmiştir. Grace Yapı Kimyasalları San. ve Tic. A.Ş firmasına ait modifiye polimer esaslı sentetik karboksilat içeren ADVA Flow 375N adlı yüksek oranda su azaltıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı (SAK), katkı performansına, karışımların kıvamına ve ayrışmaya karşı direncine bağlı olarak %0.4-%1 aralığındaki oranlarında kullanılmıştır. Çalışmada, yapılan ön deneylerden elde edilen veriler ve literatür bilgisi dikkate alınarak çimento, kum oranı 1:2.5 ve su/çimento oranı 0.38 olarak belirlenmiştir. Çalışma da kullanılan nano-SiO₂ (NS) nano-CaO (NC) ve halloysit nano-kil (HNK)'nın özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	Miktar	Kimyasal Bileşenleri	Oran (%)
32 mikron elekte kalıntı (%)	11.72	SiO ₂	18.35
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3708	Al ₂ SiO ₃	4.02
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.10	Fe ₂ O ₃	2.65
Priz Başlangıcı (dk)	155	MgO	3.47
Priz Sonu (dk)	205	CaO	64.07
Su İhtiyacı (%)	30.4	SO ₃	2.94
Hacim Genleşmesi (mm)	9.7	NaO ₂	0.21
2 Günlük Basınç Day. (N/mm ²)	24.9	K ₂ O	0.79
28 Günlük Basınç Day. (N/mm ²)	54.5	Serbest CaO	2.31
		Çözünmeyen kalıntı	0.88
		Kızdırma kaybı	2.87

Tablo 2. CEN standart kum elek analizi

Kare göz açıklığı (mm)	Elekte kalan kümülatif toplam (%)	Analiz sonuçları
2.00	0,00	0.00
1.60	7+5	6.78
1.00	33+5	32.60
0.50	67+5	68.04
0.16	87+5	87.52
0.08	99+1	99.50

Tablo 3. HNK, NC ve NS'nin özellikleri

Kullanılan nano-malzemesler	HNK	NC	NS
Formül	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ . 2H ₂ O	CaO	SiO ₂
Molekül ağırlığı (gr/mol)	258,16	56.08	60.08
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.8-2.6	3.300	2.4
Yüzey alanı (m ² /gr)	64	≥ 90	130
Erime noktası noktası (°C)	-	2850	>1600
Kaynama noktası noktası (°C)	-	2850	2230
Ortalama partikül çapı (nm)	30-70x1-3	100	5-15

2.2. Yöntem

Harç karışımları hazırlanırken sadece çimento içeren kontrol numuneleri K ile gösterilmiştir. Tek çeşit nano malzeme içeren nano-SiO₂, nano-CaO ve halloysit nano-kil karışımlar sırasıyla, NS, NC ve HNK, iki farklı nano malzeme içeren karışımlar sırasıyla; nano-CaO+ halloysit nano-kil, NC+HNK ile ve nano-CaO+nano-SiO₂ ise NC+NS ile gösterilmiştir. Nano malzemeler bağlayıcı ağırlığının %1, %3 ve %5'i kadar olmak üzere 3 farklı oranda ve ikili karışımlarda (NC+HNK ve NC+NS) ise nano malzemelerin miktarları %0.5+0.5, %1.5+1.5 ve %2.5+2.5 olmak üzere eşit oranlarda kullanılmıştır. Karışımlar, kısaltılmış isimlerinin yanında oranları yazılarak örneğin NC%1 veya

Tablo 4. Harç karışım miktarları

Numune Kodu	Su	Çimento					Kum
			HNK	NC	NS	SAK	
K	470.1	1237.1	-	-	-	5.0	3092.8
HNK %1	470.1	1224.7	12.4	-	-	6.2	3092.8
HNK %3	470.1	1200.0	37.1	-	-	8.7	3092.8
HNK %5	470.1	1175.3	61.9	-	-	12.4	3092.8
NC %1	470.1	1224.7	-	12.4	-	6.2	3092.8
NC %3	470.1	1200.0	-	37.1	-	8.7	3092.8
NC %5	470.1	1175.3	-	61.9	-	12.4	3092.8
NC+HNK %0.5	470.1	1224.7	6.2	6.2	-	6.2	3092.8
NC+HNK %1.5	470.1	1200.0	18.6	18.6	-	8.7	3092.8
NC+HNK %2.5	470.1	1175.3	30.9	30.9	-	12.4	3092.8
NS %1	470.1	1224.7	-	-	12.4	6.2	3092.8
NS %3	470.1	1200.0	-	-	37.1	8.7	3092.8
NS %5	470.1	1175.3	-	-	61.9	12.4	3092.8
NC+NS %0.5	470.1	1224.7	-	6.2	6.2	6.2	3092.8
NC+NS %1.5	470.1	1200.0	-	18.6	18.6	8.7	3092.8
NC+NS %2.5	470.1	1175.3	-	30.9	30.9	12.4	3092.8

Karışımlar, TS EN 12390-1 (2013)'e uygun 50x50x50 mm'lik küp kalıplara iki kademele şişlenerek doldurulduktan sonra masa tipi vibratör yardımıyla sıkıştırılmıştır. Hazırlanan numuneler, nem kaybı önlenecek şekilde muhafaza edilip 24 saat süreyle laboratuvar ortamında bekletilmiştir. 24 saatlik kür süresinin sonunda kalıpları sökülen numuneler sıcaklığı 20±2°C olan standart kür havuzuna yerleştirilmiştir. Kür sürelerinin sonunda her gruptan 3'er numune üzerinde sırasıyla ASTM C597 (2016) ve ASTM C109/C109M (2020) standartlarına uygun olarak UPV ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Hidrasyon ısı deneyi, TS EN 196-9 (2011) standardına uygun olarak yapılmıştır. Hidrasyon ısı ölçümleri için yarı adyabatik yöntemde (Langavant Metot) belirtilen karışım oranları ile harç numuneleri üretilmiştir. 360 gr bağlayıcı (çimento+nano malzeme), 1080 gr CEN standart kumu ve 180 gr su ile temel harç karışımları gerçekleştirilmiştir. Nano malzemeler ise dayanım karışımlarındaki oranlarda çimento yerine kullanılmıştır. Bu standart kapsamında sabit hacimde deney numunesi hazırlanarak 48 saatlik hidrasyon ısı sonuçları değerlendirilmiştir. Hidrasyon ısı deneyi harç fazının dökülür dökülmez standartta verilen süre içinde kalorimetreye yerleştirilmesi ve hidrasyon

NC+NS %0.5 gibi yüzdeleri ile birlikte kodlanmıştır. Karışım kodları ve üretilen harç karışım miktarları Tablo 4'te verilmiştir.

Çimento esaslı harç içerisinde nano malzemelerin homojen bir şekilde dağılması için, literatüre dayandırılarak aşağıda verilen karıştırma yöntemi takip edilmiştir (Polat et al. 2017). İlk olarak karışım suyunun bir miktarı ile nano malzeme 3-5 dakika boyunca karıştırılmıştır. İkinci olarak, bu karışıma sırasıyla su+SAK ve çimento eklenerek 3 dakika boyunca (ilk 15 sn yavaş) orta hızda karıştırılmıştır. Üçüncü adımda ise kum eklenerek 3 dakika daha orta hızda ve en son 3 dakika boyunca yüksek hızda karıştırma işlemi uygulanmıştır.

reaksiyonu esnasında açığa çıkan ısının referans numunesiyle karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Hidrasyon reaksiyonları esnasında artan iç sıcaklıklar neticesinde yayılan ısı miktarları 48 saat boyunca kaydedilmiştir. Referans numune ile karşılaştırılarak deney sonuçları değerlendirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Basınç Dayanımı

Nano malzemelerin tekli kullanımı

Nano malzemelerin tekli ve ikili kombinasyonlarının çimento esaslı harçların basınç dayanımı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için harç numuneler üretilmiş ve bu numunelerin 7, 28 ve 60 günlük basınç dayanım sonuçları Şekil 3.1'de verilmiştir.

HNK (%1, %3 ve %5) ve NC (%1, %3 ve %5) içeren karışımlar kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında, erken ve ileri yaş kür süreleri için basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, %1, %3 ve %5 HNK içeren karışımların basınç dayanımları sırasıyla, 7 günlük kür için %39.3, %51.6 ve %41.1, 28 günlük kür için %7.0, %23.2 ve %26.5 ve 60 günlük

kür için ise %8.9, %32.1 ve %26.1 oranlarında artmıştır (Heikal and Ibrahim 2016). Farzadnia et al. tarafından yapılan bir çalışmada çimento esaslı harçlarda farklı oranlarda HNK kullanılması neticesinde basınç dayanımlarında %56'ya kadar artış olduğu gözlenmiştir (Farzadnia et al. 2013c). Bu çalışmada ise en yüksek basınç dayanım değeri %3 HNK içeren ve 60 günlük kür uygulanan karışıma aittir. Nano malzeme oranı %1'den %3'e yükseltildiğinde tüm kür süreleri için basınç dayanım değerleri paralel olarak artmaktadır. Dayanım artışı, nano boyutlu malzemenin çok yüksek özgül yüzey alanı ve yüksek reaktivitesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu malzemenin bir kısmı da yine harç karışımı içinde filler etki oluşturarak mevcut boşlukları doldurarak ve hidrate ürünlerin çekirdeklenme yüzeylerini artırarak daha geçirimsiz bir mikro yapı meydana getirmektedir.

Ayrıca, kil içindeki silika (SiO₂) ve kalsiyum hidroksit (CH) puzolanik reaksiyonu neticesinde mevcut CSH fazına ek olarak oluşan CSH fazı ile dayanım artışı elde edilmektedir ve bu artış (Sun et al. 2020), artan kür süresiyle uygun şartların mevcut olması durumunda devam ederek ileri yaşlarda daha yüksek sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır (Polat 2013). Ayrıca kilin yüksek alümin içeriği neticesinde ileri yaşlarda C-S-H yapısının yanında C-A-S-H yapısı oluşmakta ve böylece daha geçirimsiz bir mikroyapı meydana gelmektedir. Hong et al. tarafından nano kilin kullanılması ile hidrasyon reaksiyonun desteklendiği ve etrenjitin mikroyapısı ve şeklinin değiştiği ve böylece çimento matrisinin gözenek yapısının iyileştiği ifade edilmektedir (Hong et al. 2020).

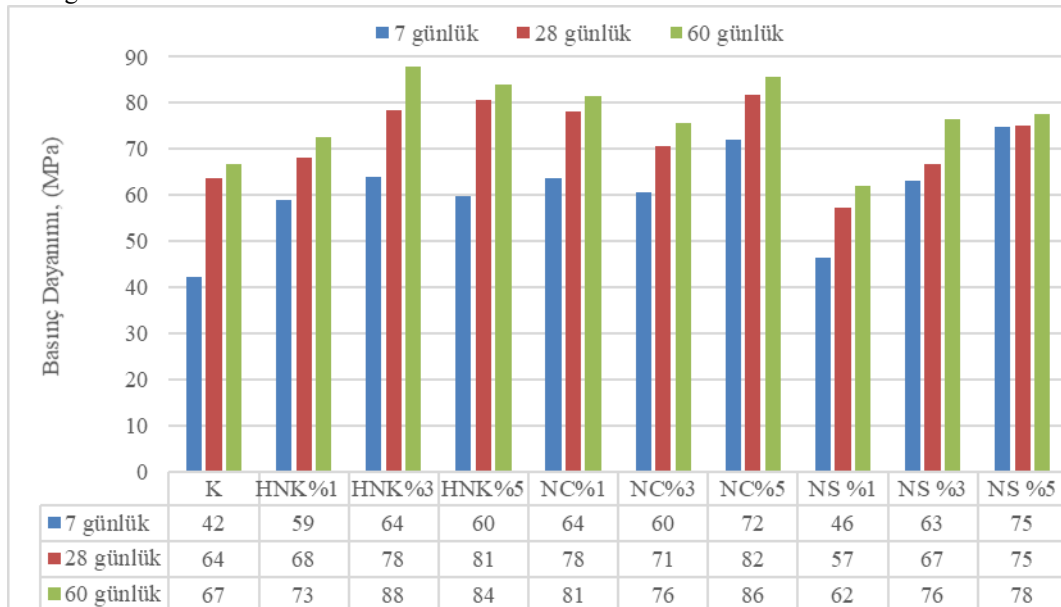
Sadece NC (%1, %3 ve %5) içeren karışımların basınç dayanımları, kontrol numunelerine göre sırasıyla, 7 günlük kür için %50.4, %43.1 ve %70.3, 28 günlük kür için, %22.5, %10.9 ve %28.3 ve 60 günlük kür süresi için %22.1, %13.6 ve %28.7 oranlarında artmıştır. NC için en yüksek basınç dayanımı %5 oranında NC içeren 60 günlük numunelerde 85.8 MPa olarak elde

edilmiştir. Polat (2013) tarafından yapılan bir çalışmada farklı oranlarda NC kullanılması durumunda katkı oranı arttıkça basınç dayanımında artış gözlenmiştir. %3 HNK içeren karışım ile aynı oranda NC içeren karışım karşılaştırıldığında HNK'nın yüksek alümin ve silis içeriğinden dolayı ileri yaş dayanımı daha yüksektir. %5 oranında katkı kullanıldığında ise NC içeren karışımların erken dayanımı çok daha yüksektir. İleri yaş dayanımları ise oldukça yakın değerlere sahiptir.

NS içeren karışımların ise 7 günlük kür süresi için basınç dayanımı kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında birincil olarak puzolanik etkisi ve reaktivitesinden dolayı, ikinci olarak filler etkisi sayesinde basınç dayanımları daha yüksektir. Ancak %1 oranında NS kullanılması durumunda 28 ve 60 günlük kür sürelerinin sonunda elde edilen basınç dayanımları kontrol numunesine göre daha düşüktür. %3 ve %5 NS içeren karışımlarda ise 7 ve 60 günlük kür süreleri için basınç dayanımlarının sırasıyla %4.6 ve %17.8, %14.5 ve %16.5 oranlarında arttığı gözlenmiştir. Ayrıca bu karışımların 28 günlük kür süresi neticesinde elde edilen basınç dayanım değerleri kontrol numunesine göre çok daha yüksektir. NS içeren karışımların yüksek silis içeriğinden dolayı ileri yaşlarda devam eden puzolanik reaksiyonlar neticesinde zamanla dayanım artışının belirginleştiği görülmektedir (Abd El Aleem et al. 2014; Madandoust et al. 2015; Rong et al. 2015; Said et al. 2012). En yüksek basınç dayanımı ise %5 oranında NS içeren karışıma ait olup 7, 28 ve 60 günlük basınç dayanımları sırasıyla 74.8, 75.0 ve 77.6 MPa'dır.

Nano malzemelerin ikili kullanımı

Nano malzemelerin ikili kombinasyon halinde kullanılması sonucunda üretilen harç numunelerinin 7, 28 ve 60 günlük basınç dayanımları Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. K karışımı ve tekli karışımlara ait 7, 28 ve 60 günlük basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırılması

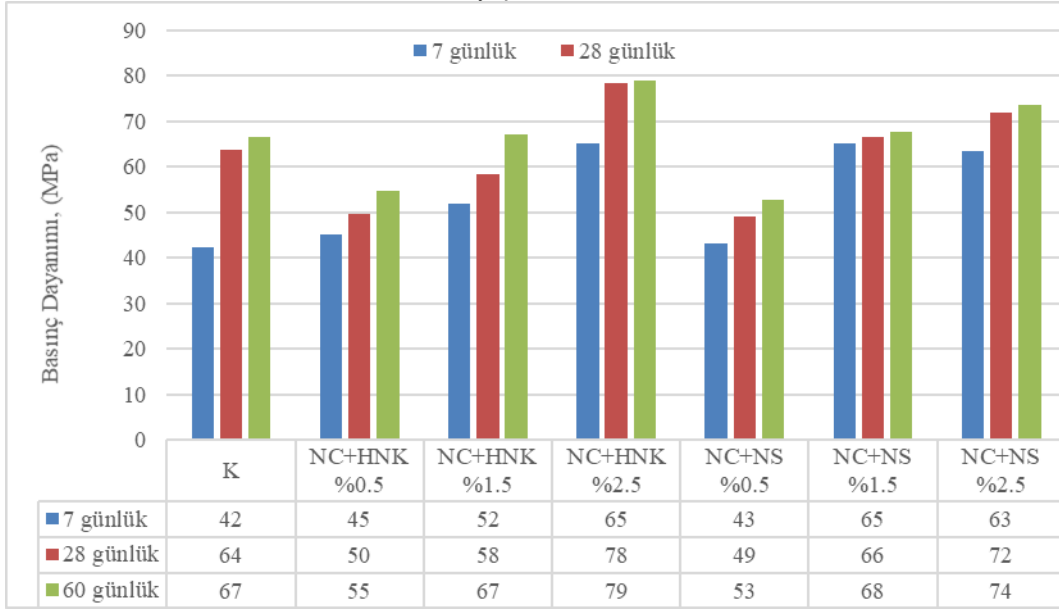
Elde edilen veriler incelendiğinde, bütün ikili kombinasyonlar için 7 günlük kür süresinin sonunda elde edilen basınç dayanım değerleri kontrol numunesine göre daha yüksektir. Özellikle katkı oranı arttıkça bu yükselişin daha fazla olduğu gözlenmektedir. Ancak kontrol numunelerine kıyasla %0.5'er oranlarda katkı kullanılması durumunda 28 ve 60 günlük

karışımların basınç dayanımlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Kür süresi ve katkı oranının artışıyla basınç dayanımlarında elde edilen değerler de artmıştır. En yüksek dayanımlar ise NC+HNK %2.5 olan karışıma ait olup, kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında tüm kür süreleri (7, 28 ve 60 gün) için sırasıyla, %53.8, %23.1 ve %18.3 oranlarında artış

olduğu gözlenmiştir. Bu artışın temel sebebinin erken yaşta NC'den kaynaklanan yüksek CaO içeriği, ileri yaşta ise HNK kaynaklı yüksek alümin ve silis içeriği olduğu düşünülmektedir. Kimyasal olarak gerçekleştiği düşünülen puzolanik reaksiyonlar neticesinde daha yoğun mikroyapı ve CSH veya CASH fazı neticesinde daha geçirimsiz bir çimento pastası elde edilmektedir.

İkili kombinasyonların kullanılması durumunda elde edilen basınç dayanımları tekli kullanımlara ait basınç dayanımları ile karşılaştırıldığında, tekli kullanımlara ait özellikle ileri yaş

dayanımların daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Düşük oranlarda (örneğin %0.5) nano malzeme kullanımının azalan çimento içeriği de dikkate alındığında dayanım düşüşüne neden olduğu görülmektedir. Eğer daha yüksek basınç dayanım değerleri elde etmek isteniyorsa en az %1.5 gibi bir oranda kullanılması gereklidir. NC ve NS birlikte kullanıldığında ortamda yeterli miktarda reaksiyona girecek ürün varsa ve kür şartları uygun ise hem erken yaş hem de ileri yaş yüksek basınç dayanımları elde etmek mümkündür.



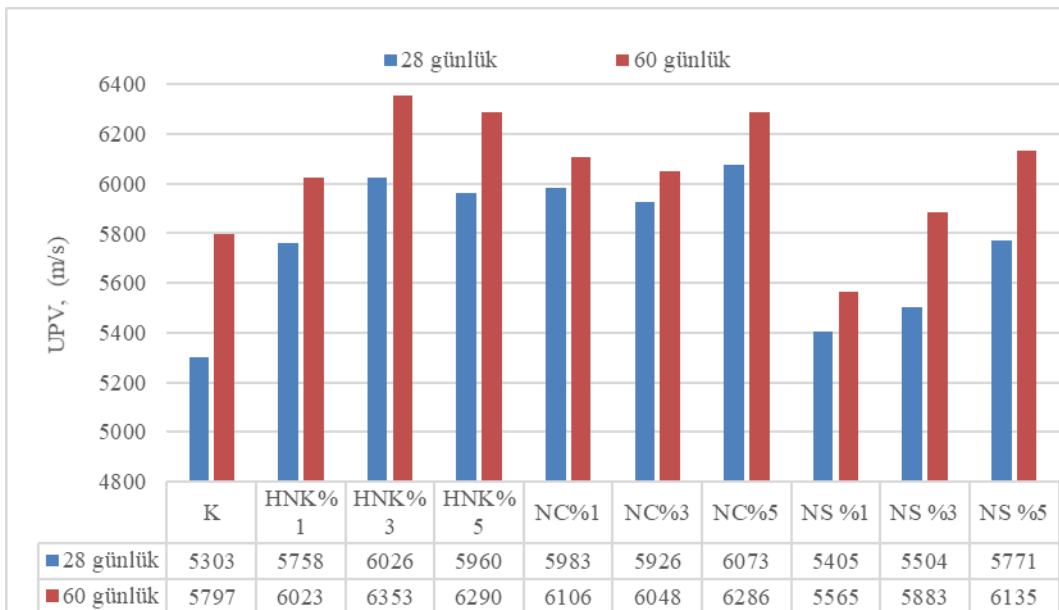
Şekil 3.2. K karışımı ve ikili karışımlara ait 7, 28 ve 60 günlük basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırılması

3.2. UPV

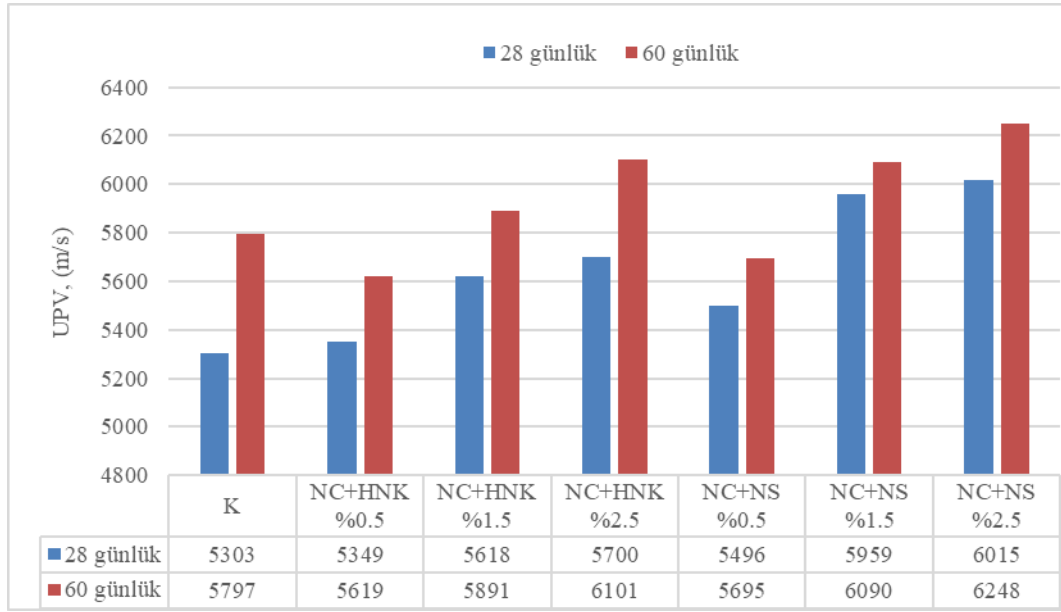
UPV, çimento tabanlı malzemelerin çatlak ve kusurlarının dağılımını tahmin etmek ve kalitesini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Numunenin bir yüzünden gönderilen ses dalgaları herhangi bir kusur veya boşluğa rastladıklarında yolunu değiştirmekte ve aldığı mesafe artmaktadır. Böylece ses

dalgasının hızı azalmaktadır. Bazen de çatlakların olduğu noktalarda düzensiz sonuçlar verebilmektedir.

Karışımlara ait UPV sonuçları Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir. Çimento esaslı malzemelerde yoğunluğu yüksek olan karışımların UPV değerleri de yüksek olmaktadır ve basınç dayanımları ile genellikle paralellik göstermektedir (Erdoğan 2010).



Şekil 3.3. K karışımı ve tekli karışımlara ait 28 ve 60 günlük UPV değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.4. K karışımı ve ikili karışımlara ait 28 ve 60 günlük UPV değerlerinin karşılaştırılması

%1, %3 ve %5 HNK içeren karışımların UPV değerlerinin kontrol numunelerine kıyasla, 28 günlük kür süresi için sırasıyla %8.6, %13.6 ve %12.4 ve 60 günlük kür süresi için ise %3.9, %9.6 ve %8.5 arttığı gözlenmiştir. Tekli karışımlarda bütün nano malzemeler için numunelerin UPV değerleri basınç dayanım değerlerine paralel olarak değişmektedir. Örneğin %1, %3 ve %5 NC içeren karışımlarda 28 günlük UPV değerlerinin sırasıyla %12.8, %11.7 ve %14.5, 60 günlük UPV değerlerinin ise sırasıyla, %5.3, %4.3 ve %8.4 arttığı gözlenmiştir. NS için karışımlarda katkı oranına bağlı olarak UPV değerleri artmaktadır. NS %1 karışımı hariç diğer bütün karışımlarda elde edilen UPV değerleri kontrol numunesine kıyasla daha yüksektir. NS %3 ve NS %5 karışımları için 28 ve 60 günlük UPV değerlerinin sırasıyla, %3.8 ve %8.8 ve 60 günlük UPV değerlerinin ise %1.5 ve %5.8 oranlarında arttığı gözlenmiştir.

İkili kombinasyonların kullanıldığı karışımlar incelendiğinde UPV ve basınç dayanım değerlerinin yine paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Bütün ikili gruplarda 28 günlük UPV değerleri kontrol numunesine kıyasla daha yüksektir. Hem 28 gün hem de 60 günlük sonuçlar incelendiğinde en yüksek değerlerin NC+NS%1.5 ve NC+NS%2.5 gruplarına ait olduğu gözlenmektedir. Örneğin, NC+NS%2.5 karışımının kontrol numunesine kıyasla 28 ve 60 günlük UPV değerleri sırasıyla %13.4 ve %7.8 oranında artmıştır. Bu durumun hem nano malzemenin özellikle silisin çok yüksek reaktivitesinden ve erken yaştaki filler etkisinden ayrıca NC'nin erken yaştaki dayanıma katkısından ve beton boşluk yapısının hızlı bir şekilde gelişmesinden ve ilerleyen süreçte devam eden puzolanik reaksiyondan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Fan et al. 2015).

3.3. Hidratasyon Isısı

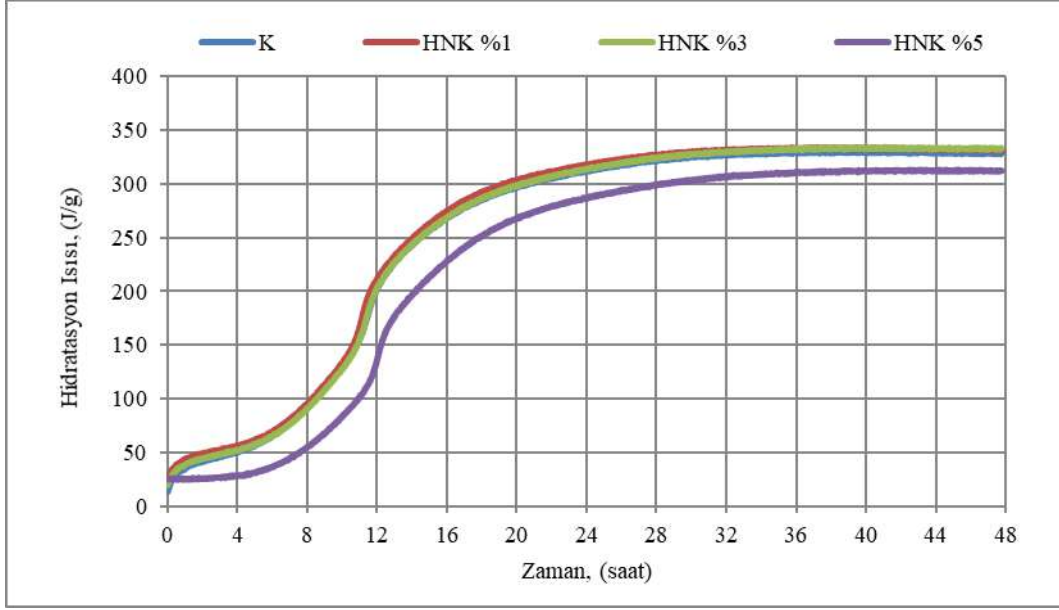
Kontrol ve nano katkı içeren karışımlara ait Langavant yöntemine göre yapılan hidratasyon ısıları deney sonuçları Şekil 3.5 - Şekil 3.9'da verilmiştir.

Şekil 3.5 incelendiğinde HNK%1 ve HNK%3 karışımlarının hidratasyon ısıları ile kontrol karışımının hidratasyon ısısının yaklaşık değerlerde olduğu gözlenirken HNK%5 karışımının hidratasyon ısısının kontrol numunesine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

HNK %1 ve HNK %3 karışımlarında hidratasyon ısısının çok azda olsa yükselmesinin sebebi, düşük miktarda HNK kullanıldığında çimento ile reaksiyonu neticesinde, kil taneleri tarafından tutulan suyun çimento taneleri tarafından emilerek reaksiyonun devamının sağlanması olarak değerlendirilmiştir. Nano malzeme oranı arttıkça çimento miktarındaki düşüş sebebiyle hidratasyon ısısında da düşüş meydana gelmiştir. Ancak ileri yaşlarda elde edilen basınç dayanım sonuçlarına bakıldığında devam etmesi muhtemel olan puzolanik reaksiyonlar neticesinde zamanla hidratasyon ısılarının da kontrol numunesine yaklaşacağı düşünülmektedir. Şekil 3.5 incelendiğinde ilk 24 saatten sonraki zaman diliminde aradaki farkın kapandığı görülmektedir (Farzadnia et al. 2013c; Polat 2013; Sumesh et al. 2017; Sun et al. 2020). Özellikle, %5 HNK kullanımı durumunda, çimento miktarının azalması da ısının düşme sebeplerindedir.

Şekil 3.6 incelendiğinde NC içeren karışımların hidratasyon ısılarının kontrol numunesine kıyasla, ilk 24 saatte belirgin bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca nano-malzeme oranı arttıkça aradaki farkın daha da açıldığı görülmektedir. Bu durumun temel nedeninin NC'nin yüksek CaO içeriği olduğu düşünülmektedir. Çünkü hem nano malzemenin yüksek spesifik yüzey alanı hem de yüksek kireç içeriği (CaO'nin suyla reaksiyonu oldukça hızlı) hidratasyon reaksiyon hızının ve ısısının artmasına neden olmuştur (Polat 2013). 48 saat sonunda ise yüksek oranda NC (%3 ve %5) içeren karışımların hidratasyon ısıları kontrol numunesine göre daha yüksektir. Örneğin 48 saat sonunda NC%5 karışımının hidratasyon ısıları kontrol numunesine göre %1.8 daha yüksektir. Ancak %1 NC içeren karışımın sonuçları kontrol numunesinden daha düşüktür. Çok az da olsa aradaki fark daha düşük çimento içeriğinden kaynaklanmış olabilir.

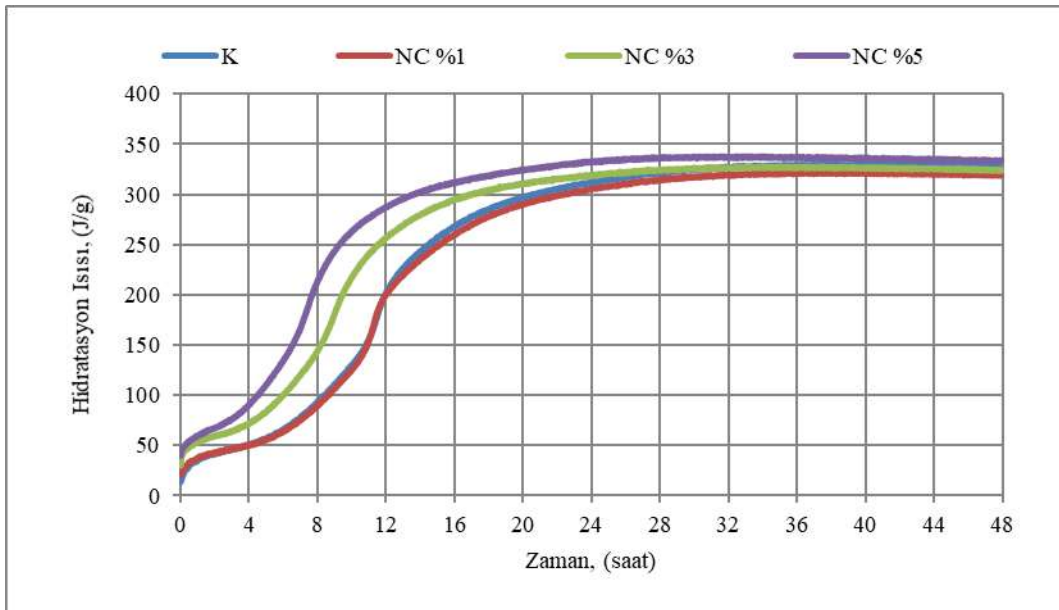
Nano-SiO₂ içeren karışımların hidratasyon ısıları incelendiğinde kontrol numunesine kıyasla daha farklı sonuçların elde edildiği görülmektedir (Şekil 3.7). Öyle ki katkı oranları değiştiğinde sonuçlar farklılaşmaktadır. Örneğin NS%1 karışımının hidratasyon ısısının 48 saat sonunda azaldığı, NS%5 karışımının ise kontrol numunesi ile paralellik gösterdiği gözlenmektedir.



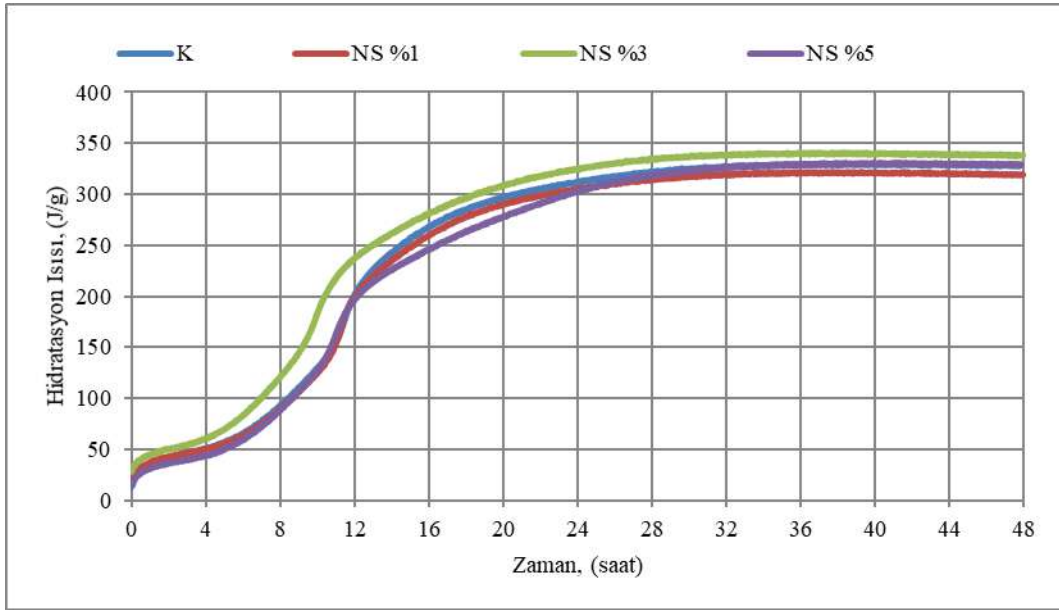
Şekil 3.5 HNK ve kontrol karışımlarına ait 48 saatlik hidrasyon ısı dağılımlarının karşılaştırılması

NS%3 karışımının hidrasyon ısısında özellikle ilk 4 saatten sonra 15. saate kadar ciddi bir artış gerçekleştiği, zaman ilerledikçe bu artışın devam ettiği görülmektedir (Said et al. 2012). İlk 15 saatlik artışın sebebinin nano-SiO₂'in çok küçük tane boyutu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca silis, yüksek yüzey alanı nedeniyle alitin (C₃S) hidrasyonunu hızlandırır (Kurdowski and Nocunwczelik 1983). Alite ait başlangıçtaki ısı değişimi aktif silisin mevcudiyetinde yoğunlaşmaktadır (ACI, 1996). Dolayısıyla ilk 4 saatte meydana gelen ısı artışı alitin reaksiyonuna dayandırılabilir. Erken yaştaki dayanım sonuçları ile karşılaştırıldığında paralel sonuçların elde edildiği gözlenmektedir. 15. saatten sonra reaksiyonların yavaşlamasıyla beraber artış hızı biraz azalarak paralel bir eğri elde edilmiştir.

Ancak ileri yaşlarda elde edilen yüksek basınç dayanımları, tahmini olarak ortamdaki alitin %80'inin reaksiyonu neticesinde başlayan puzolanik reaksiyonların devamı neticesinde hidrasyon reaksiyonunun devam ettiğini ancak hızının azaldığını ifade etmektedir. Buna binaen 48 saatlik sonuçlar incelendiğinde en yüksek sonucun %3 nano-malzeme içeren karışıma ait olduğu ve %5 katkı içeren karışımın daha düşük bir hidrasyon ısısına sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni ise yüksek oranda katkı kullanılması durumunda azalan çimento miktarı olarak düşünülmektedir.



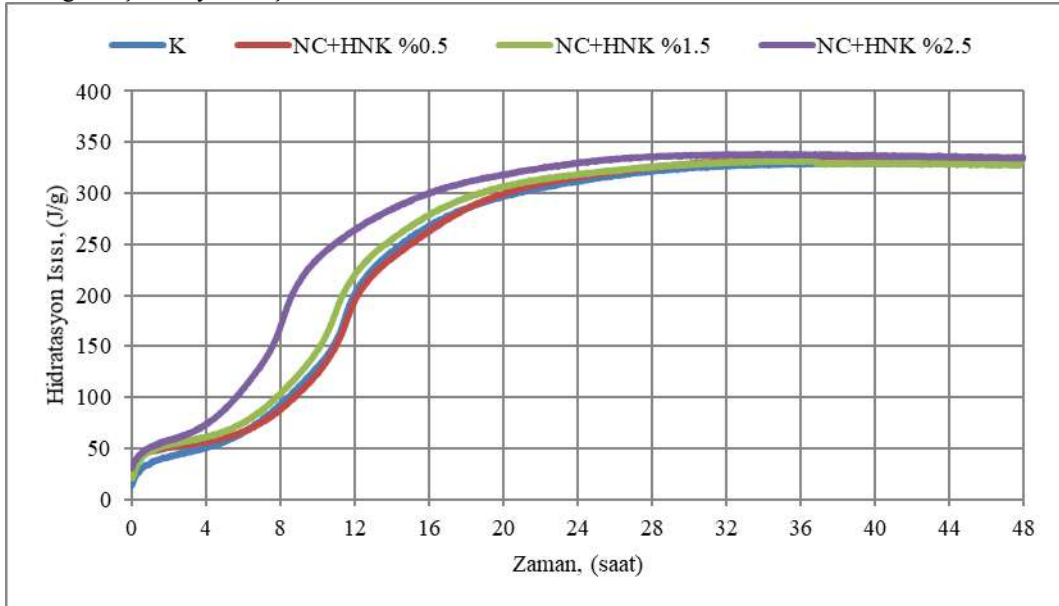
Şekil 3.6. NC ve kontrol karışımlarına ait 48 saatlik hidrasyon ısı dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 3.7. NS ve kontrol karışımlarına ait 48 saatlik hidrasyon ısı dağılımlarının karşılaştırılması

NC+HNK%0.5, NC+HNK%1.5 ve NC+HNK%2.5 karışımlarına ait olan Şekil 3.8 incelendiğinde hidrasyon ısılarının kontrol numunesine göre ilk 20 saatte nano malzeme oranının artışına bağlı olarak belirgin bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle %2.5 katkı içeren karışımın hidrasyon ısı hem diğer gruplardan hem de kontrol numunesinden oldukça yüksektir. Burada yüksek NC içeriği ve HNK'daki yüksek alümin içeriği reaksiyonların ilk başta silis içeren katkılara oranla daha hızlı seyretmesini sağlamıştır. Ayrıca Şekil 3.5 ve 3.6'da

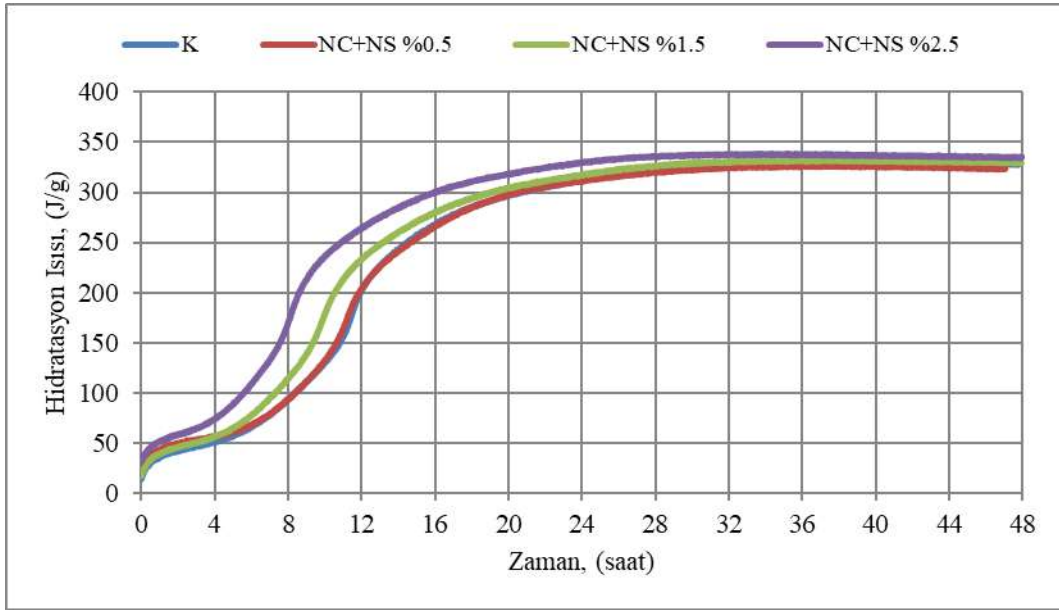
görüldüğü gibi, HNK ve NC tek başlarına kullanıldıklarında en düşük sonuç HNK%5 karışımına ait iken en yüksek sonuç ise NC%5 karışımına aittir. Fakat ikili kombinasyon şeklinde kullanıldığında ciddi artış olduğu gözlenmektedir. Aynı sonuçlar basınç dayanım değerleri ile de örtüşmektedir. 48. saatte ise sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmektedir. En yüksek sonuç yine %1.8'lik artışla %2.5 katkı içeren karışıma aittir.



Şekil 3.8. NC+HNK ve kontrol karışımlarına ait 48 saatlik hidrasyon ısı dağılımlarının karşılaştırılması

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi NC+NS%0.5, NC+NS%1.5 ve NC+NS%2.5 karışımlarının hidrasyon ısılarının kontrol numunesine kıyasla, ilk 24 saatlik sürede önemli bir artış gösterdiği, karışımlardaki katkı oranı arttıkça bu artışın belirginleştiği tespit edilmiştir. Özellikle ilk 20 saatte artış çok daha belirgin seyretmektedir. Ayrıca hem silisin alitlerin reaksiyonunu hızlandırması hem de yüksek nano-CaO içeriğinden dolayı NC+NS%2.5 karışımının ilk 4 saatte en yüksek hidrasyon ısısına da sahip olduğu görülmektedir.

Bu süreçte mevcut nano-CaO içeriğinin artması hem puzolanik reaksiyon sürecini hızlandırmış hem de nano-malzemelerin yüksek yüzey alanı reaksiyon hızını artırmıştır. 48 saat sonunda ise NC+NS%0.5 karışımının katkı oranının da düşük olmasından dolayı hidrasyon ısısında kontrol numunesine göre bir düşüş gözlenirken diğer karışımların %1.5 ve %1.8 oranında ısı artışı sağladığı tespit edilmiştir. 48 saatlik en yüksek sonuç ise %1.8 ile NC+NS%2.5 karışımına aittir.



Şekil 3.9. NC+NS ve kontrol karışımlarına ait 48 saatlik hidratasyon ısı dağılımlarının karşılaştırılması

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında; NC, NS ve HNC'in tekli ve ikili kullanımlarının çimento esaslı harçların hidratasyon ısı, basınç dayanımları ve UPV değerlerine etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak;

- Nano malzeme içeren karışımların basınç dayanımı, UPV ve hidratasyon ısı değerleri incelendiğinde kullanılan katkı içeriği, katkı yüzdesi ve çeşidine bağlı olarak sonuçların değiştiği gözlenmektedir. Ancak genel olarak kullanılan nano-malzeme harç karışımların özelliklerini geliştirmektedir. Literatürde mevcut katkıların bazıları ile yapılmış çalışmalar olmakla birlikte özellikle HNK ve diğer katkıların kombinasyon halinde kullanımları bulunmamaktadır. İkili kombinasyon halinde kullanılan karışımların sonuçlarının özellikle yüksek dozajda çok daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.
- Basınç dayanım sonuçları incelendiğinde sadece HNK, NC veya NS içeren karışımların, katkı oranı ve kür süresine bağlı olarak erken ve ileri yaşlarda (7, 28, 60 gün), kontrol numunesine kıyasla (NS%1 karışımı hariç), basınç dayanımları genel olarak artmıştır. HNK%3 ve NC%5 karışımları en yüksek basınç dayanımına sahip olan iki gruptur. Aynı şekilde UPV sonuçları da basınç dayanım sonuçları ile paralellik göstermektedir.
- İkili kombinasyonlarda ise toplam bağlayıcının %0,5'i kadar nano malzeme eklenmesi halinde kontrol numunesine göre bütün kür süreleri için düşük dayanımlar elde edilmiştir. Ancak katkı miktarının artışıyla basınç dayanımları artmıştır. %1 ve %2.5 katkı oranlarının her ikisi içinde NC+HNK karışımlarının basınç dayanımları, NC+NS karışımlarının dayanımlarından daha yüksektir.
- Hidratasyon ısı deney sonuçları incelendiğinde, özellikle NC içeren karışımların ilk 15 saatteki hidratasyon ısılarının diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. HNK'nın yüksek oranda (%5) tek başına kullanımı, kontrol numunesi ve diğer kullanım yüzdelere (%1 ve %3) göre daha düşük sonuçlar vermektedir. Tek

başına kullanılması durumunda NS için optimum oran ise %3 olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde basınç dayanımı ve UPV sonuçları hidratasyon ısıları ile paralellik göstermektedir.

- NC+HNK ve NC+NS karışımları için ilk 24 saatte kullanılan nano malzemelerin özellikle nano-CaO'nin yüzdesine bağlı olarak katkı oranı arttıkça hidratasyon ısıları da belirgin bir şekilde artmıştır. 48 saatlik süre boyunca da hidratasyon ısı artışının devam ettiği gözlenmiştir.

Kaynakça

- Abd El Aleem, S., Heikal, M., & Morsi, W. M. (2014). Hydration characteristic, thermal expansion and microstructure of cement containing nano-silica. *Construction and Building Materials*, 59, 151-160. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.02.039
- Allalou, S., Kheribet, R., & Benmounah, A. (2019). Effects of calcined halloysite nano-clay on the mechanical properties and microstructure of low-clinker cement mortar. *Case Studies in Construction Materials*, 10, e00213.
- ASTM C109 / C109M-20b, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org. (2020). In.
- ASTM C597-16, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org. (2016). In.
- Berra, M., Carassiti, F., Mangialardi, T., Paolini, A. E., & Sebastiani, M. (2012). Effects of nanosilica addition on workability and compressive strength of Portland cement pastes. *Construction and Building Materials*, 35, 666-675. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.04.132
- Erdoğan, Y. T. (2010). *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayını, Ankara.
- Fan, Y. F., Zhang, S. Y., Wang, Q., & Shah, S. P. (2015). Effects of nano-kaolinite clay on the freeze-thaw resistance of

- concrete. *Cement & Concrete Composites*, 62, 1-12. doi:10.1016/j.cemconcomp.2015.05.001
- Farzadnia, N., Ali, A. A. A., & Demirboga, R. (2013a). Characterization of high strength mortars with nano alumina at elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 54, 43-54. doi:10.1016/j.cemconres.2013.08.003
- Farzadnia, N., Ali, A. A. A., Demirboga, R., & Anwar, M. P. (2013b). Characterization of high strength mortars with nano Titania at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 43, 469-479. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.02.044
- Farzadnia, N., Ali, A. A. A., Demirboga, R., & Anwar, M. P. (2013c). Effect of halloysite nanoclay on mechanical properties, thermal behavior and microstructure of cement mortars. *Cement and Concrete Research*, 48, 97-104. doi:10.1016/j.cemconres.2013.03.005
- Feng, P., Chang, H. L., Liu, X., Ye, S. X., Shu, X., & Ran, Q. P. (2020). The significance of dispersion of nano-SiO₂ on early age hydration of cement pastes. *Materials & Design*, 186. doi:10.1016/j.matdes.2019.108320
- Gawwad, H. A. A., Abd El-Aleem, S., & Faried, A. S. (2017). Influence of nano-silica and -metakaolin on the hydration characteristics and microstructure of air-cooled slag-blended cement mortar. *Geosystem Engineering*, 20(5), 276-285. doi:10.1080/12269328.2017.1323678
- ACI Committee 234 (1996). Guide for the use of silica fume in concrete. *Aci Materials Journal*, 93(2), 193-193. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:A1996UG60400012
- Hakamy, A., Shaikh, F. U. A., & Low, I. M. (2015). Characteristics of nanoclay and calcined nanoclay-cement nanocomposites. *Composites Part B-Engineering*, 78, 174-184. doi:10.1016/j.compositesb.2015.03.074
- Heikal, M., Abdel-Gawwad, H. A., & Ababneh, F. A. (2018). Positive impact performance of hybrid effect of nano-clay and silica nano-particles on composite cements. *Construction and Building Materials*, 190, 508-516. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.09.163
- Heikal, M., Ali, A. I., Ismail, M. N., & Ibrahim, S. A. N. S. (2014). Behavior of composite cement pastes containing silica nano-particles at elevated temperature. *Construction and Building Materials*, 70, 339-350. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.07.078
- Heikal, M., & Ibrahim, N. S. (2016). Hydration, microstructure and phase composition of composite cements containing nano-clay. *Construction and Building Materials*, 112, 19-27. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.02.177
- Hong, Z. J., Zuo, J. P., Zhang, Z. S., Liu, C., Liu, L., & Liu, H. Y. (2020). Effects of nano-clay on the mechanical and microstructural properties of cement-based grouting material in sodium chloride solution. *Construction and Building Materials*, 245. doi:UNSP 118420 10.1016/j.conbuildmat.2020.118420
- Hosseini, P., Booshehrian, A., & Farschi, S. (2010). Influence of Nano-SiO₂ Addition on Microstructure and Mechanical Properties of Cement Mortars for Ferrocement. *Transportation Research Record*(2141), 15-20. doi:10.3141/2141-04
- Hou, P., Wang, K., Qian, J., Kawashima, S., Kong, D., & Shah, S. P. (2012). Effects of colloidal nano SiO₂ on fly ash hydration. *Cement & Concrete Composites*, 34(10), 1095-1103.
- Jo, B. W., Kim, C. H., & Lim, J. H. (2007). Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. *Aci Materials Journal*, 104(4), 404-407. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000248435900009
- Kara, C. (2020). Nano SiO₂ Katkılı Çimento Harçlarının Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 247-253. doi:10.31590/ejosat.722814
- Kurdowski, W., & Nocunwczelik, W. (1983). The Tricalcium Silicate Hydration in the Presence of Active Silica. *Cement and Concrete Research*, 13(3), 341-348. doi:10.1016/0008-8846(83)90033-9
- Li, G. Y. (2004). Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO₂. *Cement and Concrete Research*, 34(6), 1043-1049. doi:10.1016/j.cemconres.2003.11.013
- Li, W. G., Huang, Z. Y., Cao, F. L., Sun, Z. H., & Shah, S. P. (2015). Effects of nano-silica and nano-limestone on flowability and mechanical properties of ultra-high-performance concrete matrix. *Construction and Building Materials*, 95, 366-374. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.05.137
- Liu, R., Xiao, H. G., Geng, J. S., Du, J. J., & Liu, M. (2020). Effect of nano-CaCO₃ and nano-SiO₂ on improving the properties of carbon fibre-reinforced concrete and their pore-structure models. *Construction and Building Materials*, 244. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118297
- Madandoust, R., Mohseni, E., Mousavi, S. Y., & Namnevis, M. (2015). An experimental investigation on the durability of self-compacting mortar containing nano-SiO₂, nano-Fe₂O₃ and nano-CuO. *Construction and Building Materials*, 86, 44-50. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.03.100
- Mohseni, E., Miyandehi, B. M., Yang, J., & Yazdi, M. A. (2015). Single and combined effects of nano-SiO₂, nano-Al₂O₃ and nano-TiO₂ on the mechanical, rheological and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash. *Construction and Building Materials*, 84, 331-340. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.03.006
- Morsy, M. S., Alsayed, S. H., & Aqel, M. (2011). Hybrid effect of carbon nanotube and nano-clay on physico-mechanical properties of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 25(1), 145-149. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.06.046
- Oltulu, M., & Sahin, R. (2011). Single and combined effects of nano-SiO₂, nano-Al₂O₃ and nano-Fe₂O₃ powders on compressive strength and capillary permeability of cement mortar containing silica fume. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 528(22-23), 7012-7019. doi:10.1016/j.msea.2011.05.054
- Polat, R. (2013). Genleştirilmiş perlit agregası, nano ve mikro boyutta CaO ve MgO ve kil'in yüksek mukavemetli betonların otojen rötreleri üzerindeki etkisi. (Doktora Tezi Doktora Tezi). Ataturk Üniversitesi,
- Polat, R., Demirboga, R., & Karagol, F. (2017). The effect of nano-MgO on the setting time, autogenous shrinkage, microstructure and mechanical properties of high performance cement paste and mortar. *Construction and Building Materials*, 156, 208-218. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.08.168
- Polat, R., Demirboga, R., & Karagol, F. (2019). Mechanical and physical behavior of cement paste and mortar incorporating nano-CaO. *Structural Concrete*, 20(1), 361-370. doi:10.1002/suco.201800132
- Polat, R., Demirboga, R., & Khushefati, W. H. (2015). Effects of nano and micro size of CaO and MgO, nano-clay and expanded perlite aggregate on the autogenous shrinkage of

- mortar. *Construction and Building Materials*, 81, 268-275. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.02.032
- Reches, Y. (2018). Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives. *Construction and Building Materials*, 175, 483-495. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.04.214
- Rong, Z. D., Sun, W., Xiao, H. J., & Jiang, G. (2015). Effects of nano-SiO₂ particles on the mechanical and microstructural properties of ultra-high performance cementitious composites. *Cement & Concrete Composites*, 56, 25-31. doi:10.1016/j.cemconcomp.2014.11.001
- Said, A. M., Zeidan, M. S., Bassuoni, M. T., & Tian, Y. (2012). Properties of concrete incorporating nano-silica. *Construction and Building Materials*, 36, 838-844. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.06.044
- Senff, L., Hotza, D., Lucas, S., Ferreira, V. M., & Labrincha, J. A. (2012). Effect of nano-SiO₂ and nano-TiO₂ addition on the rheological behavior and the hardened properties of cement mortars. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 532, 354-361. doi:10.1016/j.msea.2011.10.102
- Shaikh, F., Chavda, V., Minhaj, N., & Arel, H. S. (2018). Effect of mixing methods of nano silica on properties of recycled aggregate concrete. *Structural Concrete*, 19(2), 387-399. doi:10.1002/suco.201700091
- Singh, L. P., Karade, S. R., Bhattacharyya, S. K., Yousuf, M. M., & Ahalawat, S. (2013). Beneficial role of nanosilica in cement based materials - A review. *Construction and Building Materials*, 47, 1069-1077. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.05.052
- Stefanidou, M., & Papayianni, I. (2012). Influence of nano-SiO₂ on the Portland cement pastes. *Composites Part B-Engineering*, 43(6), 2706-2710. doi:10.1016/j.compositesb.2011.12.015
- Sumesh, M., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Mo, K. H., & Alnahhal, M. F. (2017). Incorporation of nano-materials in cement composite and geopolymer based paste and mortar - A review. *Construction and Building Materials*, 148, 62-84. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.04.206
- Sun, K. K., Peng, X. Q., Wang, S. P., Zeng, L., Ran, P., & Ji, G. X. (2020). Effect of nano-SiO₂ on the efflorescence of an alkali-activated metakaolin mortar. *Construction and Building Materials*, 253. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118952
- TS EN 196-1. Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. (2016). In: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 196-9. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 9: Hidratasyon ısı - Yarı adyabatik yöntem. (2011). In.
- TS EN 197-1-Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. (2012). In: Turkey: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-1. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri. (2013). In: Türk Standartları Enstitüsü.
- Ye, Q., Zhang, Z. N., Kong, D. Y., & Chen, R. S. (2007). Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume. *Construction and Building Materials*, 21(3), 539-545. doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.09.001
- Yu, J., Zhang, M., Li, G. Y., Meng, J., & Leung, C. K. Y. (2020). Using nano-silica to improve mechanical and fracture properties of fiber-reinforced high-volume fly ash cement mortar. *Construction and Building Materials*, 239. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117853
- Zahedi, M., Ramezani pour, A. A., & Ramezani pour, A. M. (2015). Evaluation of the mechanical properties and durability of cement mortars containing nanosilica and rice husk ash under chloride ion penetration. *Construction and Building Materials*, 78, 354-361. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.01.045.



Kaynak Akımı Değişiminin Karbür ve Boro-karbür İçeren Kaplamalara Etkisi

Mustafa Kaptanoğlu*

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6295-610X), mkaptanoglu@firat.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 03 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 18 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.747441)

ATIF/REFERENCE: Kaptanoğlu, M., (2020). Kaynak Akımı Değişiminin Karbür ve Boro-karbür İçeren Kaplamalara Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 827-834.

Öz

Bu çalışmada, tozaltı kaynak tekniği kullanılarak elde edilen sert dolgu kaplamalara, kaynak akımının etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, 400, 450, 500 ve 550 A kaynak akımları kullanılarak kaynak testleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak testlerinde, SAE 1020 çeliği, ferrokrom ve ferrobör tozlarını içeren seramik esaslı kaynak tozları ve S1 kaynak telinden (elektrot) yararlanılmıştır. Kaynak testleri neticesinde mikroyapı, kimyasal kompozisyon, sertlik ve aşınma gibi parametrelerde karakterizasyon işlemleri yapılmıştır. Karakterizasyon işlemleri neticesinde, genel olarak kaynak akımının artmasıyla kaplama mikroyapılarında yer alan karbür ve boro-karbür faz yoğunluğunun arttığı ve kaplamalara geçen krom, karbon ve bor miktarının arttığı tespit edilmiştir. 500 A dışındaki akım değerlerinde, kaynak dikişlerinin homojenliklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde; 400 A'den 500 A'ye kaynak akımının artması ile sertlik değerlerinin arttığı ve aşınma kayıplarının azaldığı tespit edilmiştir. Ancak; 550 A akım değerlerinde, kaplama mikroyapısında yer alan tanelerin kabalaşması nedeniyle kısmi olarak kaplamanın sertlik ve aşınma direncinin düştüğü tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değeri 61 HRC ile 500 A'de gerçekleştirilen kaynak akımı ile elde edilen kaplamada elde edilirken, en düşük sertlik değeri ise, 44 HRC ile 400 A'de gerçekleştirilen kaynak akımı ile elde edilen kaplamada elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak akımı, Kaplama, Karbür, Bor-karbür.

Influence of Welding Current Change on Coatings Containing Carbide and Boro-carbide

Abstract

In this study, the effect of welding current change on coatings obtained using submerged arc welding technique was investigated. In this context, welding tests were carried out using 400, 450, 500 and 550 A welding currents. In welding tests, SAE 1020 steel, ceramic-based welding powders containing ferrochromium and ferroböron powders and S1 welding wire (electrode) were used. As a result of welding tests, characterization was made in parameters such as microstructure, chemical composition, hardness and wear. As a result of the characterization processes, it was determined that with the increasing of welding current, the phase density such as carbide and boro-carbide in the coating microstructures increased and the amount of chromium, carbon and boron transition from powders to the coatings increased. At current values other than 500 A, it was determined that the homogeneity of the weld seams decreased. Similarly; it was determined that with the increasing of welding current from 400 A to 500 A, hardness values increased and wear losses decreased. However, at 550 A current value, due to the coarsing of the grains in the coating microstructure, a decrease in hardness and wear resistance of coating was observed. The highest hardness value was obtained by the coating obtained by using welding current at 500 A with 61 HRC, while the lowest hardness value was obtained by the coating obtained by using welding current at 400 A with 44 HRC.

Keywords: Welding current, Coating, Carbide, Boro-carbide.

* Sorumlu Yazar: Mustafa Kaptanoğlu, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, mkaptanoglu@firat.edu.tr, (ORCID: 0000-0002-6295-610X),

1. Giriş

Kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen kaplama işlemi, bir substrat veya ana metal üzerine kaplama yapılarak, malzemelerin aşınma ve korozyon özelliklerinin geliştirilmesi işlemidir. Bu işlem, sünek bir malzeme yüzeyine sert bir yüzey kaplanması şeklinde olursa adı sert dolgu kaplama olur. Bazı durumlarda hasar gören malzeme yüzeyleri kaplama teknikleri kullanılarak eski haline getirilebilir. Bir substrat üzerine bir veya birden fazla tabaka vasıtasıyla sert dolgu kaplama yapılabilmesi, kimyasal ve metalürjik gereksinimleri gerekli kılar. Bu gereksinimler kaynak metalinin mekanik davranışı baz alınarak hesaplanır (Oates ve Saitta, 2000).

Kaynaklı kaplama işlemleri, çeşitli teknikler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu teknikler, oksitlenmiş kaynak tekniği (Civjan, Guihan ve Peterman, 2020), TIG kaynak tekniği (Shrivasa, Vaidya, Khandelwal ve Vishvakarma, 2020), plazma kaynak tekniği (Köse ve Topal, 2020), özlü tel ark kaynak tekniği (Kurtulmuş, 2018), lazer kaynak tekniği (Aydın ve Karaağaç, 2019), gazaltı kaynak tekniği (Le ve Mai, 2020) ve tozaltı kaynak tekniği (Singh ve Singh, 2020a) şeklinde ifade edilebilir. Her tekniğin birbirine göre pozitif ve negatif yanları olabilmektedir. Bu teknikler içerisinde tozaltı kaynak tekniği, otomatik bir sistem olması, dolgu yeteneğinin fazla olması, kütleli olarak iri parçaları doldurmaya uygun olması, ekonomik olması, makine kullanımının kolay olması, kaynak metalinin ve kaynak dikişinin temiz ve belirlenebilir olması ve ark ışığının görünmemesi nedeniyle zarar veren bir işığa sahip olmaması gibi özellikleriyle öne çıkmaktadır. Öte yandan, tozaltı kaynak tozlarının (flaksların) sınırlı sayıda olması, tekniğin düz ve silindirik parçalarda kullanıma uygun olması ve teknikte çok yüksek ısı girdilerinin oluşması, tekniğin dezavantajlarını oluşturmaktadır.

Literatürdeki araştırmacılar tozaltı kaynak tekniği kullanılarak gerçekleştirdikleri çalışmalarda genel olarak, kaynak parametrelerine bağlı olarak gerçekleştirilen yapay sinir ağı modelleri (Singh ve Singh, 2020b), kaynak flaksı üretim modelleri ve optimizasyonu (Sharma, Kumar ve Chhibber, 2020), ısının etkisi altında kalan alanın modellenmesi (Sailender, Suresh, Chandramohan, Venkatesh, 2020) tozaltı kaynak işlemleri sonrası kalıntı gerilimlerin hesaplanması (Suman, Biswas, Patel, Singh, Kumar ve Kuriachen, 2020) tozaltı kaynak tekniğiyle üretilen kaplamalara ilave tozların seyreltme etkisi (Srikarun, Oo, Petchsang ve Muangjunburee, 2019), tozaltı kaynak tekniği ile elde edilen niyobyumca zengin düşük alaşımlı çeliklerin TEM ve APT teknikleriyle analiz edilmesi (Liu, Xu, Shi, Kang, Procario, Hou ve Manohar, 2019) ve ferro alaşım ilavesi ile elde edilen Fe-Cr-C kaplamaların karakterizasyonu ve krom ilavesinin demir esaslı kaplamalara etkisi (Zahiri, Sundaramoorthy, Lysz ve Subramanian, 2014) gibi konulara yoğunlaşmıştır. Görüldüğü üzere, literatürdeki çalışmalar genel olarak alaşım elementi içermeyen kaynak tozları ve kaynak telleri ile yapılan çalışmalar ile ilişkilidir. Bu çalışmalarda, tozaltı kaynak tekniğinin otomatik bir sistem olması nedeniyle genelde deney sonuçlarının önceden tahmini üzerine yapılan çalışmalara odaklanılmıştır (Singh ve Singh, 2020a; Singh ve Singh, 2020b; Sharma vd., 2020; Sailender vd., 2020; Suman vd., 2020). Literatürdeki eser miktardaki sert dolgu kaplama çalışmasında ise genelde alaşımsız kaynak tozu ve kaynak teli kullanımı ile birlikte yüzeye ferro alaşımların toz formda serilmesiyle kaynak metalinde yüksek sertlikler veren

kaplamalar üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Srikarun vd., 2019; Liu vd., 2019; Zahiri vd., 2014). Bu çalışmada ise, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, üretim esnasında kaynak tozu bileşenleri içerisinde ferrokrom ve ferrobör kullanılarak tozaltı kaynak tozları üretilerek, sert dolgu kaplama amaçlı kaynak testleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen kaynak tozları ve gerçekleştirilen kaynak testleri neticesinde karbür ve boro-karbür içeren kaplamalar elde edilmiştir. İyi bilindiği üzere, kaynak parametreleri kaynak sonrası oluşan kaynak metalinin veya kaplamaların mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir (Oates ve Saitta, 2000).

Bu nedenle, bu çalışmada tozaltı kaynak tekniği kullanılarak elde edilen ve karbür ve boro-karbür içeren kaplamalara kaynak akımının etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, ferrokrom ve ferrobör tozları kullanılarak 4 farklı akım değerlerinde kaynak testleri gerçekleştirilerek optimum sertlik ve aşınma davranışı sergileyen kaplamaların elde edilmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kaynak Testlerinin Gerçekleştirilmesi

Çalışmada gerçekleştirilen kaynak testleri Magmaweld ZD5-1000B-MZ-000BF tozaltı kaynak makinesi ve güç kaynağı ünitesiyle tamamlanmıştır. Kaynak testlerinde temel alaşım elementi geçişi amaçlı hazırlanan kaynak tozlarında %16 ferrokrom (% 65 Cr, % 8 C) ve % 2 ferrobör (%18 B) içeren seramik esaslı kaynak tozları kullanılmıştır. Tüm kaynak testlerinde aynı kaynak tozu kullanılmıştır. Testlerde 3.2 mm tel çaplı Magmaweld marka S1 olarak adlandırılan kaynak elektrodu kullanılmıştır. Substrat olarak ise 10x30x600 mm boyutlarındaki SAE 1020 çeliği kullanılmıştır. S1 elektrodu ve SAE 1020 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. SAE 1020 çeliği ve S1 kaynak elektrodunun kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	Kimyasal kompozisyon (% ağırlıkça)					
SAE 1020 çeliği	C	Si	Mn	P	S	Fe
	0.15	0.28	0.64	0.03	0.03	Kalan
Malzeme	Kimyasal kompozisyon (% ağırlıkça)					
S1 kaynak elektrodu	C	Si	Mn	Fe		
	0.07	0.05	0.50	Kalan		

Kaynak testlerinde kaynak akımı hariç olmak üzere, aynı kaynak parametreleri kullanılmıştır. 1 nolu kaynak testinde 400 A akım, 2 nolu kaynak testinde 450 A, 3 nolu kaynak testinde 500 A akım ve 4 nolu kaynak testinde ise 550 A akım kullanılmıştır. Kaynak testlerinde kullanılan makine parametreleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Kaplama testlerinde kullanılan makine ve ekipman parametreleri.

Kaplama test numunesi	Akım (A)	Voltaj (V)	Kaynak hızı (cm/dk)	Elektrot çapı (mm)	Polarite (±)	Meme mesafesi (mm)
1	400	28	50	3.2	+	32
2	450	28	50	3.2	+	32
3	500	28	50	3.2	+	32
4	550	28	50	3.2	+	32

2.2. Mikroyapı, Kimyasal Kompozisyon ve XRD Analizleri

Kaynak testleri neticesinde elde edilen kaplamalardan 14x10x10 mm boyutlarındaki numuneler kesilerek alınmıştır. Bu numuneleri mikroyapısal olarak incelemek amacıyla, numuneler metalografik numune hazırlama işlem basamaklarına tabi tutulmuştur. Bu kapsamda zımparalama, parlatma, dağlama işlemleri yapılmıştır. Dağlayıcı olarak, hacimce % 2 nitrik asit (HNO_3) ve % 98 etil alkolden (C_2H_5OH) oluşan nital çözeltisi kullanılmıştır. Mikroyapısal karakterizasyon işlemlerinde, Nikon Eclipse-MA200i optik mikroskobu kullanılmıştır. Mikroyapılardaki faz tayini için kaplamalardan numuneler alınarak Rigaku RadB-Dmax2 makinesinde XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Kimyasal kompozisyon analizlerinde ise optik emisyon spektrometresinden, Jeol marka JSM-7001F Inca X-Act model SEM-EDX ve Jeol marka JXA-8230 model EPMA-EDS makinelerinden yararlanılmıştır.

2.3. Sertlik ve Aşınma Testleri

Sertlik testleri, Rockwell sertlik metodunun C skalasıyla ve 150 kgf'lik yükler altında EMCO marka M4U-025 model cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, 12 farklı kaplama noktasından alınan sertlik sonuçlarının ortalaması alınarak sertlik sonuçları tespit edilmiştir. Aşınma testlerinde pin-on-belt aşınma mekanizmasından yararlanılarak aşınma kayıpları belirlenmiştir. Aşınma testlerinde, Buehler Surfmet I makinesinden yararlanılmıştır. Testlerde, 80 mesh su zımparası, 20 N yük, 50 m kayma mesafesi, 300 rpm hıza sahip makine parametreleri kullanılmıştır. Kullanılan bant zımpara 920 mm boyunda ve 100 mm enindedir. Aşınma testleri, ağırlıksal aşınma kayıpları baz alınarak yüzdelik değerler şeklinde hesaplanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Makro Analizler

SAE 1020 çeliği, S1 kaynak elektrodu ve ferrokrom ve ferrobör içeren kaynak tozları kullanılarak 4 farklı kaplama elde edilmiştir. Şekil 1, 500 A akım değerlerine bağlı olarak elde edilen kaplamaya ait cüruf, kaynak dikişi ve hazırlanan kaynak tozu görselini temsil etmektedir. Şekil 1'de görüldüğü üzere kaynak tozları homojen büyüklükte ve benzer geometridedir.



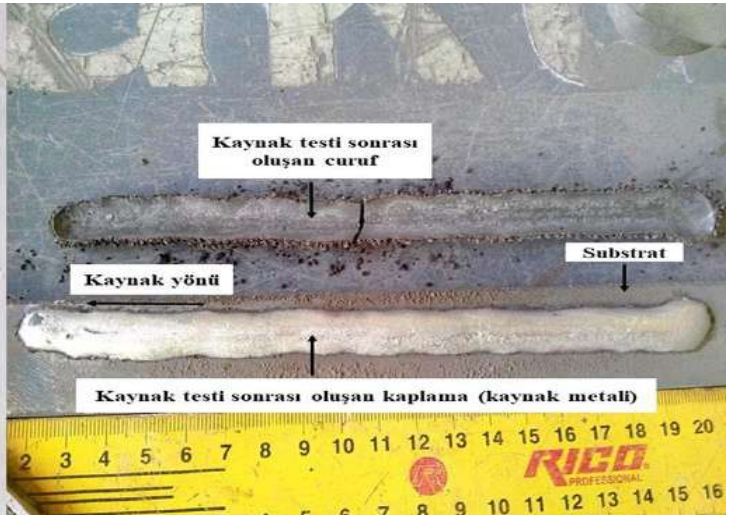
Daha önce de belirtildiği üzere kaynak tozları ağırlıkça % 16 ferrokrom ve % 2 ferrobör içermekte ve tüm testlerde aynı oran kullanılmaktadır. Kaplama kaynak dikişleri detaylı incelendiğinde ise, 400 A akım kullanılarak elde edilen kaplamada homojen olmayan bir kaynak dikişi tespit edilmiştir. 450 A kullanılarak elde edilen kaplamada ise nispi olarak daha homojen bir kaynak dikişi elde edilmiştir. 500 A akım kullanılarak elde edilen kaplama da ise en homojen kaynak dikişlerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 1). 550 A akım kullanılarak elde edilen kaplama da ise 3 nolu kaplamaya göre daha az homojen olan bir kaynak dikişi tespit edilmiştir. Elde edilen bu farklılıkların, kaynak tozu-cüruf ilişkileri ve ferro alaşımların karakteristiği ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

3.2. Mikroyapı ve Kimyasal Analizler

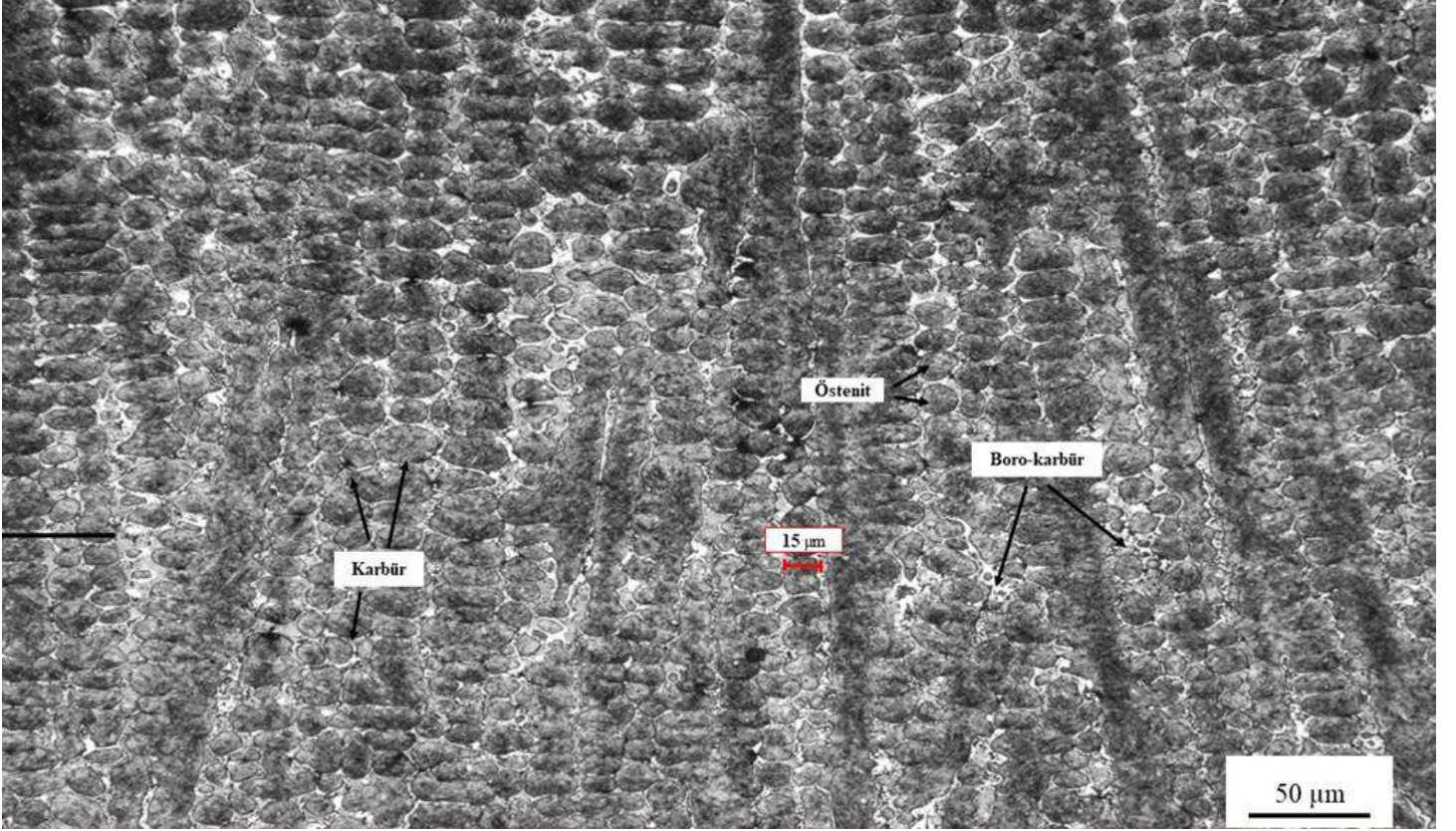
Şekil 2-5'de artan akım değerlerine bağlı olarak elde edilen kaplamaların optik mikroskop mikroyapı fotoğrafları verilmektedir. 400-550 A kullanılarak elde edilen kaplamalar mikroyapısal olarak incelendiğinde; matris yapısı olarak 4 kaplamanın da östenit (γ) matris yapısında olduğu belirlenmiştir. Matris yapısı dendritik olarak kaynak ilerleme yönüne dik geometride oluşmuştur. Kaplamalarda matris yapısı dışında karbür ve boro-karbür fazları da yer almaktadır. Mikroyapılarda yer alan bu sert fazların, düşük akım kullanılarak yapılan kaplamalarda (400-450 A) tane sınırları etrafında beyaz renkte sıralandığı ve kaynağın ilerleme yönüne dik olarak mikroyapıda yer aldığı gözlemlenmiştir (Şekil 2-3).

500 A ile yapılan kaplamada (Şekil 4) karbür ve boro-karbürlerin mikroyapıda arttığı gözlemlenmiştir. 550 A ile elde edilen kaplamada ise östenit tanelerinin irileştiği ve karbür ve boro-karbürlerin artmış olduğu bir mikroyapı tespit edilmiştir (Şekil 5). Kaplamalardaki östenit fazlarının ortalama tane boyut değişimi Şekil 2-5'teki mikroyapı fotoğraflarında görsel olarak verilmektedir.

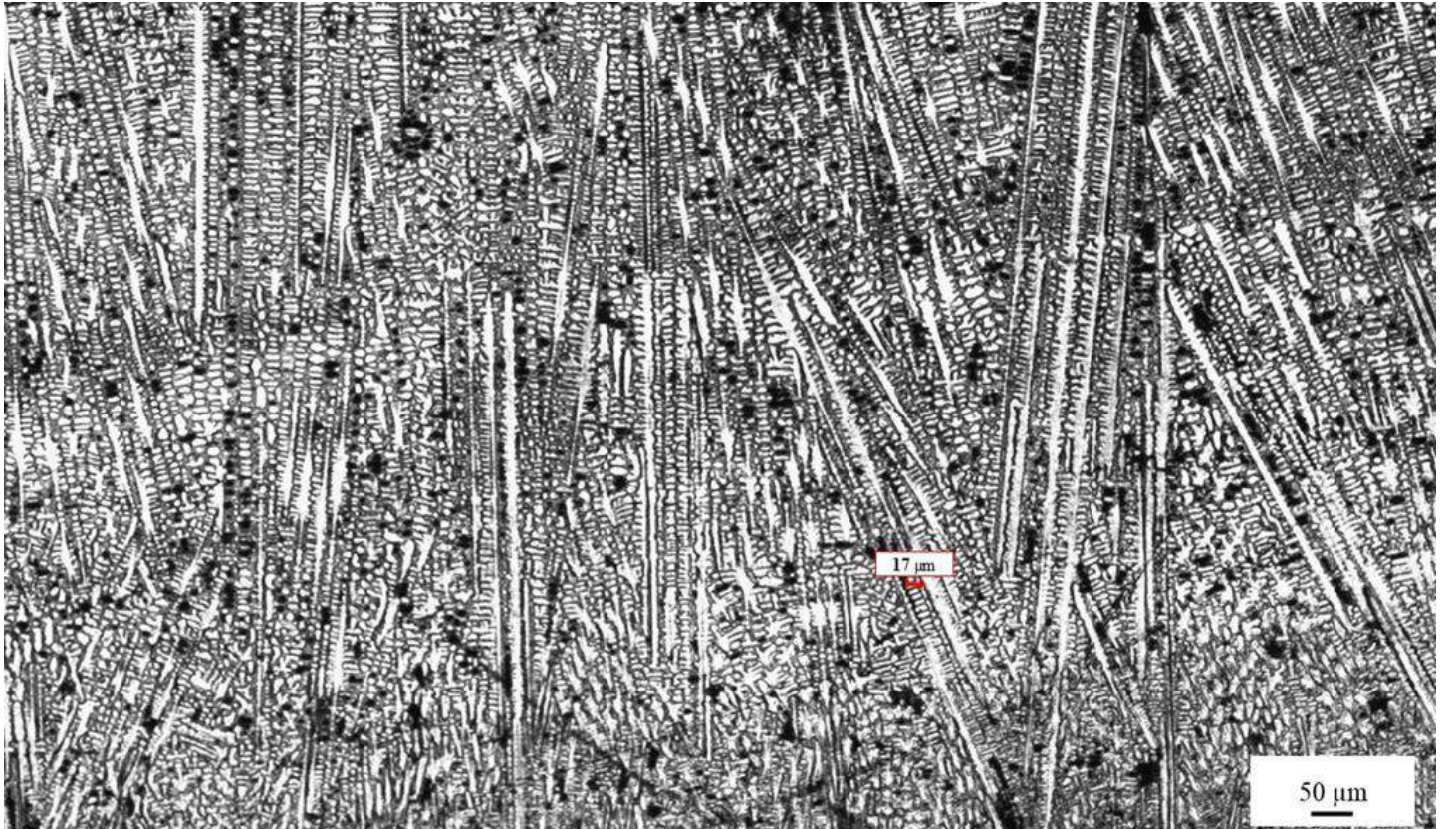
Kaplamalarda yer alan fazların, XRD analiz sonuçları ile de uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6'da 500 A ile elde edilen kaplamadan alınan XRD analiz sonuçları yer almaktadır. Ayrıca; literatürde Zahir vd., 2014; Lin vd., 2014; Yüksel ve Şahin, 2014; Kirchgäßner vd., 2008; ve Berns ve Fischer, 1987 şeklinde yer alan çalışma sonuçları da bu çalışma sonuçları ile paralellik göstermektedir.



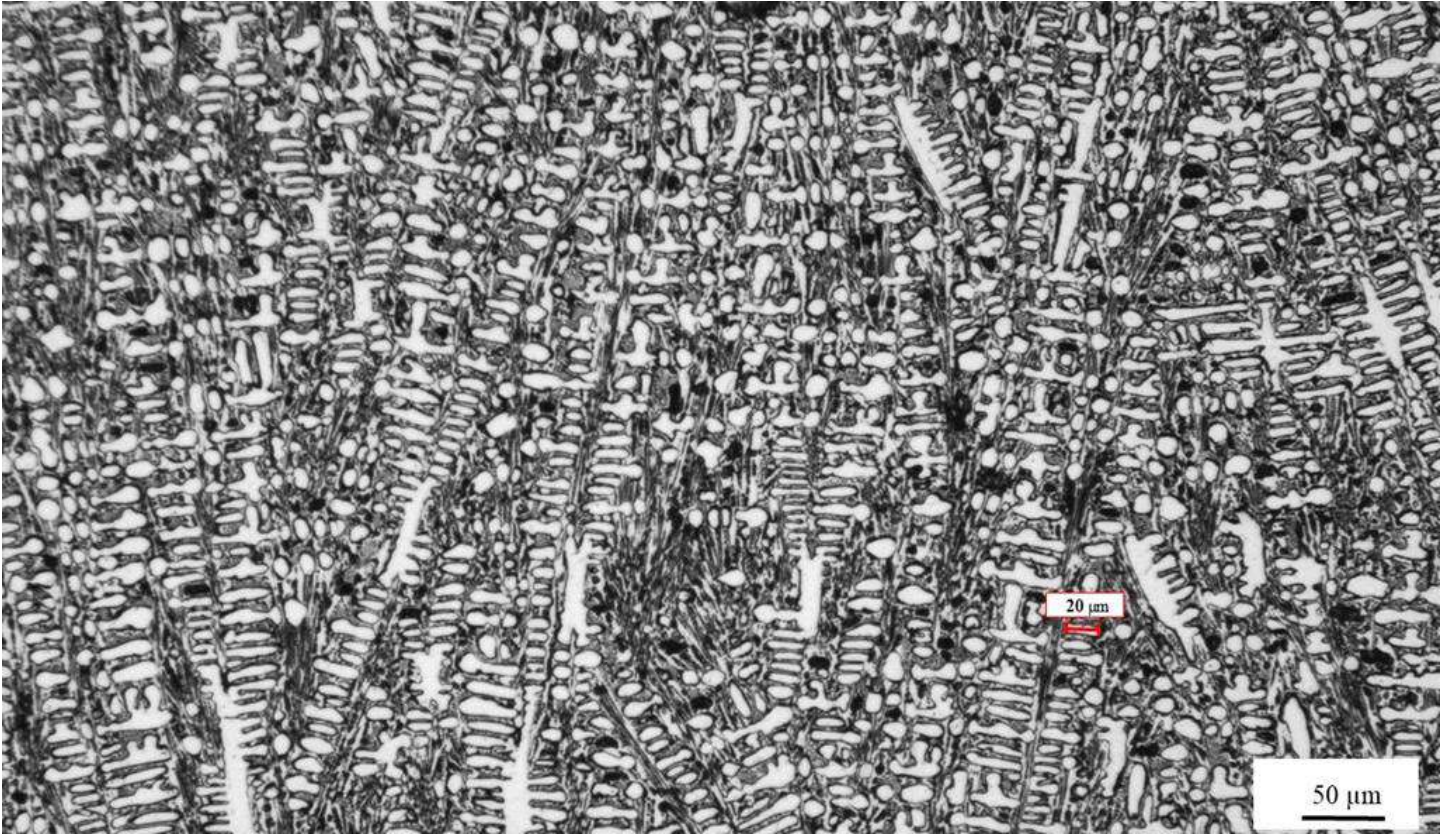
Şekil 1. Hazırlanan kaynak tozu ve 500 A akım kullanılarak elde edilen kaplama ve kaynak sonrası oluşan cüruf görseli.



Şekil 2. 400 A kaynak akımı kullanılarak elde edilen kaplamanın optik mikroskop mikroyapı görüntüsü.



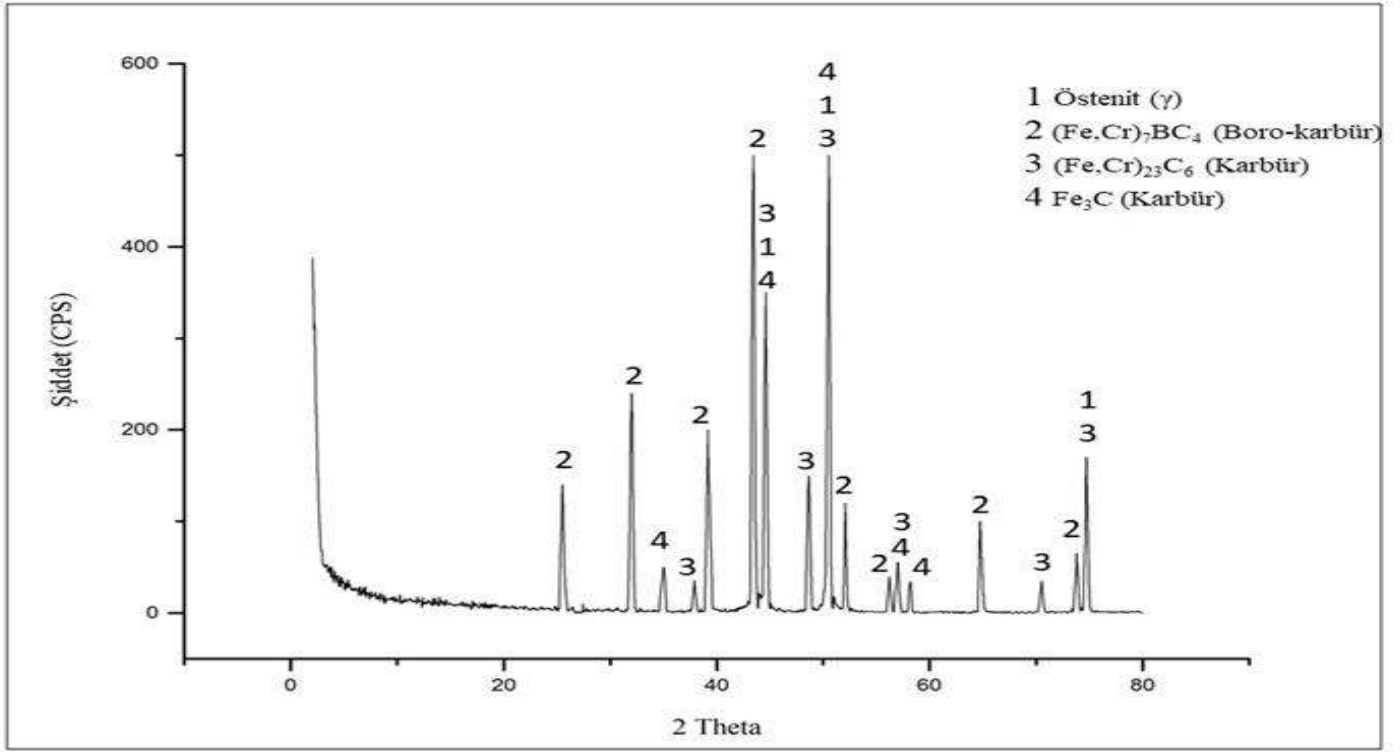
Şekil 3. 450 A kaynak akımı kullanılarak elde edilen kaplamanın optik mikroskop mikroyapı görüntüsü.



Şekil 4. 500 A kaynak akımı kullanılarak elde edilen kaplamanın optik mikroskop mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5. 550 A kaynak akımı kullanılarak elde edilen kaplamanın optik mikroskop mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6. 500 A kaynak akımı kullanılarak elde edilen kaplamanın XRD analiz sonucu.

400-550 A kaynak akımları kullanılarak elde edilen kaplamaların optik emisyon, SEM-EDX ve EPMA-EDS kimyasal kompozisyon analiz sonuçları Tablo 3'de verilmektedir. Görüldüğü üzere kaynak akımının artması ile ağırlıkça % 4.25-6.89 oranlarında krom (Cr), % 0.90-1.10 oranlarında karbon (C) ve 0.35-0.49 oranlarında bor (B)' un kaynak tozlarından kaplamalara geçtiği görülmektedir. Ayrıca, birbirine benzer oranlarda mangan (Mn), molibden (Mo) ve silis (Si)'nde kaplama mikro yapılarında yer aldığı tespit edilmiştir. Kaynak akımının artması, ısı girdisinin artması neden olarak

daha fazla kaynak tozunun tükenmesine neden olmuştur. Böylece, kaplamaya gecen alaşım elementi miktarı artmıştır. Isı girdisinin artması substrat SAE 1020 çeliğinin daha fazla kaynak metalinde çözünmesine ve kaynak dikiş yüksekliğinin kısmı olarak artmasına neden olsa da, kaplamaya gecen alaşım elementi miktarı akım değerinin artması ile artmıştır. Kaplama geometrisinde meydana gelen bu değişimler, kaynak tozunun temas yüzeyini arttırmış böylece de daha fazla oranda kaynak tozu kaynak testleri esnasında kaplama bölgelerine geçmiştir.

Tablo 3. Kaplamaların optik emisyon, SEM-EDX ve EPMA-EDS kimyasal kompozisyon analiz sonuçları.

Kaplama test numunesi	Kaynak akımı (A)	Kimyasal kompozisyon (% ağırlıkça)						
		Cr ¹	C ²	Mn ¹	Mo ¹	Si ¹	B ³	Fe ¹
1	400	4.25	0.90	1.01	0.15	0.20	0.35	Kalan
2	450	4.34	0.85	0.95	0.15	0.21	0.33	Kalan
3	500	6.86	1.06	1.03	0.20	0.19	0.45	Kalan
4	550	6.89	1.10	1.01	0.22	0.20	0.49	Kalan

(¹) : Optik emisyon spektrometresi ile gerçekleştirilen analizleri temsil etmektedir.

(²) : SEM-EDX ile gerçekleştirilen analizleri temsil etmektedir.

(³) : EPMA-EDS ile gerçekleştirilen analizleri temsil etmektedir.

3.3. Sertlik ve Aşınma Test Sonuçları

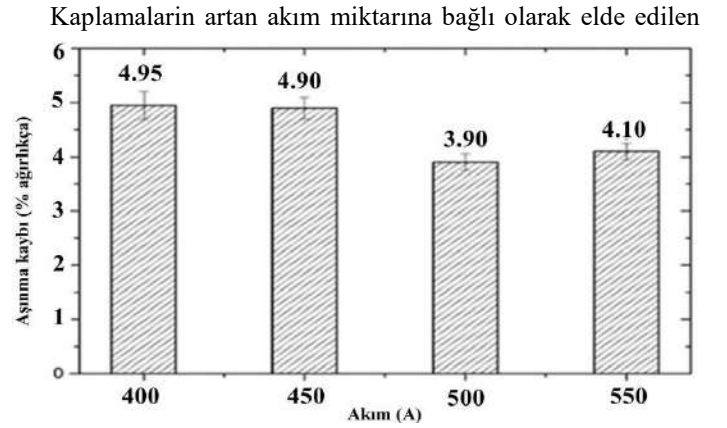
Tablo 4'de kaynak akımına bağlı olarak elde edilen kaplamaların makro sertlik test sonuçları verilmektedir. Görüldüğü üzere 400-500 A akım kullanılarak elde edilen kaplamalarda sertlik doğrusal olarak artmıştır. 550 A ile elde edilen kaplama sertliğinde ise kısmi bir düşüş tespit edilmiştir. Substrat olarak kullanılan SAE 1020 çeliğinin kesitleri düşünüldüğünde, ısı girdisinin soğuma hızına etki edeceği çok açıktır. 550 A ile verilen ısı girdisi kaplamanın soğuma hızını yavaşlatarak kaba bir tane yapısına neden olarak sertlikte düşüşe neden olmaktadır. Özellikle östenit tanelerinin irileşmesi sertlikteki kısmi düşüşün nedeni olarak belirlenmiştir. Kaplamalardan elde edilen 44-61 HRC bandındaki sertlik sonuçları, kaynak parametreleri, elektrot, substrat ve kaynak tozu bileşimine bağlı olarak elde edilebildiği ve bu sonuçların literatürdeki çalışma sonuçları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Zahiri vd., 2014; Lin vd., 2014; Yüksel ve Şahin, 2014).

Tablo 4. Farklı akım değerlerine bağlı olarak elde edilen kaplamaların makro sertlik test sonuçları.

Kaplama test numunesi	Kaynak akımı (A)	Sertlik (HRC)
1	400	44 ±2
2	450	46 ±3
3	500	61 ±3
4	550	56 ±2

Kaynak akımına bağlı olarak elde edilen kaplamalardan alınan aşınma kaybı değerleri Şekil 7'de verilmektedir. 400-500 A kullanılarak elde edilen kaplamalarda akımın artması ile aşınma kayıpları azalmaktadır. 550 A ile elde edilen kaplamada

ise 500 A ile elde edilen kaplamaya göre aşınma kayıplarının kısmi olarak yükseldiği tespit edilmiştir. Bu durum; soğuma hızının düşmesi nedeniyle meydana gelen sertlik düşüşü ile ilişkilendirilmiştir. 500 A kullanılarak elde edilen kaplama, en yüksek aşınma direncine sahip kaplama iken, 400 A ile elde edilen kaplama ise, en düşük aşınma direncine sahip kaplama olmuştur. Kaplamalarda yer alan karbür ve borokarbürler sertlik artışına neden olarak aşınma direncinin artmasına neden olmaktadır. En yüksek akım ile elde edilen kaplamada ise östenit tanelerinin irileşmesi nedeniyle aşınma direncinde kısmi bir düşüş gözlenmiştir (Lin vd., 2014; Yüksel ve Şahin, 2014; Kirchgaßner vd., 2008).



aşınma çizgileri incelendiğinde, genel olarak aşınmaya dirençli aşınma çizgilerinin varlığı tespit edilmiştir. 400 A ve 450 A uygulanarak elde edilen kaplamalarda aşınma çizgilerinin sürekli ve kalın bir hat boyunca devam ettiği, bazı süreksiz aşınma çizgilerinin bulunduğu ve krater oyuklarının varlığı tespit edilmiştir. Özellikle 400 A kullanılarak elde edilen kaplamada yoğun sürekli çizikler ve geniş hatlar boyunca devam eden aşınmış yüzey morfolojisi tespit edilmiştir. 500 A kullanılarak elde edilen kaplamada ise, aşınma çizgilerinin süreksiz ve çok ince morfolojide olduğu gözlemlenmiştir. Bu kaplamada, aşınmaya direnç gösteren karbür ve boro-karbür gibi yapıların varlığı nedeniyle krater oyuklarının olduğu gözlemlenmiştir. 550 A ile elde edilen kaplamada ise, 500 A ile elde edilen kaplamanın

aşınma davranışına benzer aşınma çizgileri tespit edilmiştir. Ancak, krater oyuklarının 500 A ile elde edilen kaplamaya oranla daha az sayıda olduğu gözlemlenmiştir. Kaplamalarda meydana gelen karbür ve boro-karbür miktarının artması ve ince taneli bir yapı oluşması, sertliğin artmasına ve aşınma kayıplarının azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, 500 A akım kullanılarak elde edilen kaplamalarda yoğun bir şekilde kendini göstermektedir. Özellikle kaplama mikroyapılarında ince taneli karbür ve boro-karbürlerin miktarının artması aşınma direncinin artmasına ve aşınma kayıplarının azalmasına neden olmaktadır (Yüksel ve Şahin, 2014).

Şekil 7. Kaynak akımına bağlı olarak elde edilen kaplamaların aşınma kayıpları.

4. Sonuç

Çalışmada, tozaltı kaynak tekniğinde, SAE 1020 çelik substrat, ağırlıkça % 16 ferrokrom ve % 2 ferrobör içeren kaynak tozları, S1 kaynak elektrodu ve 400-550 A aralığındaki akım şartları altında kaplama amaçlı kaynak testleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak testleri neticesinde;

- 1- Kaynak akımının artması ile elde edilen kaplamalara kaynak tozundan geçen alaşım elementi miktarının arttığı tespit edilmiştir.
- 2- 550 A akım değerinde ısı girdisinin artması nedeniyle daha kaba bir mikroyapı oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durumun, kaplama sertlik ve aşınma özelliklerine negatif etkide bulunduğu tespit edilmiştir.
- 3- Ferrokrom ve ferrobör içeren kaynak tozları ile gerçekleştirilen testlerde, akım değerinin optimum değer üzerinde artırılması veya azaltılması kaynak dikişinin homojenliğinin azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir.
- 4- Ferrokrom ve ferrobör içeren kaynak tozları kullanılarak gerçekleştirilen kaynak testleri neticesinde, optimum kaynak akım değerinin 500 A olduğu ve bu kaynak akım değerinin kaplamanın sertlik ve aşınma özelliklerinin geliştirilmesine katkı sağladığı tespit edilmiştir.
- 5- Krom, karbon ve bor içeren elementlerle elde edilen kaplama uygulamalarında, kaynak akımı ve substrat geometrisinin kaplama sertlik ve aşınma özelliklerini doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, bu tipteki ticari ve akademik uygulamalarda makine parametrelerine ve substrat geometrisine azami dikkat edilmesi önerilmektedir.

Kaynakça

Oates R., Saitta M.A. (2000), A.M., Welding Handbook, Volume 4 -Materials and Applications, Miami, FL, 33126, American Welding Society.

Civjan S.A., Guihan T., Peterman K. (2020). Testing of oxyacetylene weld strength. *Journal of Constructional Steel Research*, 168, 105921.

Shrivastava S.P., Vaidya S.Y., Khandelwal A.S., Vishvakarma A.K. (2020). Investigation of TIG welding parameters to improve strength. *Materials Today: Proceedings*, 2020, ISSN 2214-7853.

Köse C.& Topal C. (2020). Plazma ark kaynağıyla birleştirilen AISI 410S ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı ve mekanik

özelliklerine ısı işlemin etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 201-212.

Kurtulmuş M. (2018). Effects of Primary Welding parameters on FCAW steel weld form. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (12), 1-5

Aydın K., Karaağaç İ. (2019). Lazer kaynaklı HSLA sac malzemelerde geri esnemenin deneysel araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 29-37.

Le V.T., Mai D.S. (2020). Microstructural and mechanical characteristics of 308L stainless steel manufactured by gas metal arc welding-based additive manufacturing. *Materials Letters*, (271), 127791.

Singh A., Singh R.P. (2020a). A review of effect of welding parameters on the mechanical properties of weld in submerged arc welding process. *Materials Today: Proceedings*, ISSN 2214-7853.

Singh R.P., Singh A., Singh A. (2020b). Optimization of hardness of weld in submerged arc welding. *Materials Today: Proceedings*, ISSN 2214-7853.

Sharma L., Kumar J., Chhibber R. (2020). Experimental investigation on surface behaviour of submerged arc welding fluxes using basic flux system. *Ceramics International*, Volume (46), 6, 8111-8121.

Sailender M., Suresh R., Chandramohan Reddy G., Venkatesh S. (2020). Prediction and comparison of the dilution and heat affected zone in submerged arc welding (SAW) of low carbon alloy steel joints. *Measurement*, (150), 107084, ISSN 0263-2241,

Suman S., Biswas P., Patel S.K., Singh V.P., Kumar A., Kuriachen B. (2020). Measurement of residual stresses in submerged arc welded P91 steel using surface deformation. *Materials Today: Proceedings*, (21), 3, 1707-1712.

Srikarun B., Oo H.Z., Petchsang S., Muangjunburee P. (2019). The effects of dilution and choice of added powder on hardfacing deposited by submerged arc welding. *Wear*, (424-425), 246-254.

Liu X., Xu M., Shi Q., Kang J., Procario J., Hou W., Manohar M. (2019). Analysis of niobium-rich phases in the submerged arc welds of high strength low alloy steel. *Materialia*, (7), 100340, ISSN 2589-1529.

Zahiri R., Sundaramoorthy R., Lysz P., Subramanian C. (2014). Hardfacing using ferro-alloy powder mixtures by submerged arc welding. *Surface and Coatings Technology*, (260), 220-229.

Lin H., Ying L., Jun L., Binghong L. (2014). Microstructure and mechanical properties for TIG welding joint of high boron Fe-Ti-B alloy. *Rare Metal Materials and Engineering*, (43), 283-286.

Yüksel N., Sahin S. (2014). Wear behavior-hardness-microstructure relation of Fe-Cr-C and Fe-Cr-C-B based hardfacing alloys. *Materials & Design*, (58), pp. 491-498.

Kirchgaßner Badisch M.E., Franek F. (2008). Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. *Wear*, (265), 772-779.

Berns H., Fischer A. (1987). Microstructure of Fe-Cr -C-B alloys addition of Nb, Ti and B. *Metallography*, (20), 401-429.



QCM- Based Biosensor for the Detection of Homocysteine

Fatma Ayhan*

Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Biochemistry Division, Biochemistry & Biomaterials Research Laboratory (BIOMATREG), Muğla, Turkey (ORCID: 0000-0003-2220-4496), fayhan@mu.edu.tr

(First received 13 August 2020 and in final form 16 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.777852)

ATIF/REFERENCE: Ayhan, F. (2020). QCM- Based Biosensor for the Detection of Homocysteine. *European Journal of Science and Technology*, (20), 835-843.

Abstract

High plasma homocysteine levels can cause an increased risk of cardiovascular, cerebrovascular, and peripheral arterial diseases. Besides this, Alzheimer's disease and other dementias, osteoporosis, diabetes and renal disease due to folate and B-vitamin deficiency, various drugs or pre-existing atherosclerotic diseases may be the result of high homocysteine levels. The presented research work aimed to perform the detection of Homocysteine (Hcy) by using Quartz Crystal Microbalance (QCM) biosensor. The temperature controlled QCM system was a home-made designed and constructed equipment which can use silver electrode quartz crystal. The modification of silver electrode quartz crystals surfaces was achieved by the surface cleaning process with sodium hydroxide, acetone and methanol in a consecutive manner. Then self-assembled monolayer of cysteamine and chemical coupling of glutaraldehyde (GA) to free end of monolayer was achieved to create the new functional surface in order to complete the formation of spacer arm/ligand. Homocysteine specific recognizing ligand, anti-Homocysteine antibody was immobilized to glutaraldehyde coupled surfaces. The change in resonance frequency values were measured for each modification step. The optimization of dilution ratio of the antibody solution was performed to modified surfaces. The least dilution ratio of antibody, 1/10000 v/v, was determined as optimum antibody ratio. The detection of homocysteine was analysed at a detection limit of 0.1 μM and the linear ranges of calibration curves were estimated as 0.1-2.0 μM and 10-50 μM . Homocysteine values indicated good linearities ($R^2=0.9813$ and 0.9875 , respectively). The relative standard deviation (RSD %) for precision was calculated as less than 10%. In conclusion, it was found that the detection of homocysteine can be done both in nano- and micro-molar concentration levels. Additionally, designed biosensor showed desired stability and reproducibility. Finally, a new method different from the present methods for the use in the analysis of Hcy was proposed and developed which detects homocysteine by designed QCM technique with a rapid, cheaper and less pretreatment processes. Additionally, homocysteine detection was performed in nano- and micro- molar concentration values.

Keywords: Homocysteine, anti-Homocysteine Antibody, Quartz Crystal Microbalance (QCM), Surface Modification.

Homosistein Tayini Amaçlı QCM-Temelli Biyosensör

Öz

Yüksek plazma homosistein düzeyleri, kardiyovasküler, serebrovasküler ve periferik arteriyel hastalık risklerini arttırabilmektedir. Bunun yanında doğumsal bozukluklar gibi diğer çeşitli patolojiler, Alzheimer hastalığına ve diğer gerilikler, osteoporoz, şeker ve böbrek hastalıkları da yüksek homosistein değerlerinin sonucu olabilmektedir. Sunulan araştırma çalışmasının amacı Kuartz Kristal Mikroterazi (QCM) biosensörü kullanarak Homosisteinin (Hsis) tayinini gerçekleştirmektir. Sıcaklık kontrollü QCM sistemi, yerli olarak tasarlanmış ve üretilmiş bir cihaz olup gümüş elektrodlu kuartz kristal kullanılmıştır. Gümüş elektrod kristal yüzeylerinin modifikasyonu sodium hidroksit, aseton ve metanolün ardışık olarak uygulanarak yapılan yüzey yıkama işlemi ile sağlanmıştır. Daha sonra sisteamin ile kendiliğinden tek tabaka oluşumu ile uzatma kolu/ligand oluşumu gerçekleştirilmesi amacıyla tek tabakanın serbest ucuna glutaraldehitin kimyasal olarak bağlanması sağlanarak yeni bir fonksiyonel yüzey elde edilmiştir. Glutaraldehit bağlı yüzeylere homosisteine özgü ligand olan anti-Homosistein antikor immobilize edilmiştir. Her modifikasyon basamağı için frekans değerlerinin değişimi ölçülmüştür. Antikor çözeltisinin seyrelme oranı modifiye yüzeyler kullanılarak optimize edilmiştir. En düşük antikor derişimi olan 1/10000 v/v oranı optimize antikor oranı olarak belirlenmiştir. Homosisteinin en düşük tayin sınırı 0.1 μM olarak tespit edilmiştir ve kalibrasyon eğrilerinin doğrusal aralıkları 0.1-2.0 μM ve 10-50 μM olarak bulunmuştur. Belirtilen doğrusal aralıklarda Hsis değerleri oldukça yüksek doğrusallık (sırası ile $R^2=0.9813$ and 0.9875) göstermiştir. Bağlı standart sapmanın duyarlılığı % 10'dan

* Corresponding Author: Prof. Dr. Fatma AYHAN, Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Biochemistry Division, Biochemistry & Biomaterials Research Laboratory (BIOMATREG), Muğla, Turkey (ORCID: 0000-0003-2220-4496), fayhan@mu.edu.tr

küçük hesaplanmıştır. Sonuç olarak homosistein tayininin hem nano hem mikro molar derişim değerlerinde yapılabileceği bulunmuştur. Ek olarak tasarlanan biyosensör istenen kararlılık ve tekrarlanabilirlik göstermiştir. En son olarak Homosistein analizinde kullanıma yönelik yeni bir yöntem önerilerek geliştirilmiş ve bu hızlı, ucuz ve daha az ön işlemleri olan QCM tekniği ile homosistein tayini başarı ile yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Homosistein, anti-Homosistein antikoru, Kuartz Kristal Mikroterazi (QCM), Yüzey Modifikasyonu.

1. Introduction

Homocysteine (Hcy) is metabolised in the liver from the methionine, essential amino acid. (McCully, 2007; Kumar et. al., 2017). If metabolic pathways of sulfur-containing amino acids are defected due to inborn error, it is called homocystinuria. The concentration level of homocysteine in serum increase to higher than normal range ($>10 \mu\text{mol/L}$) (Kumar et. al., 2017; Jiang et. al., 2018) or cytotoxic values ($>12 \mu\text{mol/L}$) (Hankey and Eikelboom, 1999; Abraham and Cho, 2010; Hoffman, 2011).

Genetic alterations, vitamin deficiencies, and several other environmental factors such as increased intake of Met, certain medications, disease state, pregnancy, lactation and altered cellular export mechanisms may lead increased Hcy levels (Kumar et. al., 2017; Jiang et. al., 2018; Hasan et. al., 2019). The total homocysteine (tHcy) level in serum indicates the deficiencies of vitamin B12 (cobalamin), vitamin B6 (pyridoxine), and folate (Jiang et. al., 2018). Increased circulating levels of Hcy or hyperhomocysteinemia is known as risk factor of many health problems like coronary, cerebral, and peripheral atherosclerosis diseases. For example, blood Hcy level is also a well known risk factor for cardiovascular diseases (Abraham and Cho, 2010; Kumar et. al., 2017; Smith et. al., 2018). The high total homocysteine (tHcy) level was also associated with vascular dementia. (Clarke, 2007; Nilsson et. al., 2013). Recently, it was reported that the Alzheimer's disease was connected by low red blood cell folate, serum folate, and serum B12 value levels (Smith et. al., 2018). The same deficiencies besides genetic polymorphisms involves the transfer of one-carbon groups were reported as increased overall risk of cancer (Özkan et. al., 2007; Zhang et. al., 2015; Hasan et. al., 2019).

In recent years, various measurement methods were developed to determine the amount of tHcy in serum/plasma. The measurement with the high pressure liquid chromatography (HPLC) method was applied by using fluorescence, electrochemical, mass spectrometry, and post-column derivatization detection (Refsum et. al., 1985; Refsum et. al., 1989; Ueland et. al., 1993; Ubbink, 2000; Alam et. al., 2019). HPLC method with fluorescence detection comes

2. Material and Method

2.1. Materials

Anti-Homosistein antibody (ab 6482) was purchased from Abcam, Sodium hydroxyde (NaOH), aseton (CH_3COCH_3), methanole (CH_3OH), cysteamine ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NS}$), $\text{Na}_2\text{HPO}_4\text{-NaH}_2\text{PO}_4$, glutaraldehyde (GA), tetraborate, HCl were purchased from Merck KGaA (Darmstadt, Germany). Quartz crystals with silver electrode (10 MHz, AT cut, MEC Quartz Limited Honkong & Mainland China) were purchased from Özdisan Limited Company (Turkey). QCM measurements on silver electrode surfaces were performed with a home-made temperature controlled quartz crystal microbalance system designed and

forward due to its principal and the most preferred procedure after certain modifications or derivatizations. There are other reports for the determination of Hcy based on electrochemical aptasensor (Kim et. al., 2017), enzyme-linked and fluorescence polarization immunoassays (Frantzen et. al., 1998; Tewari et. al., 2006), fluorescence probe method (Kang et. al., 2017), Immunonephelometric Method (Zappacosta et. al., 2006) Electrochemical methods (Madasamy et. al., 2015) and colorimetric (Wang et. al., 2016).

The quartz crystal microbalance (QCM) method is based on the piezoelectric effect and known as simple, cost effective, and high-resolution mass sensing technique with wide detection range including nanogram levels (Bunde et. al., 1998; Marx, 2003). The resonant frequency change of a QCM is on the order of MHz and the frequency change of 5 MHz has a corresponding thickness of $\sim 330 \mu\text{m}$. The mathematical relationship of a frequency change on the crystal surface for adsorbed mass was demonstrated by Sauerbrey in 1959 (Dixon, 2008). QCM based researches on the measurement of most organophosphore and carbamate pesticide (Karousas et. al., 2002), antigen/antibody interaction (Liu et. al., 2004), blood coagulation density and immune complement activation on artificial surfaces (Andersson et. al., 2005), the human metastatic breast cancer cells, MDA MB 231 cells (Bakhshpour et. al., 2019), histidine (Sönmezler et. al., 2018), and immunosensor for the detection of *Salmonella Typhimurium* (Fulgione et. al., 2017) were investigated.

Therefore, the detection and quantifying of Hcy for use in academic studies and/or clinic applications is very important. In current study, QCM based detection of Hcy by measuring resonant frequency change was developed. The silver electrode surfaces of quartz crystals were modified with several steps. The Hcy specific ligand (homocysteine antibody) was immobilized on modified silver electrode surface and the optimization of antibody amount was performed to investigate the convenient working concentration. The calibration range of Hcy biosensing was determined and the detection limit were estimated. So, a new Hcy biosensing method is crucial for high sensitivity and also to lessen the time, expenditure, and pretreatment processes.

constructed by our group (Kocum et. al., 2010). Ultrapure water was used throughout the research.

2.2. Surface modifications of silver electrode quartz crystals

The surfaces of silver electrodes were modified in order to achieve a chemical modification or immobilization process. The pretreatment steps were composed of cleaning, activation, and immobilization of functional groups. The experimental procedures of surface activation, cysteamine and glutaraldehyde immobilizations were given in details below (Figure 1).

The designed QCM system can measure the frequency of two electrodes and gives the frequency change of electrodes comparatively in order to compare frequency difference of two electrodes and diminish the errors may come from the device. So, the frequency difference of two untreated crystals were measured at first. Then the first procedure was applied to one of the electrodes while other was kept untreated and again frequency change was measured. In the second step, the same process was applied to untreated electrode but second step was done to other electrode and followed by frequency change measurement. These stages were applied till the final experimental step was reached.

Surface modification steps were performed as previously reported (Ayhan et al., 2007; Erdamar et al., 2008). Briefly, silver electrode quartz crystals were cleaned by immersing consecutively to 0.5 M NaOH solution, acetone, and methanol for 30 min. The electrode surfaces were washed with deionized water to desorb the physically bounded molecules. The frequency changes were recorded in each surface cleaning stage after dried at 37°C for 30 min. The silver electrode surfaces were functionalized with cysteamine molecule to perform self-assembled monolayer, which has a thiol (SH) and an amine (NH₂) end group. The immobilization of functional molecule was carried out with 18 mM cysteamine concentration in 0.1 M phosphate buffer (pH=7) conditions for 2 hr in dark. The frequency of the rinsed and dried electrodes were recorded. The bifunctional reagent, glutaraldehyde was used as spacer arm through Schiff's base reaction with free amine group end of cysteamine. Silver electrode quartz crystals were soaked in glutaraldehyde solution whose concentration was adjusted to 0.66 M in sodium tetraborate/HCl buffer (pH: 8.2) and kept in dark for 2 h. The frequency changes were measured after washing and drying processes were completed as mentioned before. So, spacer arm bounded silver electrode quartz crystal surface was attained.

2.3. Immobilization of the specific diagnostic molecule

In this stage, Hcy specific molecule, anti-Hcy antibody was immobilized to spacer arm bounded silver electrode quartz crystal surface.

Hcy antibody solutions were prepared by diluting in 0.1 M PBS (phosphate buffered saline), pH 7.4. The concentration of stock antibody solution was adjusted as 1/2000 dilution. The immobilization of anti-Hcy antibody was carried out in 3 mL antibody solution for 30 min at room temperature with slowly stirring. The unbound antibody was washed in ultra pure water and dried. Five different dilution ratios were selected as antibody concentrations in order to estimate the linear range of antigen-antibody coupling. All stock solutions were kept at +4°C until use within one week and all the experiments were performed in sterile environmental conditions to avoid contamination in specific molecule containing solutions. The schematic presentation of the proposed reaction sequence was given in Fig. 1.

3. Validation of the method: estimation of calibration curves, quantification and detection limits

Antibody coupled silver electrode crystals were treated with antigen, Hcy in order to investigate the detection limit and linear concentration range of Hcy. The linearity of method was tested in the 0,1-50 μM range. All the Hcy standard solutions were prepared from 50 μmol/L stock standard Hcy solution in 0.1 M PBS, pH 7.4, stored at +4°C and usage was adjusted to complete within one week. Fresh 0.1 M PBS at pH 7.4 was prepared before each experimental study. Anti-Hcy antibody immobilized silver electrode quartz crystals were waited in 3 mL Hcy solution for 30 min on magnetically stirrer at room temperature. Then, silver electrode crystals were washed in PBS and ultra pure water and frequency changes were recorded after drying process. The experimental results were evaluated to obtain linear regression equations, experimental linear ranges, determination coefficients (r²), limits of detection and quantification. It will be favourable work outcome if the detection and quantification levels cover the concentration level of the animal models. All the frequency changes were recorded after readings were stabilized. The results were reported as the average of at least three experimental results.

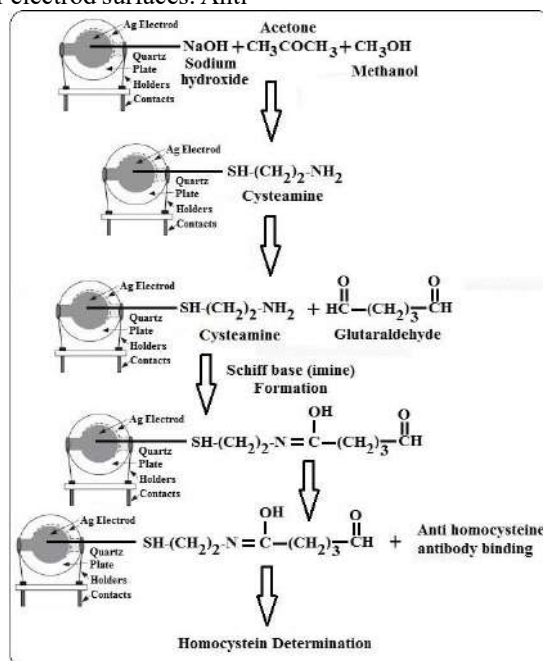


Figure 1. Schematic Representation of the proposed Silver Piezo Crystal electrode Surfaces Modification steps and Immobilization of the specific diagnostic molecule.

3. Results and Discussion

3.1. QCM experiments

Silver electrode quartz crystals are sensitive to temperature and humidity changes which is regarded as their disadvantage. So, the estimation of temperature dependence of silver electrodes was performed in the first stage of the research study. QCM system have a chamber that can also be adjusted to control the temperature (Figure 2).

The frequency change of untreated electrodes of 10 MHz for 20-37°C temperature range were given in Figure 3. Higher temperatures were examined due to denaturation probability of biological molecules when utilize them. Almost linear change in frequency values were observed in this range but low temperatures resulted with high frequency variation compared to higher temperature values for blank crystals.



Figure 2. QCM system a) general view of system with frequency counter on right, b) mounted silver electrode quartz crystals, c) temperature controller on crystal mounted chamber (red).

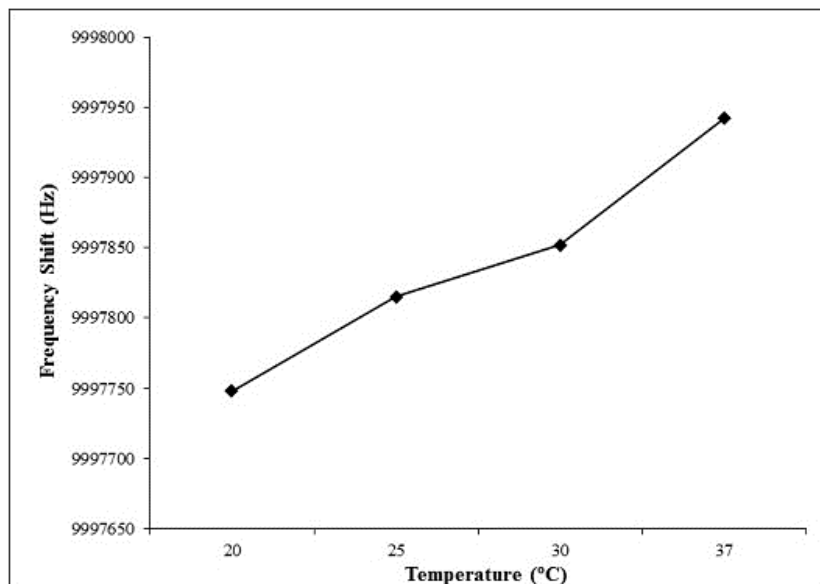


Figure 3. The relation between temperature and frequency of silver electrode quartz crystals.

3.2. Cleaning and activation of silver piezo crystal surface

Surface modifications, cleaning and activation steps were tested for different temperatures since the silver electrodes were found to be sensitive to temperature changes. First, the electrode surface needs to be cleaned or activated in order to make modifications. Therefore, the activation of electrode surface was carried out with a basic and an organic compound, NaOH and acetone, respectively, and then methanol cleaning steps. The biggest frequency change was estimated for methanol cleansing compound greatly due to formation of ($-OH$) groups on electrode surface. Then, silver surfaces were treated

with 18 mM cysteamine and 0.66 M GA and frequencies were determined after washing with water and dried (Ayhan, 2007; Ayhan, 2014). Cysteamine and glutaraldehyde modifications were also performed at 20, 25, 30, and 37°C. The frequency responses of silver electrodes with temperature were schematized in Figure 4. The experimental processing temperature seems to affect the frequency response. The frequency change of surface cleaning, cysteamine immobilization and glutaraldehyde modification tend to increase up to 30°C but show a remarkable decrease at 37°C. Figure 5 depicts the final frequency alteration of cleaning, activation, cysteamine and GA immobilization steps at four temperatures.

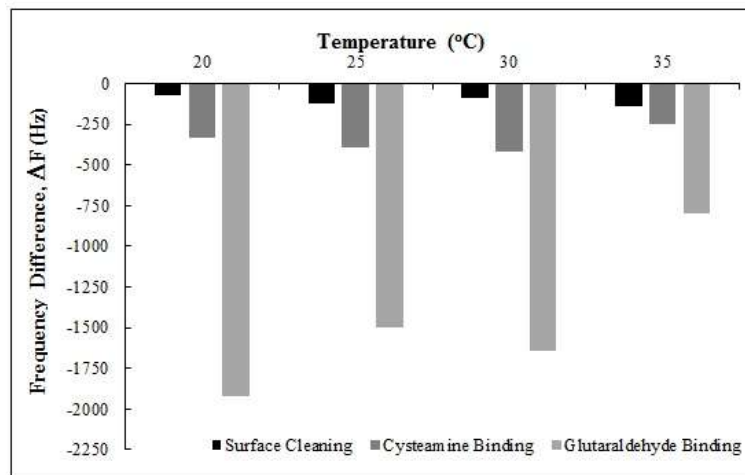


Figure 4. Frequency change for surface modification reactions at various temperatures.

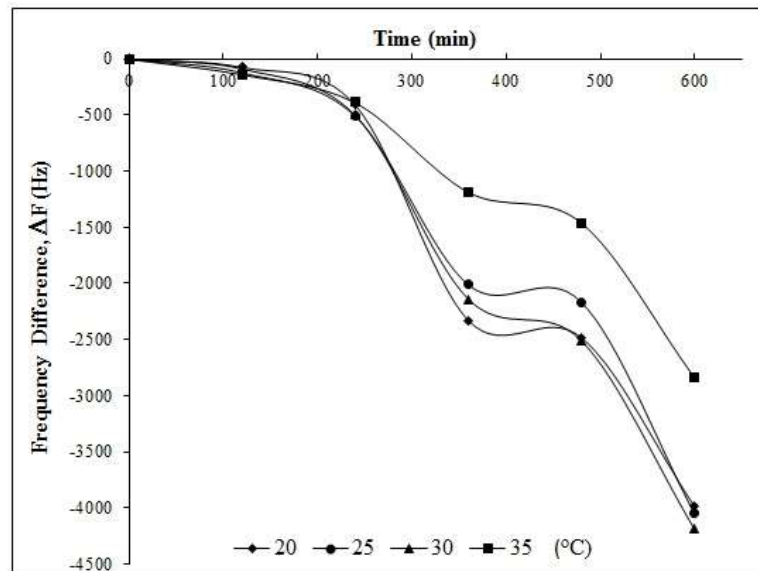


Figure 5. The effect of Temperature on Frequency Change of Crystals During the Process Steps.

3.3. The immobilization of biosensing molecule, anti-Hcy antibody

Anti-Hcy antibody was coupled to aldehyde group created on silver electrode in previous step. Starting dilution was done according to producer as 1/2000. The dilution was optimized by testing five concentrations from 1/2000 to 1/10000 v/v dilution range. The electrode was immersed to pH 7.4 PBS buffer and ultra pure water after treatment time was ended and dried at 35°C. QCM reading was recorded as monitor indicator stabilized. Hcy

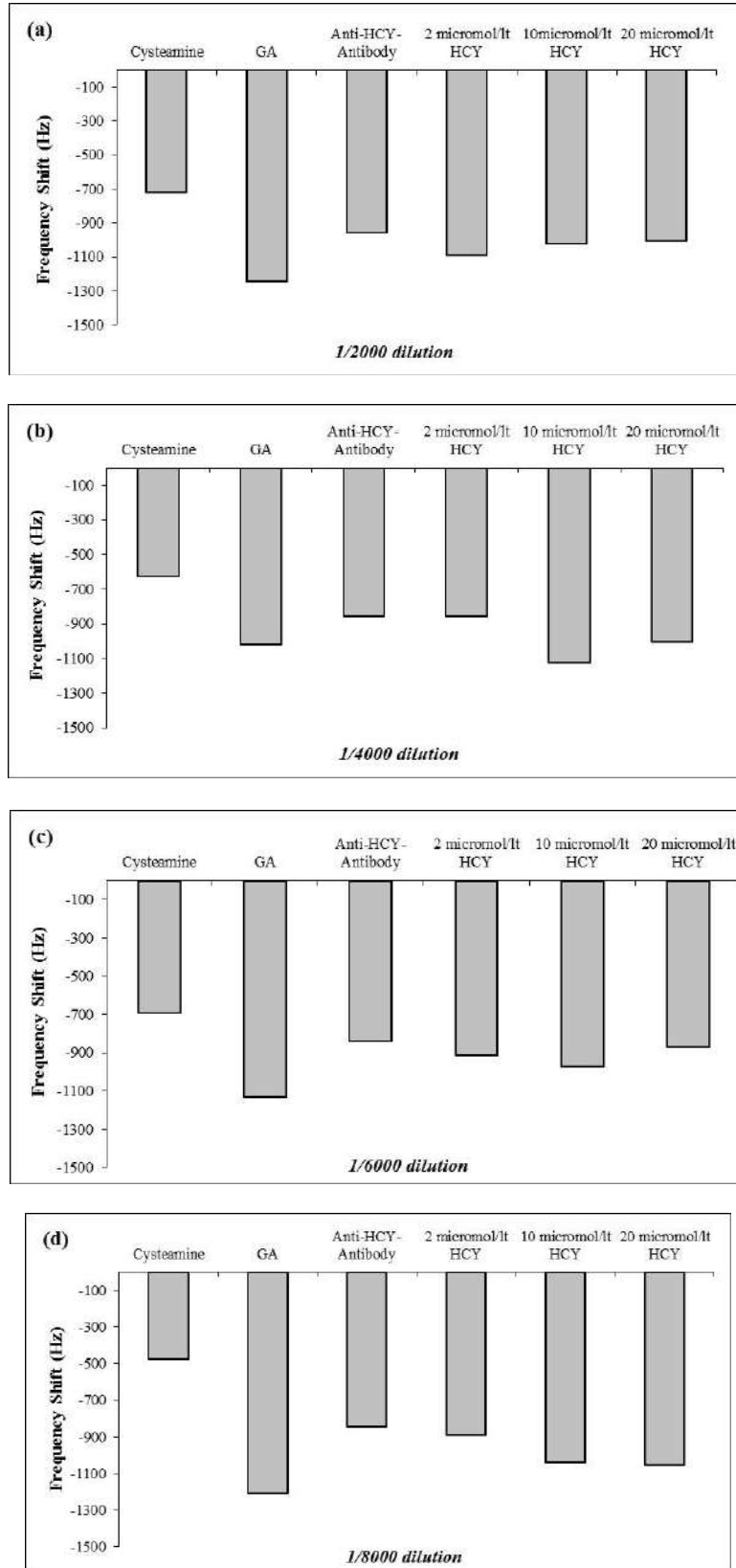
solutions of 2, 10, 20, 35, and 50 μM concentrations was analysed for each anti-Hcy antibody dilution. Frequency decrease values for 1/2000 v/v anti-Hcy antibody dilution after Cys immobilization step were given in Figure 6a. It can be seen that higher Hcy amount than surface bounded anti-Hcy antibody was bounded to silver electrode. The same phenomena can be said for greater Hcy concentrations. Therefore, dilution was increased to 1/4000 v/v and again biosensing frequencies were given in Figure 6b. Anti-Hcy antibody biosensing frequencies show fluctuation for Hcy concentrations bigger than 2 μM . A nonlinear response

can be seen also for 1/6000 and 1/8000 v/v dilutions (Figure 6c. and 6d.).

When antibody dilution rate of 1/10000 was used, it can be said that almost one-to-one correspondence was achieved for 2 and 10 μ M Hcy (Figure 6e). Therefore 1/10000 v/v dilution for anti-Hcy antibody was decided to apply in the following

experiments since this dilution sense more precise and less amount of antibody can be used.

Cysteamine was also successfully used as self-assembled molecule in surface modification applications in order to immobilize anti-human serum albumin for the detection of human serum albumin (Liu et. al., 2019).



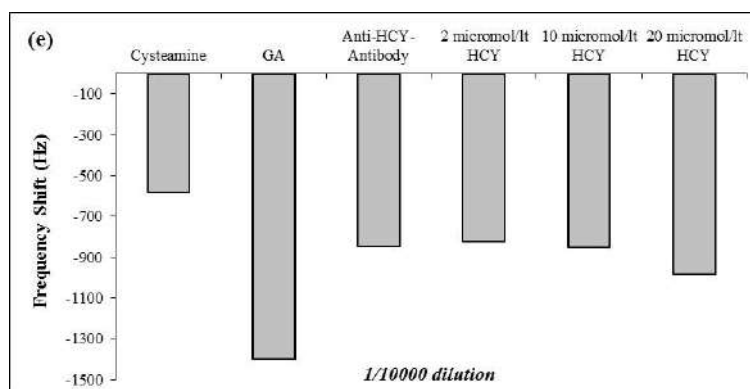


Figure 6. The frequency changes of various Anti-Hcy antibody dilutions silver electrode quartz crystals. Hcy dilution ratios: a) 1/2000; b) 1/4000; c) 1/6000; d) 1/8000; e) 1/10000 v/v.

3.4. Calibration curves

Hcy were tested from 0.1 μM to 50 μM concentration range in order to constitute calibration curve. Anti-Hcy antibody dilution was kept at 1/10000 ratio as decided in the previous section. Two calibration curves were obtained using four replicates. The linear responses for the 0.1 μM - 2 μM concentration range showed a regression coefficient of $r^2=0.9813$ (Figure 7a). The higher Hcy

concentration range from 10 μM -50 μM also resulted with a linear behaviour which regression coefficient was calculated as 0.9875 (Figure 7b). Precision tests were performed by the repeated frequency change readings of the same sample and relative standard deviation (RSD) value of 7.17 % was found. The level of RSD may come from random errors of the method stages especially sensitivity of silver electrode connection ends/pins.

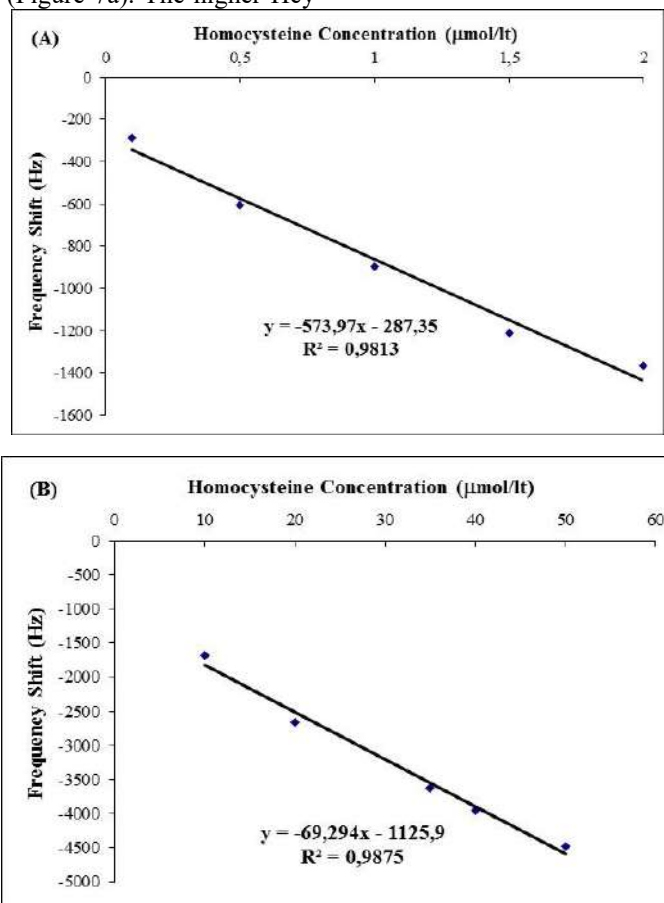


Figure 7. Calibration curves for a) 0,1-2,0 μM and b) 10-50 μM Hcy concentration ranges.

Hence, 1/10000 dilution rate of anti-Hcy antibody was successfully immobilized to silver electrode piezo crystal surfaces. The tested Hcy detection range resulted with two linearized range regarded as calibration curves. One was in the concentration range of 0.1-2.0 μM while other range was estimated as 10-50 μM Hcy concentration. The calibration curve of low Hcy levels can be advantageous for animal experiments in case less amounts of biological fluids have to be analysed (Likogianni et. al., 2006).

The second calibration range will provide Hcy detection in healthy people and patients (Özkan et. al., 2007).

A brief summary of the different detection methods for Hcy was shown in Table 1. The table gives the limit of detection of Hcy previously reported in the literature accessed by us. HPLC-Fluorescence method showed a sensitive detection after labeling of sulfur containing amino acids with 4-

(*N,N*-dimethylaminosulfonyl)-7-fluoro-2,1,3-benzoxadiazole (DBDF). An aptasensor was created by grafting of Hcy-Binding-Aptamer (HBA) onto the surface of Au nanoparticles/Glassy Carbon Electrode (Au/GCE). Two methods report the limit of

detection as 0.13 μM and 0.01 μM , respectively, In our study, we revealed a sensitive method by using the advantages of specific recognizing ligand and QCM technique for biomolecule sensing as 0.1 μM Hcy detection limit.

Table 1. The Comparison of Various Detection Methods of Homocystein

Detection system	Limit of detection	Refernces
Capillary electrophoresis 2010	12 $\mu\text{mol/L}$	Zinellu et al.,
Electrochemical Assay al., 2015	Moderate (16–30 μM), medium (30–100 μM) and severe (>100 μM)	Madasamy et.
Enzyme-Linked immunoassay al., 1998	8 to 27 mM.	Frantzen et.
Chemiluminescent 2006	4.9–62 $\mu\text{mol/Hcy}$	Tewari et. al.,
Fluorescence probe 2018	10^{-8} to 10^{-2} M (naked eye)	Xia et al.,
Iridium(III) complex	0.7 μM	Liu et al., 2019
Immunonephelometric Method al., 2006	0.5 μM	Zappacosta et.
UHPLC–MS/MS al, 2019	0.18 μM	Forgacsova et
HPLC-Flourescence 2013	0.13 μM	Wada et al.,
QCM biosensor	0.1 μM	This study
Apta sensor al., 2020	0.01 μM	Beitollahi et

In consequence, the deficiency of vitamin B6, B12, and folic acid, renal failure, and genetic variations in enzymes of Hcy metabolism may cause high plasma Hcy concentration levels. That’s why undesirable Hcy levels other than normal or cytotoxic values increase cardiovascular, serebrovascular, and peripheral arterial diseases risks. Therefore, blood Hcy concentrations have to be known in order to reveal the disease hazards. In the research,

4. Conclusions and Recommendations

The proposed QCM method was optimized for the Hcy detection based on the specific antibody-antigen interaction. The biosensor can detect two ranges of Hcy concentrations (0.1-2 $\mu\text{mol/L}$ and 10-50 $\mu\text{mol/L}$) with correlation coefficients of 0.9813 and 0.9875. The detection limit of the biosensor is 0.1 $\mu\text{mol/L}$.. The analysis of homocysteine was realized in two linear ranges, nano- and micro- molar concentration values with high sensitivity. Finally, a new method different from the present methods was proposed and developed which detects homocysteine by designed

References

Abraham, JM, Cho, L, (2010) The homocysteine hypothesis: Still relevant to the prevention and treatment of cardiovascular disease? (Review). *Cleveland Clinic Journal Of Medicine*, 77:911-18.
 Alam, S. F., Kumar, S., Ganguly, P., (2019). Measurement of homocysteine: a historical Perspective. *J. Clin. Biochem. Nutr.* November, 65, 3, 171–177.
 Andersson, M, Andersson, J, Sellborn, A, Berglin, M., Nilsson, B., Elwing, H, (2005). Quartz crystal microbalance-with dissipation monitoring (QCM-D) for real time measurements of blood coagulation density and immune complement activation on artificial surfaces. *Biosensors and Bioelectronics*, 21: 79-86.

we have performed the detection of Hcy with a different approach and method compared to other methods. The calibration curves can be used in high Hcy concentrations either for blood Hcy measurement or in low Hcy levels for small living tissues or organisms. The proposed method allows the detection of Hcy concentrations in nano amounts like 100 nM.

QCM technique with a rapid, cheeper and less pretreatment processes. In future works, other researches can be conducted with other kinds of biological thiol, human serum or urine samples to analyse Hcy in order to validate the method more precisely.

5. Acknowledge

This work was supported by the Scientific and Technological Reseach Council of Turkey (Grant No:105S052) for financial assistance. Special thanks to Prof. Dr. Hakan Ayhan and Prof. Dr. İ. Cengiz Koçum for their scientific suppor

Ayhan, F, Gülsu, A, Ayhan, H, (2007) Quartz Crystal Piezo Electrode Surface Modification for Gold Nano-particles Immobilization. *Haceteppe J. Biol. & Chem.*, 35: 203-208.
 Ayhan, F., Kaya, G., Ayhan, H. (2014). Homocysteine-BSA-affinity based biosensor design. *Turkish Journal of Biochemistry*, 9(3):383–396.
 Bakhshpour, M., Kevser Piskin, A., Yavuz, H., Denizli, A., (2019). Quartz crystal microbalance biosensor for label-free MDA MB 231 cancer cell detection via notch-4 receptor. *Talanta*, 204 840–845.
 Beitollahi, H., Zaimbashi, R., Mahani, M. T., Tajik, S., (2020). A label-free aptasensor for highly sensitive detection of homocysteine based on gold nanoparticles. *Bioelectrochemistry* 134, 107497.
 Bunde, RL, Jarvi, J, Rosentreter, JJ, (1998) Piezo electric quartz crystal biosensor, *Talanta*, 46: 1223-36.

- Clarke, R., (2007). Homocysteine, B vitamins, and the risk of dementia. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85:329–30.
- Dixon, M. C., (2008). Quartz Crystal Microbalance with Dissipation Monitoring: Enabling Real-Time Characterization of Biological Materials and Their Interactions. *Journal of Biomolecular Techniques* 19:151–158.
- Erdamar, A, Ayhan, F, Koçum, İC, Ayhan H, (2008) Urease Immobilized Piezoelectric Quartz Crystal for Urea Conversion. *Hacettepe J. Biol. & Chem.*, 36: 173-180.
- Forgacsova, A., Galba, J., Mojzisova, J., Mikus, P., Piestansky, J., (2019). Ultra-high performance hydrophilic interaction liquid chromatography – Triple quadrupole tandem mass spectrometry method for determination of cysteine, homocysteine, cysteinylglycine and glutathione in rat plasma. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 164, 442–451.
- Frantzen, F., Faaren A.L., Alfheim, I., Nordhei, A.K., (1998). Enzyme conversion immunoassay for determining total homocysteine in plasma or serum. *Clin Chem*, 44: 311–316.
- Fulgione, A., Cimafonte, M., Ventura, B. D., Iannaccone, M., Ambrosino, C., Capuano, F., Proroga, Y. T. R., Velotta, R., Capparelli, R., (2018). QCM-based immunosensor for rapid detection of *Salmonella Typhimurium* in food. *Scientific Reports*, 8:16137.
- Hankey GJ, Eikelboom JW, (1999). Homocysteine and vascular disease. *Lancet*, 354:407–13.
- Hasan, T., Arora, R., Bansal, A. K., Bhattacharya, R., Sharma, G. S., Singh, L. R., (2019). Disturbed homocysteine metabolism is associated with cancer. *Experimental & Molecular Medicine* 51:21.
- Hoffman, M, (2011) Hypothesis: Hyperhomocysteinemia is an indicator of oxidant stress. *Medical Hypotheses* 77: 1088–1093.
- Jiang, H., Li, C., Wei, B., Wang, Q., Zhong, J., Lu, J. (2018). Serum homocysteine levels in acne patients. *J Cosmet Dermatol*. 17:523–526.
- Kang, Y.F., Qiao, H.X., Meng, Y.L., Xin, Z.H., Ge, L.P., Dai, M.Y., Xu, J.J., Zhang, C.H., (2017). Selective detection of cysteine over homocysteine and glutathione by a simple and effective probe. *Anal. Methods* 9: 1707-1709.
- Karousos, N.G., Aouabdi, S., Way, A.S., Reddy SM, (2002). Quartz crystal microbalance determination of organophosphorus and carbamate pesticides, *Analytica Chimica Acta*, 469: 189–96.
- Kim, H.J., Lee, K.S., Jeon, Y.J., (2017). Electrochemiluminescent chemodosimeter based on iridium (III) complex for point-of-care detection of homocysteine levels *Biosens. Bioelectron.* 91, 497–503.
- Kocum, C., Erdamar, A. Ayhan, H., (2010) Design Of Temperature Controlled Quartz Crystal Microbalance System Instrumentation *Science & Technology*, 38:39-51.
- Kumar, A., Palfrey, H. A., Pathak, R., Kadowitz, P. J., Gettys, T. W., Murthy, S. N. (2017). The metabolism and significance of homocysteine in nutrition and health. *Nutrition & Metabolism* 14:78.
- Likogianni, V., Janel, N., Ledru, A., Beaune, P., (2006) Thiol compounds metabolism in mice, rats and humans: Comparative study and potential explanation of rodents protection against vascular diseases, *Clinical Chimica Acta*, 372: 140-6.
- Liu, Y, Zhang, W, Yu, X, Zhang, H, Zhao, R, Shangguan, D., Li, Y., Shen, B., Liu, G., (2004). Quartz crystal biosensor for real-time kinetic analysis of interaction between human TNF- α and monoclonal antibodies, *Sensors and Actuators: B*, 99: 416–24.
- Liu, Y., Wang, Q., Li, M., (2019). Aldehyde group functionalized iridium(III) complexes for the selective sensing of homocysteine. *Journal of Organometallic Chemistry*, 898, 120874.
- Madasamy, T., Santschi, C., Martin, O. J., (2015). A miniaturized electrochemical assay for homocysteine using screen-printed electrodes with cytochrome c anchored gold nanoparticles. *Analyst*, 140: 6071–6078.
- Marx, KA, (2003) Quartz Crystal Microbalance: A Useful Tool for Studying Thin Polymer Films and Complex Biomolecular Systems at the Solution-Surface Interface, *Biomacromolecules*, 4 : 1099 - 1120.
- McCully, K. S. (2007). Homocysteine, vitamins, and vascular disease prevention. *Am J Clin Nutr*; 86:1563S–8S.
- Nilsson, K., Gustafson, L., Hultberg, B., (2013). Elevated Plasma Homocysteine Level in Vascular Dementia Reflects the Vascular Disease Process. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra*. 3:16–24.
- Özkan, Y., Akaydin, S., Firat, H., Çalışkan-Can, E., Ardic, S., Şimşek, B., (2007). Usefulness of Homocysteine as a Cancer Marker: Total Thiol Compounds and Folate Levels in Untreated Lung Cancer Patients. *Anticancer Research* 27: 1185-1190.
- Refsum, H, Helland, S, Ueland, M, (1985) Radioenzymatic determination of homocysteine in plasma and urine. *Clin Chem* 31:624-628,
- Refsum, H, Ueland, M, Svardal, AM, (1989) Fully Automated Fluorescence Assay for Determining Total Homocysteine in Plasma, *Clinical Chemistry*, 35: 1921-7.
- Smith, A. D., Refsum, H., Bottiglieric, T., Fenech, M., Hooshmand, B., McCaddon, A., Miller, J. W., Rosenberg, I., H., Obeid, R., (2018). Homocysteine and Dementia: An International Consensus Statement. *Journal of Alzheimer's Disease*. 62, 561–570.
- Sönmezler, M., Özgür, E., Yavuz, H., Denizli, A., (2019), Quartz crystal microbalance based histidine sensor. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 47 (1) 221–227.
- Tewari, P.C., Zhang, B., Bluestein, B.L., (2004). Analytical and clinical evaluation of the Bayer ADVIA Centaur homocysteine assay. *Clin Chim Acta*; 342: 171–178.
- Ubbink, JB, (2000) Assay Methods for the Measurement of Total Homocyst(e)ine in Plasma. *Seminars in Thrombosis and Hemostasis*, 26:233-41.
- Ueland, PM, Refsum, H, Stabler, SP, Malinow MR, Andersson A, Allen RH, (1993) Total Homocysteine in Plasma or Serum: Methods and Clinical Applications (Review), *Clinical Chemistry*, 39: 1764-79.
- Wada, M., Hirose, M., Kuroki, M., Ikeda, R., Sekitani, Y., Takamura, N., Kuroda, N., (2013). Simultaneous determination of homocysteine, methionine and cysteine in maternal plasma after delivery by HPLC-fluorescence detection with DBD-F as a label. *Biomedical Chromatography*, 27, (6) 708-713.
- Wang, J., Ma, L., Liu, G., Ding, H., Pu, S., (2016). Cysteine and homocysteine chemosensor based on photochromic diarylethene with fluorine. *Tetrahedron*, 72, 8479-8485.
- Xia, Y., Zhanga, H., Zhu, X., Zhang, G., Yang, X., Li, F., Zhang, X., Fang, M., Yu, J., Zhou, H., (2018). A highly selective two-photon fluorescent chemosensor for tracking homocysteine via situ reaction. *Dyes and Pigments*, 155, 159–163.
- Zappacosta, B., Persichilli, S., Minucci, A., et al. (2006). Evaluation of a new enzymatic method for homocysteine measurement. *Clin Biochem*; 39: 62–66.
- Zhang, D., Wen, X., Wu, W., Guo, Y., Cui, W., (2015). Elevated Homocysteine Level and Folate Deficiency Associated with Increased Overall Risk of Carcinogenesis: Meta-Analysis of 83 Case-Control Studies Involving 35,758 Individuals. *PLOS ONE* 18, 1-16.
- Zinellu, A., Sotgia, S., Scanua, B., Pisanua, E., Sanna, M., Sati, S., Deiana, L., Sengupta, S., Carru, C., (2010). Determination of homocysteine thiolactone, reduced homocysteine, homocystine, homocysteine-cysteine mixed disulfide, cysteine and cystine in a reaction mixture by overimposed pressure/voltage capillary electrophoresis. *Talanta*, 82, 1281–128.



Ayrıştırma Yöntemlerinin Derin Öğrenme Algoritması ile Tanımlanan Rüzgâr Hızı Tahmin Modeli Başarımına Etkisinin İncelenmesi

Aytaç Altan^{1*}, Seçkin Karasu²

^{1*} Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7923-4528), aytacaltan@beun.edu.tr

² Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5277-5252), seckin.karasu@beun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 26 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 24 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.785699)

ATIF/REFERENCE: Altan, A. & Karasu, S. (2020). Ayrıştırma Yöntemlerinin Derin Öğrenme Algoritması ile Tanımlanan Rüzgâr Hızı Tahmin Modeli Başarımına Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 844-853.

Öz

Son on yılda, rüzgâr enerjisine dayalı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki kayda değer artış, bu kaynakların ihtiyaçlara kesintisiz ve tahmin edilebilir bir şekilde cevap verebilmesini sağlamak için rüzgâr hızı tahmin çalışmalarının önemini arttırmaktadır. Rüzgâr enerjisinden teknolojik olarak faydalanmak için; yararlanma imkânlarının bilinmesi, yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip bölgelerin belirlenmesi, rüzgâr karakteristiklerinin ve hızlarının tahmin edilebilir olması oldukça önemlidir. Güvenilir ve yüksek hassasiyetli rüzgâr hızı tahmini, rüzgâr gücünün verimli kullanımı ve kullanılması açısından hayati önem arz etmektedir. Rüzgâr hızının durağan olmaması ve stokastik yapısı, rüzgâr hızı tahmininde ayrıştırma yöntemlerini ön plana çıkarmaktadır. Bu çalışmada, ayrıştırma yöntemlerinden ampirik kip ayrışımı, topluluk ampirik kip ayrışımı ve ampirik dalgacık dönüşümünün derin öğrenme yöntemlerinden uzun-kısa süreli bellek ile elde edilen rüzgâr hızı tahmin modeli başarımına etkisi incelenmektedir. Türkiye'nin Marmara bölgesindeki üç rüzgâr istasyonundan toplanan veriler her bir ayrıştırma yöntemi ile alt bant sinyallerine ayrıştırılarak uzun-kısa süreli bellek model yapısı ile kombine rüzgâr hızı tahmin modeli oluşturulmaktadır. Her bir ayrıştırma yöntemi ile birlikte elde edilen kombine modellerin başarımları istatistiksel hata ölçütlerine göre değerlendirilmekte ve rüzgâr hızı tahmin modeli başarımına etkisi en yüksek ayrıştırma yöntemi, melez rüzgâr hızı tahmin modeli elde edilmesi çalışmalarında önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr hızı, Tahmin modeli, Ayrıştırma yöntemleri, Derin öğrenme, Uzun-Kısa Süreli Bellek, Ampirik Dalgacık Dönüşümü.

Investigation of the Effect of Decomposition Methods on Wind Speed Forecasting Model Performance Defined by Deep Learning Algorithm

Abstract

In the last decade, the significant increase in the use of renewable energy sources based on wind energy has increased the importance of wind speed forecasting studies to ensure that these resources can respond to the needs in an uninterrupted and predictable manner. In order to be able to utility from wind energy technologically, it is very important to knowing the facilities of utilization, determining the regions, which have high potential of wind energy, being predictable the wind characteristics and speeds. The reliable and high accuracy wind speed forecasting is of vital to the efficient exploitation and utilization of wind power. The non-stationary and stochastic structure of the wind speed raise to the forefront the decomposition methods in wind speed forecasting. In this study, the effect of empirical mode decomposition, ensemble empirical mode decomposition and empirical wavelet transform on the performance of wind speed forecasting model obtained with long-short term memory from deep learning methods is investigated. The data collected from five wind farms in Marmara region, Turkey are decomposed to subband signal by these three decomposition methods, and the combined wind speed

* Sorumlu Yazar: aytacaltan@beun.edu.tr

forecasting model is obtained with the long-short-term memory model structure. The performance of the combined models obtained by each decomposition method has been evaluated according to the statistical error criteria, and the decomposition method that is the highest effective to performance of wind speed forecasting model is suggested for the studies of obtaining the hybrid wind speed forecasting model.

Keywords: Wind speed, Forecasting model, Decomposition methods, Deep learning, Long-Short Term Memory, Empirical Wavelet Transform.

1. Giriş

Atmosferin alt katmanlarını kirleten diğer bütün fosil kökenli enerji kaynaklarına kıyasla temiz bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisi, dünyanın en hızlı büyüyen alternatif enerji teknolojilerinden biridir. Rüzgâr enerjisinin 2020 yılına kadar yenilenebilir enerjinin yaklaşık %40'ını sağlayan en önemli yenilenebilir enerji kaynağı haline geleceği öngörülmektedir (Scarlat et al. 2015). Türkiye'nin tahmin edilen ekonomik rüzgâr enerji potansiyelinin yaklaşık 50.000 MW olduğu, kurulu sistem kapasitesinin ise bu değer yaklaşık %10'u civarında olduğu bilinmektedir (Çakır 2010). Rüzgâr enerjisinden etkin bir şekilde faydalanılabilmesi için yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip bölgelerin belirlenmesi, rüzgâr karakteristiklerinin ve hızlarının yüksek doğrulukla tahmin edilmesi gerekmektedir. Rüzgâr rejiminin güvenilir ve yüksek doğrulukla modellenmesinde, rüzgâr hızının durağan olmaması ve stokastik yapısı nedeniyle tekli modellerin tahmin başarımlarının belirli bir seviyenin altında kaldıkları görülmektedir. Bu çalışmada, melez rüzgâr hızı tahmin modellerinde sıklıkla kullanılan ayrıştırma yöntemlerinden ampirik kip ayrıştırma (empirical mode decomposition-EMD), topluluk ampirik kip ayrıştırma (ensemble empirical mode decomposition-EEMD) ve ampirik dalgacık dönüşümünün (empirical wavelet transform-EWT) derin öğrenme yöntemlerinden uzun-kısa süreli bellek (long-short term memory-LSTM) ile elde edilen rüzgâr hızı tahmin modeli başarımına etkisi incelenmektedir.

Rüzgâr enerjisi kullanım sürecinde yüksek doğrulukla rüzgâr hızı tahmini, rüzgâr çiftliği tasarımı ve elektrik şebekesinin işletimi açısından kritik öneme sahiptir (Liu et al. 2018). Fiziksel, istatistiksel ve yapay zekaya dayalı tekli modellerle birlikte ayrıştırma ve optimizasyon yöntemlerini içeren melez modeller rüzgâr hızı tahmininde sıklıkla kullanılmaktadır (Lange and Focken 2006; De Giorgi et al. 2011; Karasu et al. 2017; Li and Shi 2010; Li et al. 2018).

Fiziksel modeller, arazi, engel, engebe, atmosferik basınç ve ortam sıcaklığı gibi fiziksel veriler yardımıyla uzun vadeli rüzgâr hızı tahmininde kullanılmaktadır. Ayrıca, fiziksel modeller rüzgâr hızı tahmininde istatistiksel modellerin yardımcı girişi olarak da sıklıkla kullanılmaktadır. Hesaplama işlemlerinde yüksek maliyete ve hesaplama karmaşıklığına sahip olan fiziksel modellerin kısa vadeli rüzgâr hızı tahmininde yetersiz kaldığı bilinmektedir (Du et al. 2017). Kısa vadeli rüzgâr hızı tahmininde, geçmiş rüzgâr hızı zaman serisi verilerini kullanan istatistiksel yöntemler sıklıkla tercih edilmektedir. Kısa vadeli rüzgâr hızı tahmininde kullanılan istatistiksel yöntemler doğrusal ve doğrusal olmayan modelleri içermektedir. Doğrusal modeller arasında doğrusal regresyon, otoregresif (autoregressive-AR), Kalman filtreleme, otoregresif hareketli ortalama (autoregressive moving average-ARMA), otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (autoregressive integrated moving average-ARIMA) modelleri yer almaktadır (Riahy and Abedi 2008; Akçay and Filik 2017; Sfetsos 2010; Cadenas et al. 2016). Rüzgâr hızının durağan

olmaması ve stokastik yapısı nedeniyle bu modeller yardımıyla elde edilen rüzgâr hızı tahmin modellerinin başarımı tatmin edici seviyede olmamaktadır. Rüzgâr hızı zaman serisi verilerinin doğrusal olmayan yapısı nedeniyle doğrusal olmayan otoregresif (nonlinear autoregressive-NAR) ve doğrusal olmayan otoregresif dış kaynaklı (nonlinear autoregressive exogenous-NARX) modelleri rüzgâr hızı tahmininde kullanılmaktadır (Karasu et al. 2017; Karasu et al. 2017b).

Rüzgâr hızı zaman serilerinin doğrusal olmayan karakteristiklerinin yakalanarak rüzgâr hızının yüksek doğrulukla tahmin edilebilmesi için yapay zekâya dayalı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında yapay sinir ağı (artificial neural network-ANN), bulanık mantık (fuzzy logic-FL), çok katmanlı algılayıcı (multi-layer perceptron-MLP), geri yayımlı sinir ağı (back propagation neural network-BPNN), Elman sinir ağı (Elman neural network-ENN), evrişimli sinir ağı (convolutional neural network-CNN), tekrarlayan sinir ağı (recurrent neural network-RNN), LSTM ağı ve dalgacık sinir ağı (wavelet neural network-WNN) yer almaktadır (Li and Shi 2010; Mohandes et al. 2011; Liu et al. 2015; Sun and Wang 2018; Liu et al. 2015; Chen et al. 2018). Rüzgâr hızı tahmininde bu yöntemler tekli model olarak kullanılabilirdiği gibi melez modeller içerisinde de kullanılabilir (Liu et al. 2012; Liu et al. 2018; Liu et al. 2018b).

Ayrıştırma yöntemleri ve optimizasyon algoritmaları ile birlikte yapay zekaya dayalı modelleri içeren melez yapıdaki rüzgâr hızı tahmin modelleri tekli modellere göre daha yüksek başarımla rüzgâr hızını tahmin edebilmekte, rüzgâr hızı zaman serilerinin belirsizliği ve durağan olmayan yapısı ile daha etkin biçimde başa çıkabilmektedir (Liu et al. 2015; Ma et al. 2017). Melez yapıda rüzgâr hızı tahmin modellerinin elde edilmesinde farklı ayrıştırma yöntemleri ve optimizasyon yöntemleri ayrı ayrı yada birlikte kullanılmaktadır. Yu ve arkadaşları (Yu et al. 2017) tarafından rüzgâr hızı tahmin modelinin doğruluğunun iyileştirilmesinde EMD, EEMD ve uyarlamalı gürültü ile komple topluluk ampirik kip ayrıştırma (complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise-CEEMDAN) yöntemlerinin ENN modeli üzerindeki etkisi incelenmektedir. Rüzgâr hızı zaman serileri ayrıştırma yöntemleri ile alt bantlarına ayrılmakta ve en yüksek frekans verilerinin daha ileri düzeyde ele alınabilmesi için tekil spektrum analizinden (singular spectrum analysis-SSA) faydalanılmaktadır. CEEMDAN ayrıştırma yönteminin diğer iki ayrıştırma yöntemine göre rüzgâr hızı tahmin modelinin performansını daha fazla iyileştirdiği belirtilmektedir. Yüksek hassasiyetli ve çok adımlı rüzgâr hızı tahmini için Liu ve arkadaşları (Liu et al. 2015) tarafından hızlı topluluk ampirik kip ayrıştırma (fast ensemble empirical mode decomposition-FEEMD), MLP ve zihinsel evrimsel optimizasyon algoritması içeren melez bir rüzgâr hızı tahmin modeli önerilmektedir. Rüzgâr hızı zaman serileri FEEMD algoritması ile bir dizi alt bantlara ayrıştırılmaktadır. Zihinsel evrimsel algoritma (mind evolutionary algorithm-MEA) tarafından optimize edilen MLP sinir ağları ile ayrıştırılan her bir rüzgâr hızı alt bandı tahmin edilmektedir. FEEMD algoritmasının, MLP sinir ağlarının tahmin

performansını önemli ölçüde arttırdığı belirtilmektedir. Liu ve arkadaşları (Liu et al. 2018) tarafından güvenilir ve yüksek hassasiyetli rüzgâr hızı tahmini için dalgacık paketi ayrıştırma (wavelet packet decomposition-WPD), CNN ve LSTM tabanlı melez rüzgâr hızı tahmin modeli önerilmektedir. Önerilen modelde rüzgâr hızı zaman serileri WPD yardımıyla bir dizi alt bantlara ayrıştırılmaktadır. Elde edilen en yüksek frekanslı alt bantların tahmini bir boyutlu CNN algoritması ile gerçekleştirilmektedir. Düşük frekanslı bantların tahmininde ise CNN-LSTM melez derin öğrenme algoritması kullanılmaktadır. Özellikle rüzgâr hızının ani değişimlerinin tahmin edilmesinde önerilen yöntemin iyi tahmin performansına sahip olduğu ifade edilmektedir. Rüzgâr hızı tahmin modellerinde tahmin doğruluğunun artırılabilmesi için rüzgâr hızı zaman serilerindeki doğrusal olmayan ve durağan olmayan durumların azaltılması gerekmektedir. Gerçek zamanlı ayrıştırmaya dayalı tahmin modellerinde tahmin performansına etki eden faktörler Jiang ve Huang (Jiang and Huang 2017) tarafından incelenmektedir. Özellik seçimi ve hata düzeltme ile birlikte kullanılan EMD algoritmasının, rüzgâr hızı zaman serilerindeki doğrusal olmayan ve durağan olmayan durumları azalttığı belirtilmektedir. Önerilen modelin gerçek zamanlı ayrıştırmaya dayalı rüzgâr hızı tahmin modeli performansını iyileştirdiği ifade edilmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde özellikle son zamanlarda rüzgâr hızı tahmin modeli elde edilmesinde ayrıştırma yöntemlerinin melez model yapıları içerisinde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda, ayrıştırma yöntemlerinin rüzgâr hızı zaman serilerindeki doğrusal olmayan ve durağan olmayan durumları azaltmada etkin olduğu belirtilmektedir.

Rüzgâr hızı tahmininde tekli modellerin tahmin performansının melez modellerin tahmin performansına göre daha düşük olduğu yapılan çalışmalardan bilinmektedir (Liu et al. 2012; Liu et al. 2018; Liu et al. 2018b). Ancak, derin öğrenme yöntemleri ile oluşturulan tekli rüzgâr hızı tahmin modellerinin tahmin başarımlarının diğer tekli rüzgâr hızı tahmin modellerinin tahmin başarımına göre daha iyi olduğu ifade edilmektedir (Hu and Chen 2018). Ayrıştırma yöntemlerinin derin öğrenme algoritması ile oluşturulan modeller üzerindeki etkisinin belirlenmesi, rüzgâr hızının yüksek doğrulukla tahmin edilmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu çalışmada, rüzgâr hızı tahmin modeli oluşturulmasında sıklıkla kullanılan üç ayrıştırma yönteminin derin öğrenme yöntemlerinden LSTM ile oluşturulan tahmin modeli üzerindeki etkisi incelenmektedir. Tekli derin öğrenme modelinin başarımı ve her bir ayrıştırma yöntemi ile birlikte elde edilen melez modellerin başarımları istatistiksel hata ölçütlerine göre değerlendirilmekte ve rüzgâr hızı tahmin modeli performansına en fazla iyileştirici katkı sağlayan ayrıştırma yöntemi gerçek zamanlı melez rüzgâr hızı tahmin modeli elde edilmesi çalışmaları için önerilmektedir. Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, EMD, EEMD ve EWT ayrıştırma algoritmaları ve bu algoritmaların rüzgâr hızı zaman serileri için LSTM algoritmasına nasıl uygulandığı belirtilmektedir. Üçüncü bölümde, EMD, EEMD ve EWT ayrıştırma algoritmaları ile oluşturulan derin öğrenme modelleri sunulmaktadır. Dördüncü bölümde, önerilen ayrıştırma yöntemi ile elde edilen melez modelin ve diğer ayrıştırma yöntemleri ile elde edilen melez modellerin deneysel sonuçları sunulmakta ve tartışılmaktadır. Son olarak, çalışmanın sonuçları beşinci bölümde vurgulanmaktadır.

2. Ayrıştırma Yöntemleri

Bu bölümde, rüzgâr hızı tahmini için oluşturulan melez modellerin içerisinde yer alan EMD, EEMD ve EWT ayrıştırma algoritmaları açıklanmaktadır.

2.1. Ampirik Kip Ayrıştırma

Doğrusal olmayan ve durağan olmayan sinyalleri işlemek için Huang ve arkadaşları (Huang et al. 1998) tarafından geliştirilen EMD tekniğinde, karmaşıklık durumuna bağlı olarak verilerin aynı anda birçok farklı eş zamanlı salınım moduna sahip olabileceği varsayılmaktadır. Bu içsel modlar orijinal zaman serilerinden verilerin yerel karakteristik ölçeğine dayanılarak çıkarabilmektedir. Her bir içsel mod aşağıdaki iki koşulu sağlayan bir içsel mod fonksiyonu (intrinsic mode function-IMF) olarak ifade edilebilir (Zhang et al. 2008):

- Fonksiyonlar aynı sayıda ekstremum ve sıfır geçişi sahiptir veya en fazla bir farklılık gösterir;
- Fonksiyonlar, yerel sıfır ortalamasına göre simetriktrir.

Belirtilen bu iki koşul bir IMF'nin hemen hemen periyodik bir fonksiyon olmasını ve ortalamasının sifira ayarlanmasını sağlamaktadır. Bir $x(t)$ sinyali verildiğinde, EMD'nin etkin algoritması aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

- $x(t)$ zaman serisinin tüm ekstremumları tanımlanır,
- Üst ve alt zarflar ($e_{min}(t)$ ve $e_{max}(t)$) kübik spline interpolasyonu ile oluşturulur,
- Ortalama $m(t) = (e_{min}(t) + e_{max}(t))/2$ hesaplanır,
- $x(t)$ zaman serisi ortalama zaman serisinden çıkarılır ve $d(t) = x(t) - m(t)$ olarak tanımlanır,
- $d(t)$ 'nin özellikleri kontrol edilir;
 - $d(t)$ bir IMF ise; $d(t)$ i 'nci IMF olarak belirlenir ve $x(t)$, kalıntı ($r(t) = x(t) - d(t)$) ile değiştirilir,
 - $d(t)$ bir IMF değil ise; $x(t)$, $d(t)$ ile değiştirilir.
- $r(t)$, durma şartlarını (Huang et al. 2003) yerine getirene kadar (i)-(v) adımları tekrarlanır.

2.2. Topluluk Ampirik Kip Ayrıştırma

Durağan olmayan ve/veya doğrusal olmayan sinyal işlemede yaygın olarak kullanılan EMD yönteminin genellikle geniş ölçüde farklı ölçeklerden oluşan tek bir IMF veya farklı IMF bileşenlerinde bulunan benzer bir ölçeğin sinyalinden oluşan tek bir IMF olarak tanımlanan mod karışımından sıkıntı yaşadığı bilinmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için Wu ve Huang (Wu and Huang 2009) tarafından EEMD önerilmiştir. EEMD, gerçek IMF bileşenlerini bir dizi denemenin ortalaması olarak tanımlamaktadır. Her deneme, sinyalin ayrışma sonuçlarına ilave olarak bir sonlu genlikli beyaz gürültüden oluşmaktadır. Beyaz gürültü, tüm zaman-frekans alanını farklı ölçeklerin oluşturucu bileşenleri ile eşit olarak doldurmaktadır. Homojen dağılımı beyaz arka plana sinyal eklendiğinde, farklı ölçeklerdeki sinyal bitleri otomatik olarak arka plandaki beyaz gürültü tarafından belirlenen uygun referans ölçeklerine yansıtılmaktadır. Her denemedeki gürültü ayrı denemelerde farklı olduğundan, toplulukta yeterli denemelerin ortalaması iptal edilir. Topluluk ortalaması gerçek cevap olarak kabul edilir. Çünkü topluluğa daha fazla deneme eklendikçe, sonuçta tek kalıcı kısım sinyaldir. Burada ileri sürülen kritik kavram aşağıdaki gözlemlere dayanmaktadır:

- Beyaz gürültünün toplamı, zaman-uzay topluluğu ortalamasında birbirini yok eder; bu nedenle, gürültü eklenmiş son sinyal topluluğu ortalamasında sadece sinyal hayatta kalır.

- Topluluğu mümkün olan tüm çözümleri tüketmeye zorlamak için bölünemeyecek kadar küçük olmayan sonlu genlik beyaz gürültü gereklidir; sonlu büyüklük gürültüsü, farklı ölçek sinyallerinin ikili filtre bankaları tarafından dikte edilen ilgili IMF'de kalmasını sağlar ve ortaya çıkan topluluğun ortalamasını daha anlamlı hale getirir.

- EMD için gerçek ve fiziksel olarak anlamlı cevap gürültüsüz değildir; gürültü eklenmiş sinyalden oluşan çok sayıda denemenin topluluk ortalaması olarak belirlenmiştir.

EEMD, sonlu genlikli beyaz gürültünün farklı gerçekleştirmelerine eklenen bir veri ayrıştırma grubundan oluşur ve daha sonra nihai sonuç olarak farklı ayrışmalardan karşılık gelen IMF'lerin araçlarını alır. EEMD, "gerçek" IMF bileşenlerini, orijinal $x[n]$ sinyaline sonlu varyansın beyaz gürültüsünün farklı gerçekleştirmelerinin eklenmesi ile oluşturulan denemelerin bir topluluğu üzerinden EMD aracılığıyla elde edilen IMF'lerin ortalaması olarak tanımlar. EEMD algoritması aşağıda sunulmaktadır.

(i) $x^{(i)} = x + \beta w^{(i)}$ üretilir. Burada $\beta > 0$ ve $w^{(i)}$ ($i = 1, \dots, I$) beyaz Gauss gürültüsü (white Gaussian noise-WGN)'nin farklı gerçekleştirmeleridir,

(ii) Her $x^{(i)}$ ($i = 1, \dots, I$) EMD tarafından ayrıştırılır ve $d_k^{(i)}$ modları elde edilir. Burada $k = 1, \dots, K$ modları ifade eder,

(iii) x 'in k 'ncü moduna karşılık gelen \bar{d}_k alınır, karşılık gelen modların ortalaması elde edilir,

$$\bar{d}_k = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I d_k^{(i)} \quad (1)$$

$$\hat{\psi}_n(\Omega) = \begin{cases} 1 & \\ \cos \left[\frac{\pi}{2} \alpha \left(\frac{1}{2\tau_{n+1}} (|\Omega| - \Omega_{n+1} + \tau_{n+1}) \right) \right] & \\ \sin \left[\frac{\pi}{2} \alpha \left(\frac{1}{2\tau_n} (|\Omega| - \Omega_n + \tau_n) \right) \right] & \\ 0 & \end{cases}$$

eğer $(1 + \rho)\Omega_n \leq |\Omega| \leq (1 - \rho)\Omega_{n+1}$

eğer $(1 - \rho)\Omega_{n+1} \leq |\Omega| \leq (1 + \rho)\Omega_{n+1}$

eğer $(1 - \rho)\Omega_n \leq |\Omega| \leq (1 + \rho)\Omega_n$

aksi durumda

(2)

$$\hat{\phi}_n(\Omega) = \begin{cases} 1 & \\ \cos \left[\frac{\pi}{2} \alpha \left(\frac{1}{2\tau_n} (|\Omega| - \Omega_n + \tau_n) \right) \right] & \\ 0 & \end{cases}$$

eğer $|\Omega| \leq (1 - \rho)\Omega_n$

eğer $(1 - \rho)\Omega_n \leq |\Omega| \leq (1 + \rho)\Omega_n$

aksi durumda

(3)

Denklem 2 ve 3 ile tanımlanabilmektedir. Burada, $\alpha(x)$ rastgele bir fonksiyondur ve

$$\alpha(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } x \leq 0 \\ \alpha(x) + \alpha(1 - x) = 1 & \text{eğer } \forall x \in [0, 1] \\ 1 & \text{eğer } x \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

olarak tanımlanmıştır. Dar çerçevenin durumu,

EEMD'de her x^i diğer gerçekleştirmelerden bağımsız olarak ayrıştırılır ve her biri için her aşamada farklı gerçekleştirmeler arasında herhangi bir bağlantı olmadan bir artık terim $R_k^i = R_{k-1}^i - d_k^i$ elde edilir. Yeniden oluşturulan sinyal artık terim gürültüsü içerir ve sinyalin farklı gerçekleştirmeleri modların farklı sayılarını üretebilmektedir. EEMD kullanarak ayrışmanın etkileri, eklenen beyaz gürültü serilerinin karşılık gelen IMF'lerin nihai ortalamasında birbirlerini iptal etmeleridir; ortalama IMF'ler doğal ikili filtre pencerelerinde kalır ve bu nedenle mod karıştırma ve ikili özelliği koruma şansını önemli ölçüde azaltır.

2.3. Ampirik Dalgacık Dönüşümü

EWT, uyarlanabilir dalgacıklar oluşturarak bir zaman serisinin farklı içsel modlarını çıkarmak için Jérôme Gilles (Gilles 2013) tarafından önerilmiştir. Durağan olmayan sinyal analizi için önerilen EWT, sinyalin bilgi içeriğine dayanan uyarlanabilir bir sinyal ayrışma yöntemidir. Esas olarak üç adımdan oluşan EWT ayrışma algoritmasında, ilk adımda hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak uygulanan sinyalin frekans bileşenleri belirlenmektedir. İkinci adımda, Fourier spektrumunun uygun segmentasyonu elde edilerek farklı içsel modlar alt-bant sinyalleri olarak çıkarılmaktadır. Son adımda, belirlenen her bir segmente karşılık gelen ölçekleme ve dalgacık fonksiyonları uygulanmaktadır.

Ampirik dalgacıklar her Λ_n üzerinde bant geçiren filtreler olarak tanımlanabilir. Burada, Λ_n her bir $\Lambda_n = [\Omega_{n-1}, \Omega_n]$ segmentini temsil etmektedir. Her bir segment arasındaki sınırlar Ω_n ile ifade edilmektedir. Bu sınır belirlenir iken $\Omega_0 = 0$ ve $\Omega_n = \pi$ alınmakta ve $\cup_{n=1}^N \Lambda_n = [0, \pi]$ olarak tanımlanmaktadır.

Ampirik dalgacık fonksiyonu ve ampirik ölçekleme fonksiyonu $\forall n > 0$ için sırasıyla;

$$\rho < \min_n \left(\frac{\Omega_{n+1} - \Omega_n}{\Omega_{n+1} + \Omega_n} \right) \quad (5)$$

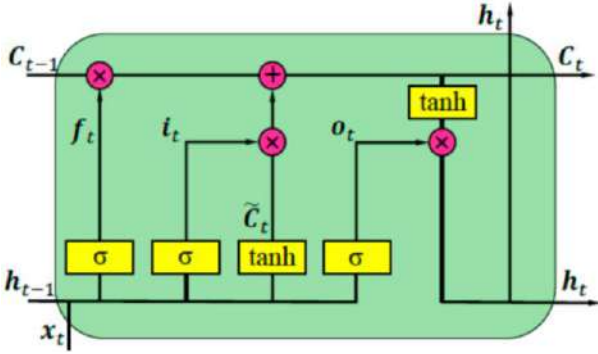
olarak ifade edilebilmektedir. Katsayılar yaklaşık olarak ampirik dalgacık ve ampirik ölçekleme fonksiyonları ile uygulanan $y(t)$ sinyalinin iç çarpımından elde edilmektedir.

3. Melez Rüzgâr Hızı Tahmin Modelleri

Bu bölümde, çalışmada ele alınan ayrıştırma yöntemlerinin derin öğrenme alanında kullanılan ve yapay bir tekrarlayan sinir ağı mimarisine sahip olan LSTM üzerindeki etkisinin incelenmesi için her bir ayrıştırma yöntemi ve LSTM algoritmasından oluşan melez rüzgâr hızı tahmin modelleri oluşturulmaktadır. Tahmin modellerinin oluşturulması için Türkiye'nin Marmara bölgesi çevresindeki üç farklı meteoroloji istasyonundan toplanan rüzgâr hızı verilerine ait istatistiksel değerler sunulmaktadır. Oluşturulan rüzgâr hızı tahmin modellerinin başarımının değerlendirilmesinde kullanılan performans ölçütleri de bu bölümde verilmektedir.

3.1. Uzun-Kısa Süreli Bellek

Tekrarlayan sinir ağlarının özel bir türü olarak, LSTM ağı uzun ve kısa vadeli bağımlılık problemlerini çözmede istikrarlı ve güçlü bir yeteneğe sahiptir. Doğrusal olmayan sıralı verileri işlemekteki başarısı ile uzun ve kısa vadeli bağımlılık problemlerini güçlü bir şekilde ele alabilen RNN'nin özel bir tipi olan LSTM sinir ağı, sadece bitişik geçici bilgileri tutmakla kalmaz aynı zamanda uzun vadeli bilgileri de kontrol eder. LSTM mimarisi Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. LSTM mimari yapısı.

Geleneksel nöronların gizli katmanlarının yerini alan bellek hücresi, LSTM ağının çekirdeğidir (Hochreiter and Schmidhuber 1997). Giriş kapıları, çıkış kapıları ve unutmaya kapıları nedeniyle, LSTM ağı hücre durumuna bilgi ekleyebilir veya çıkarabilir. LSTM ağ yapısında, hücreye biriktirilebilecek yeni bilgileri tanımlamak için, giriş verileri giriş kapısının çıkışı ile çarpılmaktadır. Ağa yayılabilen bilgileri hesaplamak için, ağıncık çıkışı, çıkış geçidinin aktivasyonu ile çarpılmaktadır. Hücresinin son durumunun unutulup unutulmayacağını belirlemek için, önceki zamanın hücre durumu, unutmaya geçidinin aktivasyonu ile çarpılmaktadır. Hücresinin durumunu güncelleme ve LSTM ağının çıktısını hesaplama yöntemi aşağıda sunulmaktadır (Sainath et al. 2015):

- hücre durumundan hangi bilgilerin atılacağına karar verme aşaması: x_t ve h_{t-1} değeri elde edilmekte ve bir f_t sigmoid fonksiyon aracılığıyla atılıp atılmayacağı belirlenmektedir.

$$f_t = \sigma(w_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (6)$$

- hangi yeni bilginin hücre durumunda depolanacağına belirleme aşaması: Sigmoid bir katman tarafından hücre durumunda saklanacak olan bilgiye karar verilmektedir. x_t ve h_{t-1} ile $\tanh(\cdot)$ tarafından elde edilen değerler yeni bir aday değeri \tilde{C}_t olarak alınır.

$$i_t = \sigma(w_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (7)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(w_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C) \quad (8)$$

- önceki hücre durumu C_{t-1} 'yi yeni hücre durumu C_t 'ye güncelleme aşaması: C_{t-1} hücre durumu, unutmaya karar verilen bilgileri unutmak için f_t ile çarpılır. Yeni bir hücre durumu C_t elde etmek için, i_t terimi \tilde{C}_t ile çarpılır ve elde edilen terim bir önceki terime eklenerek yeni hücre durumu C_t belirlenmektedir.

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t \quad (9)$$

- hangi bilginin çıkış olacağına karar verme aşaması: Sigmoid bir tabaka tarafından hangi bilginin hücre durumunda çıkış olacağına karar verilir.

$$s_t = \sigma(w_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (10)$$

$$h_t = s_t * \tanh(C_t) \quad (11)$$

Burada w_f, w_i, w_C, w_o ağırlık matrislerini ve b_f, b_i, b_C, b_o sapma vektörlerini temsil etmektedir. $\sigma(\cdot)$, kapı aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılan lojistik sigmoid fonksiyonudur ve

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (12)$$

ile ifade edilir. $\tanh(\cdot)$, hiperbolik tanjant işlevidir; giriş ve çıkış bloğunun aktivasyon fonksiyonu

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (13)$$

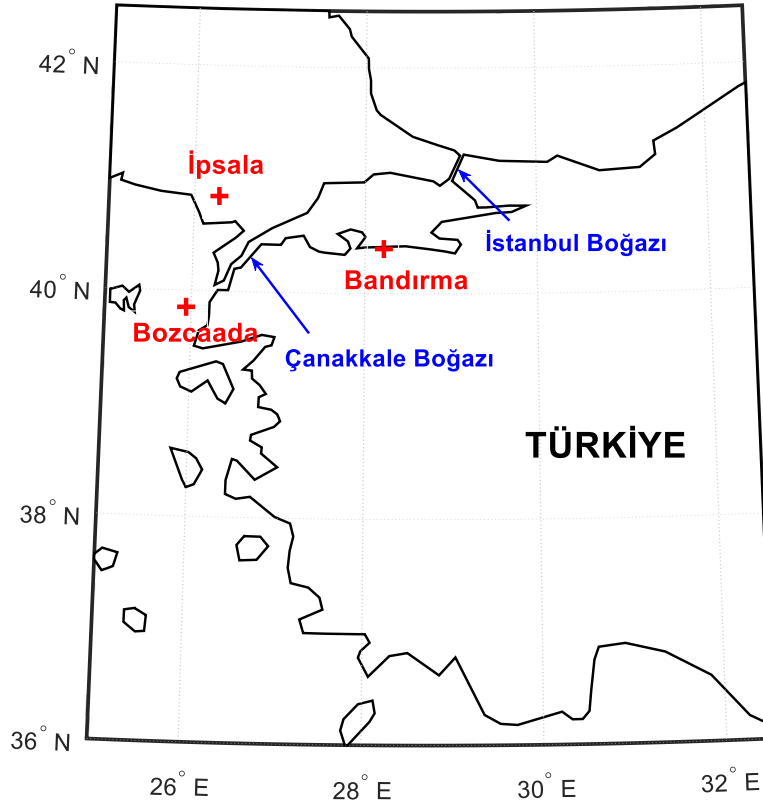
olarak kullanılır.

3.2. Rüzgâr Hızı Zaman Serileri Veri Seti

Çalışmada kullanılan rüzgâr hızı verileri Türkiye'nin Marmara bölgesi çevresindeki üç farklı meteoroloji istasyonundan toplanmıştır. Bu üç meteoroloji istasyonu Şekil 2'de gösterilen Bandırma, Bozcaada ve İpsala'da konumlandırılmıştır. Verilerin toplandığı bu bölgeler, Türkiye'nin en yüksek potansiyel rüzgâr enerjisine sahip konumları arasında yer almaktadır. Bu ölçüm istasyonları, bölgedeki diğer ölçüm istasyonlarından izole edilmiştir. Rüzgâr hızı ve yön ölçümleri 2008-2014 yılları arasında 6 ve 8 aylık bir dönem için yapılmıştır. Her bir istasyondan yaklaşık 52.000 saatlik rüzgâr hızı ölçüm verisi toplanmıştır (Akçay and Filik 2017). Bu çalışmada kullanılan veri seti, her bir ölçüm istasyonundan toplanan

verilerin 10 saatlik ortalamaları alınarak oluşturulmuştur. Her bir istasyon için 5.173 veriden oluşan rüzgâr hızı veri setinin %15'lik kısmı test verisi olarak ayrılmıştır. Bandırma, Bozcaada ve İpsala istasyonlarından toplanan rüzgâr hızı zaman serisi verilerine ilişkin bazı istatistiksel değerler Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de, her bir ölçüm istasyonundan toplanan rüzgâr hızı verilerinin

tümü, eğitim seti ve test seti için minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri ayrı ayrı verilmiştir. Önerilen rüzgâr hızı tahmin modeli başarımının veri setinden bağımsız olduğunun gösterilmesi açısından bu istatistiksel değerlerin sunulması oldukça önemlidir.



Şekil 2. Veri toplanan rüzgâr istasyonlarının konumları.

Tablo 1. Türkiye'nin Marmara bölgesindeki üç rüzgâr istasyonundan toplanan rüzgâr hızı zaman serisi verilerinin istatistiksel değerleri

Konum	Veri Seti	Örnek Sayısı	İstatistiksel değerleri (m/s)			
			Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Bandırma	Tümü	5173	0.6	25.7	3.9893	2.5093
	Eğitim	4397	0.7	25.7	4.0370	2.5426
	Test	775	0.6	11.6	3.7145	2.2926
Bozcaada	Tümü	5173	0.5	30.5	5.8528	3.1660
	Eğitim	4397	0.7	30.5	5.9617	3.2106
	Test	775	0.5	17.5	5.2316	2.8233
İpsala	Tümü	5173	0.3	14.9	2.8671	1.5143
	Eğitim	4397	0.3	14.9	2.9177	1.5406
	Test	775	0.4	10.9	2.5785	1.3203

3.3. Performans Ölçütleri

Çalışmada oluşturulan rüzgâr hızı tahmin modellerinin performansının değerlendirilmesinde Tablo 2'de verilen ortalama mutlak hata (mean absolute error-MAE), ortalama kare hata (mean squared error-MSE) ve kök ortalama kare hata (root mean

square error-RMSE) performans ölçütleri kullanılmıştır. Kullanılan bu üç performans ölçütü, literatürdeki rüzgâr hızı modellerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu üç performans ölçütü için, dizin değeri ne kadar küçük olursa, model performansı o kadar iyi olmaktadır. Belirtilen performans ölçütlerinin matematiksel ifadeleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Çalışmada incelenen rüzgâr hızı zaman serisi tahmin modellerinin geçerliliği ve güvenilirliği bu performans ölçütleri yardımıyla test edilmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada önerilen EWT-LSTM rüzgâr hızı tahmin modeli, tekli LSTM, EMD-LSTM ve EEMD-LSTM modelleri ile birlikte Şekil 2’de gösterilen Bandırma, Bozcaada ve İpsala rüzgâr çiftliklerinden toplanan rüzgâr hızı veri setlerine uygulanmıştır. Modellerin başarımları MAE, MSE ve RMSE performans indeksleri ile ölçülmüştür. Rüzgâr hızı tahmini için ele alınan tüm modellerin performansı Tablo 3’te sunulmuştur. Modeller her bir istasyon için 4.397 örnekten oluşan eğitim verisi ile eğitilmiştir. Modellerin performansı ise 775 örnekten oluşan ve modellerin eğitim aşamasında kullanılmayan test verisi üzerinde ölçülmüştür.

MAE, MSE ve RMSE performans ölçütlerine göre önerilen EWT-LSTM rüzgâr hızı tahmin modelinin kestirim doğruluğu Bandırma istasyonu için sırasıyla 0,0540, 0,0046 ve 0,0678, Bozcaada istasyonu için sırasıyla 0,0896, 0,0080 ve 0,0720, İpsala istasyonu için sırasıyla 0,0592, 0,0082 ve 0,0907’dir. Önerilen

EWT-LSTM rüzgâr hızı tahmin modeli diğer modellerle kıyaslandığında en iyi MAE, MSE ve RMSE değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıştırma yöntemlerinin LSTM modeli üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için EMD-LSTM ve EEMD-LSTM modelleri oluşturulmuştur. Tekli LSTM modelinin MAE, MSE ve RMSE performans ölçütlerine göre tahmin başarımları Bandırma istasyonu için sırasıyla 1,0452, 1,8892 ve 1,3745, Bozcaada istasyonu için sırasıyla 1,4140, 3,2929 ve 1,8146, İpsala istasyonu için sırasıyla 0,7956, 1,1318 ve 1,0639’dur. Tekli LSTM rüzgâr hızı tahmin modelinin çalışmada ele alınan diğer modellerle kıyaslandığında en kötü MAE, MSE ve RMSE değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Çalışmada ele alınan tüm rüzgâr hızı tahmin modellerinin Bandırma, Bozcaada ve İpsala istasyonları için elde edilen tahmin sonuçları sırasıyla Şekil 3-5’te sunulmuştur. Şekil 3-5 ve Tablo 3 birlikte değerlendirildiğinde önerilen EWT-LSTM modelinin rüzgâr hızının anlık değişimlerini tahmin etmede daha duyarlı ve başarılı olduğu görülmektedir. Önerilen EWT-LSTM modeli, tekli LSTM modeline kıyasla tahmin başarımlarını MAE, MSE ve RMSE performans indekslerine göre en az %91 iyileştirmektedir.

Tablo 2. Rüzgâr hızı tahmin modellerin performansının değerlendirilmesinde kullanılan ölçütler

Ölçüt	Tanım	Denklem
MAE	Mean absolute error	$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |p_{tahmin}^i - p_{gercek}^i|$
MSE	Mean squared error	$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_{tahmin}^i - p_{gercek}^i)^2$
RMSE	Root mean square error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_{tahmin}^i - p_{gercek}^i)^2}$

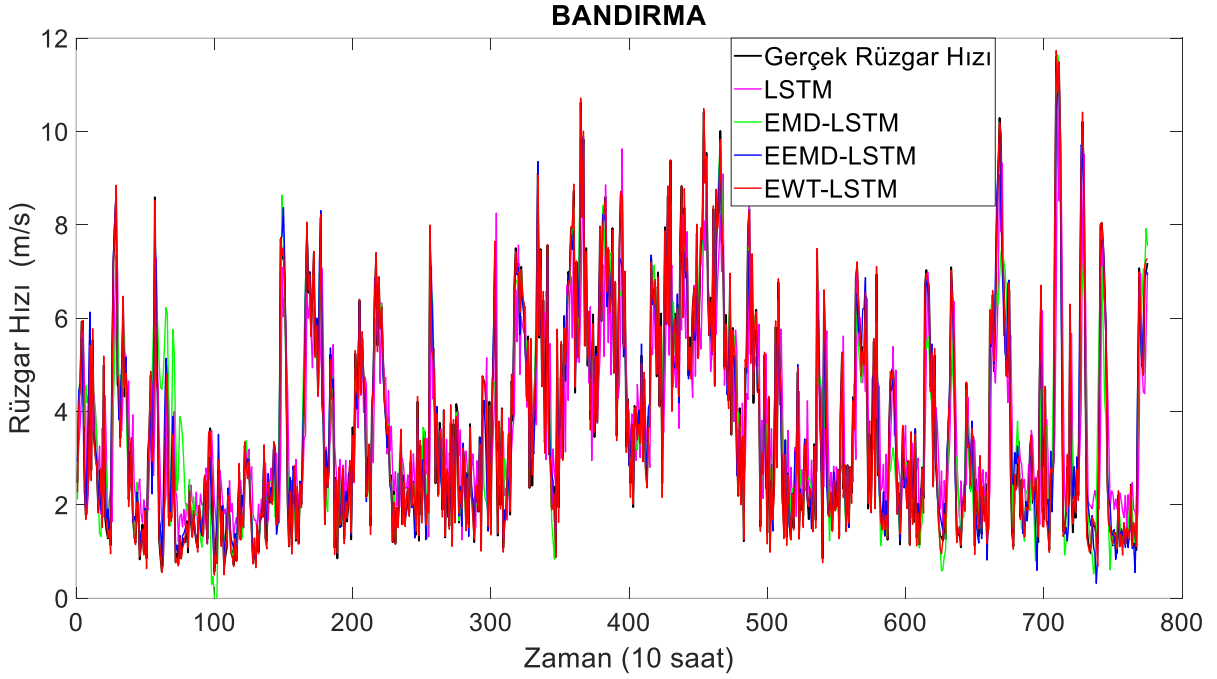
Tablo 3. Tahmin modellerinin çeşitli rüzgâr istasyonlarından toplanan rüzgar hızı zaman serileri üzerindeki başarımları

İstasyon	Model	MAE	MSE	RMSE
Bandırma	LSTM	1.0452	1.8892	1.3745
	EMD-LSTM	0.7169	0.9648	0.9822
	EEMD-LSTM	0.4219	0.3184	0.5642
	EWT-LSTM	0.0540	0.0046	0.0678
Bozcaada	LSTM	1.4140	3.2929	1.8146
	EMD-LSTM	0.9721	1.9959	1.4128
	EEMD-LSTM	0.6220	0.6793	0.8242
	EWT-LSTM	0.0896	0.0080	0.0720
İpsala	LSTM	0.7956	1.1318	1.0639
	EMD-LSTM	0.4378	0.4012	0.6334
	EEMD-LSTM	0.3703	0.2806	0.5297
	EWT-LSTM	0.0592	0.0082	0.0907

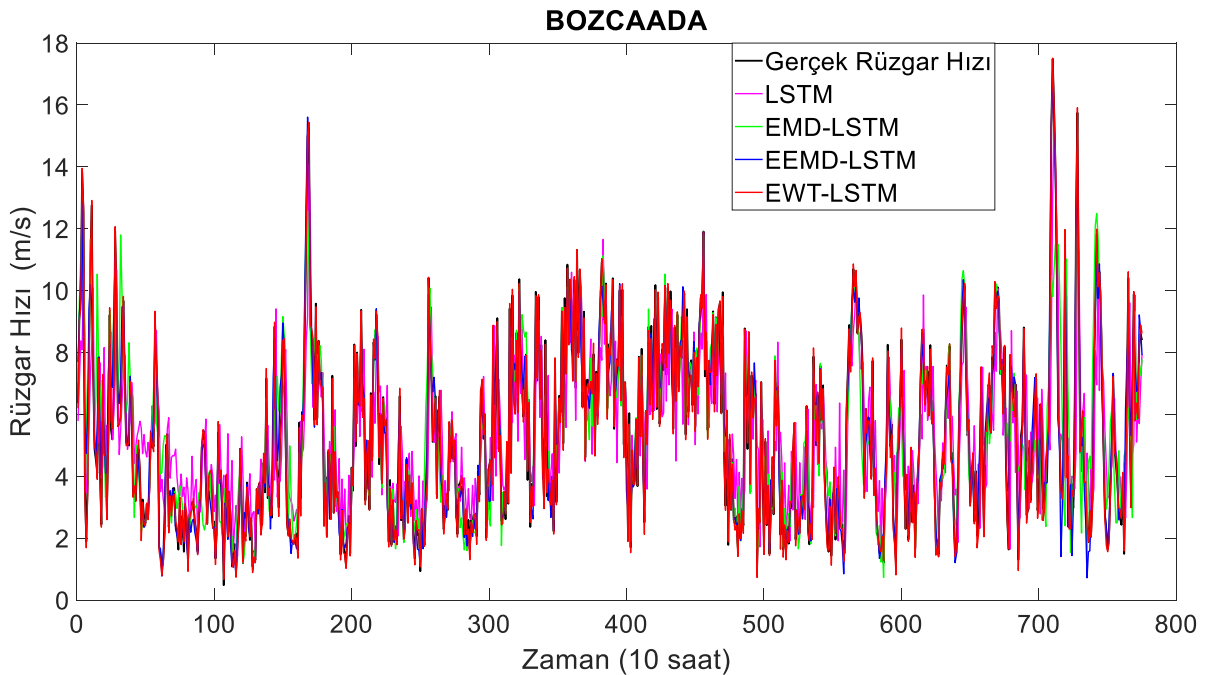
Ayrıştırma yöntemlerinin derin öğrenme yaklaşımı üzerindeki etkisinin incelenmesi için EMD-LSTM ve EEMD-LSTM modelleri oluşturulmuştur. EMD-LSTM modeli, tekli LSTM modeline kıyasla tahmin başarımını MAE performans indeksine göre en az %31, MSE performans indeksine göre en az %39 ve RMSE performans indeksine göre en az %22 iyileştirmektedir. EEMD-LSTM modeli, tekli LSTM modeline kıyasla tahmin başarımını MAE performans indeksine göre en az %53, MSE performans indeksine göre en az %75 ve RMSE performans indeksine göre en az %50 iyileştirmektedir. EEMD-LSTM modelinin EMD-LSTM modeline kıyasla tahmin başarımı iyileştirdiği de görülmektedir. Bu iyileşmenin temel nedeni, EEMD'nin gürültünün birçok önemli istatistiksel özelliğini kullanmasıdır. Algoritmaya eklenen sonlu gürültünün, mod

karıştırma problemini büyük ölçüde ortadan kaldırdığı elde edilen sonuçlarla doğrulanmaktadır.

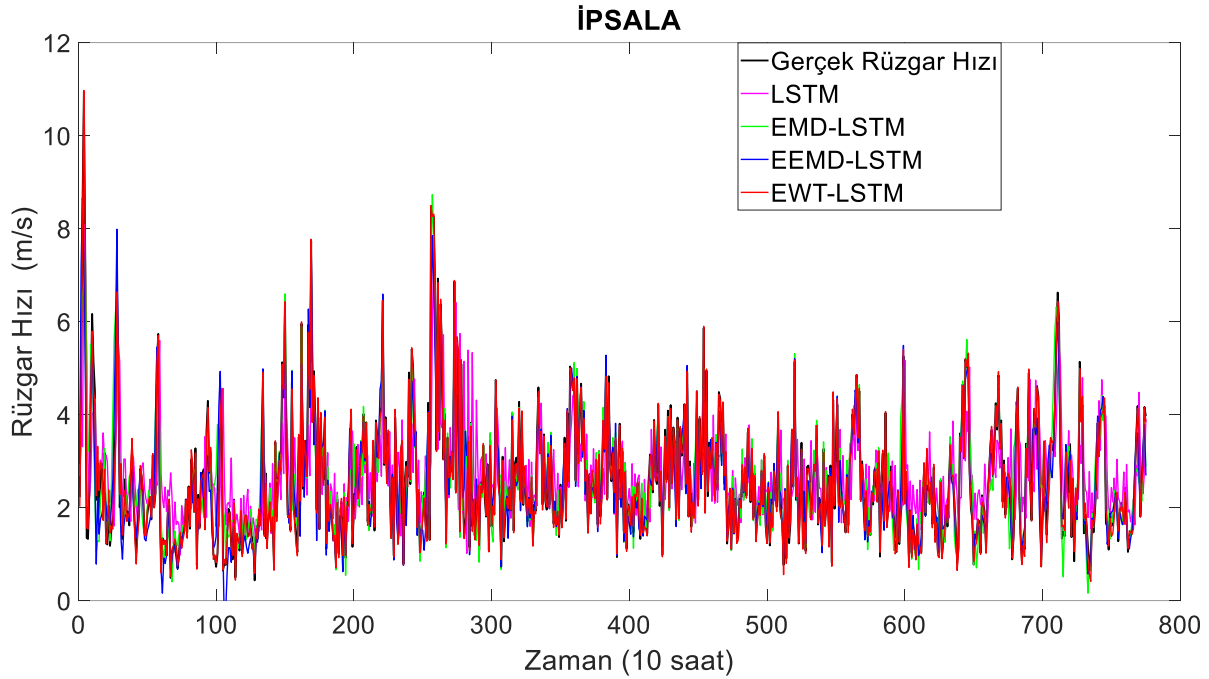
Önerilen EWT-LSTM modeli, EEMD-LSTM modeline kıyasla tahmin başarımını MAE performans indeksine göre en az %84, MSE performans indeksine göre en az %97 ve RMSE performans indeksine göre en az %82 iyileştirmektedir. Ayrıştırma yöntemlerinden EWT'nin derin öğrenme yaklaşımında bu kadar yüksek bir başarıma sahip olmasının nedeni, uygun segmentasyon ile içsel modların elde edilmesi ve belirlenen her bir segmente karşılık gelen ölçekleme ve dalgacık fonksiyonlarının kullanılmasıdır. Durağan olmayan rüzgar hızının tahmininde önerilen EWT ayrıştırma yönteminin tatmin edici performans sergilediği görülmektedir.



Şekil 3. Bandırma istasyonu için çeşitli ayrıştırma yöntemleri kullanılarak LSTM modelleri ile elde edilen rüzgâr hızı tahmin sonuçları.



Şekil 4. Bozcaada istasyonu için çeşitli ayrıştırma yöntemleri kullanılarak LSTM modelleri ile elde edilen rüzgâr hızı tahmin sonuçları.



Şekil 5. İpsala istasyonu için çeşitli ayrıştırma yöntemleri kullanılarak LSTM modelleri ile elde edilen rüzgâr hızı tahmin sonuçları.

5. Sonuçlar

Rüzgâr hızının güvenilir ve yüksek doğrulukla tahmin edilmesi, rüzgâr gücünün etkin bir şekilde kullanılabilmesi ve işletilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Rüzgâr hızının durağan olmaması ve stokastik yapısı, rüzgâr hızı tahmininde ayrıştırma yöntemlerini ön plana çıkarmaktadır. Bu çalışmada, rüzgâr hızının yüksek doğrulukla tahmini için ayrıştırma yöntemlerinin derin öğrenme yaklaşımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Önerilen EWT ayrıştırma yönteminin derin öğrenme yöntemlerinden LSTM üzerindeki etkisi EMD ve EEMD ayrıştırma yöntemleri ile kıyaslanmıştır. Önerilen EWT-LSTM modeli ile birlikte çalışmada ele alınan LSTM, EMD-LSTM ve EEMD-LSTM modellerinin tahmin başarımları MAE, MSE ve RMSE metrikleriyle ölçülmüştür. Önerilen modelin dayanıklılığı Bandırma, Bozcaada ve İpsala'da kurulu olan üç farklı istasyondan alınan rüzgâr hızı verileri üzerinde test edilmiştir. Ayrıştırma yöntemlerinin LSTM üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için çalışmada oluşturulan modeller tekli LSTM modeli ile kıyaslanmıştır. EMD ayrıştırma yönteminin LSTM modelinin tahmin başarımını MAE performans ölçütüne göre en az %31 ile %44 arasında iyileştirdiği görülmektedir. EEMD ayrıştırma yönteminin LSTM modelinin tahmin başarımını MAE performans ölçütüne göre en az %53 ile %59 arasında, EWT ayrıştırma yönteminin ise LSTM modelinin tahmin başarımını en az %92 ile %95 arasında iyileştirdiği belirlenmiştir. Önerilen model tekli LSTM modeli ile kıyaslandığında tahmin başarımını MSE performans ölçütüne göre en az %99, RMSE performans ölçütüne göre en az %91 ile %95 arasında iyileştirmektedir. Önerilen EWT-LSTM modelinin rüzgâr hızının anlık değişimlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda, EWT'nin ayrıştırılan bantlarının her birinin derin öğrenme modelinin tahmin başarımı üzerindeki etkisinin incelenmesi düşünülmektedir.

Kaynakça

- Akçay, H. & Filik, T. (2017). Short-term wind speed forecasting by spectral analysis from long-term observations with missing values. *Applied Energy*, 191, 653-662.
- Cadenas, E., Rivera, W., Campos-Amezcuca, R., & Heard, C. (2016). Wind speed prediction using a univariate ARIMA model and a multivariate NARX model. *Energies*, 9(2), 109-124.
- Chen, J., Zeng, G. Q., Zhou, W., Du, W., & Lu, K. D. (2018). Wind speed forecasting using nonlinear-learning ensemble of deep learning time series prediction and extremal optimization. *Energy Conversion and Management*, 165, 681-695.
- Çakır, M. T. (2010). Türkiye'nin rüzgâr enerji potansiyeli ve AB ülkeleri içindeki yeri. *Politeknik Dergisi*, 13(4), 287-293.
- De Giorgi, M. G., Ficarella, A., & Tarantino, M. (2011). Assessment of the benefits of numerical weather predictions in wind power forecasting based on statistical methods. *Energy*, 36(7), 3968-3978.
- Du, P., Wang, J., Guo, Z., & Yang, W. (2017). Research and application of a novel hybrid forecasting system based on multi-objective optimization for wind speed forecasting. *Energy Conversion and Management*, 150, 90-107.
- Hochreiter, S. & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780.
- Hu, Y. L., & Chen L. (2018). A nonlinear hybrid wind speed forecasting model using LSTM network, hysteretic ELM and differential evolution algorithm. *Energy Conversion and Management*, 173, 123-142.
- Gilles, J. (2013). Empirical wavelet transform. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 61(16), 3999-4010.
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N. C., Tung, C. C., & Liu H. H. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for

- nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 454(1971), 903-995.
- Huang, N. E., Wu, M. L. C., Long, S. R., Shen, S. S., Qu, W., Gloersen, P., & Fan K. L. (2003). A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 459(2037), 2317-2345.
- Jiang, Y. & Huang, G. (2017). Short-term wind speed prediction: hybrid of ensemble empirical mode decomposition, feature selection and error correction. *Energy Conversion and Management*, 144, 340-350.
- Karasu, S., Altan, A., Saraç, Z., & Hacıoğlu, R. (2017). Estimation of fast varied wind speed based on NARX neural network by using curve fitting. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 4(3), 137-146.
- Karasu, S., Altan, A., Saraç, Z., & Hacıoğlu, R. (2017b). Prediction of wind speed with non-linear autoregressive (NAR) neural networks. *25th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference*, 1-4, Antalya.
- Lange, M. & Focken, U. (2006). *Physical approach to short-term wind power prediction*, Berlin, Germany: Springer, 3, 22-38.
- Li, G. & Shi, J. (2010). On comparing three artificial neural networks for wind speed forecasting. *Applied Energy*, 87(7), 2313-2320.
- Li, H., Wang, J., Lu, H., & Guo, Z. (2018). Research and application of a combined model based on variable weight for short term wind speed forecasting. *Renewable Energy*, 116, 669-684.
- Liu, H., Chen, C., Tian, H. Q., & Li, Y. F. (2012). A hybrid model for wind speed prediction using empirical mode decomposition and artificial neural networks. *Renewable Energy*, 48, 545-556.
- Liu, H., Tian, H. Q., Li, Y. F., & Zhang, L. (2015). Comparison of four adaboost algorithm based artificial neural networks in wind speed predictions. *Energy Conversion and Management*, 92, 67-81.
- Liu, H., Tian, H. Q., Liang, X. F., & Li, Y. F. (2015). Wind speed forecasting approach using secondary decomposition algorithm and Elman neural networks. *Applied Energy*, 157, 183-194.
- Liu, H., Tian, H., Liang, X., & Li, Y. (2015). New wind speed forecasting approaches using fast ensemble empirical model decomposition, genetic algorithm, mind evolutionary algorithm and artificial neural networks. *Renewable Energy*, 83, 1066-1075.
- Liu, H., Mi, X., & Li, Y. (2018). Smart deep learning based wind speed prediction model using wavelet packet decomposition, convolutional neural network and convolutional long short term memory network. *Energy Conversion and Management*, 166, 120-131.
- Liu, H., Mi, X. W., & Li, Y. F. (2018b). Wind speed forecasting method based on deep learning strategy using empirical wavelet transform, long short term memory neural network and Elman neural network. *Energy Conversion and Management*, 156, 498-514.
- Ma, X., Jin, Y., & Dong, Q. (2017). A generalized dynamic fuzzy neural network based on singular spectrum analysis optimized by brain storm optimization for short-term wind speed forecasting. *Applied Soft Computing*, 54, 296-312.
- Mohandes, M., Rehman, S., & Rahman, S. M. (2011). Estimation of wind speed profile using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Applied Energy*, 88(11), 4024-4032.
- Riahy, G. H. & Abedi, M. (2008). Short term wind speed forecasting for wind turbine applications using linear prediction method. *Renewable Energy*, 33(1), 35-41.
- Sainath, T. N., Vinyals, O., Senior, A., & Sak, H. (2015). Convolutional, long short-term memory, fully connected deep neural networks. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Brisbane, Australia, 4580-4584.
- Scarlat, N., Dallemand, J. F., Monforti-Ferrario, F., Banja, M., & Motola, V. (2015). Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union-An overview from national renewable energy action plans and progress reports. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 969-985.
- Sfetsos, A. (2000). A comparison of various forecasting techniques applied to mean hourly wind speed time series. *Renewable Energy*, 21(1), 23-35.
- Sun, W. & Wang, Y. (2018). Short-term wind speed forecasting based on fast ensemble empirical mode decomposition, phase space reconstruction, sample entropy and improved back-propagation neural network. *Energy Conversion and Management*, 157, 1-12.
- Wu, Z. & Huang, N. E. (2009). Ensemble empirical mode decomposition: A noise-assisted data analysis method. *Advances in Adaptive Data Analysis*, 1(1), 1-41.
- Yu, C., Li, Y., & Zhang, M. (2017). Comparative study on three new hybrid models using Elman neural network and empirical mode decomposition based technologies improved by singular spectrum analysis for hour-ahead wind speed forecasting. *Energy Conversion and Management*, 147, 75-85.
- Zhang, X., Lai, K. K., & Wang S. Y. (2008). A new approach for crude oil price analysis based on empirical mode decomposition. *Energy Economics*, 30(3), 905-918.



Electrical Conductivity Investigation of Knitting Fabrics

Seyda Eyupoglu^{1*}

^{1*}Istanbul University-Cerrahpaşa, Vocational School of Technical Sciences, Department of Textile, Clothing, Footwear and Leather, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4522-2056), seyda.eyupoglu@istanbul.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 16 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.788982)

ATIF/REFERENCE: Eyupoglu, S. (2020). Electrical Conductivity Investigation of Knitting Fabrics. *European Journal of Science and Technology*, (20), 854-858.

Abstract

Recently, using of electronic textiles have been investigated for many fields due to their various useage at electromagnetic shielding, biomedical devices, field-effect transistors, energy conversion and storage, etc. In this study, conductive fabrics were fabricated with using stainless steel yarn by knitting techniques. The knitted fabrics were produced four different constructions which are plain, garter stitch, 1x1 rib, and 2x2 rib knitting structure. After the knitting process, mass per unit area, loop yarn length, stitch density, thickness, porosity and conductivity of samples were analyzed. According to results, knitting parameters differ from fabric construction. Furthermore, fabric construction affects the porosity and electrical conductivity of samples. Plain knitting fabric sample has higher porosity than other samples. Compared with all knitting structures, electrical conductivity of 2x2 rib knitting fabric sample is higher than other fabric samples. This fabric can be used as electronic textile in electronic device.

Keywords: Stainless Steel Yarn, Knitting, Porosity, Electrical Conductivity.

Örme Kumaşların Elektrik İletkenliğinin Araştırılması

Öz

Son zamanlarda, elektronik tekstillerin kullanımı elektromagnetik kalkanlama, biyomedikal aletler, alan etkili transistörler, enerji dönüşümü ve depolama vb. gibi birçok alan için araştırılmaktadır. Bu çalışmada, iletken kumaşlar paslanmaz çelik iplik kullanılarak örme tekniği ile üretilmiştir. Örme kumaşlar düz, haroşe, 1x1 rip, ve 2x2 rip olmak üzere dört farklı konstrüksiyonda üretilmiştir. Örme işleminden sonra numunelerin ilmek iplik uzunluğu, ilmek yoğunluğu, gramjı, kalınlığı, gözenekliliği ve iletkenliği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, örme parametreleri kumaş konstrüksiyonuna göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca, kumaş konstrüksiyonunu numunelerin gözenekliliğini ve elektrik iletkenliğini etkilemektedir. Düz örgü kumaş numunesi diğer numunelere göre daha yüksek gözenekliliğe sahiptir. Tüm örgü yapıları ile karşılaştırıldığında, 2x2 rib örgü kumaş numunesinin elektrik iletkenliği diğer kumaş numunelerinden daha yüksektir. Bu kumaş elektronik aletlerde elektronik tekstil olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz Çelik İplik, Örme, Gözeneklilik, Elektrik İletkenliği.

* Sorumlu Yazar: seyda.eyupoglu@istanbul.edu.tr

1. Introduction

With the progress of new fibers, fabrics and innovative methods, the growth of textile industry has increased. In the late 1990s, it was began the researches on how to integrate conductive lines and circuits into the textiles. As results, textile materials have been become conductive and they are able to indicate curical changes in their mechanical or chemical properties, thermal, optical or electromagnetic properties. Among these functionalities, electrical conductivity is especially significant since it permits the incorporation of electronic or energy storage devices directly on the textiles (Tseghai et al., 2020; Salavagione et al., 2020; Trovato et al., 2020).

At the present time, electronic textiles have fascinated rising attention owing to their various useage in shielding materials, biomedical devices, field-effect transistors, energy conversion and storage, etc. (Kwon et al., 2015). Furthermore, interest in portable and electronic devices has increased and the growing attention leads to realize of electronic textiles. Electronic textiles (e-textiles) are identified as a textile material has electrical conductivity properties. In order to produce e-textiles, some techniques can be used which are adding metal particles to synthetic fibers in producing, using metal fibers and coating the textile surface with metal particles. Synthetic fibers such as polyester and nylon are produced with melt spinning method. Metal particles can be added to polymer solution in fiber production system. Metal yarns can be weaved or knitted with other fibers and electronic textile surface can be obtained (Weng et al., 2016).

In literature, there are various researches related to the use of conductive fabrics as sensor (Choi and Jiang, 2006; Soyaslan et al., 2010). In many research, the electromagnetic shielding effect of conductive fabrics was investigated (Hao et al., 2012). In addition, thermal fabrics used in medicine, insulation materials, health care, sports, air space, and outdoor activities can be produced with conductive yarns (Cheng et al., 2003). Conductive yarns can be manufactured from conductive metals which are stainless steel, ferrous alloys, titanium, silver, nickel, gold, aluminium and copper. Metal fibers are obtained as thin filaments, however, metallic conductive fibers are heavier, expensive, brittle and than many textile fibers.

Researchers have investigated electrical conductivity of textile surfaces produced from conductive yarn. Cheng et al. (2003) produced conductive yarn with using stainless steel core, kevlar and rayon shall. After, conductive fabrics were woven with the conductive yarn and electrical conductivities of fabric samples were investigated with regards to the weave construction. Kaynak et al. (2008) manufactured conductive cotton, wool, and naylon yarns with treated a continuous vapor polymerization method with polypyrrole. Oh et al. (2003) produced conductive fabrics with using in situ chemical polymerization of polypyrrole on nylon fabric. Jia et al. (2009) coated carbon fabric with silver nanowires using polyurethane and manufactured a highly electrically conductive fabric. Cui et al. (2015) added silver nanowires with fabrics by a dipping-drying method to produce conductive fabrics. The electrical resistivity of samples was obtained as 0.0047-0.0091 Ω . Meng et al. (2013) developed unique all-graphane core-sheath fibers composed of graphene fiber core with a sheath of 3D graphene network. Used as flexible electrodes, all-solid-state fiber supercapacitors were

manufactured and can also be woven into a textile material for wearable electronics.

In this study, with use of stainless steel yarn, conductive fabrics were knitted. In the knitting process, four different techniques such as plain, garter stitch, 1x1 rib, 2x2 rib knitting were used and four different construction fabrics were obtained. After the knitting process, mass per unit area, loop yarn length, stich density, thickness, porosity, and conductivity of samples were determined. The results show that knitting parameters are differing from fabric construction. In addition, fabric construction affects the porosity and electrical conductivity of samples. Plain knitting fabric sample has higher porosity. Furthermore, 2x2 rib knitting fabric sample has higher electrical conductivity.

2. Material and Method

2.1. Yarn

In this study, stainless steel yarn was purchased from Technoart Company in Turkey. The specification of steel yarn was given in Table 1.

Table 1. Properties of Yarn

Fiber	Count (tex)	Fiber number	Diameter (mm)	Twist	Strength (KGF)
Stainless steel	325	150	12	Z	2.8

2.2. Preparation of Fabrics

All samples were manufactured using of 100% stainless steel yarn. Samples were knitted with four different techniques which are plain, garter stitch, 1x1 rib and 2x2 rib. The structure of fabric samples were given in Figure 1 (ISO, 1998).



Figure 1. Knitting Structure of Fabric Samples (a. Plain knitting structure, b. Garter stitch knitting structure, c. 1x1 rib knitting structure, d. 2x2 rib knitting structure)

2.3. Loop Yarn Length

In order to obtain loop yarn length, each of the fabric samples were removed of 3 series included 30 loops and length of the removed yarn was measured. Afterworlds, the length value were divided to loop number.

2.4. Stitch Density

The number of loops in one square centimeter of fabric is measured using a magnifier. This measurement was repeated at five different places on each sample and the resulting values were averaged.

2.5. Mass Per Unit Area

First, 100 mm x 100 mm size from the fabric samples were prepared and weighted with an analytical balance in a standard atmosphere. Mass per unit area measurements of sample were iterated five times.

2.6. Thickness

The thickness of fabric samples was measured with James Heal Thickness Gauge. The measuring principle of thickness gauge is which measured of the distance between the reference plate of the device and parallel presser foot of the measuring device. The measurements of sample thickness were iterated five times.

2.7. Porosity

The porosity of fabric samples was calculated with Equation 1. In this equation, P is porosity of samples (%), A is area of sample (cm²), W is weight of sample (g), T is thickness of the sample (cm), and D is density of yarn (g/cm³). According to the Equation 1, fabric porosity effects weight and unit area of fabric (Tao, 2005).

$$P = \frac{100(AT - \frac{W}{D})}{AT} \tag{1}$$

2.8. Conductivity Measurement

Electrical conductivity of samples were analyzed with using an Agilent 4339B high resistance meter (Agilent Technologies Co., Ltd., USA) at 65 % RH and 20°C, and the electrical conductivity of the samples were calculated according to Equation 2,

$$\sigma = \frac{L}{R \times S} \tag{2}$$

where σ is electrical conductivity (S/cm), R is electrical resistance (Ω), L is the length (cm) and S is the cross section area (cm²) (Tao, 2005). The measurement setup is given in Figure 2.



Figure 2. Electrical Conductivity Measurement Setup

3. Results and Discussion

3.1. Fabric Parameters

The fabric parameters are given in Table 2. The fabric parameters which are loop yarn length, stitch density, thickness, and mass per unit area differ with regards to fabric construction.

3.2. Conductivity Results

The electrical resistivity values of samples were given in Table 3.

Table 3. Electrical Resistivity Value of Samples

Sample Code	Electrical resistivity (Ω)
Plain knitting	3,775
Garter stitch knitting	3,700
1x1 rib knitting	3.320
2x2 rib knitting	3.025

Electrical resistivity is affected the type of material, material construction, molecular structure and atomic configuration of material, total length, cross sectional area and temperature. Metals have high electrical conductivity since valance electrons are free form in metals. Ionic and covalent bonded materials have low electrical conductivity since they do not contain free electrons (Dias and Delkumburewatte, 2007). In this study, all fabric samples were produced from stainless steel yarn. For this reason, material type, molecular structure and atomic configuration factors are not affected from the electrical resistivity of samples. The electrical resistivity of samples is affected to material construction. Porosity, thickness, cover factor, yarn position and mass per unit area are known as factors of a fabric construction (Dias and Delkumburewatte, 2007). Electrical resistivity results show that plain knitting fabric has higher electrical resistivity compared with other samples. It was though that plain knitting fabric has higher porosity as a results has more air molecules than other knitting fabrics. As the electrical resistivity of air is much higher than that of steel, air increased the electrical resistivity of knitting fabrics comprising steel fibers. Due to the larger amount of air in steel knitted fabrics, the electrical resistivity of samples increased.

The effect of knitting construction on electrical conductivity values of the fabric samples, the electrical conductivity values of plain, garter stitch, 1x1 rib and 2x2 rib knitting fabric samples are given in Figure 3.

Table 2. The Fabric Parameters of Samples

Sample Code	Loop yarn length (mm)	Stitch density (number/cm ²)	Mass per unit area (g/cm ²)	Thickness (mm)
Plain knitting	1.125	20	0.118	3.07
Garter stitch knitting	1.400	16	0.130	3.30
1x1 rib knitting	1.600	12	0.146	4.58
2x2 rib knitting	1.625	12	0.162	3.83

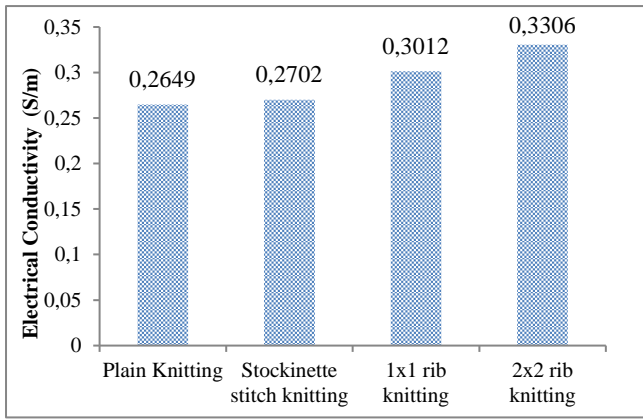


Figure 3. Electrical Conductivity Values of Knitting Fabric Samples

Compared with fabric constructions, 2x2 rib knitting has high electrical conductivity and plain knitting structure is thicker and lighter than other three knitting structures. Furthermore, porosity of plain knitting fabric is higher than other knitting fabrics. In the fabric samples, 2x2 rib knitting fabric sample has higher thickness and mass per unit area than other samples. It was thought that higher electrical conductivity value was obtained in 2x2 rib knitting fabric due to the fact that yarns can be packed closer because of higher number of interlacing in meter; therefore, the porosity of the fabric reduces and it results in higher electrical conductivity in 2x2 rib knitting fabric (Wong et al., 2012). In the present study, 2x2 rib knitting fabric sample was found to have lower porosity than the other knitting fabrics. In addition, thickness affecting directly to the electrical conductivity of any material (Dias and Delkumburewatte, 2007), 2x2 rib knitting fabric sample has higher electrical conductivity due to higher thickness. The electrical conductivity of samples is proportional to the porosity. A fabric with higher porosity represents that the fabric structure encompasses more void spaces or fabric pores. In the pores of a fabric, there are air molecules and the electrical resistivity of air ranges from $10^9\Omega$ to $10^{15}\Omega$. In other words, air molecules in fabric causes an increase in the electrical resistivity of fabric. Fabric construction is the major factor to determine the porosity of a fabric. Furthermore, the fabric construction influences the pore size, pore distribution, pore connectivity and total pore volume, and all these properties affect the porosity properties of a fabric (Marischal et al., 2018).

Table 4. Electrical Conductivity of Some Materials

Material	Electrical Conductivity (S/cm)
Carbone black filler filled polyamide 12 fibers (Cai et al. 2017)	10^{-4}
Cotton fabric coated with graphene oxide (Hong et al. 2016)	10^{-1}
Plain knitting produced from ultra high molecular weight polyethylene/polianiline composite yarn (Mengal et al. 2016)	0.087
Graphene oxide nanosheets (GONs) coated on to lyocell fabric (Fegutsu et al. 2007)	25
Polyester yarn dyed with carbon nanotube (Randeniya et al. 2010)	10^1
Cu-Carbone Nanotube (Fegutsu et al. 2010)	2×10^5
Au-Carbone Nanotube (Fegutsu et al. 2010)	3×10^5
Graphane-coloured fabric (Fegutsu et al. 2010)	0.0108
Combined silver nanowires with cupro fabrics (Cui et al. 2015)	109,89
2x2 rib knitting	0.3306×10^2

In literature, researchers have carried out many investigations related to electrical conductivity of different materials. In these studies, it was aimed to increase electrical conductivity of samples. In this regard, Table 4 shows the comparison of electrical conductivity of some materials and the sample having high electrical conductivity in this study. Compared with these materials, electrical conductivity of 2x2 rib knitting is median. Compared to other material, the electrical conductivity of 2x2 rib knitting is promising.

3.3. Porosity Results

The porosity values of samples are given in Table 5.

Table 5. The Porosity Values of Samples

Sample Code	Porosity (%)
Plain knitting	97.3
Garster stitch knitting	95.4
1x1 rib knitting	94.1
2x2 rib knitting	92.3

Among four knitted fabrics, the plain knitting construction has high porosity than garter stitch, 1x1 rib and 2x2 rib knitting structure, however, 2x2 rib knitting fabric has the lowest porosity. The reason could be deemed that the lower mass per square meter and thickness of plain fabrics causes. Furthermore, 2x2 rib knitting fabric has higher thickness and mass per square meter than other samples. According to the Equation 1, porosity varies according to density of yarn, area, weight and thickness of fabric.

4. Conclusion

The present work was undertaken with the objective of preparing electrical conductive knitting fabrics and studying their various properties which are loop yarn length, stitch density, mass per unit area, thickness, porosity and electrical conductivity of samples. According to the results, knitting parameters vary from to fabric construction. It was obtained that plain knitting fabric sample has higher porosity than other samples. Compared with all knitting structures, 2x2 rib knitting fabric sample has the highest electrical conductivity. Furthermore, the study results show that porosity is thought to be major indicator for electrical conductivity of a fabric.

References

- Cai, G., Xu, Z., Yang, M., Tang, B., & Wang, G. (2017). Functionalization of cotton fabrics through thermal reduction of graphene oxide. *Applied Surface Science*, 393: 441-448.
- Cheng, K.B., Cheng, T.W., Lee, K.C., Ueng, T.H., & Hsing, W.H. (2003). Effects of yarn constitutions and fabric specifications on electrical properties of hybrid woven fabrics, *Composites Part A-Applied Science*, 34(10): 971-978.
- Choi, S., & Jiang, Z. (2006). A novel wearable sensor device with conductive fabric and PVDF film for monitoring cardiorespiratory signals. *Sensor Actuator*, 128: 317-326.
- Cui, H.W., Sukanuma, K., & Uchida, H. (2015). Highly stretchable, electrically conductive textiles fabricated from silver nanowires and cupro fabrics using a simple dipping-drying method, *Nano Researc*, 8(5): 1604-1614.
- Dias, T., & Delkumburewatte, G.B. (2007). The influence of moisture content on the thermal conductivity of a knitted structure, *Measurement Science and Technology*, 18(5): 1304.
- Fugetsu, B., Akiba, E., Hachiya, M., & Endo, M. (2009). The production of soft, durable, and electrically conductive polyester multifilament yarns by dye-printing them with carbon nanotubes, *Carbon*, 47(2): 527-530.
- Fugetsu, B., Sano, E., Yu, H., Mori, K., & Tanaka, T. (2010). Graphene oxide as dyestuffs for the creation of electrically conductive fabrics. *Carbon*, 48(12): 3340-3345.
- Hao, L., Yi, Z., & Li, C. (2012). Development and characterization of flexible heating fabric based on conductive filaments. *Measurement*, 45: 1855-1865.
- Hong, J., Pan, Z., Yao, M., Chen, J., & Zhang, Y. (2016). A large-strain weft-knitted sensor fabricated by conductive UHMWPE/PANI composite yarns, *Sensors and Actuators A-Physical*, 238: 307-316.
- Hong, J., Pan, Z., Yao, M., Chen, J., & Zhang, Y. (2016). A large-strain weft-knitted sensor fabricated by conductive UHMWPE/PANI composite yarns, *Sensors and Actuators A-Physical*, 238: 307-316.
- ISO. (1998). *Knitted fabrics-Types-Vocabulary*. Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8388:ed-1:v1:en>.
- J.Kwon, L.H., Seo, J., Shin, S., Koo, J.H., Pang, C., & Lee, T. (2015). Conductive fiber-based ultrasensitive textile pressure sensor for wearable electronics. *Advance Materials*, 27(15): 2433-2439.
- Jia, L.C., Xu, L., Ren, F., Ren, P.G., Yan, D.X. & Li, Z.M. (2009). Stretchable and durable conductive fabric for ultrahigh performance electromagnetic interference shielding, *Carbon*, 144: 101-108.
- Kaynak, A., Najar, S.S. & Foitzik, R.C. (2008). Conducting nylon, cotton and wool yarns by continuous vapor polymerization of pyrrole, *Synthetic Metals*, 158(1-2): 1-5.
- Marischal, L., Cayla, A., Lemort, G., Campagne, C., & Devaux, E. (2018). Influence of melt spinning parameters on electrical conductivity of carbon fillers filled polyamide 12 composites. *Synthetic Metals*, 245: 51-60.
- Meng, Y., Zhao, Y., Hu, C., Cheng, H., Hu, Y., Zhang, Z., Shi, G., & Qu, L. (2013). All-graphene core-sheath microfibers for all-solid-state, stretchable fibriform supercapacitors and wearable electronic textiles. *Advance Materials*, 25(16): 2326-2331.
- Mengal, N., Sahito, I.A., Arbab, A.A., Sun, K.C., Qadir, M.B., Memon, A.A., & Jeong, S.H. (2016). Fabrication of a flexible and conductive lyocell fabric decorated with graphene nanosheets as a stable electrode material. *Carbohydrate Polymers*, 152: 19-25.
- Oh, K.W., Park, H.J. & Kim, S.H. (2003). Stretchable conductive fabric for electrotherapy, *Journal Applied Polymer Science*, 88(5): 1225-1229.
- Randeniya, L.K., Bendavid, A., Martin, P.J., Tran, C.D. (2010). Composite yarns of multiwalled carbon nanotubes with metallic electrical conductivity. *Small*, 6(16): 1806-1811.
- Salavagione, H. J., Shuttleworth, P. S., Fernández-Blázquez, J. P., Ellis, G. J., & Gómez-Fatou, M. A. (2020). Scalable graphene-based nanocomposite coatings for flexible and washable conductive textiles. *Carbon*, 167:495-503.
- Soyaslan, D., Comlekci, S., & Goktepe, O. (2010). Determination of electromagnetic shielding performance of plain knitting and 1X1 rib structures with coaxial test fixture relating to ASTM D4935. *Journal of Textile Institute*, 101: 890-897.
- Tao, X. (Ed.), *Wearable Electronics and Photonics*, (2005), Elsevier Ltd.
- Trovato, V., Teblum, E., Kostikov, Y., Pedrana, A., Re, V., Nessim, G. D., & Rosace, G. (2020). Sol-gel approach to incorporate millimeter-long carbon nanotubes into fabrics for the development of electrical-conductive textiles. *Materials Chemistry and Physics*, 240, 122218.
- Tseghai, G. B., Mengistie, D. A., Malengier, B., Fante, K. A., Van Langenhove, L. (2020). PEDOT: PSS-Based Conductive Textiles and Their Applications. *Sensors*, 20(7), 1881.
- Weng, W., Chen, P., He, S., Sun, X., & Peng, H. (2016). Smart electronic textiles. *Angewandte Chemie International Edition*, 55(21): 6140-6169.
- Wong, W.Y., Lam, J.K.C., Kan, C.W., & Postle, R. (2012). Influence of knitted fabric construction on the ultraviolet protection factor of greige and bleached cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 83(7): 683-699.
- Zhao, Y., Tong, J., Yang, C., Chan, Y.F., & Li, L. (2016). A simulation model of electrical resistance applied in designing conductive woven fabrics. *Textile Research Journal*, 86(16): 1688-1700.



Determination Of Ciprofloxacin In Pharmaceutical Dosage, Human Serum and Urine, Using Molecularly Imprinted Polymer Modified Electrode By Voltammetry

Berrin Gürler Akyüz^{1*}, Sabriye Perçin Özkorucuklu², Esengül Kır³, Gizem Yıldırım Baştemur⁴

¹ Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Analytical Chemistry, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8711-2384), bgurler@beun.edu.tr

² İstanbul University, Department of Molecular Biology and Genetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9778-2034), sabriyeo@istanbul.edu.tr

³ Süleyman Demirel University, Department of Chemistry, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6641-3444), esengulkir@sdu.edu.tr

⁴ İstanbul University, Department of Molecular Biology and Genetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4634-4525), gyildirimbastemur@gmail.com

(First received 17 September 2020 and in final form 20 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.796654)

ATIF/REFERENCE: Gürler-A., B., Özkorucuklu-P., S., Kır, E. & Baştemur-Y., G. (2020). Determination Of Ciprofloxacin In Pharmaceutical Dosage, Human Serum and Urine, Using Molecularly Imprinted Polymer Modified Electrode By Voltammetry. *European Journal of Science and Technology*, (20), 859-865.

Abstract

Molecularly imprinted polymer based working electrode was prepared for the determination of ciprofloxacin (CF). Electrochemical behavior of CF was investigated by differential pulse voltammetric (DPV) method in the range of 10-60% (v/v) acetonitrile (MeCN)-H₂O binary mixture at the pH between 3-7 prepared Britton-Robinson (BR) buffers. Voltammetric analyzes were performed with molecularly imprinted (MIP) and non-imprinted (NIP) modified electrodes. The influence of the electropolymerization cycles, solution pH, and MeCN-H₂O ratio, on the performance of both electrodes were evaluated and optimized. Detection limit was obtained as 1.12×10^{-5} M (S/N=3). Recommended method was successfully employed for determination of CF in pharmaceutical, human serum and urine.

Keywords: Ciprofloxacin, Polypyrrole, Biological sample, Differential puls voltammetry, Molecularly imprinting

Farmasötik Dozaj, İnsan Serumu ve İdrarındaki Siprofloksasinin Moleküler Baskılı Polipirol Modifiye Elektrot Kullanılarak Voltametrik Tayini

Öz

Siprofloksasin tayini için moleküler baskılı polimer bazlı çalışma elektrodu hazırlanmıştır. Siprofloksasinin elektrokimyasal davranışı % 10-60 (v/v) asetonitril-su ikili karışımında ve pH 3-7 aralığında hazırlanan Britton-Robinson (BR) tamponu kullanılarak diferansiyel puls voltametri (DPV) yöntemiyle incelenmiştir. Voltametrik analizler moleküler baskılı (MIP) ve baskısız (NIP) modifiye elektrotlar ile gerçekleştirilmiştir. Elektropolimerizasyon döngü sayısı, çözelti pH'sı ve asetonitril-su oranının her iki tip elektrodun performansı üzerindeki etkisi araştırılmış ve optimize edilmiştir. Dedeksiyon limiti 1.12×10^{-5} M (S/N = 3) olarak bulunmuştur. Önerilen yöntem farmasötik dozajda, insan kanı ve idrarındaki siprofloksasinin tayini için başarıyla uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Siprofloksasin, Polipirol, Biyolojik numune, Diferansiyel puls voltametri, Moleküler baskılama

* Corresponding Author: bgurler@beun.edu.tr

1. Introduction

Ciprofloxacin (CF), [1-cyclopropyl-6-fluoro-1,4-dihydro-4-oxo-7-(piperazinyl)quinolone-3-carboxylic acid] (The formula of CF is in Fig.1), a second generation fluoroquinolone, is one of the most important quinolone derivatives in clinical use and has a broad spectrum of activity against Gram negative and Gram positive bacteria [1-3]. Some fluoroquinolones have been developed especially for veterinary practice, such as enrofloxacin (ENRF), while others like CF are limited to human treatment [4]. CF is used in a broad range of urinary, respiratory, gastrointestinal tract infections [5]. However, recently, misuse of antibiotics in food producing animals has caused a wide anxiety among the public because of the transfer of antibiotic-resistant bacteria from animals to human beings. [6]. Numerous methods have been reported for the detection of CF in the literature; such as, high performance liquid chromatography (HPLC) [7-13] using various detectors, liquid chromatography-mass spectrometry (LC/MS) [14], capillary electrophoresis [15], UV spectrophotometry [16], adsorptive stripping voltammetry [17] and electrochemical analysis [18,19]. Among all the above, electrochemical method may be the most widely used due to its advantages of selectivity, sensitivity, quick response and low cost.

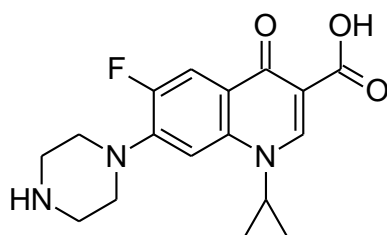


Fig. 1. Chemical structure of ciprofloxacin.

In the new analytical techniques MIPs have gained growing interest as a novel type of sorbent with alluring properties [20]. This interest can be explained by the advantages of the MIPs, like superior stability, low cost and simple preparation. MIPs are prepared in the presence of a target molecule whose functional and cross linking monomers are co-polymerized in a solution. This procedure can be performed between imprint molecules and monomers by means of either reversible covalent bonding or non-covalent interactions [21]. MIPs have been applied in different kinds of methods, like liquid chromatography [22,23], solid phase extraction [24,25], solid phase micro-extraction [26], capillary electrophoresis [27], and electrochemical sensors [28-31].

Owing to the high affinity, selectivity and mechanical stability, imprinted polymers have been used for the determination of drugs. In this work we developed a sensor based on molecularly imprinted polymer electrodes to make easy and fast detection of ciprofloxacin by voltammetry. MIP and NIP electrodes were prepared by CV and electrochemical behavior and determination of CF were performed by DPV. European Union (EU) Legislation has established the safe Maximum Residue Limits (MRLs) of the veterinary drugs in animal edible tissues. Total maximum residue limit for enrofloxacin and ciprofloxacin is 100 µg/kg. Its successful application to the determination of CF in commercial pharmaceutical sample and biological samples has been demonstrated.

2. Material and Method

2.1. Apparatus

Autolab/PGSTAT 302 N was used for analysis of CF which is controlled by a Nova 2.1.4 software version (Ecochemie, Netherlands). Ag/AgCl (3M) electrode as reference, and a Pt wire as auxiliary electrode, were used. As working electrode, imprinted and non-imprinted polypyrrole modified pencil graphites were used. Voltammograms were recorded under Nitrogen atmosphere, at room temperature.

2.2. Chemicals

Ciprofloxacin (≥ 98.0%) was obtained from Aldrich, tetra-n-butylammonium tetrafluoro-borate (TBATFB) ≥ 98.0 %, acetic acid (≥ 99.8%), sodium hydroxide (≥ 97%), boric acid (99.5-100.5%), acetonitrile (≥ 99.9%), ortho-phosphoric acid (85%), and pyrrole (≥ 97%), were supplied by Merck. Deionized water (ultra-pure) was used in all solutions. Ciprofloxacin tablets were purchased from a local pharmacy in Turkey.

2.3. Working Electrode Preparation

The interior of a Scribss tipped pencil was adapted as the holder for the graphite tip. Two types of modified electrodes were prepared using pyrrole for monomer and the simultaneous electropolymerization was performed on the pencil graphite surface. The basic principle of molecular imprinting is based on the process of cross-linked monomers forming copolymerization in the presence of a target analyte that acts as a molecular template.

MIP electrodes were recorded by cyclic voltammetry (CV). CV voltammograms were taken in the range of 10-60 % (v/v) MeCN-H₂O binary mixture, in the presence of 1×10⁻¹ M pyrrole [21,28-31], 1×10⁻¹ M TBATFB and 1.36×10⁻³ M CF. 100 mV/s was scan rate. NIP electrodes were also obtained under the same conditions to check the dependability of measurements.

2.4. Overoxidation of PPy Films

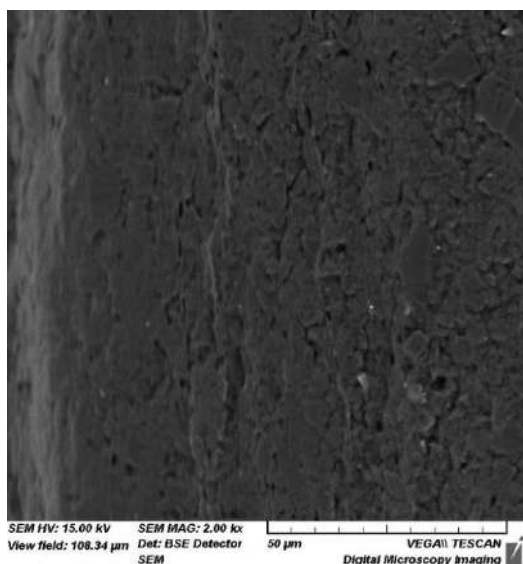
PPy films were overoxidized by CV at the scan rate of 50 mV/s by scanning potential from +0.80 to +1.20 V for twenty times in 1×10⁻¹ M NaOH solution [21,28]. In this procedure, by overoxidation, both the PPy was overoxidated and the template molecules was removed from the PPy films.

2.5. Surface Morphologies

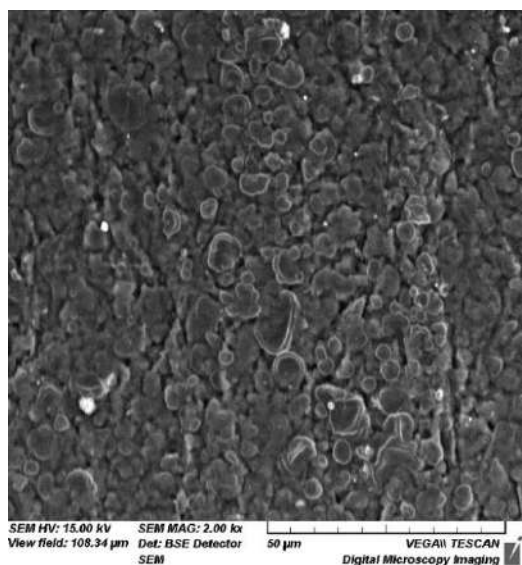
Surface morphologies of pencil graphite electrode (PGE) and MIP film were studied with scanning electron microscopy (SEM) image and shown in Fig.2. As can be seen from the images, the MIP film seems to be more porous structure than the PGE because molecularly imprinting causes rearrangement of polymer chain packing. MIP films are easy to handle, robust, and very compact. The overoxidation procedure greatly influences the surface morphology, that actually give rise to an important difference in anion and cation uptake selectivity.

2.6. Characterization of Ciprofloxacin

Electrochemical characterization of ciprofloxacin was researched by modified electrodes. Catalytic effect of MIP electrode is displayed in Fig.3. Ciprofloxacin gives an oxidation peak response at around 1.25 V.



(a)



(b)

Fig. 2. SEM photographs of (a) NIP and (b) MIP electrode.

The maximum peak current at around 1.25 V for ciprofloxacin at MIP and NIP electrode are, 1.4×10^{-4} A, and 3×10^{-5} A respectively. The obtained current response with NIP electrode, is lower than with the MIP electrode. These values explain that the MIP electrode is more selective and sensitive than the NIP electrode against CF as seen in Fig.3.

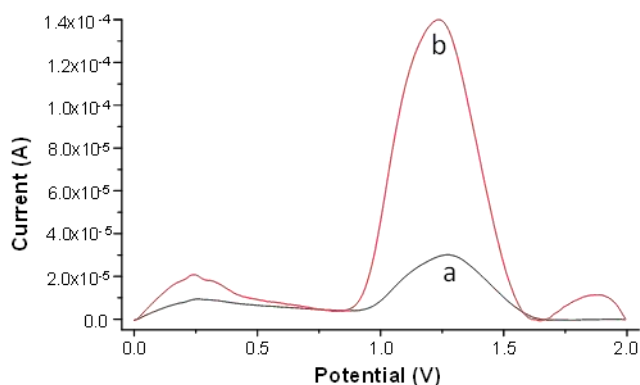


Fig. 3. DP voltammograms for CF at (a) NIP electrode, (b) MIP electrode in 40% (v/v) MeCN–H₂O BR buffer at pH 5.0.

A CF calibration plot was obtained by plotting ΔI versus CF concentration in 40% MeCN–H₂O (v/v) BR buffer at pH 5.0. A linear relation was observed in the range of 5×10^{-5} - 5×10^{-3} M with a correlation coefficient of 9.99×10^{-1} . The detection limit was determined as 1.12×10^{-5} M (S/N=3).

Table 1 shows calibration characteristics and related parameters using MIP electrode for CF. The limit of detection (LOD) and the limit of quantification (LOQ) were calculated for CF with MIP electrode according to the 3 s/m and 10 s/m criterious, respectively.

Table 1. Characteristics of ciprofloxacin plots in 40% (v/v) MeCN–H₂O BR buffer at pH 5.0 using MIP electrode.

	Ciprofloxacin (M)
Linearity Range (M)	5×10^{-5} – 5×10^{-3}
R^2	9.99×10^{-1}
LOD (M)	1.12×10^{-5}
LOQ (M)	3.73×10^{-5}

2.7. Analysis of Ciprofloxacin in Pharmaceutical, Human Serum and Urine Samples

CF containing commercial drug, was analyzed for estimation of CF. The tablets (each tablet contains 500 mg of ciprofloxacin hydrochloride (HCl) equivalent to 500 mg ciprofloxacin) were weighed, powdered and dissolved in 40% (v/v) MeCN–H₂O BR buffer (in a 25 mL volumetric flask) at pH 5.0 [18,19]. The solution was sonicated with ultrasonic stirrer 20 min and filtered through a 0.45 μ m nylon syringe filter. Different concentrations of this solution were added to the electrochemical cell and DP voltammograms were recorded.

Serum and urine samples were obtained from healthy individuals before the experiments, were prepared as follows: the blood sample santrifüjed 10 minutes (4000 rpm) and the supernatant was taken and equal volumes of MeCN was added and centrifuged 15 min (12000 rpm) for the protein precipitation. The supernatant was taken and added to the stock solution (prepared with CF) mentioned before, to be 10 percent of total volume, and different concentrations of this solution were added to the electrochemical cell and DP voltammograms were taken. Also, urine samples were prepared with the same procedures as their ratios to be 10%, and analyzed. The same experimental conditions were applied to the NIP electrode. Table 3 demonstrates the gained data when the DPV is used, with MIP electrode.

3. Results and Discussion

MIP and NIP electrodes were prepared by CV deposition of pyrrole in the presence of TBATFB with and without CF on a pencil graphite electrode, respectively.

The experiments were performed using a cell which is composed of three-electrode system, the NIP or MIP electrode as the working electrode, a platinum wire as the auxiliary electrode, and the Ag/AgCl as a reference electrode. This method was also used for determination of CF in commercial pharmaceutical

tablet and biological samples.

3.1. Cyclic Voltammetry

Cyclic voltammograms obtained for MIP and NIP electrodes in the presence of 1×10^{-1} M pyrrole, 1×10^{-1} M TBATFB and in the presence and absence of 1.36×10^{-3} M CF in 10-60% (v/v) MeCN-H₂O binary mixture at the pH between 3-7 prepared BR buffers.

3.2. Differential Pulse Voltammetry

The voltammetric behavior of CF on imprinted and non-imprinted films were investigated by differential pulse voltammetry in BR buffer solutions (working media and BR buffers were mentioned above). In Fig.4 differential pulse voltammograms for solutions containing increasing concentrations between 5×10^{-5} - 5×10^{-3} M CF standard at MIP electrode were given. The current of the MIP electrode was found to increase with increasing CF concentration.

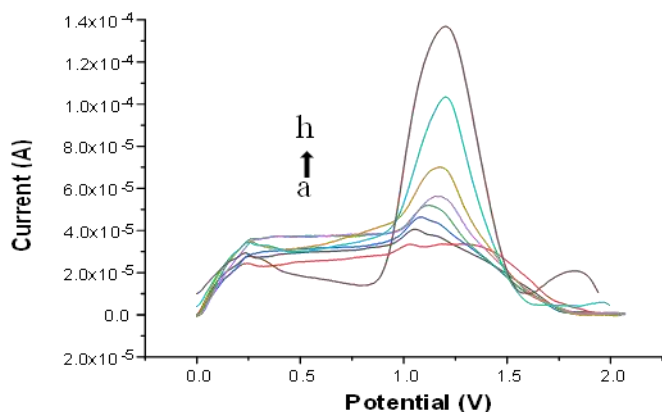


Fig. 4. DP voltammograms of CF at varying concentration in the range of 5×10^{-5} - 5×10^{-3} M (a-h) at the MIP electrode in 40% (v/v) MeCN-H₂O BR buffer at pH 5.0.

3.3. Influence of MeCN-H₂O Ratio

The influence of MeCN-H₂O ratio of solution on the MIP electrodes was investigated by DPV in the range of 10-60% (v/v) MeCN-H₂O binary mixture (increasing by 10 units) at the pH between 3-7 prepared Britton-Robinson (BR) buffers. The reproducibility, repeatability and the highest peak current intensity were obtained in 40% (v/v) MeCN-H₂O BR buffer at pH 5.0. Therefore, 40% (v/v) MeCN-H₂O BR buffer at pH 5.0 was selected for optimum working media (the data were not given here).

3.4. Influence of pH

The influence of pH on the electrochemical oxidation of CF at the MIP electrode was investigated by the DPV in the range of 3-7. The voltammetric response of CF is sorely affected by pH. Well defined peaks were obtained at pH 5.0, as seen from the Fig.5 oxidation currents decreased below and above pH 5.0. This pH is in agreement with Nawaz and Kawde's studies in the literature [18,19].

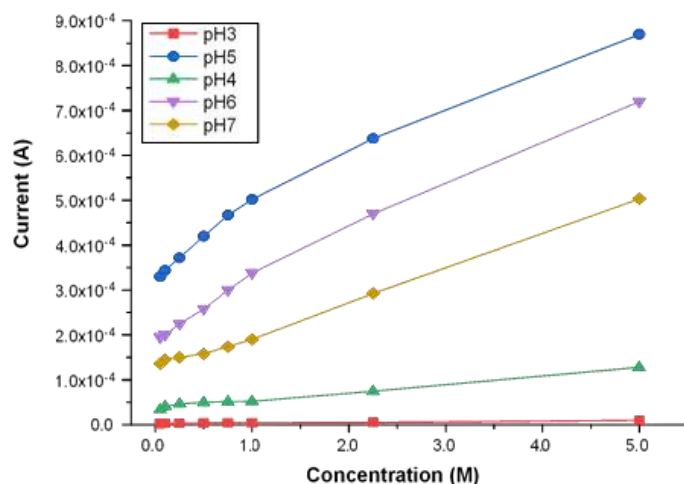


Fig. 5. The influence of pH on the peak current of CF at MIP electrode in 40% (v/v) MeCN-H₂O BR buffer.

3.5. Influence of the Electropolymerization Cycles

The optimum CV cycles for the formation of the 'sensing' layer of MIPs were detected from a series of experiments. These electrodes were prepared with different number of cycles at controlled potential from -0.6 V to +1.4 V reducing the potential value 0.1 V, in different ratio of MeCN-H₂O (v/v) binary mixture solution of 1×10^{-1} M TBATFB, 1.36×10^{-3} M CF and 1×10^{-1} M pyrrole. The MIP electrode was prepared at between 3 to 7 cycles for the control of polymer thickness. The highest current difference between the MIP and NIP electrodes for CF was obtained by applying five cycles in the electropolymerization. So, the number of optimum polymerization cycles was chosen to be five cycles.

3.6. Influence of Interferent

The determination of CF in the presence of ofloxacin (OFL) under the same experimental conditions was studied with MIP electrode. The oxidation currents in varying concentration of OFL at a fixed concentration of CF were analyzed by DPV. The obtained current in the absence of interferent was 3.4×10^{-5} A. The results are given in Table 2. That is, the modified MIP electrode can recognize the CF molecules by means of shape selection and the size of functional groups.

Table 2. Influence of interferent (Ofloxacin), at the MIP electrode, on the DPV response.

Concentration of interferent (M)	Change in current response (A) ^a
2.5×10^{-4}	1.2×10^{-6}
5.0×10^{-4}	1.8×10^{-6}
7.5×10^{-4}	2.1×10^{-6}
1.5×10^{-3}	3.5×10^{-6}

^aThe current in the absence of any interferent was 3.4×10^{-5} A.

3.6. Electrochemical Determination of Ciprofloxacin in Pharmaceutical and Biological Samples

Purposed method is used for determination of CF in pharmaceutical, human serum and urine, in order to confirm the reliability of the overoxidized polypyrrole electrode as a sensor. For the detection of CF in pharmaceutical tablets and biological samples DPV technique was used. The solutions obtained by dissolution of ciprofloxacin tablets were diluted so that ciprofloxacin concentration lies in the range of calibration plot. Differential pulse voltammograms were then recorded under exact identical conditions that were employed while recording differential pulse voltammograms for plotting calibration plot. Fig. 6, 7 and 8 shows DP voltammograms of drug, urine and serum at MIP electrode, respectively. Reported and experimentally detected ciprofloxacin amount in tablets, and spiked and determined amounts in serum and urine are listed in Table 3. In this table we can observe that this detection method was useful for analytical applications.

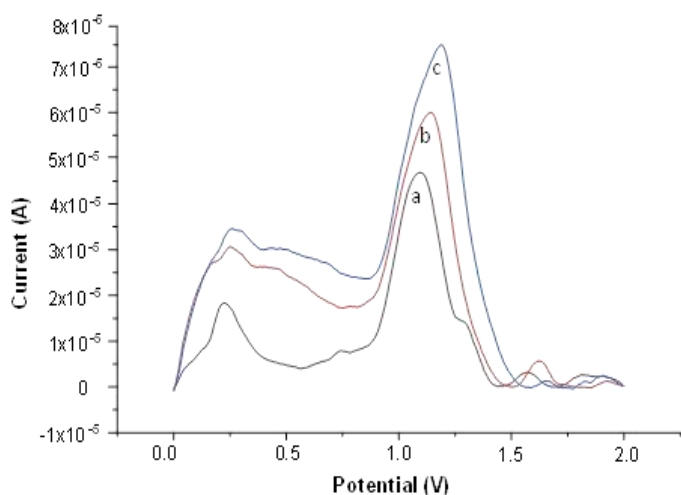


Fig. 6. DP voltammograms, at MIP electrode, for (a) 9×10^{-4} M, (b) 1.5×10^{-3} M and (c) 2.5×10^{-3} M CF, in drug.

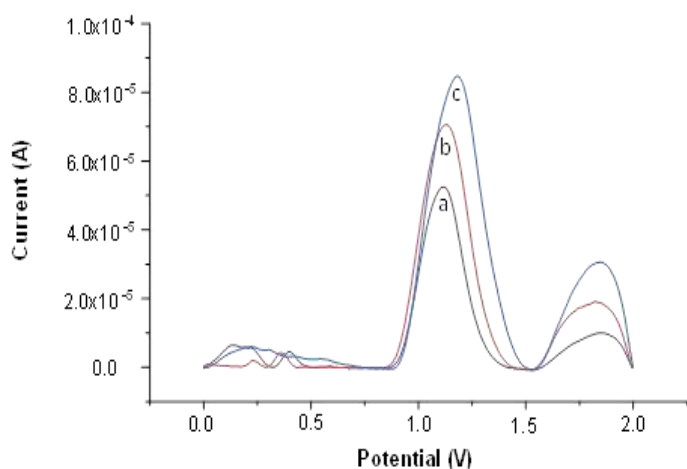


Fig. 7. DP voltammograms at MIP electrode, for (a) 9×10^{-4} M, (b) 1.5×10^{-3} M and (c) 2.5×10^{-3} M CF, in urine.

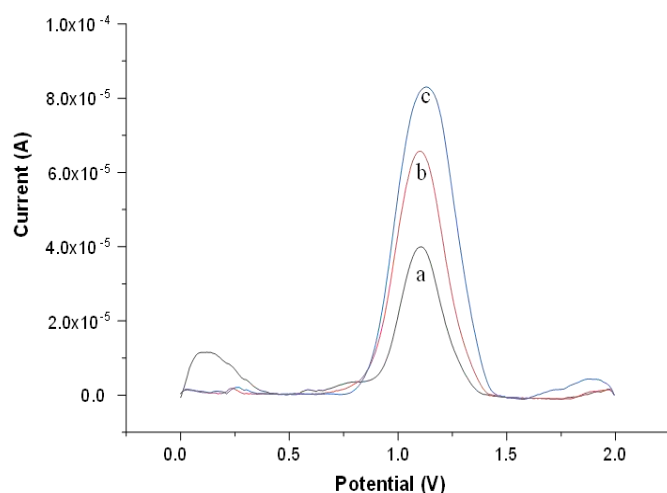


Fig. 8. DP voltammograms at MIP electrode, for (a) 9×10^{-4} M, (b) 1.5×10^{-3} M and (c) 2.5×10^{-3} M CF, in serum.

Table 3. Results of determination and recovery analysis of ciprofloxacin in pharmaceutical and biological media.

	Pharmaceutical	Urine	Serum
Reported content	500 ^a		
Spiked ciprofloxacin (M)	2.50×10^{-3}	2.50×10^{-3}	2.50×10^{-3}
Detected ciprofloxacin (M) with MIP	2.43×10^{-3}	2.55×10^{-3}	2.65×10^{-3}
RSD, %	0.48	0.63	0.52
Recovery (%)	97.4	104.4	101.8

^a mg/capsule.

4. Conclusions and Recommendations

In our work, ciprofloxacin imprinted and non-imprinted modified electrodes has been prepared by the cyclic voltammetric deposition of polypyrrole film on the pencil graphite surface. To investigate electrochemical behavior and determination of CF, modified electrodes were used. The response of NIP and MIP electrodes was compared and observed that the MIP electrode showed high selectivity and sensitivity toward ciprofloxacin. The highest anodic current of ciprofloxacin that was yielded in BR buffer solution was prepared in 40% (v/v) MeCN-H₂O at pH 5.0. This fabricated electrode has been successfully applied as a sensor for easy, simple, fast and sensitive detection of ciprofloxacin in pharmaceutical and biological samples. The PPy modified electrodes are disposable simple to construct, have a good mechanical stability and low response time. The proposed method could find application for the detection of ciprofloxacin level in clinical and pharmaceutical samples.

Funding:

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

References

- Torriero, A.A.J., Ruiz-Diaz, J.J.J., Salinas, E., Marchevsky, E.J., Sanz, M.I., and Raba, J. (2006). Enzymatic rotating biosensor for ciprofloxacin determination. *Talanta*, 69, 691-699. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.11.005>
- Shan, J., Liu, Y., Li, R., Wu, C., Zhu, L., and Zhang, J. (2015). Indirect electrochemical determination of ciprofloxacin by anodic stripping voltammetry of Cd(II) on graphene-modified electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 738, 123-129. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2014.11.031>
- Pinachoa, D.G., Gorgy, K., Cosnier, S., Marco, M.P., and Sánchez-Baeza, F.J. (2008). Electrogeneration of polymer films functionalized by fluoroquinolone models for the development of antibiotic immunosensor. *ITBM-RBM*, 29 (2-3), 181-186. <https://doi.org/10.1016/j.rbmet.2007.11.006>
- Piñero, M.Y., Garrido-Delgado, R., Bauza, R., Arce L., and Valcárcel, M. (2012). Easy sample treatment for the determination of enrofloxacin and ciprofloxacin residues in raw bovine milk by capillary electrophoresis. *Electrophoresis*, 33 (19-20), 2978-2986. <https://doi.org/10.1002/elps.201200316>
- Torriero, A.A.J., Salinas, E., Raba, J., and Silber, J. J. (2006). Sensitive determination of ciprofloxacin and norfloxacin in biological fluids using an enzymatic rotating biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*, 22 (1), 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2005.12.004>
- Zhang, X., Wei, Y., and Ding, Y. (2014). Electrocatalytic oxidation and voltammetric determination of ciprofloxacin employing poly(alizarin red)/graphene composite film in the presence of ascorbic acid, uric acid and dopamine. *Analytica Chimica Acta*, 835, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.05.020>
- Muchohi, S.N., Thuo, N., Karisa, J., Muturi, A., Kokwaro, G.O., and Maitland, K. (2011). Determination of ciprofloxacin in human plasma using high-performance liquid chromatography coupled with fluorescence detection: Application to a population pharmacokinetics study in children with severe malnutrition. *Journal of Chromatography B*, 879, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2010.11.032>
- Sirisha, T., Gurupadayya, B.M., and Sridhar, S. (2014). Simultaneous determination of ciprofloxacin and tinidazole in tablet dosage form by reverse phase high performance liquid chromatography. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13 (6), 981-987. <http://dx.doi.org/10.4314/tjpr.v13i6.23>
- Filip, C., Ceana, D.E., and Vescan, A.T. (2014). HPLC method with fluorescence detection for the identification and quantitative determination of fluoroquinolones in milk. *Acta Medica Transilvanica*, 2 (1), 151-153. <http://www.amtsibiu.ro/component/content/article/28-nr-1-2014/1551>.
- Rodríguez, E., Moreno-Bondi, M.C., and Marazuela, M.D. (2011). Multiresidue determination of fluoroquinolone antimicrobials in baby foods by liquid chromatography. *Food Chemistry*, 127, 1354-1360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.098>
- Espinoza-Mansilla, A., Muñoz de la Peña, A., González Gómez, D., and Salinas, F. (2005). HPLC determination of enoxacin, ciprofloxacin, norfloxacin and ofloxacin with photoinduced fluorimetric (PIF) detection and multiemission scanning application to urine and serum. *Journal of Chromatography B*, 822, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2005.05.045>
- Bera, A.K., De, A.K., and Pal, B. (2014). RP-HPLC method development and validation for the determination of ciprofloxacin from marketed tablet dosage forms. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6 (5), 1214-1218. www.jocpr.com
- Vella, J., Busutil, F., Bartolo, N.S., Sammut, C., Ferrito, V., Serracino-Inglott, A., Azzopardi, L.M., and LaFerla, G. (2015). A simple HPLC-UV method for the determination of ciprofloxacin in human plasma. *Journal of Chromatography B*, 989, 80-85. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2015.01.006>
- Grondin, C., Zhao, W., Fakhoury, M., and Jacqz-Aigrain, E. (2011). Determination of ciprofloxacin in plasma by micro-liquid chromatography-mass spectrometry: an adapted method for neonates. *Biomedical Chromatography*, 25, 827-832. <https://doi.org/10.1002/bmc.1523>
- Xu, X., Liu, L., Jia, Z., and Shu, Y. (2015). Determination of enrofloxacin and ciprofloxacin in foods of animal origin by capillary electrophoresis with field amplified sample stacking-sweeping technique. *Food Chemistry*, 176, 219-225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.054>
- Varakneshin, M., and Ebrahimi, M. (2018). Preconcentration and Determination of Ciprofloxacin with Solid-phase Microextraction and Silica-coated Magnetic Nanoparticles Modified with Salicylic Acid by UV-Vis Spectrophotometry. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 13 (3), em21. <https://doi.org/10.29333/ejac/85176>
- Hoang, V.D., and Yen, N.T. (2013). Adsorptive cathodic stripping voltammetric determination of ciprofloxacin in bulk powder, pharmaceutical dosage forms and urine. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 12 (5), 783-790. <http://dx.doi.org/10.4314/tjpr.v12i5.19>
- Nawaz, H., Rauf, S., Akhtar, K., and Khalid, A.M. (2006). Electrochemical DNA biosensor for the study of ciprofloxacin-DNA interaction. *Analytical Biochemistry*, 354, 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2006.04.004>
- Kawde, A.N., Aziz, Md.A, Odewunmi, N., Hassan, N., and AlSharaa, A. (2014). Electroanalytical determination of antibacterial ciprofloxacin in pure form and in drug formulations. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 131-138. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-013-0851-3>
- Andersson, L.I. (2000). Molecular imprinting: developments and applications in the analytical chemistry field. *Journal of Chromatography B*, 745, 3-13. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(00\)00135-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(00)00135-3)
- Perçin Özkorucuklu, S., Şahin, Y., and Alsancak, G. (2008). Voltammetric behaviour of sulfamethoxazole on electropolymerized-molecularly imprinted overoxidized polypyrrole. *Sensors*, 8, 8463-8478. <https://doi.org/10.3390/s8128463>
- Mirzajani, R., and Kardani, F. (2016). Fabrication of ciprofloxacin molecular imprinted polymer coating on a stainless steel wire as a selective solid-phase microextraction fiber for sensitive determination of fluoroquinolones in biological fluids and tablet formulation using HPLC-UV detection. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 122, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2016.01.046>

23. Attallah, O.A., Al-Ghobashy, M.A., Ayoub, A.T., Tuszyński, J.A., and Nebsen, M. (2018). Computer-aided design of magnetic molecularly imprinted polymer nanoparticles for solid-phase extraction and determination of levetiracetam in human plasma. *RSC Advances*, 8, 14280-14292. <http://dx.doi.org/10.1039/C8RA02379D>
24. Lian, Z., and Wang, J. (2016). Determination of ciprofloxacin in Jiaozhou Bay using molecularly imprinted solid-phase extraction followed by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *Marine Pollution Bulletin*, 111, 411–417. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.034>
25. Wang, G.N., Yang, K., Liu, H.Z., Fenga, M.X, and Wang, J.P. (2016). Molecularly imprinted polymer-based solid phase extraction combined high performance liquid chromatography for determination of fluoroquinolones in milk. *Analytical Methods*, 27, 5511-5518. <http://dx.doi.org/10.1039/C6AY00810K>
26. Sarafraz-Yazdi, A., and Razavi, N. (2015). Application of molecularly-imprinted polymers in solid-phase microextraction techniques. *Trends in Analytical Chemistry*, 73, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.05.004>
27. Moreno-González, D., Hamed, A.M., Gilbert-López, B., Gámiz-Gracia, L., and García-Campaña, A.M. (2017). Evaluation of a multiresidue capillary electrophoresis-quadrupole-time-of-flight mass spectrometry method for the determination of antibiotics in milk samples. *Journal of Chromatography A*, 1510, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.06.055>
28. Gürler, B., Perçin Özkorucuklu, S., and Kır, E. (2013). Voltammetric behavior and determination of doxycycline in pharmaceuticals at molecularly imprinted and non-imprinted overoxidized polypyrrole electrodes. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 84, 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.06.009>
29. Özcan, L., and Şahin, Y. (2007). Determination of paracetamol based on electropolymerized-molecularly imprinted polypyrrole modified pencil graphite electrode. *Sensors and Actuators B*, 127, 362-369. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.04.034>
30. Perçin Özkorucuklu, S., Özcan, L., Şahin, Y., and Alsancak, G. (2011). Electroanalytical Determination of Some Sulfonamides on Overoxidized Polypyrrole Electrodes. *Australian Journal of Chemistry*, 64, 965-972. <https://doi.org/10.1071/CH10481>
31. Özcan, L., Şahin, M., and Şahin, Y. (2008). Electrochemical preparation of a molecularly imprinted polypyrrole-modified pencil graphite electrode for determination of ascorbic acid. *Sensors*, 8, 5792-5805. <https://doi.org/10.3390/s8095792>



An Adaptive, Distributed and Intelligent Traffic Light System

Mehmet Dinçer Erbaş^{1*}

¹ Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Bolu, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1762-0428), dincer.eras@ibu.edu.tr

(First received 1 November 2020 and in final form 12 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.831348)

ATIF/REFERENCE: Erbas, M. D. (2020). An Adaptive, Distributed and Intelligent Traffic Light System. *European Journal of Science and Technology*, (20), 866-871.

Abstract

In this study, it is aimed to create a low cost adaptive traffic light system. For this purpose, a probabilistic, discrete-time traffic simulator has been developed that can be used to model existing traffic networks. A unique adaptive traffic light system, which achieves higher service quality compared to a fixed time adjusted traffic light system, was developed and tested on the simulator. It has been shown that the developed system can manage the traffic flow in real time and is not affected by the information loss caused by the oversaturation of the modeled roads.

Keywords: intelligent transport system, multi-agent simulation, load balancing

Uyarlanabilir, Dağıtılmış ve Akıllı Trafik Işık Sistemi

Öz

Bu araştırmada, düşük maliyetli bir uyarlanabilir trafik ışığı sistemi oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle mevcut trafik ağlarını modellemek için kullanılabilir olacak olasılıksal, ayrık zamanlı bir trafik simülatörü geliştirilmiştir. Geliştirilen simülatör üzerinde sabit zaman aralıklı bir trafik ışığı sistemi ile karşılaştırıldığında daha yüksek hizmet kalitesine erişen, özgün bir uyarlanabilir trafik ışığı sistemi geliştirilmiş ve test edilmiştir. Geliştirilen sistemin gerçek zamanlı olarak trafik akışını yönetebildiği ve modellenen yolların aşırı doygunluğundan kaynaklanan bilgi kaybından etkilenmediği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: akıllı ulaşım sistemi, çok-etmenli simülasyon, yük dengeleme.

* Corresponding Author: Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1762-0428, dincer.eras@ibu.edu.tr

1. Introduction

Intelligent Transport Systems (ITS) aim to provide safer, smarter, more efficient and highly coordinated use of transport networks for vehicles and pedestrians (Dimitrakopoulos and Demestichas, 2010). Since 1970's, different types of ITS have been built as an alternative to preset, fixed-time traffic light systems in many cities all over the world. In addition to higher quality of service for the users of the transport networks, ITS aim to provide a considerable reduction in air pollution and fuel consumption. Recent studies inform that the economic gains that can be achieved by ITS are considerably high (Studer et al., 2015).

An ITS roughly contains 3 main components. First, it has a sensing module that collects real-time data about some specific properties of the on-going traffic. For this purpose, a number of different detector systems have been utilized, including video detectors (Chintalacheruvu and Muthukumar, 2012), inductive detectors (Gajda et al., 2001) or radar detectors (Garcia et al., 2012). Based on these sensory systems, a number of metrics, such as number of waiting or approaching vehicles or average waiting time for vehicles or pedestrians, are computed in order to build adaptive systems.

Second, an ITS should have an analysis module, in which, the calculated metrics are matched with some environmental facts that explains the current situation of the transportation network. For instance, an increased waiting time for vehicles passing through a specific intersection is taken as a signal of high congestion. In some systems, these analysis are made in a completely automated fashion based on some predefined rules (Hunt et al., 1982). Other systems involve manual inspections by technicians (Slavin et al., 2013).

Third, based on the output of the analysis module, every ITS has a decision module that formulates necessary modifications on the parameters of the system so that the transportation network can adapt to the current traffic load. The electronic devices, whose parameters can be modified by the decision module, act as the actuators of the ITS. The main devices that are controlled by the system are traffic lights; almost all ITS attempt to compute the cycle time and specific green light intervals of traffic lights that are present on intersections. In addition to traffic lights, some systems make use of changeable message signs to inform drivers and pedestrians about some events on the transportation network.

Based on the specific properties of its main components, we can define some desirable characteristics of an ITS:

- The sensing module should be simple and cheap to implement and it should depend on the local information that can be captured in real-time. Furthermore, the information that is captured should be reliable enough to make adaptive decisions and it should not be affected by the environmental factors. Most systems make use of complex sensor technologies that attempt to capture the size, speed and direction of motorized vehicles and pedestrians that approach a specific intersection. Achieving such a complex task involves object detection, identification and tracking in real-time. It is reported that such systems are highly prone to errors especially on short roads that can get easily congested. In addition, these systems are highly expensive as they incorporate advanced video cameras or other type of sensors (Studer et al., 2015).

- The analysis module should be distributed over the transportation network. Some ITS have central controlling units (Hunt et al., 1982) that collect data from all intersections of the transportation network on which the systems have control on. As today's transportation networks tend to grow larger and complex in time, adding new nodes to such systems costs very high. In such systems, in order to include new nodes in the system, the operators have to manually modify some parameters of the system, and this process results with an additional maintenance and personal cost (Studer et al., 2015).

- The decision module of the ITS should be implemented in such a way that it is easy and cheap to upgrade the existing electronic infrastructure of the transportation network to include ITS related functionalities. Some ITS require large installation bases which result with a need for spaces on the current network and causes additional high costs (Studer et al., 2015).

The main objective of this study is to implement a distributed, low-cost, adaptive, intelligent traffic light system that can be implemented in any part of a transportation network. In order to do that, we first implement a probabilistic, discrete-time traffic simulator that can model traffic networks, that consist of a variable number of roads and intersections, with different traffic loads. On this simulation, we model a simple transportation network that consist of a single intersection which is present in a residential area in the Bolu province of Turkey. On this model, we implement and test a novel, adaptive traffic light algorithm that depends on the local information captured through simple sensors mounted on the existing traffic lights. It is shown that, compared with the fixed-time green light setting that is currently used on the modelled intersection, our adaptive algorithm achieves a higher service quality as we observe a decreased waiting time for vehicles that pass through the modelled intersection. Our algorithm works in real time and it is not affected by the information loss due to over saturation of the modelled roads.

The article proceeds as follows: in section 2, we present some well-known ITS that is widely used in many cities. Section 3 presents SimTraffic simulation software that we developed in order to test our adaptive algorithms. In section 4 we present our novel, adaptive traffic light control system. Section 5 shows some results about the adaptive control system. Finally, section 6 concludes the paper and mentions some further future work.

A number of ITS have been developed and effectively used in many cities since 1970's. One of the most well-known and widely-used ITS is SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) (Slavin et al., 2013). Originating from Sydney Australia, SCATS have been installed in approximately 55,000 intersections in 187 cities of 28 countries worldwide (Homepage | SCATS, 2020). The main idea behind SCATS is to have a distributed network of sensors that captures traffic related information, including number of vehicles waiting in each lane and pedestrians waiting to cross at all intersections. This information is then transferred to the central office in which an automated plan selection is made based on the acquired data. The system allows manual inspection and plan selection by the operators in the central office, therefore, the maintenance and management cost of the system is high. Furthermore, once the system is operational, adding new intersections to the system means modifications and re-planning in the central office. The selected plans include green light intervals and cycle lengths of traffic lights in the network. The system is mainly designed to cover a metropolitan area and reported cost of installation, excluding maintenance and

operational costs, is around 7,500 to 12,000 € per intersection (Studer et al, 2015). As the adaptive algorithm depends on the data that counts the number of waiting vehicles, it is reported that SCATS suffers from the ineffective capture of real-time traffic data when the transportation networks is over-saturated. It is especially a serious issue in short roads that can get easily congested.

SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) (Bretherton et al., 2006) is another type of ITS that originated from United Kingdom during 1970's. Nowadays, it is installed 350 cities worldwide (SCOOT™ – TRL Software, 2020). Similar to SCATS, SCOOT has a network of sensors that are installed on every intersection. These sensors collect information about approaching vehicles by using a set of inductive loops or other types of detectors. It has been reported that the correct location, continuous calibration and maintenance of these sensors are crucial for the success of the SCOOT system (Robertson and Bretherton, 1991). The perceived information about the real-time traffic is sent to the central computer which submits necessary adjustments on the cycle time and green light intervals to the intersections. Its installation cost is between 15,000 to 19,000 € per intersection and it is reported that it may achieve a low performance on over saturated short roads (Studer et al., 2015).

COMPASS (also known as Freeway Traffic Management System) is an ITS that depends on the real-time traffic data by operators at a central office (Hellinga and Van Aerde, 1994). The system make use of pairs of in-road sensors to capture the density of the traffic. Operators of the system can also view the current situation by using cameras placed on the intersections. COMPASS uses changeable message signs to inform drivers about high congestion, closures or accidents.

There are also some proprietary ITS that have been successfully installed in a number of cities, including INSYNC (Stevanovic et al., 2016), SURTRAC (Smith et al., 2013), and STREAMS (Nowacki, 2012).

2. Material and Method

2.1. Simulation

As stated above, in order to test our novel intelligent traffic light algorithm, we build a probabilistic, discrete-time traffic simulator that is called *TrafficSim*. A *TrafficSim* model can both run in real-time mode for visualization purposes and in fast-time mode. Figure 1 shows a model that includes 7 roads and 2 intersections. A *TrafficSim* model $M = \{R, I, L, V, P\}$ consists of 5 components. These components can be defined as follows:

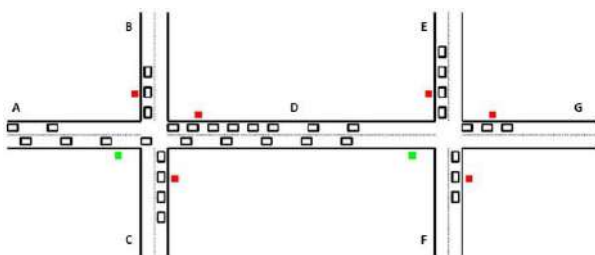


Figure 1. A sample model that consist of 7 roads and 2 intersections. Roads *A*, *B*, *C*, *E*, *F* and *G* are defined as external

roads while road *D* is an internal road. The small rectangles on the roads represent generated vehicles.

R is the set of roads that are part of the model. Each road has parameters of roadLength and numberOfLanes, that represent the length of road in meters and number of lanes that the road possesses, respectively. Each road, otherwise stated, can have traffic heading towards both directions. Based on the type of endpoints of a road, the model can have two types of roads. If both endpoints of the road are intersections that are part of the model, then it is called an internal road. The traffic in both directions on internal roads are result of vehicles passing through the intersections at the endpoints of these roads. Alternatively, if one endpoint of the road goes out of the model, then the road is called an external road. As it will be explained below, new vehicles enter the model through external roads.

I is the set of intersections that connect roads of the model. When a vehicle passes through a traffic light, it enters an intersection and then pass to another road that is connected at the intersection. The default setting is that vehicles randomly pass to the next road with equal probability. However, it is possible to match distinct probabilities to each road. Furthermore, every intersection has a control tool that sets the cycle length and green light intervals of the traffic lights that are present on the intersection.

L is the set of traffic lights that control the entrance to intersections. All traffic lights that belongs to the same intersection share the same green light cycles, which is determined by the control tool of the intersection. Each traffic light has a *FIFO* (First-In-First-Out) queue that stores the vehicles that are stopped at the traffic light. A vehicle can pass through a traffic light at a constant speed if it approaches the light during the green light interval. However, if the vehicle approaches the traffic light during the red light interval, the vehicle is added to the *FIFO* queue of the traffic light. When the green light gets on, the vehicles that are in the queue can pass the traffic light at a rate that is equal to one vehicle per 2 seconds.

V is the set of vehicles that become part of the model. Each vehicle can move on a road, pass through an intersection or wait at a traffic light. At each time unit, new position of the vehicle is determined by adding its displacement to its previous position. Furthermore, at the open endpoint of every external road, a new vehicle may enter the model with a probability equal to $P_{newVehicle}$. By setting different vales to $P_{newVehicle}$, we can simulate traffic at different instensity levels. A high probability results with a high density traffic while low $P_{newVehicle}$ value means a sparse traffic entering the model. At current implementation, each external road can have different $P_{newVehicle}$ values.

Finally, P is the set of pedestrians that can come to intersections. With probability equal to $P_{newPedestrian}$, new pedestrians may arrive at intersections. Once the green light interval for the pedestrians starts, all pedestrians waiting at the intersections are set to leave the intersection. In current implementation, all intersections have the same $P_{newPedestrian}$ value.

Table 1 summarizes the components of a *TrafficSim* model and gives a list of parameters of each of the components

Table 1. Simulation parameters

Component name	Parameter Name	Explanation
<i>R (Roads)</i>	roadLength	Length of the road (m)
	numberOfLanes	# of lanes
	type	Internal or external
	$P_{newVehicle}$	If external, new vehicle probability
<i>I (Intersections)</i>	roadList	List of roads that are connected
	roadPassProb	Array of probabilities of passing to next road
	lightList	List of traffic lights
	controlModule	Module that controls traffic lights
	$P_{newPedestrian}$	New pedestrian probability
<i>L (Lights)</i>	waitingVehicles	FIFO queue for waiting vehicles
	curLight	Green or red
<i>V (Vehicles)</i>	curRoad	Current road
	curSpeed	Current speed
	curDirection	Current direction
	curPosition	Current position
<i>P (Pedestrians)</i>	CurIntersection	Current intersection

2.2. Adaptive Traffic Light System

The adaptive traffic light system is implemented and tested on *TrafficSim* simulation platform. The system works in a fully distributed manner and depends on the information that is received from video cameras that are mounted on the existing traffic lights. The controller, based on a load balancing technique, basically counts the number of vehicles that pass the traffic lights during the green light interval. This task involves object detection and we argue that, with a simple video camera detection system, the task can be achieved with a high success rate in real time. The video detection system needs to capture baseline background image of passing line of the traffic light and compare it with the consecutive captured image frames to detect the existence of passing vehicles. Based on this information, at the end of every green light cycle, the effective usage of a specific light *l* at time *t*, *Effective(l,t)* can be defined as:

$$Effective_{(l,t)} = \frac{\# \text{ of vehicles passed at cycle } t}{\text{Green light duration of cycle } t}$$

(1)

Based on this observation the estimated load on the road that ends with traffic light *l*, *EstimatedLoad(l,t)* is calculated as follows:

$$EstimatedLoad_{(l,t)} = \alpha Effective_{(l,t)} + (1 - \alpha) EstimatedLoad_{(l,t-1)}$$

(2)

When the system starts, all lights that are on a specific intersection have the same share of green light cycle, so the green light intervals for each of them are equal. At the end of each green light cycle, the adaptive system updates the green light intervals in the following way:

- If the traffic light *l* has higher estimated load than the average estimated load plus a threshold value, γ , it is assigned one more unit of share of the green light interval in the next cycle.

- If the traffic light *l* has lower estimated load than the average estimated load minus a threshold value, γ , it is assigned one less unit of share of the green light interval in the next cycle.

In this way, the controller attempts to balance the load on each traffic light by assigning more green light interval to the traffic lights with higher relative load.

3. Results and Discussion

In order to test the utility of the adaptive traffic light system, we created a *TrafficSim* model of a simple transportation network which is present in a residential area in the Bolu province of Turkey (figure 2). The model incorporates an intersection that connects 4 external roads. The traffic lights on these roads share the same green light cycle. In the current fixed-time system, the green light cycle is 75 seconds in which 11 seconds are set as the green light for pedestrians (during which all traffic lights for vehicles are set to red) and 16 seconds are set as the green light interval for each of the traffic lights. The adaptive system similarly assigns 11 seconds of every cycle as green light for pedestrians, however, it dynamically assigns remaining green light interval to traffic lights based on the load metric. To quantitatively compare the performance of the adaptive system with the fixed-time system at different traffic densities, we calculated average waiting time at the intersection.

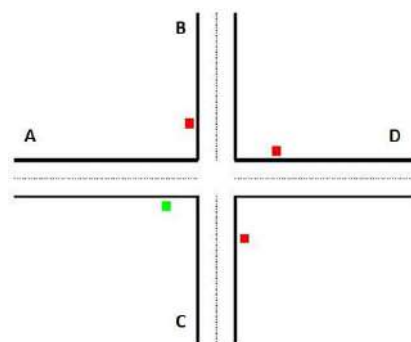


Figure 2. *TrafficSim* model of an intersection that is present in a residential area of Bolu, Turkey. The exact coordinates of the intersection is 40°44'23.5"N 31°35'55.1"E

In order to test the utility of the adaptive system, we simulate variable traffic loads in different sets of experiments. For this purpose, an external road with a normal load is set to have $P_{newVehicle} = 0.05$, while an external road with a high load is set to have $P_{newVehicle} = 0.1$. As it will be explained below, the external roads in each experimental setting set to have a different combination of normal or heavy loads.

In the first set of experiments, all four external roads are set to have normal load. Figure 3 shows results for the first set of experiments. In this setting, the adaptive system, after a minimal increase in the average waiting time at the beginning of the experiment run, achieves a similar performance with the fixed-time system. When we compare the average waiting time metric for two settings at the end of the experiments, a pair-wise t-test reveals that there is no statistically significant difference between two systems. The average waiting time for the adaptive system is 27.63 seconds (*std* 0.63) and the average waiting time for the fixed-time system is calculated as 27.48 seconds (*std* 0.61). In fact, at the end of the first hour of the simulation time, the difference in the performance of the two systems becomes statistically insignificant. Therefore, we can deduce that the adaptive system is able to detect that the load on all roads are same and it assigns the same amount of green light interval to all traffic lights, achieving the same performance with the fixed-time system.

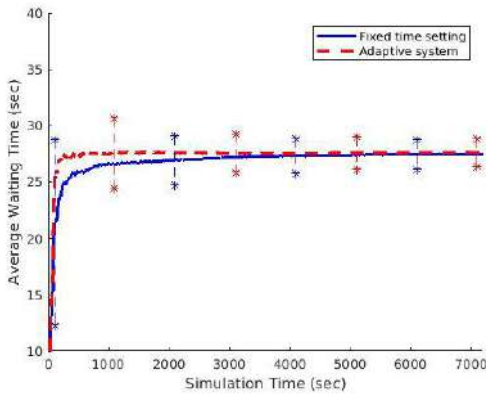


Figure 3. Results for the first set of experiments. The figure shows the average waiting time for 100 experiment runs. At specific points, 95% confidence intervals are shown for both of the systems. α is set to 0.25 and γ is set to 0.1 for the adaptive system

In the second set of experiments, we assign different loads to different roads. In this setting, Road A and road C are set to have normal load while road B and road D are set to have heavy load. Figure 4 shows the results for the second set of experiments. As can be seen, the adaptive system achieves a lower waiting time for vehicles. A pair-wise t-test reveals that the difference between the two systems is statistically significant. At the end of the experiment runs, we observe a 38% decrease in average waiting time for vehicles for the adaptive system, as the average waiting time for the adaptive system is 35.04 seconds (*std* 2.22) and the average waiting time for the fixed-time system is 56.86 seconds (*std* 11.39). This result shows that the adaptive system is able to detect the roads with higher congestion and then assign these roads longer green light intervals, which results with a lower average waiting time at the intersection. Furthermore, as can be seen in figure 4, the confidence intervals for fixed-time system is much wider than of the confidence intervals of the adaptive

system. This means that, in comparison with the fixed-time system, the adaptive system is more robust to random fluctuations in the traffic load.

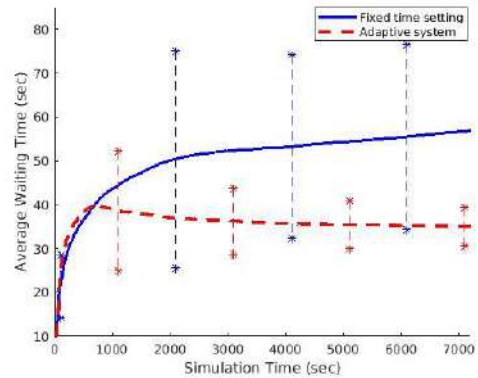


Figure 4. Results for the second set of experiments. The figure shows the average waiting time for 100 experiment runs. At specific points, 95% confidence intervals are shown for both of the systems. α is set to 0.25 and γ is set to 0.1 for the adaptive system

Finally, in the third set of experiments, we check the utility of the adaptive system on changing conditions. To simulate such an environment, we alternate the load of the roads in the following way: we have a two-hour simulation in which during the first hour, road A and road C are set to have normal load while road B and road D are set to have heavy load. In the second hour, road A and road C are set to have heavy load while road B and road D are set to have normal load. Figure 5 shows results for these experiments. As can be seen, the adaptive system achieves a higher performance compared to a fixed-time system in terms of decreased waiting time at the intersection. As the traffic loads on different roads are altered at the halfway through the simulation, we observe a small performance loss of performance for the adaptive system. However, it quickly adapts itself to the new conditions and achieves a high performance. The performance gain manifests itself in terms of decreased waiting time for vehicles. At the end of the experiment runs, we observe a 29% decrease in average waiting time for vehicles for the adaptive system, as the average waiting time for the adaptive system is 39.19 seconds (*std* 3.42) and the average waiting time for the fixed-time system is 55.41 seconds (*std* 9.63).

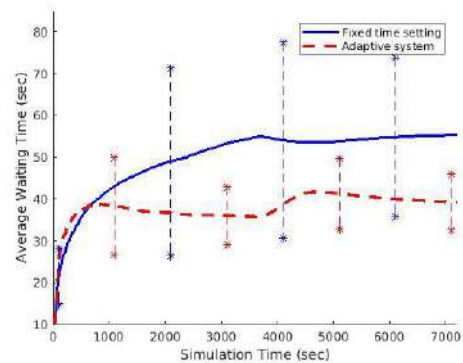


Figure 5. Results for the third set of experiments. The figure shows the average waiting time for 100 experiment runs. At specific points, 95% confidence intervals are shown for both of the systems. α is set to 0.25 and γ is set to 0.1 for the adaptive system

4. Conclusions and Recommendations

In this study, we implemented a probabilistic, discrete-time traffic simulator that can be used to model traffic networks. Based on this simulator, we were able to create models of existing traffic networks with different levels of real-time traffic density. Furthermore, we made a first attempt in building a novel adaptive traffic light system that estimates and then balances the load on a set of traffic lights that are present on a specific intersection. As stated in section II, most of the well-known adaptive traffic light systems depend on the information of waiting or approaching vehicles at an intersection. Capturing such an information is a complex task that involves real-time object detection and tracking. However, our system involves only object detection procedures that are necessary to determine number of vehicles that pass through a specific traffic light during the green light interval. By having a simpler task, our system possesses a number of a benefit:

- Our system can be built on and integrated with existing hardware with relatively low cost.
- The performance of our system does not suffer from over saturation. As stated in section II, over saturation, especially on short roads, is a serious problem that affects the performance of many ITS. However, as our system only depends on the information about number of passing vehicles, it would work exactly same on any type of road or intersection.

We tested the utility of our system on the model of a simple transport network that consists of a single intersection that connects four roads. It was shown that the system was able to estimate the traffic load on specific roads. Based on this information, the system was able to dynamically assign green light intervals to traffic lights so that, compared to a fixed-time system, it could achieve a higher quality of service in terms of reduced vehicle waiting time at the intersection.

Obviously, there is still much to be discussed and improved about our adaptive system. First, we compared it with a fixed-time system that has a specific cycle length. It should be possible and testable to modify the length of the cycles to achieve a higher quality of service. Second, we tested the system on a simple model with only one intersection. Using the simulator, it should be possible to check the utility of our system on complex traffic networks that include many intersections. As the adaptive system works based on the local information that can be captured on each intersection separately, we may be able to quantitatively measure the cumulative increase in the quality of service in a larger network. Finally, the performance of our system should be compared with other ITS in terms of increase in quality of service and cost of implementation.

References

Bretherton, D., Bodger, M., and Cowling, J. (2006). SCOOT- Managing congestion, communications and control. *Traffic Engineering and Control*, 47(3), 88-92.

Chintalacheruvu, N., and Muthukumar, V. (2012). Video based vehicle detection and its application in intelligent transportation systems. *Journal of transportation technologies*, 2(4), 305-314.

Dimitrakopoulos, G., and Demestichas, P. (2010). Intelligent transportation systems. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 5(1), 77-84.

Gajda, J., Sroka, R., Stencel, M., Wajda, A., and Zeglen, T. (2001). A vehicle classification based on inductive loop detectors. *Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 460-464.

Garcia, F., Cerri, P., Broggi, A., de la Escalera, A., and Armingol, J. M. (2012). Data fusion for overtaking vehicle detection based on radar and optical flow. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 494-499.

Hellinga, B., and Van Aerde, M. (1994). An overview of a simulation study of the Highway 401 freeway traffic management system. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21(3), 439-454.

Homepage | SCATS. (2020). Available at: <https://www.scats.nsw.gov.au/>. Retrieved September 25, 2020.

Hunt, P. B., Robertson, D. I., Bretherton, R. D., and Royle, M. C. (1982). The SCOOT on-line traffic signal optimisation technique. *Traffic Engineering & Control*, 23(4), 190-192.

Nowacki, G. (2012). Development and Standardization of Intelligent Transport Systems. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 6(4), 403-412.

Robertson, D. I., and Bretherton, R. D. (1991). Optimizing networks of traffic signals in real time-the SCOOT method. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 40(1), 11-15.

SCOOT™ – TRL Software. (2020). Available at: <https://trlsoftware.com/products/traffic-control/scoot/>. Retrieved September 25, 2020.

Slavin, C., Feng, W., Figliozzi, M., and Koonce, P. (2013). Statistical study of the impact of adaptive traffic signal control on traffic and transit performance. *Transportation Research Record*, 2356(1), 117-126.

Smith, S. F., G. J. Barlow, X. F. Xie, and Z. B. Rubinstein. (2013). Smart urban signal networks: initial application of the SURTRAC adaptive traffic signal control system. *Proceedings of the Twenty-Third International Conference on Automated Planning and Scheduling*, Rome, Italy, 1-9.

Stevanovic, A., Dakic, I., and Zlatkovic, M. (2016). Comparison of adaptive traffic control benefits for recurring and non-recurring traffic conditions. *IET Intelligent Transport Systems*, 11(3), 142-151.

Studer, L., Ketabdari, M., and Marchionni, G. (2015). Analysis of adaptive traffic control systems design of a decision support system for better choices. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 5(6), 1-10.



Sac Kalıplama Prosesinde DD13 ve S355MC Malzemelerin Yırtılma Probleminin İncelenmesi ve Çözümü

Melih Tuyan^{1*}, Ahmet Demirer²

¹ Teknorot Otomotiv Ürünleri Sanayi, Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Düzce, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8474-2148), melih.tuyan@teknorot.com

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Ens., İmalat Müh. Böl., Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1252-9203), ademirer@subu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 24 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.828066)

ATIF/REFERENCE: Tuyan, M., & Demirer, A. (2020). Sac Kalıp Prosesinde DD13 Ve S355MC Malzemelerin Yırtılma Probleminin İncelenmesi Ve Çözümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 872-880.

Öz

Bu çalışmada otomotiv süspansiyon sistemi elemanı olan sac salıncak kollarının üretiminde kullanılan DD13 ve S355MC kalite sacların, üretimde karşılaşılan yırtılma probleminin çözüm süreçleri araştırılmış ve problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Autoform yazılım programı yardımıyla gerçekleştirilen analiz çalışmalarında yırtılmaya maruz kalacak kritik bölgeler tespit edilerek, geometride bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Çalışmanın sonraki aşamasında her iki malzeme için de yırtılmanın gözlemlendiği bölgede oluşan çentik etkisinin giderilmesi için parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma sonrasında DD13 için yırtılma probleminin boyun verme eğiliminde olduğu, S355MC malzemesinde ise yırtılma probleminin azaldığı gözlemlenmiştir. Bir sonraki aşamada, her iki malzemeye sürtünmeyi azaltmak için kalıp yağlayıcı teflon film kullanılmıştır. DD13 malzemesi için yırtılma problemi tamamen giderilirken, S355MC malzemesinde boyun verme ve yırtılma problemleri azda olsa devam etmektedir. Son aşamada yırtılma problemi giderilemeyen S355MC malzemesinin kritik bölgesine ısı işlem uygulanmış ve yırtılma problemi giderilmiştir. Çalışmalara ek olarak elde edilen hatasız sac salıncak parçalara ± 380 kgf yük altında 500.000 çevrim ile uygulanan yorulma testleri sonrasında parçalarda herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: DD13, S355MC, Kalıp Yağlayıcı, Sac Kalıplama, Yırtılma Hasarı.

Investigation and Solution of Tearing Problem of DD13 and S355MC Materials in Sheet Molding Process

Abstract

In this study, the solution processes of the tearing problem encountered in production of DD13 and S355MC quality sheets used in the production of sheet metal wishbone arms, which are an element of the automotive suspension system, were investigated and the solution of the problem was realized. In the study, critical areas that will be exposed to tearing were determined in the analysis studies performed with the help of Autoform software program and some improvements were made in geometry. In the next stage of the study, polishing was carried out for both materials to remove the notch effect in the area where the tear was observed. It was observed that the tearing problem tended to neck for DD13 after polishing, while the tearing problem for S355MC was observed to decrease. In the next step, a mold lubricating teflon film is used to reduce friction on both materials. While the problem of tearing is completely eliminated for DD13 material, necking and tearing problems remain in S355MC material. In the last stage, the tearing problem could not be solved, the critical area of the S355MC material was heat treated and the tearing problem was solved. In addition to the studies, no damage was observed on the parts after the fatigue tests applied with 500,000 cycles under ± 380 kgf load on the error-free sheet wishbone parts.

Keywords: DD13, S355MC, Mold Lubricator, Sheet Molding, Tear Damage.

¹ Sorumlu Yazar: Teknorot Otomotiv Ürünleri Sanayi, Ar-Ge Merkezi, Düzce, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8474-2148, melih.tuyan@teknorot.com

1. Giriş

Endüstride sac kalıplama prosesi halen hızlı şekillendirme yöntemlerinden biri olarak yoğun biçimde kullanılmaktadır. Sac kalıplamada kesme, bükme işlemlerin dışında derin çekme ve sıg çekme işlemleri sac kalıpcılığında parçanın formuna göre uygulanır. Sac kalıpcılığı bilhassa otomotiv sektöründe araçların farklı parçalarının hızlı şekillendirilmesinde tercih edilmektedir. Bu çalışmada otomotiv süspansiyon sistemindeki sac salıncak parçasının kalıplama prosesinde gerçekleşen yırtılma problemi ele alınarak çözümüne yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir. Otomotiv süspansiyon sistemleri, hareket halindeki araç içerisinde seyahat eden kişi ya da cisimleri emniyetli ve konforlu bir sürüş deneyimi kazanması için geliştirilmiş bir sistem olup günümüzde birden fazla süspansiyon çeşitleri bulunmaktadır. Yol şartlarından kaynaklı sarsıntı ve titreşimin araç içerisine iletimini engelleyen en önemli unsur süspansiyon sistemleridir. Günümüz ihtiyaçlarından kaynaklı olarak süspansiyon sistemleri gelişme göstermeye devam etmektedir [1-2].

Günümüzde modern binek araçların birçoğunda süspansiyon sistemlerinde ortak parçalar; travers, amortisörler, yaylar, akson, direksiyon kutusu, rot mili, rot başı, denge çubukları, rotül-burç ve salıncak kolundan oluşmaktadır. Süspansiyon sisteminde tekerin yola basması ve tekerin yukarı-aşağı hareketini sağlayan salıncak kollarıdır [3]. Salıncaklar, döküm teknolojisi, dövme teknolojisi ve sac kalıplama olarak üç farklı metot ile imal edilebilir. Çoğunlukla şase ile arasındaki bağlantı salıncaktaki burçlar ile yapılırken, teker ile arasındaki bağlantı akson-rotül vasıtasıyla yapılmaktadır (Şekil 1) [4].



Şekil 1. Sac salıncak kolu [4]

Sac metallerin şekillendirilmesinde kullanılan yöntemlerin başında, kalıpta şekillendirme yöntemi gelir. Günümüzde beyaz eşya, otomotiv, havacılık, makine imalatı, tarım aletleri vb. birçok alanda kullanılan araç ve gereçlerin imalatında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çoğunlukla kalıp üzerine yerleştirilen levha ya da şablon haldeki sac malzeme, zımbanın üzerine gelen kuvvet etkisi ile istenilen şekillerdeki kalıp boşluğuna sıvanarak kalıbın şeklini alması işlemidir. Bu aşamada malzemede oluşabilecek gerilmeler malzemenin mekanik özelliklerini aşması halinde incelmeye-yırtılma eğilimi sergileyerek hasara uğrar [5].

Sac malzemelerin, üretiminde olası hataların öngörülmesi; kalıp henüz tasarım aşamasında iken tespit edilebilir. Bunun tespiti günümüzde analiz programları ile mümkündür. Malzeme üzerindeki birim şekil değişimlerinin tespit edilmesi ile şekillendirme sınır eğrileri oluşturulur (Şekil 2), bu eğrilerin analiz programlarına malzeme tanımlamaları yapılarak üretimde

karşılaşılabilecek hataların tespitini mümkün kılmaktadır. Bu eğriler ilk olarak Keeler ve Backofen tarafından sac malzemelerin şekillendirilebilirliğini değerlendirmek için ortaya atılmıştır [6].

Vishwajeet ve Uday [7] düşük karbonlu sac metallerin şekillendirme sınır eğrilerinin geliştirilmesi için yaptıkları deneyler neticesinde, şekillendirme sınır eğrisinin altındaki ve üstündeki tüm olasılıkları deneysel olarak incelemiş ve bu eğrilerin doğruluğunu ispat etmiştir.

Şekillendirme sırasında, sac malzeme başlangıçta kalınlık boyunca homojendir, şekillendirme sonrasında ise bölgesel olarak incelmektedir. Deformasyonun fazla olduğu bölgeler kopmaya ramak kala yani kopmak üzeri iken hemen öncesinde malzemenin kesiti aşırı derecede ince olabilir. Yırtılma başlangıcı kabul edilen bu bölgeye boyun vermiş bölge denir. Yapısal olarak zayıflamaya neden olması sonucu boyun vermenin oluşması bir hasar olarak kabul edilmektedir [8]. Bu nedenle endüstride sac salıncak kolu üretiminde kullanılması uygun farklı türlerdeki sac malzemelerin üretim süreçleri gözden geçirilmeli ve bu süreçte karşılaşılan problemlerin çözümü araştırılmalıdır. Böylece farklı sac malzemelerin kullanılarak gerçekleştirilen sac salıncak kolu ürünlerin hızlı, hatasız ve kaliteli olmaları sağlanmalıdır.

Bu çalışmada DD13 ve S355MC kalitede iki farklı malzemelerin sac kalıplamadaki yırtılma hasarı otomotivde kullanılan sac salıncak kolu üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla öncelikle parça geometrisinin analizleri Autoform programı ile gerçekleştirilmiş ve malzemede oluşacak kritik gerilmelerin yerleri tespit edilmiştir. Öncelikle, geometride tekrarlı düzeltmeler yapılarak minimum gerilmenin elde edileceği geometri belirlenmiştir. Belirlenen geometri ile yapılan analizlerde oluşabilecek olası yırtılma hasarları üretim esnasında da karşılaşılmıştır. Karşılaşılan problemin çözümüne yönelik olarak; farklı malzeme kullanılması, proseste parametrelerin değiştirilmesi ve bazen de farklı üretim yöntemlerinin uygulanması gerekebilmektedir. Çalışmada yırtılma hasarının gerçekleştiği otomotiv süspansiyon sistemlerinde sac salıncak kolu ele alınarak farklı malzeme ve proses şartlarının ürün üzerindeki etkileri incelenmiş ve yırtılma hasarının çözümüne yönelik adım adım ilerleme gerçekleştirilmiştir. Üretim aşamasında uygulanan yöntem ve sırası malzeme ve yöntem kısmında geniş bir şekilde ele alınmıştır.

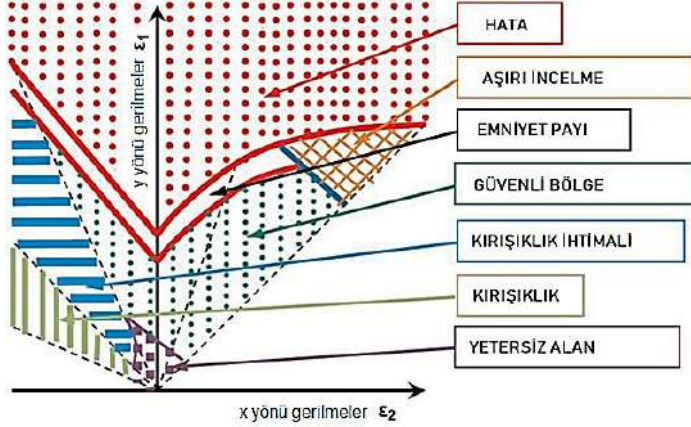
2. Malzeme ve Yöntem

Geniş şekillendirme yelpazesine sahip olmasının büyük avantajı ile hemen hemen her sektörde önemli ölçüde yer kaplayan sac malzemelerin üretim yöntemleri; haddeleyerek şekillendirme, gererek şekillendirme, derin çekme, sıg çekme, kauçukla şekillendirme, sıvama, süper plastik şekillendirme, yüzey çekiçleyerek şekillendirme, patlama ile şekillendirme, elektromanyetik şekillendirme ve kalıplama gibi özel prosesler ile üretimi mevcuttur. Sac kalıplama prosesi halen hızlı şekillendirme yöntemlerinden biri olarak kullanılmaktadır. Derin çekme ve sıg çekme işlemleri sac kalıpcılığında parçanın formuna göre uygulanmakta olup proses esnasında sacların yoğun çekildiği plastik deformasyonun en fazla gerçekleştiği bölgelerde uzama, boyun verme ve yırtılmalar görülmektedir [9].

Zamanla artan talep üzerine otomotiv üreticileri imalatta karşılaşılabilecek problemleri imalat aşamasında ara operasyonlar ile çözmek, kapasite artırımı için oldukça önem arz etmektedir. Üretim kapasitelerinin artması ile sac metallerin kullanım alanlarının genişlemekte olduğunu görmekteyiz. Hafifliğinin

yanında, yüksek dayanımlı sacların şekillendirilebilirliği kontrol edilebilir olması ile otomotiv endüstrisinde geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.

Son yıllarda artan sac şekillendirme işlemleri sonrasında üretimde karşılaşılan hataların erken tespiti için sonlu elemanlar yazılımı yaygın olarak tercih edilmektedir. Yüzeydeki birim şekil değişimlerinin tespiti ile şekillendirme sınır eğrileri (Şekil 2) elde edilerek sonlu elemanlar yazılımına malzeme girdileri işlenmesiyle, üretimde karşılaşılabilecek hataların erken tespitini mümkün kılmaktadır [10].



Şekil 2. Şekillendirme sınır eğrileri - FLD (Forming Limit Diagram)[10]

Çalışmada kullanılan sac salıncağa ait gövde sacı 2 mm et kalınlığına sahip, DD13 ve S355MC sac malzemeler ile gerçekleştirilmiştir. DD13 malzeme olarak ERDEMİR 6224, S355MC malzemesi olarak ERDEMİR 4936 kalite sac kullanılmıştır.

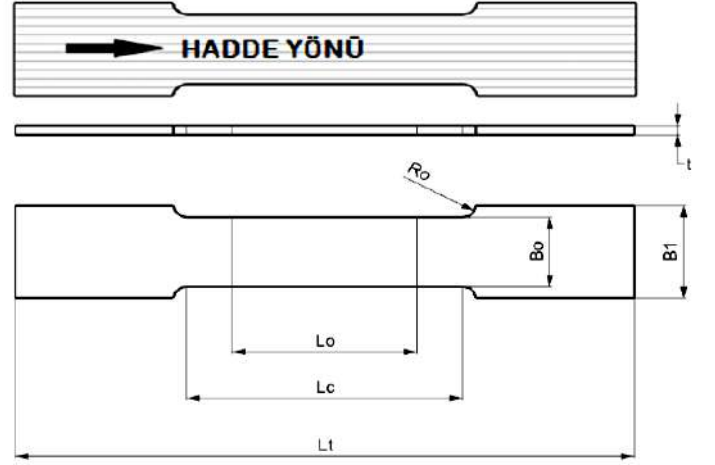
DD13 ve S355MC sac malzemeler süspansiyon sistemlerinde farklı üreticilerin tasarladıkları geometri neticesinde kullanım olarak farklılık göstermekte olup, yan sanayi ürünlerinde karşılaşılan malzemelerdir. S355MC orijinal ana parçalara oldukça yakın mekanik özelliklere sahip olması ile yan sanayide tercih edilen diğer DD11 ve DD13 malzemelerin zamanla yerini almaktadır.

Çalışmada kullanılan her iki malzemenin kimyasal kompozisyonundaki farklılıklar yapılan spektral analiz ile belirlenmiş elde edilen sonuçlar Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Spektral analiz sonuçları

	DD13	S355MC
%C	0.056	0.086
%Si	0.001	0.04
%P	0.002	0.009
%S	0.007	0.003
%Mn	0.28	0.8
%Ti	0.001	0.008
%Al	0.025	0.09
%Nb	0.001	0.1
%V	0.001	0.03

Çekme deneyleri ISO 6892-1 standardında olup minimum uzama ele alınarak hadde yönüne 90° olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Test numunesine ait ölçü ve toleransları Şekil 3 ve Tablo 2’de görülmektedir.



Şekil 3. Çekme testi hadde yönü ve numune ölçüleri

Tablo 2. Çekme testi numunesi ölçü ve toleransları

Genişlik	Bo	20
İlk Ölçü Uzunluğu	Lo	50
Gövde Uzunluğu	Lc	60
Toplam Uzunluk	Lt	300
Çene Tutma Genişliği	B1	30
Kavis Yarıçapı	Ro	12

Not: Ölçüler mm, İşleme toleransı ± 0.02 mm dir.
Et kalınlığı $t = 2$ mm

Hadde yönüne 90° olacak şekilde elde edilen test sonuçları Tablo 3’de görülmektedir.

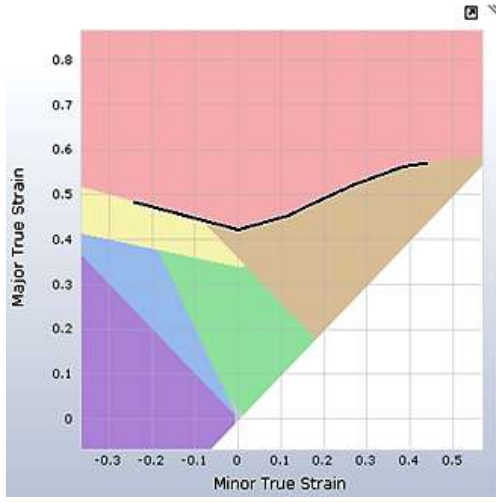
Tablo 3. Çekme testi verileri

	DD13	S355MC
%0,2 Akma Gerilmesi [MPa]	252,78	409,21
Çekme Gerilmesi [MPa]	342,45	477,92
Kopma Uzaması [%]	47,82	34,98
Elastisite Modülü [GPa]	14,43	18,22

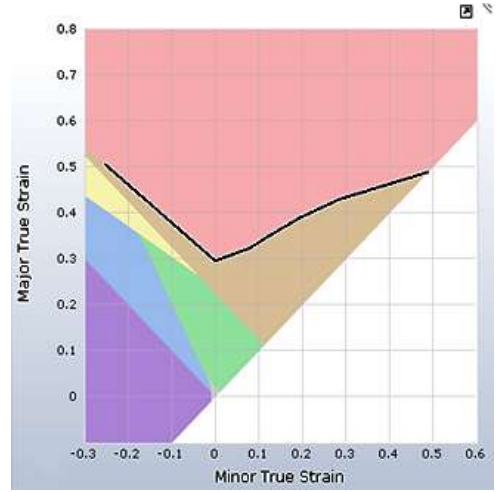
Çekme testlerinden yola çıkarak DD13 malzemesinin akma ve çekme değerleri, S355MC malzemeye oranla daha düşük olmasının yanında kopma uzamasının yaklaşık %37 oranda daha iyi olduğunu görmekteyiz.

Şekil 4 ve Şekil 5’de malzemelere ait FLD diyagramları incelendiğinde, DD13 malzemesinin tek ve iki eksenli çekme değerlerinin S355MC’ye nazaran daha fazla şekillendirilebilir

olduğu görülmektedir. Minör gerilmelerin (-) yönde ilerlemesi ve majör gerilmelerin (+) yöndeki eğrinin sol tarafı malzemenin derin çekilebilme kabiliyetinin gösterirken, minör gerilmelerin (+) yönde olup majör gerilmelerinde (+) olduğu eğrinin sağ tarafında ise malzemenin çift eksenli çekme (gerdirme) kabiliyetini göstermektedir [11].



Şekil 4. DD13 FLD diyagramı



Şekil 5. S355MC FLD diyagramı

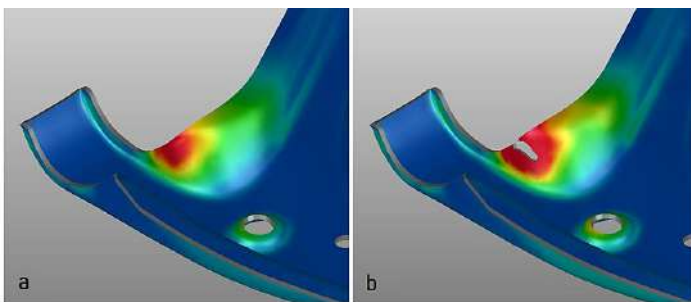
Süspansiyon sistemi elemanı olan sac salıncak kolunun üretimi genel olarak; şablon kesme/şablon delme işlemi, şekillendirme işlemi (derin-sığ çekme), varsa ara işlemler (ön form vs.), kaynaklı birleştirme, kataforez kaplama ve burç-rotillerin montajı ile parça tamamlanarak kullanıcıya hazır duruma getirilmiş olur (Şekil 6).



Şekil 6. Sac salıncak kolu üretim adımları

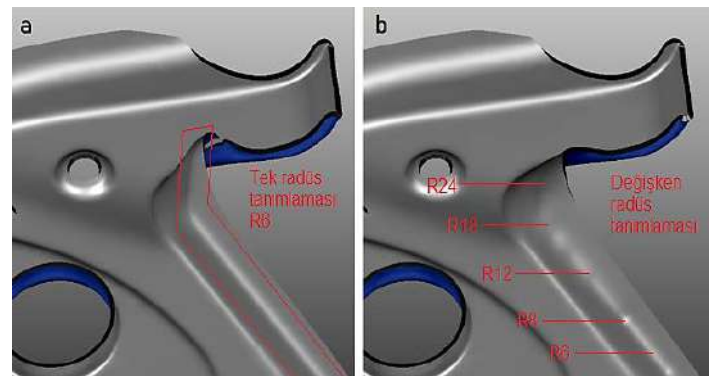
3. Bulgular

Yapılan analiz çalışmasında ilk geometride, her iki malzeme için de Şekil 7'deki gibi yırtılma riski ile karşılaşmıştır. Burada kırmızı renkle belirtilen bölgeler yırtılmaya maruz kalacak bölgeler olup, şekillendirme sınır eğrilerinin üzerine çıkması durumunda yırtılacağını gösteren geometri üzerine yansıtılmış gerilmelerin görüntüsüdür.



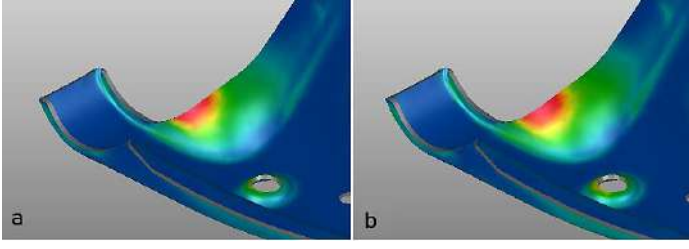
Şekil 7. a) DD13 analiz sonucu b) S355MC analiz sonucu

Yüksek yırtılma riski görülen analizde, bu bölgede oluşan tek eksenli gerilmenin malzemedeki sabit radüslerin sebep olduğu düşünüldüğü için yapılan geometri düzenlemeleri ile sabit tanımlı radüs ile devam eden formun (Şekil 8.a), sacın rahat hareket etmesi için değişken radüs (kenar boyunca artan radüs) tanımlanmasında değişikliğe gidilmiştir (Şekil 8.b).



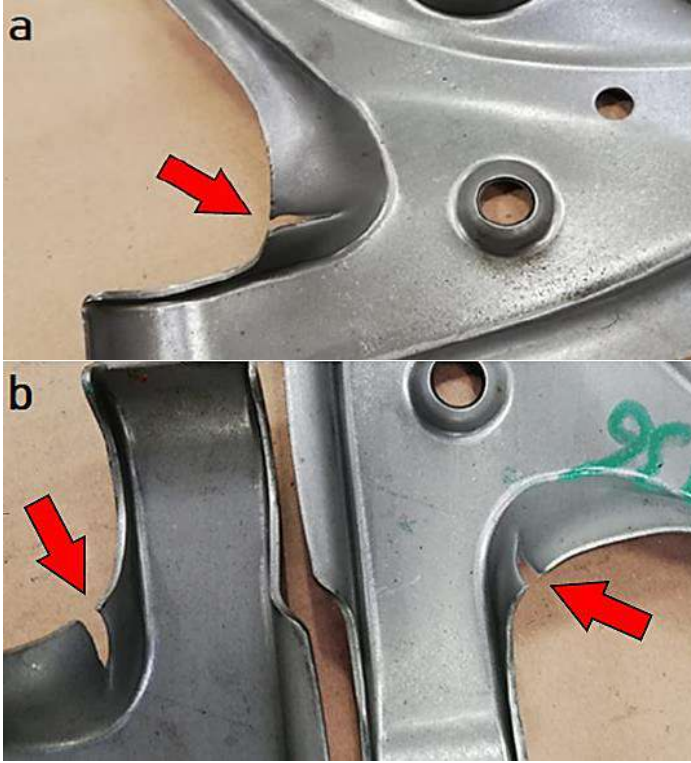
Şekil 8. a) Sabit radüslü ilk geometri b) Değişken radüslü son geometri

Yapılan geometri değişikliği ile parçada oluşacak olan gerilmeler en düşük düzeye indirgenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. a) DD13 değişken radiüslü son geometri analiz sonucu b) S355MC değişken radiüslü son geometri analiz sonucu

Son geometri neticesinde imal edilen kalıpların, DD13 ve S355MC için gerçekleştirilen üretimde her iki malzemenin de gerilmelerin azaltılmasına rağmen yırtıldığı görülmüştür (Şekil 10). Bu durumun Autoform çıktıkları ile tutarlı olduğu görülmüştür (Şekil 9).

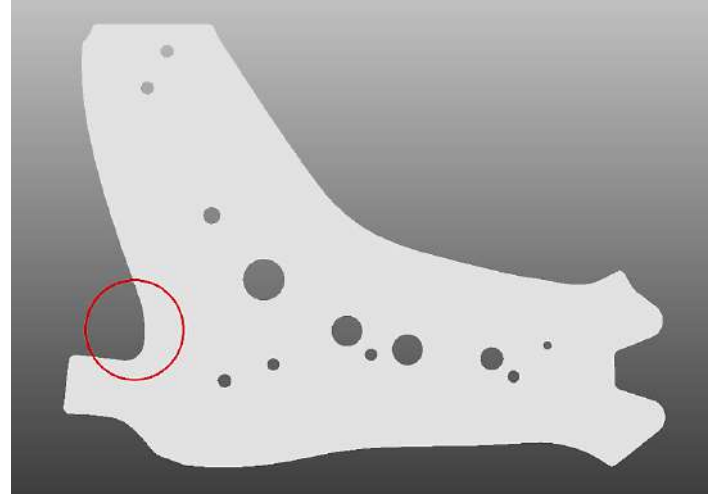


Şekil 10. a) DD13 son geometri üretilmiş parça b) S355MC son geometri üretilmiş parça

Üretimde problemin çözülebilmesi için ilk olarak yırtılma bölgesindeki (Şekil 12) şablon kesme sonrası et kalınlığında oluşan çentik etkisinin giderilmesi için özel yumuşak tip kauçuk esaslı parlatma lastiği (Şekil 11) kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi, şablon kesme kalıbında oluşan sac kenarındaki kesme ve kopma bölgelerinin giderilmesi ile edilmiştir.

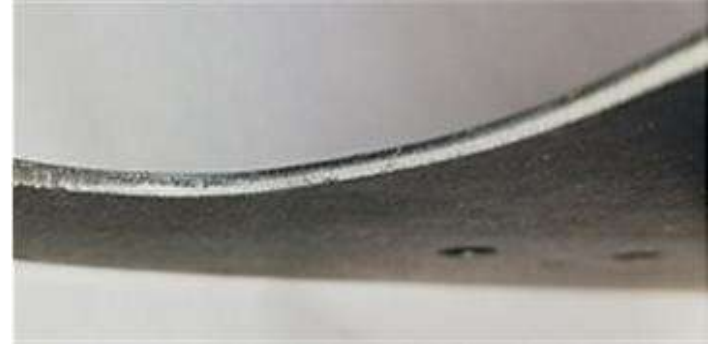


Şekil 11. Yumuşak tip kauçuklu esaslı parlatma lastiği



Şekil 12. Çentik etkisinin giderildiği parlatılan bölge

Yırtılma bölgesi kenarına ait et kalınlığında oluşan kesme ve kopma bölgelerinin görüntüsü Şekil 13'te görülürken parlatma sonrası bu bölgelerin giderilip parlatıldıktan sonraki hali Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 13. Parlatma öncesi

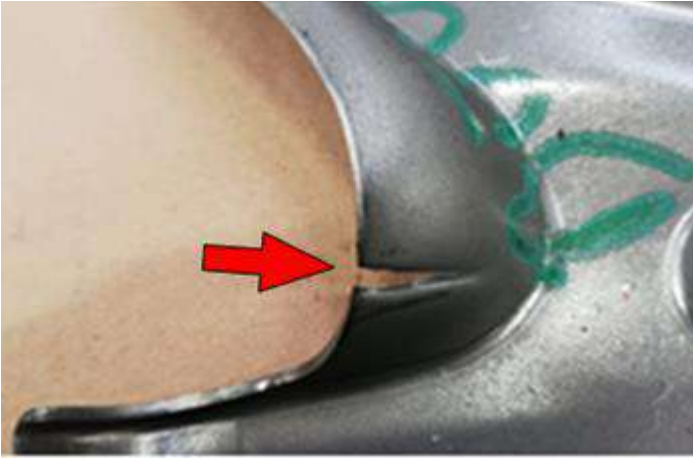


Şekil 14. Parlatma sonrası

Parlatma işlemi, şekillendirme esnasında yüzey pürüzlülüğü nedeniyle çentik etkisinin oluşmaması için tavsiye edilen ampirik çalışmalar sonucu geliştirilen bir uygulamadır. Parlatma işleminin ardından gerçekleştirilen üretimde DD13 malzemesinde yırtılma probleminin bir alt düzey olan boyun verme problemine döndüğü Şekil 15'te görülürken, S355MC için yırtılma probleminin devam ettiği Şekil 16'da görülmektedir. Boyun verme yırtılma; hasarının oluşmasından önce üretilen parçanın et kalınlığında inceleme şeklinde oluşan ve çalışma koşullarında malzemenin bu noktadan kırılmasına neden olan önemli bir problemidir.



Şekil 15. DD13 Parlatma sonrası oluşan boyun verme



Şekil 16. S355MC Parlatma sonrası yırtilma devam ediyor

Bir diğer iyileştirme çözümü olarak kalıpta zımbayla sac parça arasındaki sürtünmenin azaltılması işlemidir. Literatürde sürtünme etkisinin şekillendirme kabiliyetine etkileri ile ilgili farklı malzeme ve farklı koşullara ait birçok araştırma yapılmıştır. Gavas ve arkadaşları [12-19] silindirik kapların çekilebilirliğinin artmasında sürtünme etkisi üzerinde farklı çalışmalar yapmış, çok noktalı baskı plakası ve hava etkili baskı plakası kullanarak sürtünme etkisinin azaltılması ile çekme oranlarının artırıldığı görülmüştür.

Çalışmada çentik etkisinin giderilmesi ile beraberinde sürtünmenin azaltılması için kalıp yağlayıcı olarak 0,25 mm kalınlığa teflon (PTFE- Politetrafloretillen) film kullanılmıştır (Şekil 17).



Şekil 17. Kalıp yağlayıcı (PTFE) teflon film

Teflon, kimyasal adıyla politetrafloretillen (PTFE) sürtünme katsayısı en düşük olan katı yağlayıcı malzemeler arasında olup Bong ve arkadaşları [13], yaptıkları çalışmada östenitik-ferritik paslanmaz çelik için ılık derin çekme işleminde yağlayıcı olarak kullanmışlardır.

Teflon film şekillendirme esnasında şablon halde bulunan sac malzemenin üzerine serilerek kalıp zımbası ile malzeme arasındaki sürtünmenin azaltılması abrazyon oluşumunu azaltmıştır. Yapılan kalıplama sonrasında DD13 malzemesi için yırtılma probleminin çözüldüğü görülmüştür (Şekil 18).

S355MC için yapılan kalıplama işlemi sonrasında bazı parçalarda boyun verme ile aşırı incelendiği gözlenirken parçaların çoğunda yırtılma probleminin devam ettiği tespit edilmiştir (Şekil 19).



Şekil 18. DD13 Parlatma ve kalıp yağlayıcı film ile gerçekleştirilen ürün/Hasarsız ürün



Şekil 19. S355MC Parlatma ve kalıp yağlayıcı ile gerçekleştirilen ürün

S355MC sac malzemeye, şablon halinde iken yani tüm operasyonlar öncesinde hasarlanacak kritik bölgeye ısı işlem uygulanmıştır. Böylece malzemenin şekillendirilebilirliğinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Şekil 20'deki şablon haldeki parçalara ısı işlem uygulanması görülmektedir. İşlemden önce kritik bölge oksijen-asetilen gaz ile ısıtılarak 900-1000°C aralığında 30 saniye süresince ısıtılmış, sıcaklık temassız termometre ile ölçülmüş ve havada soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 20. S355MC şablon malzemeye bölgesel ısıtma işlemi uygulanması

Yapılan bu ısıtma işlemi ile malzemenin ısıtılmadan önceki mikroyapısı (Şekil 21) ve ısıtma işlemi sonrası elde edilen daha homojen bir iç yapının oluştuğu (Şekil 22) malzemenin üretimi esnasında oluşan kalıntı gerilmelerin giderildiği ve böylece malzemenin tokluğunun artışı dolayısıyla malzemenin şekillendirilebilirliğine önemli derecede katkı sağladığı düşünülmektedir.

Literatürde bölgesel ısıtmanın malzeme üzerindeki etkilerini inceleyen Kahrımanidis ve ark. [14], 6000 serisi AA6014 alüminyum malzemesinin kısa süreli bölgesel ısıtmanın farklı ısıtma yöntemleri ile malzeme üzerindeki mekanik değişimleri incelemiştir. Çalışmalarında ısıtma hızının ve sıcaklık dağılımını etkileyen proses farklılıklarının önemini vurgulamış, bölgesel ısıtmanın tane boyutu ve yeniden kristalleşme üzerindeki etkilerinden şekillendirilebilirliğini arttırdığını göstermişlerdir.



Şekil 21. S355MC mikroyapısı



Şekil 22. S355MC Bölgesel ısıtma işlemi sonrası mikroyapı

S355MC malzemesi için bölgesel ısıtma uygulandıktan sonra ilk olarak et kalınlığındaki çentik etkisinin giderilmesi için yapılan parlatma sonrasında numuneler basılmıştır. Yapılan deneme baskıları sonrasında yırtılmanın devam ettiği görüldükçe, yırtılma derinliğinin yaklaşık 4 mm daha azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 23).



Şekil 23. S355MC malzemenin bölgesel ısıtma ve parlatma işlemi sonrası yırtılma hasarı

Son olarak yırtılma probleminin giderilmesi çalışmasında şablonun kritik kısmının bölgesel ısıtılması, ardından yırtılma bölgesindeki çentik etkisinin giderilmesi için yapılan parlatma işlemi ve üretimde sürtünme etkisinin giderilmesi için de kalıp yağlayıcı olarak teflon film kullanılmıştır. Yapılan denemeler sonrasında yırtılma probleminin tamamen giderildiği görülmüştür (Şekil 24).

Tablo 4. Malzemelere uygulanan proses adımları

	Çentik Etkisinin Giderilmesi (Parlatma)	Kalıp Yağlayıcı Kullanımı (Teflon Film)	Bölgesel Isıtma İşlemi (Isıtma)
DD13	+	+	-
S355MC	+	+	+

+ : İlave operasyon olarak kullanımı gerekli

- : İlave operasyon olarak kullanımı gerekli değil



Şekil 24. S355MC malzemenin ısıtma işlemi, parlatma ve teflon film ile üretilen yırtılma problemi çözülmüş nihai ürün

4. Tartışma

Gavas ve arkadaşları [12-19], silindirik kapların derin çekilebilirliğinin artırılmasında sürtünme etkisinin şekillendirilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında sürtünme etkisinin azaltılması için çok noktalı baskı plakası kullanımında bilyelerden faydalanarak sürtünmeyi azaltmış ve hava etkili baskı plakası kullanarak malzeme ve kalıp yüzeyleri arasında hava yardımıyla sürtünme etkisinin azalmasıyla şekillendirme kabiliyetinde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Şen ve arkadaşları [15], HC300LA ve HC420LA soğuk haddelenmiş sac malzemelerin ılık derin çekme oranlarını farklı yağlayıcı kullanımı ile incelemiştir. Grafit sprej malzemenin kullanımı ile gerçekleştirdikleri deneylerde çekme oranı 2,30 olarak elde ederken, grafit sprej ve teflonun beraber kullanımı ile çekme oranının 2,59'a yükseldiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada çekme oranının yani şekillendirilebilirliğinin yağlayıcılarla arttığı tespit edilmiştir. Bahsedilen çalışmadaki elde edilen sonuçlar ile gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar paralellik göstermektedir.

Merklein ve arkadaşları [16], AA6000 alaşım alüminyum serisi malzeme 5sn kadar ortalama 337°C YAG lazer ile ısıtma işlemi uygulayarak malzemenin bölgesel yumuşamasını sağlamış ve ve yapılan derin çekme ve eğme işlemlerinde şekillendirilebilirliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Hermann ve Merklein [17], alüminyum alaşım bir sacın derin çekilebilirliğinin iyileştirilmesi için kısa süreli lazer ısıtma işlemi uygulamış ve farklı sıcaklıklarda deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada malzemenin sıcaklık artışı ile mekanik özelliklerdeki değişimi incelemiş, artan sıcaklık ile iç yapının homojenliğinin artmasıyla malzemenin % uzamasının artmasına ve şekillendirilebilirliğine katkı sağladığı tespit edilmiştir.

Krupa ve Biskup [18], S355MC için kalıplamada karşılaşılan yırtılma hasarının giderilmesi için gerekli kalıp sayısını artırarak ön şekillendirme yoluna başvurmuşlardır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile kalıp sayısını arttırmadan bahsedilen ara operasyonlarla karşılaşılan problemlerin başarılı bir şekilde çözülebileceği anlaşılmaktadır. Böylece çalışma ile ilgili endüstriyel alana önemli katkı sunarak, daha hızlı, ekonomik ve kaliteli ürün elde edilebileceği ispatlanmıştır.

Bu çalışmada, kalıp sayısını arttırmadan üretimde hangi ara operasyonlarla yırtılma probleminin çözülebileceği tespit edilmiştir.

5. Yorulma Testi ve Değerlendirilmesi

DD13 ve S355MC sac malzemeleri için yapılan iyileştirmelerin sonunda numuneler Teknorot firması test laboratuvarında üretim şartnamesine uygun test edilmiştir. Sonsuz döngü olarak tanımlanan test parametreleri 4 Hz frekans ve 45° açı ile ±380 kgf çevrim yükünde teste tabi tutulmuştur. Her iki malzeme için üçer adet numune ile testler gerçekleştirilmiştir (Şekil 25).



Şekil 25. Yorulma testi

Yapılan test sonucunda elde edilen ürünler, kritik değer olan 500.000 döngüyü tanımlı test parametreleri ile tamamlamıştır. Toplam çevrim sonrası yapılan kalite kontrol sonucunda numunelerde herhangi bir yırtılma hasarının oluşmadığı tespit edilmiştir.

6. Genel Sonuçlar ve Öneriler

Gerçekleştirilen bu çalışma ile otomotiv süspansiyon sisteminde kullanılan sac salıncak parçasının DD13 ve S355MC sac malzemeleri ile üretim sürecinde karşılaşılan muhtemel yırtılma hasarının oluşmaması için bazı çözüm yöntemleri sırayla uygulanmış, elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Şablon kesme operasyonu sonrasında yırtılma oluşacak bölgeye ait kenarda çentik etkisinin giderilmesi için özel yumuşak tip kauçuklu esaslı parlatma lastiği ile parlatma işlemi yapılmıştır. DD13 malzemesinde yırtılma problemi çoğunlukla boyun verme eğilimine döndüğü gözlemlenirken, S355MC malzemesinde yırtılma probleminin devam ettiği görülmüştür.
2. Parlatma işlemine ilave olarak sürtünme etkisinin azaltılması için kalıp yağlayıcı olarak 0,25 mm kalınlığında teflon film (PTFE- Politetrafloretilen) sac şablon ile kalıp zımbası arasına serilerek kalıplama yapılmıştır. DD13 için yırtılma probleminin çözüldüğü gözlemlenirken, S355MC malzemesinin çoğunlukla boyun verdiği bunun yanında yırtılmanın az da olsa devam ettiği tespit edilmiştir.
3. Yırtılma probleminin S355MC için çözülememiş olması ile tüm operasyonlara ek olarak sac henüz şablon aşamasında iken bölgesel ısıtma işlemi uygulanarak malzemeye ait mekanik özelliklerin iyileşmesi hedeflenmiş ve ısıtma işlemi sonrasında çentik etkisinin giderilmesi için parlatma işlemi yapılarak

gerçekleştirilen üretimde malzemenin Yırtılma derinliğinin bir önceki prosese göre önemli oranda azaldığı gözlemlenmiştir.

4. Isıl işlem ve parlatma operasyonlarına ek olarak kalıp yağlayıcı teflon film kullanımı ile gerçekleştirilen üretimde ise S355MC için yırtılma probleminin tamamen giderildiği tespit edilmiştir.
5. Uygulanan çözüm yöntemlerinin başarılı olduğu ve kaliteli ürünlerin eldesini sağladığı, ürünlere uygulanan yorulma testlerin sonrasında ürünlerde herhangi bir yırtılma hasarlarının oluşmamasından anlaşılmaktadır.

Öneri olarak bundan sonraki yapılacak çalışmalar için bazı tavsiyeler aşağıda sıralanabilir:

- Malzemede oluşan çentik etkisinin daha operasyon başında oluşmaması için şablon kesme işlemi lazer kesim yöntemi ile gerçekleştirilerek çentik oluşum probleminin devam edip etmeyeceği araştırılabilir.
- Alternatif kalıp yağlayıcı arayışı ile farklı katı yağlayıcılar kullanılarak bölgesel ısıl işleme gerek olmaması sağlanabilir.
- Şekillendirme sonrasında plastik deformasyonun aşırı gerçekleştiği bölgelerde, fazlaca pekleşme olup bu pekleşme derecesinin çatlağa neden olup olmadığı araştırılabilir.

7. Teşekkür

Bu çalışmada tüm olanakları sağlayan Teknorot Otomotiv Ürünleri San ve Tic. A.Ş.'ye katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Crouse W. H., Anglin, D.L., “Automotive Brakes, Suspension and Steering”, Macmillan/McGrawHill, New York, 112-133, 1992.
- [2] Fenton J., “Handbook of Automotive Powertrain and Chassis Design”, Professional Engineering Publishing, London, 162, 1998.
- [3] Emekli M.E., “Hafif Ticari Bir Araç İçin Yarı Aktif Süspansiyon Sistemi Tasarımı”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 1-133 2008.
- [4] Rutci A. and Eren F.S., “Investigation of Suspension Ball Joint Pull Out Force Based on FEA Method and Experimental Study” International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Alanya, 1002-1009, 2018.
- [5] Luet D.J., “Bounding Volume Hierarchy and Non Uniform Rational B-Splines for Contact Enforcement in Large Deformation Finite Element Analysis of Sheet Metal Forming”, PhD thesis, Princeton University Mechanical and Aerospace Engineering, 2016.
- [6] Keeler S.P. and Backofen, W.A., “Plastic Instability and Fracture in Sheets Stretched Over Rigid Punches”, ASM Trans. Quart., 56, 25–48, 1963.

[7] Vishwajeet R.S. ve Uday A.D. “Experimental Investigation on Forming Limit Diagram of Mild Carbon Steel Sheet”, 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering, Procedia Manufacturing 20, 141–146, 2018.

[8] Kayalı E.S., Çimenoglu, H. ve Akoy, M.A., “Erdemir T.A.Ş. Üretimi Sacların Biçimlenebilirliklerinin İncelenmesi”, İnceleme Raporu, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul, 2000.

[9] Gavas M., “Sac metallerin şekillendirilmesi : Kesme-bükme-derin çekme-iş ve takım bağlama”, Seçkin Yayıncılık, 2017

[10] Paul S.K., “Theoretical Analysis Of Strain And Stress-Based Forming Limit Diagrams”, IMechE 2013, J Strain Analysis 48(3), 177–188, 2013.

[11] Anket O., Koruvatan T., Ay İ., “Sac Malzemelerin Şekillendirilmesinde Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Kullanımı” Politeknik Dergisi, 14(1), 39-47, 2011

[12] Gavas M., Uğraş A., “Hava Etkili Baskı Plakasının Derin Çekme İşlemlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” Gazi Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(4), 847-855, 2010.

[13] Bong H. J., Barlat F., Ahn D. C., Kim H. Y., and Lee M. G., “Formability of austenitic and ferritic stainless steels at warm forming temperature,” Int. J. Mech. Sci., 75: 94–109, 2013.

[14] Alexandra K., Daniela W., and Marion M., “Influence of a short term heat treatment by conduction and induction on the mechanical properties of AA6014 alloys”, 8th International Conference on Photonic Technologies LANE 2014, 1410-1418, Sindelfingen, Germany: Daimler AG, 2014

[15] Şen N., Kurgan N., Karaağaç İ., Uluer O., “Ilık Derin Çekme Prosesinde Yağlayıcı Etkisinin Şekillendirilebilirlik Açısından Deneysel Araştırılması”, Politeknik Dergisi, 19 (2), 185-193, 2016.

[16] Merklein M., Böhm W., Lechner M., “Tailoring Material Properties of Aluminium By Local Laser Heat Treatment”, Physics Procedia, 39, 232-239, 2012.

[17] Hermann J., Merklein M., “Improvement of Deep Drawability of Ultra-Fine Grained 6000 series Aluminium Alloy by Tailored Heat Treatment”, Procedia Manufacturing, 15, 976-983, 2018.

[18] Krupa R., Biskup K., “Pre-Forming in Sheet Metal Stamping for Part Made of High Strength Low Alloy Steel S355mc”, Journal of Manufacturing Technologies, Vol. 42 No. 3, 7-10, 2017.

[19] Yaşar M., Korkmaz Z., Gavas M., “Forming sheet metals by means of multi-point deep drawing method” Materials and Design, 28(10), 2647–2653, 2007.



Elastomer Karakterizasyon Test Sistemlerinin Modellenmesi ve Parametrik Analizleri

Göktürk Taşağıl¹, Berk Başgöl², Muzaffer Metin^{3*}, Timuçin Bayram⁴

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Teorisi ve Kontrol Yüksek Lisans Programı İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8816-6325) gokturk.tasagil@mert.com

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Teorisi ve Kontrol Yüksek Lisans Programı İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4680-7910) berk.basgol@mert.com

^{3*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9724-3433) mmetin@yildiz.edu.tr

⁴ Mert Teknik Fabrika Malzemeleri Ticaret ve Sanayi A.Ş. Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2714-9249) timucin.bayram@mert.com

(İlk Geliş Tarihi 29 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 24 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.775221)

ATIF/REFERENCE: Taşağıl, G., Başgöl, B., Metin, M. & Bayram, T. (2020). Elastomer Karakterizasyon Test Sistemlerinin Modellenmesi ve Parametrik Analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 881-889.

Öz

Bu çalışmada, üzerinde elastomer malzeme barındıran burç gibi makine parçalarının statik ya da dinamik karakterizasyon testlerinde kullanılan hidrolik eyleyicili test sistemi modellenmiştir. Burada, literatürde yer alan viskoelastik malzemeler için geliştirilmiş matematiksel modellere sistemin kütle değişkeni de ilave edilerek daha gerçekçi modeller oluşturulmuştur. Daha sonra, viskoelastik malzeme modellerinin hidrolik test sistemi ile birleştirilmesiyle birlikte test sisteminin genel modeli elde edilmiştir. Bu kapsamda, katı ve sıvı viskoelastik modeller ayrı ayrı ele alınmış ve analiz edilmiştir. Parametrik simülasyonlarla yapılan dinamik analizlerde, viskoelastik model parametrelerinin malzeme üzerinde oluşan kuvvet, hız ve yer değiştirme gibi dinamik cevaplara etkileri ortaya konmuştur. Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında, malzeme karakterizasyon testlerinden elde edilecek veriler kullanılarak testi yapılan malzemelerin dinamik model parametrelerinin kestirimi ve bunlara ait dinamik model kurulumu daha kolay yapılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Viskoelastik Malzeme, Elastomer, Dinamik Karakterizasyon, Hidrolik Test Sistemi, Servo Valf.

Modelling and Simulation of Elastomer Materials Test System

Abstract

In this study, hydraulic actuator test system, which is used in static or dynamic characterization tests of machine parts such as bushing with elastomer material, is modeled. Here, more realistic models were created by adding the mass variable of the system to the mathematical models developed for viscoelastic materials in the literature. Then, the general model of the test system was obtained by combining the viscoelastic material models with the hydraulic test system. In this context, solid and liquid viscoelastic models are handled and analyzed separately. In dynamic analysis with parametric simulations, the effects of viscoelastic model parameters on dynamic responses such as force, velocity and displacement on the material have been revealed. In the light of the information obtained from this study, using the data obtained from the material characterization tests, it will be easier to estimate the dynamic model parameters of the tested materials and to set up their dynamic models.

Keywords: Viscoelastic Material, Elastomer, Dynamic Characterization, Hydraulic Test System, Servo Valve.

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9724-3433, mmetin@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Otomotiv, havacılık veya diğer sektörlerde bulunan makinelerde titreşimin izolasyonu, makine parça ömürlerinin uzatılması, konfor şartlarının sağlanması ve gürültü emisyonunun azaltılması açısından çok önemlidir. Bu titreşim etkilerini azaltmak için manyetoreolojik damper veya hidrolik eyleyici gibi yarı aktif/aktif kontrol elemanları kullanılabilir. Fakat bu elemanları kullanmak hem sistemi karmaşıktırcaacak hem de toplam sistem maliyetini arttıracaktır. Bu sebeple çoğu zaman elastomer gibi pasif elemanlar ile titreşimin absorbe edilmesi tercih edilir. Fakat kullanılacak elastomerin gerekli şartları sağlayabildiğini tespit edebilmek için kompleks modül ve kayıp faktör gibi malzemenin yapısal özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir. Bu sebeple, malzeme test edilerek yapısal parametreleri elde edilmeli ve elastomerin matematiksel modeli oluşturulmalıdır. Bu yapılmadan elastomer malzemenin kullanıldığı sistemin dinamik modeli gerçek duruma yakın olarak oluşturulamaz. Genel sistemin dinamik modeli doğru bir şekilde kurulmadan da yapılacak simülasyonlarla sistemin dinamik cevapların nasıl olacağına dair bir öngörü yapılması mümkün olmaz (Williams, 1964; Popov, Hess ve Willert, 2019; Christensen, 1982; Phan-Thien, 2013).

Elastomer malzemeler aynı anda hem elastik hem de viskoz özellik gösteren malzemelerdir. Bu tür malzemelerin genel adı viskoelastik malzemedir. Temelde katı veya elastik olarak adlandırılan ideal malzemenin özelliği, uygulanan yüke karşı malzemede bir deplasman oluşması ve tepki kuvvetinin bu deplasman ile doğru orantılı olmasıdır. Viskoz olarak bahsedilen ideal malzemelerde ise yüke bağlı bir hız ve bu hız ile doğru orantılı bir tepki kuvveti oluşur. Viskoelastik malzemelerin yük altında hem elastik hem de viskoz özellik göstermeleri iki sonuca sebep olmaktadır; ilki, hız parametresinin de dinamik tepkiyi etkilemesi olup, ikincisi ise bu malzemelerin uzun süre yüke maruz kaldıklarında üzerlerinde kalıcı şekil değişikliğinin oluşmasıdır. Viskoelastik malzemelerin dinamik tepkilerine göre literatürde farklı modeller geliştirilmiştir. Bu modellerde kullanılan yay elemanları katılıkları, damper elemanları ise viskoz hareketler ile oluşan sönümü temsil eder. Hem katı hem de sıvı özelliği sağlayacak indirgenmiş model, yay ve sönüm elemanlarının çeşitli şekillerde birbirleri ile bağlanarak modellenmesi ile türetilir. Her elastomer malzemenin yapısı ayrı olduğu için oluşturulacak fiziksel ve matematiksel model de farklı olacaktır. Dolayısıyla her viskoelastik malzemeye uygun dinamik modeli geliştirebilmek için karakterizasyon testi yapılmalıdır. (Mainardi, 2010; Flügge, 1975; Ferry, 1980)

Elastomerlerin testi için kullanılan test sistemleri genellikle hidrolik eyleyiciler ile çalışır (Clamroth, 1981). Bunun sebebi, hidrolik sistemlerin yüksek kuvvet değerlerine çıkabilmesi, yüksek frekanslarda çalışabilmeleri ve kontrol edilmelerinin kolay olmasıdır (Dindorf ve Wos, 2019). Güvenilirlik ve yüksek performans seviyeleri sebebiyle servo valfler endüstride ve havacılık gibi kapalı çevrim hassas kontrole ihtiyaç duyan hidrolik sistemlerde sıklıkla kullanılır (Tamburrano ve diğerleri, 2019). Elastomer test sisteminde parça yüksek frekanslara maruz bırakılacağı için standart oransal valfler yerine ihtiyacı karşılayan servo valf kullanılmaktadır (MOOG Industrial Controls Division, 2016). Elastomer malzemenin matematiksel modelini çıkarabilmek için test sistemi malzemeyi belirli yük değerlerinde zorlamalı ve malzemenin bu yüklere olan tepkisini ölçmelidir

[12]. Bunları yapabilmek için test sisteminin, test edilecek parça ile birlikte modellenmesi gerekmektedir.

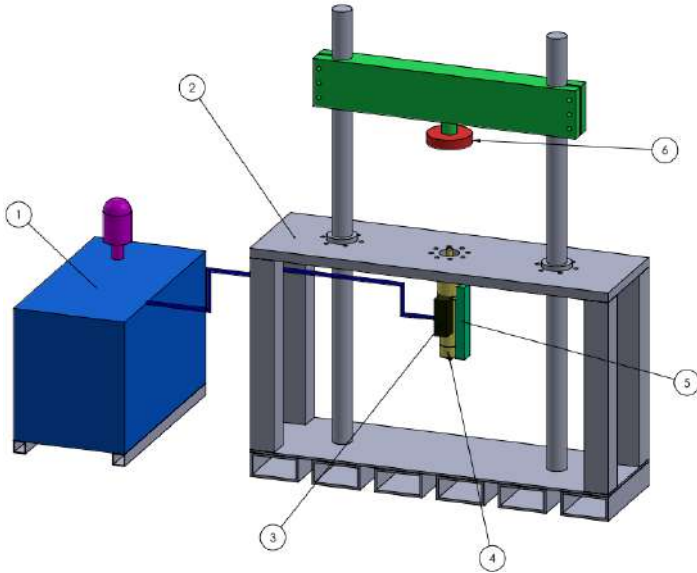
Viskoelastik malzemelerin testlerinin gerçekleştirildiği sistemlere örnek bir diğer sistemin adı da Dinamik Mekanik Analiz (DMA) cihazıdır. DMA'lar basitçe tanımlanacak olursa, bir deney malzemesine salımlı deplasman uygulayan ve bu deplasman karşısında oluşan kuvveti izleyen sistemlerdir. Bu şekilde malzemenin akma eğilimi, faz gecikmesi ve sertlik modülünü çıkartarak dinamik-mekanik analiz yaparlar (Menard, 1999).

DMA cihazları bahsi geçen özellikleri sayesinde malzeme modeli oluştururken tercih edilirler. Lucie Rouleau ve diğerleri 2015'te yaptıkları çalışmada kendinden yapışkan sentetik kauçuk için DMA analizi gerçekleştirmiştir. Bunu yaparken viskoelastik malzemeyi modellemiş ve yaptığı testler ile oluşturduğu modelleri karşılaştırmıştır. Yüksek frekanstaki malzeme yapısını modellemek için zaman sıcaklık süperpozisyon prensibi uygulanmıştır (Rouleau ve diğerleri, 2015). A. N. Bobryshev ve diğerleri ise 2016'da yaptıkları çalışmada elastik ve viskoz elemanlardan yapılan klasik reolojik modelleri kısaca analiz edip, kompozitlerde bir çeşit viskoelastik gevşeme mekanizması modeli önermiştir (Bobryshev ve diğerleri, 2015).

Bu çalışmada, literatürde yer alan viskoelastik malzeme modellerine kütle değişkeninin eklenmesi ile elastomer malzeme dinamik karakterizasyon test sistemleri için daha gerçekçi matematiksel modeller elde edilmiştir. Bunlar, servo valf ve diğer hidrolik eyleyici bileşenleri ile birleştirilerek test sisteminin genel dinamik modeli kurulmuştur. Böylece, otomobil gibi birçok sistemde kullanılan ve üzerine elastomer malzeme barındıran burç benzeri elemanların statik-dinamik karakterizasyonlarını yapacak özel bir test sistemine ait dinamik model çıkartılmıştır. Bu model kullanılarak, testlerde elastomer yapı barındıran makine parçasına uygulanacak kuvvet ile malzeme üzerinde oluşacak yer değiştirme, hız ve kuvvet gibi verilere dair simülasyonlar yapılabilmektedir. Deneysel olarak yapılacak testlerde yer değiştirme gibi sonuç bilgilerinden yola çıkarak model parametresi gibi veriler elde edilirken, bu simülasyon çalışmasında çeşitli malzeme model parametrelerine ait değişimlerin malzeme üzerinde oluşacak yer değiştirme, hız ve kuvvet gibi dinamikleri nasıl etkilediği ortaya konmuştur. Böylece, test sonucunda elde edilecek verilerle kurulacak uygun malzeme modelleri ve yapılacak parametre kestirimleri için temel bilgiler elde edilmiştir.

2. Elastomer Test Sistemi

Elastomer test sistemleri viskoelastik özellik gösteren elastomerlerin statik ve dinamik karakterizasyon testleri için kullanılır. Elastomer malzemelerin bu karakteristik özellikleri parçanın tasarım parametreleri olmaktadır. Diğer bir deyişle, elastomer malzeme bir makine parçası olarak kullanılacaksa matematiksel hesaplamalar için parçanın yay katsayısı ve sönüm değerlerine ihtiyaç vardır. Bu değerler varsa makinelerin modelleri oluşturulabilir ve analizleri yapılabilir (Brown, 2018).



Şekil 1. Test sistemi şematik tasarımı; 1) hidrolik ünite, 2) test sistemi gövdesi, 3) servo valf, 4) hidrolik silindir, 5) lineer cetvel, 6) yük hücresi.

Şekil 1’de test sisteminin elemanları görünmektedir. Test sisteminin çalışma prensibi şu şekilde gerçekleşmektedir: Testi gerçekleştirebilmek için içindeki pompa yardımıyla hidrolik yağ sıkıştırılarak test ekipmanına gönderilir. Sıkışan yağ önce servo valfte ayarlanarak silindire basılır ve silindirde kuvvet ve deplasmana dönüşür. Test yapılacak parça gövdedeki aparatlara bağlanır. Testin güvenilirliği için test sistemi gövdesi mümkün olduğunca rijit olmalıdır. Böylelikle test sisteminin deformasyonu minimize edilecek ve parçada oluşacak deformasyonlar tüm test ekipmanından bağımsız olarak incelenebilecektir. Test sistemi gövdesinin rijitliği ve sisteme uygulanan kontrolün hassas olması, parçanın karakteristik değerleri olan sertlik ve sönüm değerlerinin yüksek doğrulukta elde edilmesini sağlayacaktır.

3. Test Sisteminin Fiziksel ve Matematiksel Modellerinin Çıkarılması

Bu bölümde, test sistemine ait alt bileşenlerin modelleri oluşturulmuştur. Öncelikle hidrolik sistemde bulunan servo valf ve hidrolik silindirin fiziksel ve matematiksel modelleri çıkartılmıştır. Daha sonra, elastomer malzeme için yay ve sönüm elemanı modellerin yanı sıra, Maxwell modeli, Kelvin-Voigt modeli, Anti-Zener sıvı modeli ve Zener katı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu matematiksel modeller malzemedeki kuvvet ve deplasman ilişkisini ifade eder. Ayrıca, modellere sistemdeki yağın, pistonun ve parçanın külesini temsil eden kütle de eklenmiştir.

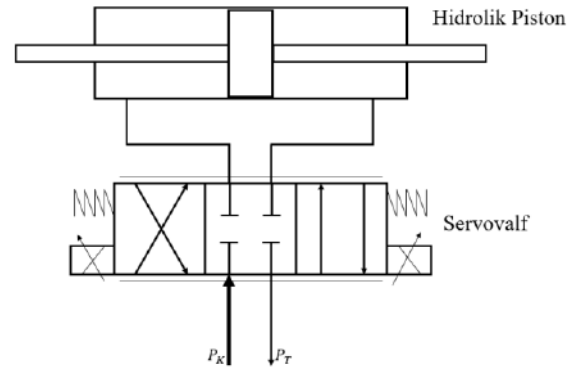
3.1. Hidrolik Sistemin Fiziksel ve Matematiksel Modeli

Hidrolik sistemlerin temel kullanılma sebebi güç iletimini kolaylaştırmalarıdır. Sıkıştırılan akışkanda basınç (kayıplar ihmal edilirse) tüm akışkan içinde eşit olarak yayılacaktır. Bu sebeple güç iletimi basıncı muhafaza ederek çok kolay sağlanır. Hidrolik sistemlerde akışkan olarak hidrolik yağ kullanılmaktadır. Bu yağ pompa ile sıkıştırılarak borular yardımı ile hidrolik motor veya silindirlere gönderilir ve burada hidrolik güç mekanik güce dönüştürülür (Manring ve Fales, 2020).

Hidrolik sistem temel olarak şu kısımlardan oluşmaktadır;

- Hidrolik yağ tankı,
- Pompa,
- Hidrolik devre elemanları (Valfler, filtreler, akü, vb.),
- Eyleyiciler.

Elastomer testi için kullanılan hidrolik sistemde eyleyici girişi servo valf ile sağlanır. Bunun sebebi, servo valfin tepki süresinin 5-20 ms aralığında olması ve çok hassas kontrollere izin vermesidir (MOOG Industrial Controls Division, 2016). Servo valflerin stabil çalışması için giriş basınçları sabit tutulmalıdır. Bu sebeple tasarlanan hidrolik sistemin tamamı valf girişinde sabit basınç elde edecek şekilde dizayn edilecektir. Hidrolik sistemde bulunan valf ve silindir hariç diğer ekipmanları modellemek yerine, servo valf girişinde sabit basınç, servo valf ve eyleyici olarak modellemek hem gerçeğe uygun sonuçlar verecek hem de hidrolik matematiksel model kurmayı basitleştirecektir. Şekil 2’de bahsi geçen fiziksel model gösterilmiştir.



Şekil 2. Basitleştirilmiş hidrolik model (Rydberg, 2016).

Burada P_K hidrolik sistemden gelen kaynak basıncını, P_T ise silindir çıkışından tanka dönen hattaki tank basıncını göstermektedir. Yük basıncı yanında tank basıncı düşük kalacağı için işlem kolaylığı açısından tank basıncı ihmal edilebilir.

3.1.1. Servo Valf Modeli

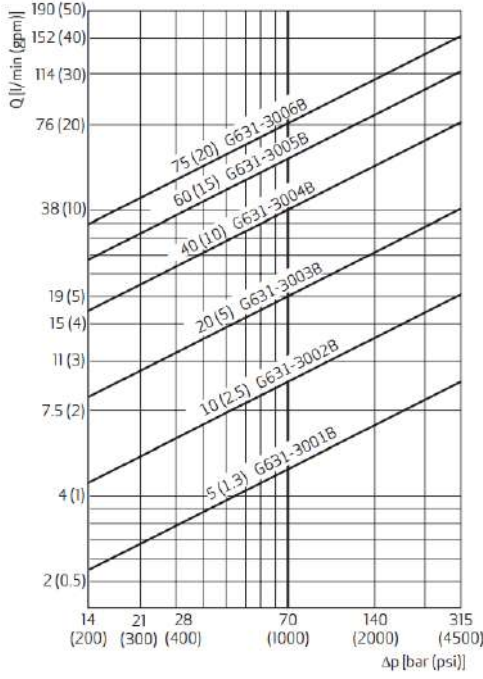
Servo valf akış denklemi (1)’deki gibidir (Manring ve Fales, 2020);

$$Q(t) = C_v w d(t) \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

Burada Q valften geçen debi miktarı, C_v valf boşaltma katsayısı, w valfin sürgüsünün çevre uzunluğu, d sürgünün hareket miktarı ve ρ yağın yoğunluğudur. ΔP ise valf içinde sürgüde oluşan orfis giriş ve çıkışı arasında oluşan basınç düşümdür. Servo valfin girişinde sabit P_K kaynak basıncı ve çıkışında ise eyleyiciden gelen yükün oluşturduğu P_Y yük basıncı olacaktır. Bu sebeple basınç düşümü (2)’deki gibidir;

$$\Delta P = P_K - P_Y \quad (2)$$

Ticari olarak satılan servo valflerde her valfin tam sürgü açıklığı için değişken basınç düşümlerinde geçirdikleri debi miktarı Şekil 3’teki gibi ve ayrıca sürgü konumunun dolayısı ile debinin uygulanan giriş sinyaline doğrusal bağlı olduğu (merkez konum dışında) grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu bilgilerden yola çıkarak akış denklemi (3)’teki gibi sadeleştirilebilir;



Şekil 3. MOOG Servo valf basınç düşümü-debi grafiği (MOOG, 2018).

$$Q(t) = K_v \%u \sqrt{\Delta P} \quad (3)$$

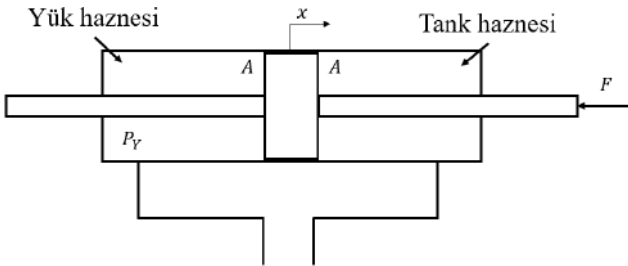
Burada $\%u$ servo valfe uygulanan giriş sinyal yüzdesini, K_v ise valf üreticisinin verdiği değerdir. K_v değeri grafikten (4)'teki denklem yardımı ile bulunabilir.

$$K_v = \frac{Q_N}{\sqrt{\Delta P_N}} \quad (4)$$

Q_N grafikteki 70 bar ΔP_N 'ye denk gelen debi miktarıdır.

3.1.2. Hidrolik Silindir Modeli

Çift etkili silindirlerde yük haznesi ile tank haznesi alanı eşittir (Şekil 4). Bu tip silindirlerin gidiş ve dönüş hareketlerinde aynı kuvvet ve hızlara ulaşmalarını sağlamak için eşitliğinden dolayı daha kolay olacaktır.



Şekil 4. Çift etkili hidrolik silindir modeli (Manring ve Fales, 2020).

Hidrolik silindirin hareketi silindire giren yağın hacmi ile, silindirin hızı ise yağın debisi ile oluşacaktır. Giren debiye bağlı olarak oluşacak basınç denklemi ise (5)'te gösterilmiştir.

$$\frac{v_0}{\beta} \dot{P}_Y = Q(t) - A\dot{x} - C_L P_Y \quad (5)$$

Yük haznesinde oluşacak basınç yük kuvvetinden kaynaklı (6)'daki gibi olacaktır.

e-ISSN: 2148-2683

$$P_Y = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Burada A silindir alanı, v_0 yük haznesi ilk hacmi, β yağın bulk modülü ve C_L sızdırma katsayısıdır. Bulk modülü yağın sıkışma değeri olup birimi MPa'dır. Sızdırma katsayısı ise piston içinde yük haznesinden diğer hazneye ve dışarıya akan kayıp yağ modellemek için kullanılan değerdir (Vietor, Lukjanec ve Balint, 2016).

3.2. Elastomerlerin Fiziksel ve Matematiksel Modelleri

Bir yay üzerine belirli bir F kuvveti uygulandığında, yay belirli bir x miktarı kadar sıkışacak veya uzayacaktır. Kuvvet kaldırıldığında ise yay eski konumuna geri dönecektir. Bahsi geçen bu özelliğe elastiklik denmektedir. Bu ilişkiyi matematiksel olarak yazacak olursak (7)'deki denklem elde edilir (Mainardi, 2010).

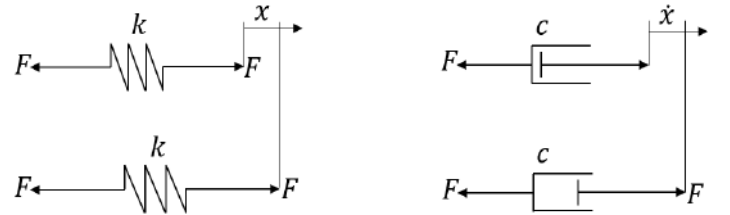
$$F = kx \quad (7)$$

Burada k yay katsayısı olup lineer olduğu varsayılmıştır.

Yağ dolu bir hazne içinde hareket eden silindir bir sönüm elemanı oluşturur. Yağın viskozitesinden dolayı silindiri hareket ettirmek için bir kuvvet gerekecektir. Kuvvetin şiddeti artacak olursa silindirin hızında da artma olacak ve silindirin gittiği mesafeden bağımsız fakat hızına bağlı bir ilişki oluşacaktır. Bu ilişki ile lineer (8)'deki denklem kurulur.

$$F = c\dot{x} \quad (8)$$

Burada c viskoz etkinin indirgendiği bir katsayıdır (Mainardi, 2010).

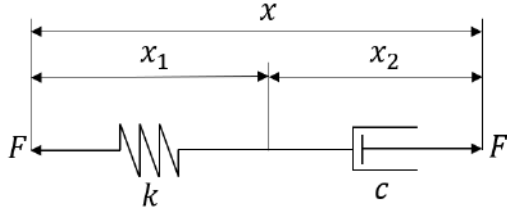


Şekil 5. Yay ve sönüm modelleri (Mainardi, 2010).

Şekil 5'te kuvvet ve deplasman arasındaki ilişki sembolik olarak gösterilmiştir. Elastomer malzemeler viskoelastik özellik gösteren malzemelerdir. Viskoelastik malzemeler ise uygulanan yük altında hem viskoz hem de elastik özellik göstermektedir. Bu özellik yay ve sönüm elemanlarının çeşitli şekillerde birbirleri ile bağlanmasıyla modellenilebilir.

3.2.1. Maxwell Modeli

Şekil 6'daki Maxwell modelinde yay ve sönüm seri bağlanmıştır. Yük altında bu model sürekli deformasyona izin verecektir. Yük ortadan kalktığında ise kalıcı deformasyon oluşacaktır. Kalıcı deformasyona izin veren modellere aynı zamanda sıvı modeller de denmektedir. Kuvvet deplasman ilişkisi (9)'daki gibidir (Mainardi, 2010).



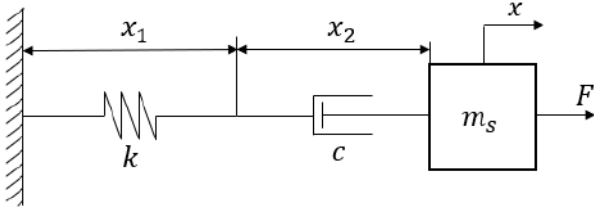
Şekil 6. Maxwell modeli (Mainardi, 2010).

$$x = x_1 + x_2 \quad (9a)$$

$$F = kx_1, \quad F = c\dot{x}_2 \quad (9b)$$

$$\dot{x} = \frac{\dot{F}}{k} + \frac{F}{c} \quad (9c)$$

Maxwell modeline sistem kütlesi eklendiğinde Şekil 7’deki fiziksel model elde edilir. Bu modelin matematiksel denklemi ise (10)’daki gibi olur.

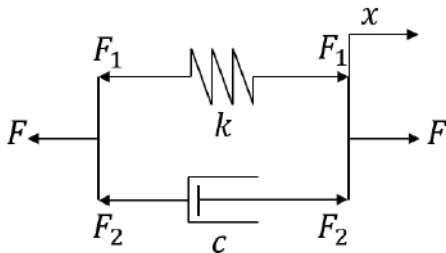


Şekil 7. Kütleli Maxwell modeli.

$$\frac{\dot{F}}{k} + \frac{F}{c} = \dot{x} + \frac{m}{c}\ddot{x} + \frac{m}{k}\ddot{x} \quad (10)$$

3.2.2. Kelvin-Voigt Modeli

Şekil 8’deki Kelvin-Voigt modelinde yay ve sönüm elemanı paralel bağlanmıştır. Bu model yük altında sürekli deformasyona izin vermeyecek ve deformasyonu yükün şiddetine göre limitleyecektir. Ayrıca yük ortadan kalktığında kalıcı deformasyon da oluşmayacaktır. Bu tür malzemeler katı özellik gösteren malzeme olarak da adlandırılırlar. Kuvvet deplasman ilişkisi (11)’deki gibidir (Mainardi, 2010).



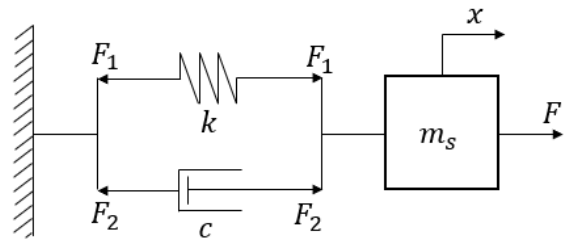
Şekil 8. Kelvin-Voigt modeli (Mainardi, 2010).

$$F = F_1 + F_2 \quad (11a)$$

$$F_1 = kx, \quad F_2 = c\dot{x} \quad (11b)$$

$$F = kx + c\dot{x} \quad (11c)$$

Kelvin-Voigt modeline sistem kütlesi eklendiğinde Şekil 9’deki fiziksel model elde edilir. Bu modelin matematiksel denklemi ise (12)’deki gibi olur.

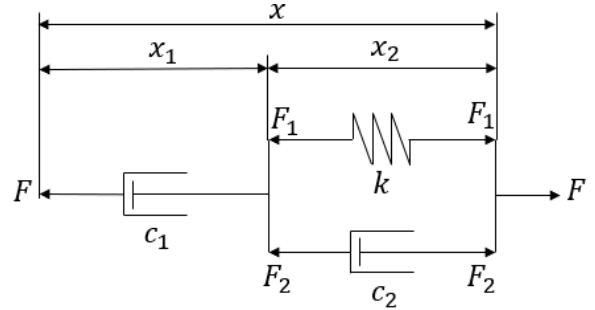


Şekil 9. Kütleli Kelvin-Voigt modeli.

$$F = kx + c\dot{x} + m\ddot{x} \quad (12)$$

3.2.3. Anti-Zener Sıvı Modeli

Şekil 10’deki Zener modeli aynı zamanda üç elemanlı model olarak bilinmektedir. Üç elemanlı modellerde Kelvin-Voigt modeline seri olarak yay veya sönüm elemanı eklenir. Yay eklenirse toplam model katı özellik gösterirken, sönüm eklenirse sıvı özellik gösterecektir. Kuvvet deplasman ilişkisi (13)’teki gibidir (Mainardi, 2010).



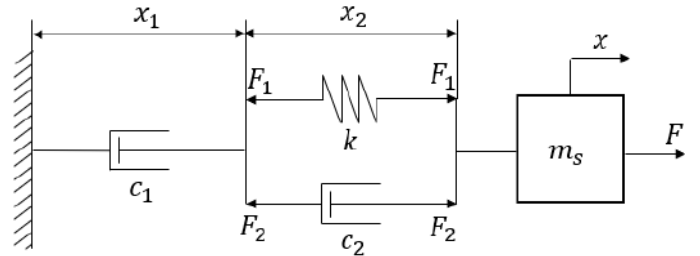
Şekil 10. Anti-Zener sıvı modeli (Mainardi, 2010).

$$F = c_1\dot{x}_1, \quad F = F_1 + F_2 = kx_2 + c_2\dot{x}_2 \quad (13a)$$

$$x = x_1 + x_2 \quad (13b)$$

$$F + \frac{(c_1 + c_2)\dot{F}}{k} = \frac{c_1 c_2}{k} \left(\ddot{x} + \frac{k\dot{x}}{c_2} \right) \quad (13c)$$

Anti-Zener sıvı modeline sistem kütlesi eklendiğinde Şekil 11’deki fiziksel model elde edilir. Bu modelin matematiksel denklemi ise (14)’teki gibi olur.

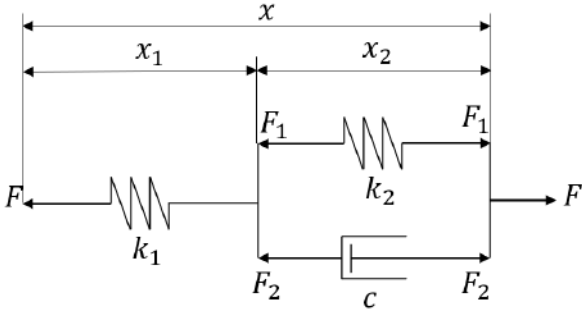


Şekil 11. Kütleli Anti-Zener sıvı modeli.

$$F + \frac{(c_1 + c_2)\dot{F}}{k} = c_1\dot{x} + \frac{c_1 c_2 + mk}{k}\ddot{x} + \frac{(c_1 + c_2)m}{k}\ddot{x} \quad (14)$$

3.2.4. Zener Katı Modeli

Şekil 12’deki Zener modeli aynı zamanda üç elemanlı model olarak bilinmektedir. Üç elemanlı modellerde Kelvin-Voigt modeline seri olarak yay veya sönüm elemanı eklenir. Yay eklenirse toplam model katı özellik gösterirken, sönüm eklenirse sıvı özellik gösterir. Kuvvet deplasman ilişkisi (15)’teki gibidir (Mainardi, 2010).



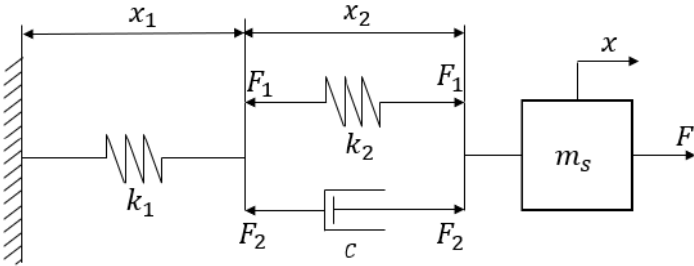
Şekil 12. Zener katı modeli (Mainardi, 2010).

$$F = k_1 x_1, \quad F = F_1 + F_2 = k_2 x_2 + c \dot{x}_2 \quad (15a)$$

$$x = x_1 + x_2 \quad (15b)$$

$$F + \frac{c \dot{F}}{k_1 + k_2} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} \left(x + \frac{c \dot{x}}{k_2} \right) \quad (15c)$$

Zener katı modeline sistem kütlesi eklendiğinde Şekil 13’teki fiziksel model elde edilir. Bu modelin matematiksel denklemi ise (16)’daki gibi olur.

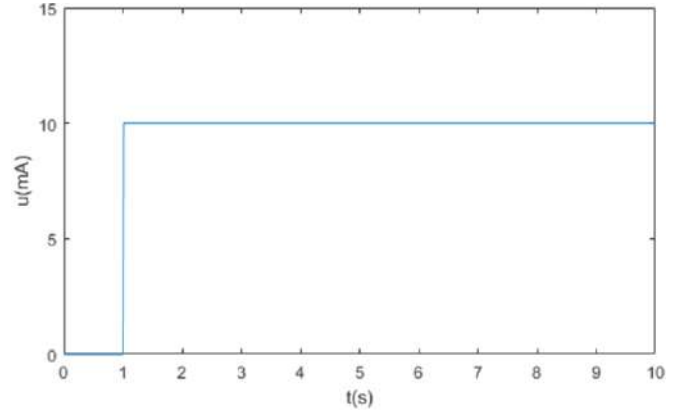


Şekil 13. Kütelli Zener katı modeli.

$$F + \frac{c \dot{F}}{k_1 + k_2} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} x + \frac{k_1 c}{k_1 + k_2} \dot{x} + m \ddot{x} + \frac{cm}{k_1 + k_2} \ddot{x} \quad (16)$$

3. Simülasyon

Bu bölümde bahsi geçen matematiksel modellerde Tablo 1’de belirtilen parametreler kullanılarak MATLAB – Simulink yazılımı ile simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Katı ve sıvı modellerde ilave parametrenin değişiminin etkisi izlenmek için bu parametre farklı değerlerde alınıp servo valfe %10’luk (%u = 0,1 veya u = 10mA) giriş sinyali (Şekil 14) uygulanarak elastomer malzeme üzerinde oluşan kuvvet, yer değiştirme ve hız cevaplarını incelemek amacıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



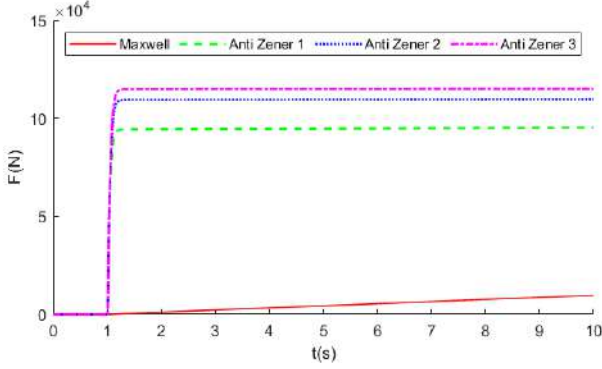
Şekil 14. Giriş sinyali

Tablo 1. Simülasyonda kullanılan fiziksel model parametreleri (Dindorf ve Wos, 2019; MOOG, 2018; Vietor, Lukjanec ve Balint, 2016).

Değişkenler	Birim	Maxwell Modeli	Kelvin-Voigt Modeli	Anti-Zener Sıvı Modeli	Zener Katı Modeli
P_K	bar	100	100	100	100
%u	mA	0,1	0,1	0,1	0,1
β	MPa	1800	1800	1800	1800
A	m ²	0,0137	0,0137	0,0137	0,0137
v_0	m ³	0,016	0,016	0,016	0,016
K_v	—	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$
C_L	—	$1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-12}$
m_s	kg	30	30	30	30
k	N/m	$1 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^8$	—
k_1	N/m	—	—	—	$k_{11} = 0,2 \cdot 10^9$ $k_{12} = 1 \cdot 10^9$ $k_{13} = 1,4 \cdot 10^9$
k_2	N/m	—	—	—	$1 \cdot 10^9$
c	Ns/m	$1 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^5$	—	$5 \cdot 10^5$
c_1	Ns/m	—	—	$1 \cdot 10^8$	—
c_2	Ns/m	—	—	$c_{21} = 0,5 \cdot 10^8$ $c_{22} = 1 \cdot 10^8$	—

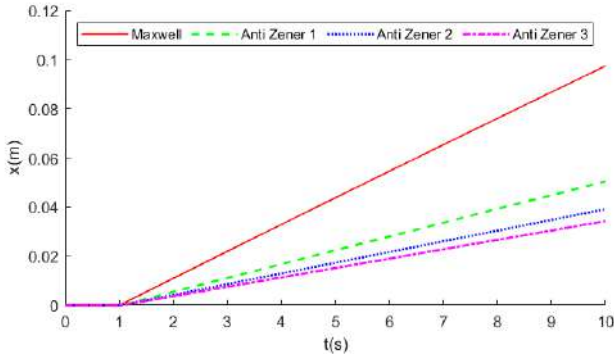
3.1. Sıvı Model Simülasyonu

Maxwell ve Anti Zener modelleri sıvı modellerdir. Anti Zener modelinde Maxwell modeline ek olarak k katsayılı yaya paralel bir c_2 katsayılı sönüm elemanı eklenmiştir. Yapılan simülasyonlarda Anti Zener modellerindeki c_2 parametresi sırası ile Anti Zener 1,2,3 için c_{21}, c_{22}, c_{23} değerleri olacak şekilde ele alınmış ve elastomer malzemede oluşan kuvvet, yer değiştirme ve hız cevapları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.



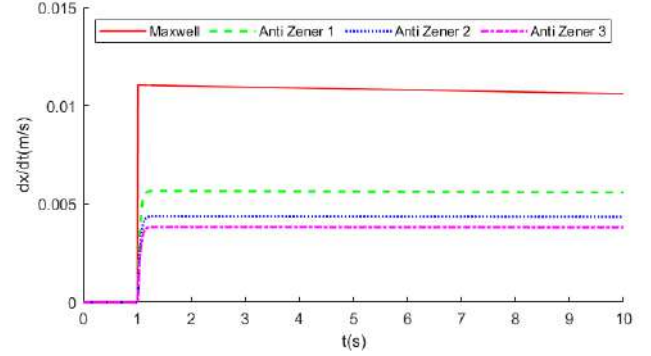
Şekil 15. Sıvı modellerin kuvvet cevap kıyasları.

Şekil 15'te eklenen c_2 parametresinin modelinin kuvvet cevabında büyük farklılıklar oluşturduğu gözlemlenmektedir. $c_2 = 0$ olarak alınırsa Maxwell modelinin kendisi elde edilir.



Şekil 16. Sıvı modellerin konum cevap kıyasları.

Şekil 16'da eklenen c_2 parametresinin artırılması ile modelinin konum cevabının azaldığı gözlemlenmektedir. Sıvı model diye tabir edilen modellerde uygulanan kuvvetin sistem üzerinde kalıcı bir hız cevabı oluşturmasından ötürü modellere ait tüm konum cevapları da zamanla artmaktadır.

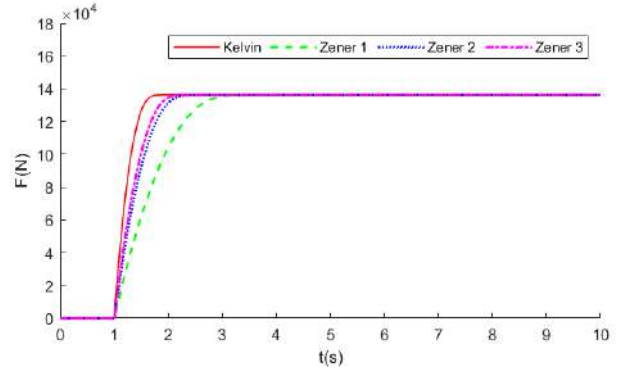


Şekil 17. Sıvı modellerin hız cevap kıyasları.

Şekil 17'de eklenen c_2 parametresinin artırılması ile modelinin hız cevabını azaldığı gözlemlenmektedir. Sıvı modellerin hızı sistemin uygulanan kuvvetiyle doğru ve toplam sönüm değeriyle ters orantılıdır. Sistem cevabında toplam hızın azalması etkili sönüm değerinin arttığını göstermektedir.

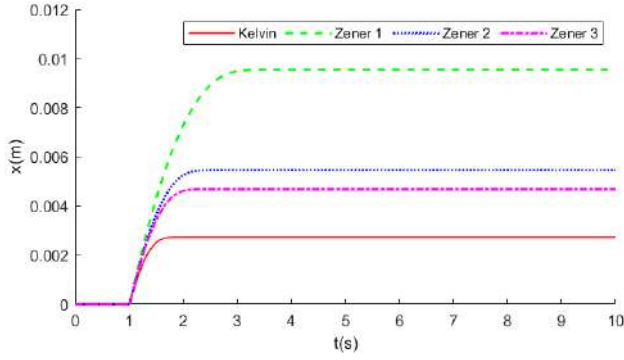
3.2. Katı Model Simülasyonu

Viskoelastik malzeme modeli olarak geliştirilen Kelvin-Voigt ve Zener modelleri katı modellerdir. Zener modelinin Kelvin-Voigt modelinden farkı modele ek seri bağlanmış k_1 yayıdır. Yapılan simülasyonlarda Zener modeli içindeki k_1 parametresi sırası ile Zener 1,2,3'de k_{11}, k_{12}, k_{13} değerleri olacak şekilde simüle edilmiş ve sonuçlar gözlemlenmiştir.



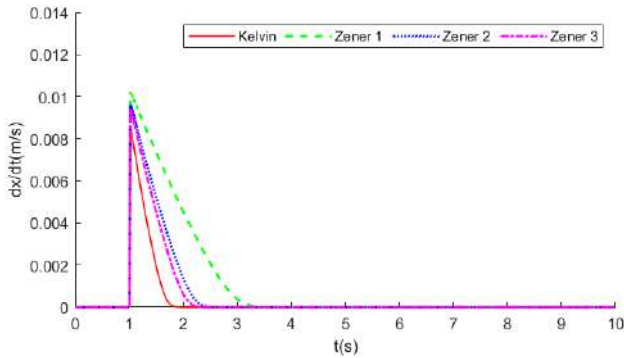
Şekil 18. Katı modellerin kuvvet cevap kıyasları.

Kuvvet cevapları karşılaştırıldığında (Şekil 18) modele ek gelen yay, sistemin rijitliğini azaltmaktadır. Eğer, bu parametrenin değeri, $k_1 = 0$ olursa bu model Kelvin-Voigt modeline dönüşür, ancak aynı zamanda zemin ile bağı da kopmuş olur, salınım hareketi yapmadan doğrusal bir hareket sergiler. Tam tersi düşünülecek olursa, k_1 değeri sonsuz olduğunda rijitlik de sonsuz olacak, k_1 yayı zemin vazifesi görecektir ve hem modelin zemin ile bağı kopmayacak hem de model böylece Kelvin-Voigt modeline dönüşecektir. Şekil 18-20 incelendiğinde k_1 rijitliği arttıkça Zener modelinin Kelvin-Voigt modeline benzemeye başladığı görülebilir.



Şekil 19. Katı modellerin konum cevap kıyasları.

Konum cevaplarının (Şekil 19) zamanla bir limite ulaşmasının sebebi modelin katı olmasındandır. Model kalıcı şekil değişimine izin vermeyecek ve kararlı durumda belirli bir deplasmana ulaşacaktır. k_1 sistemin rijitliğini azalttığı için modele gelen kuvvete göre oluşacak deplasman değerini arttırmıştır.



Şekil 20. Katı modellerin hız cevap kıyasları.

Elastomer malzeme üzerinde oluşan hız (Şekil 20) k_1 parametresi eklendiğinde, sistemin eşdeğer rijitliği azaldığı için artmıştır. k_1 değeri arttıkça rijitlik artacak, bu sebeple elastomer üzerinde oluşan hız azalacak ve model Kelvin-Voigt modeline benzeyecektir.

4. Sonuç

Bu çalışmada servo hidrolik eyleyici ile çalışan elastomer test sistemi matematiksel modeli oluşturulmuştur. Öncelikle hidrolik sistemin matematiksel modeli kurulmuştur. Elastomer için kullanılan literatürdeki modellerle birlikte hidrolik model birleştirilerek simülasyon yapılmıştır. Yapılan simülasyonda katı modeller ve sıvı modeller kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, model değişimleri ile ilave edilen parametreler değiştirilerek bunların dinamik cevaplara etkileri incelenmiştir. Katı modelde gelen ek yayın sistemin rijitliğini azalttığı gözlenmiştir. Sıvı modellerde ise, zamanla deplasman değişikliği devam ettiği için ek parametre değişiminin sistemin rijitliği yerine cevap hızını değiştirmektedir.

Yapılan bu simülasyonlar sonucu malzeme modellenirken, test sonuçlarına göre hangi modelin daha uygun olacağı belirlenebilir. Genelde parçalar katı olarak modellenirse de elastomer gibi kalıcı şekil değişikliğinin düşük yükler altında da oluşabildiği parçalarda katı modele ek olarak yüksek sönüme sahip bir sönüm elemanı eklenerek modellenmesi statik karakterizasyon testleri için daha uygun sonuçlar verecektir.

Dinamik veya salınımlı yükler altında ise parça denge konumu etrafında zorlanırsa kalıcı şekil değişikliği gözlemlenmeyecek bu sebeple katı model kullanımı yeterli olacaktır.

Gerek sıvı gerekse katı davranış gösteren viskoelastik malzemelerin gerçek davranışlarını ortaya koyan model geliştirebilmek için önceki bölümlerde bahsedildiği gibi literatürde çeşitli modeller mevcuttur. Bu modeller, yay ya da sönüm elemanları ile daha fazla elemanlı modeller haline dönüştürüldükçe daha gerçekçi modellere ulaşmak mümkün olacaktır, ancak bu sefer de modelde tespit edilmesi gereken parametre sayısı artmış olacaktır. Bu çalışmada, Kelvin-Voigt modeline seri bağlanan bir sönüm elemanı eklenmesi ile elde edilen Anti Zener modeli ve Kelvin-Voigt modeline seri bağlanan yay elemanı eklenmesi ile elde edilen Zener modeli ele alınmıştır. Anti Zener modeli yine sıvı nitelik gösteren viskoelastik malzemeler için geliştirilmiş en basit model olan Maxwell modeli ile karşılaştırılmış, Zener modeli ise katı nitelik gösteren viskoelastik malzemeler için geliştirilmiş en basit model olan Kelvin-Voigt modeli ile karşılaştırılmıştır. Bu malzeme modellerinin her biri hidrolik sisteme entegre genel sistem modeli ile simüle edilmiştir. Sıvı nitelikli malzemeler için ele alınan modellerde ilave parametrelere ait değerlerinin artması ile Maxwell modelinden uzaklaşma gözlemlenmiş, katı nitelikli malzemeler için ele alınan modellerde ise ilave parametrelere ait değerlerinin artması ile Kelvin-Voigt modeline yaklaşma gözlemlenmiştir. Böylece, sıvı davranış gösteren viskoelastik malzeme için ilave parametre değerinin artırılması, katı davranış gösteren malzeme içinse ilave parametre değerinin azaltılması ile dinamik cevapların literatürde yer alan iki parametrelili Maxwell ve Kelvin-Voigt modellerinin ürettiği cevaplardan daha esnek ve farklı olarak elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Bu analizler neticesinde elde edilen bilgiler ışığında, elastomer malzemelerin dinamik karakterizasyonunu tayin etmek için yapılacak testler ile elde edilecek cevaplar kullanılarak en uygun elastomer malzeme modeli oluşturulabilecektir. Böylece, burç gibi elastomer malzeme içeren bileşenlerin doğru dinamik karakterde modellenmesi sağlanacaktır. Bu elemanların içinde bulunduğu taşıt gibi genel sistemlerin tasarım aşamasında modellenerek, simülasyon ve analizlerinin doğru yapılabilmesine imkan sağlanacaktır.

Teşekkür

Bu makale, 126 karar numaralı ve “**Nonlinear Yapısal Malzemelerin Dinamik-Mekanik Karakterizasyonu İçin Komple Test Sistemi ve Kontrol Algoritması**” başlıklı KOSGEB projesi kapsamında Mert Teknik Fabrika Malzemeleri Ticaret ve Sanayi A.Ş. Ar-Ge Merkezi imkanları kullanılarak yazılmıştır.

Kaynakça

- Williams, M.L. (1964), Structural Analysis of Viscoelastic Materials, *AIAA Journal*, 5(2), 785-808.
- Popov, V. L., Hess, M., ve Willert, E. (2019), *Handbook of Contact Mechanics Exact Solutions of Axisymmetric Contact Problems*, Berlin: Springer.
- Christensen, R. M. (1982), *Theory of Viscoelasticity Second Edition*, New York: Dover Publications.

- Phan-Thien, N., (2013), *Understanding Viscoelasticity An Introduction to Rheology Second Edition*, New York: Springer.
- Mainardi, F., (2010), *Fractional Calculus and Waves in Linear Viscoelasticity*, London: Imperial College Press.
- Flügge W. (1975), *Viscoelasticity: Second Revised Edition*, Berlin: Springer-Verlag.
- Ferry, J. D., (1980), *Viscoelastic Properties of Polymers*, New York: Jhon Wiley & Sons.
- Clamroth, R. (1981), Determination of Viscoelastic Properties by Dynamic Testing, *Polymer Testing*, 2, 263-286.
- Dindorf, R., Wos, P., (2019), Force and Position Control of The Integrated Electro-Hydraulic Servo-Drive, *IEEE*.
- Tamburrano, P., Plummer, A. R., Distaso, E., Amirante, R. (2019), A Review of Electro-Hydraulic Servovalve Research and Development, *International Journal of Fluid Power*, 20, 1, 53-98.
- MOOG Industrial Controls Division, (2016), *Electrohydraulic Valves – A Technical Look*[Broşür], http://www.moogvalves.com/Global/FileLib/EH/Moog-ServoValves-Techn_Look-Overview-en.pdf.
- Dutsches Institut Fur Normung (1990), *Determination of Viscoelastic Properties of Elastomers*(DIN Standart No. 53513:1990-03), <https://www.beuth.de/de/norm/din-53513/1519202>.
- Menard, K. P. (1999), *Dynamic Mechanical Analysis A Practical Introduction*, London: CRC Press.
- Rouleau, L., Pirk, R., Pluymers, B., Desmet, W. (2015), Characterization and Modeling of the Viscoelastic Behavior of a Self-Adhesive Rubber Using Dynamic Mechanical Analysis Tests, *J. Aerosp*, 2(7), 200-208.
- Bobryshev, A. N., Lakhno, A. V., Voronov, P. V., Galimov, E. R., Sharafutdinov, R. F., Galimova, N. Y., (2015), New approaches for evaluating rheological models in composites, *Materials Science and Engineering*, 86 (2015) 012001.
- Brown, R., (2018), *Physical Test Methods for Elastomers*, Cham: Springer.
- Manning, N. D., Fales, R. C., (2020), *Hydraulic Control Systems Second Edition*, John Wiley & Sons
- Rydberg, K. E. (2016), *Hydraulic Servo Systems Dynamic Properties and Control*, Linköping University: Department of Management and Engineering.
- MOOG (2018), Servo Valves Pilot Operated Flow Control Valve with Analog Interface G631/631[Broşür], <https://www.moog.com> .
- Vietor, A., Lukjanec, D., Balint, Z. (2016), *Detection of Hydraulic Cylinder Leakage*, Aalborg Universitet, Master Thesis



COVID-19 Sürecinde Peyzaj Mimarlığı Öğrencilerinin Acil Uzaktan Öğretim Sistemi Üzerine Görüşleri: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Örneği

Bora Bingöl^{1*}

^{1*} Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9644-0921)
bbingol@mehmetakif.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 24 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.805398)

ATIF/REFERENCE: Bingöl, B. (2020). COVID-19 Sürecinde Peyzaj Mimarlığı Öğrencilerinin Acil Uzaktan Öğretim Sistemi Üzerine Görüşleri: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (20), 890-897

Öz

2019 yılının sonlarında ortaya çıkan ve tüm dünyayı kısa sürede etkisi altına alan COVID-19 pandemisi günümüzde de hâlen tüm ülkeler için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu tehdit ile birlikte gerek günlük yaşam, gerekse ülke sistemleri de olumsuz etkilenmiş ve değişim geçirmiştir. Bu sistemlerin en önemlilerinden bir tanesi olan eğitim sistemi de bu süreçte büyük sıkıntılar yaşamakta ve bunları aşmakta zorlanmaktadır. Bu dönemde, Türkiye'de de eğitimin aksamaması için tüm eğitim ve öğretim süreçlerinin uzaktan öğretim sistemi ile yürütülmesine karar verilmiştir. Bu çalışma, COVID-19 pandemi döneminde, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü lisans öğrencilerinin, acil uzaktan öğretim sistemine ilişkin memnuniyetlerinin ölçülmesi ve sistemin değerlendirilerek, peyzaj mimarlığı bölümlerinde uygulanabilirliğini ölçmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada COVID-19 pandemi süreci değerlendirilerek, eğitim ve öğretim sistemi üzerine etkileri incelenmiş, acil uzaktan öğretim sistemine dair öğrenci görüşlerini elde edebilmek için de anket çalışması yapılmıştır. Sisteminin daha iyi uygulanabilmesi ve eğitimde yaşanabilecek sorunların en aza indirilmesini sağlamak amacıyla çalışmada elde edilen veriler değerlendirilerek, öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, Acil uzaktan öğretim, Öğretim süreci, Peyzaj mimarlığı, Burdur

Landscape Architecture Students' Views on Emergency Remote Teaching System in the COVID-19 Process: The Case of Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Turkey

Abstract

The COVID-19 pandemic, which emerged at the end of 2019 and affected the whole world in a short time, still poses a serious threat to all countries today. With this threat, both daily life and country systems were negatively affected and changed. The education system, which is one of the most important of these systems, has great difficulties in this process and has difficulty overcoming them. During this period, it agreed to conduct emergency remote teaching system for all education and training process in Turkey as well to avoid disruption of training. This study was carried out during the COVID-19 pandemic period in order to measure the satisfaction of undergraduate students studying at the Department of Landscape Architecture at Burdur Mehmet Akif Ersoy University regarding the emergency remote teaching system and to evaluate the applicability of the system in landscape architecture departments. In the study, the COVID-19 pandemic process was evaluated, its effects on the education and training system were examined, and a survey was conducted to obtain student views on the emergency remote teaching system. Suggestions were made by evaluating the data obtained in the study in order to implement the system better and to minimize the problems that may occur in education.

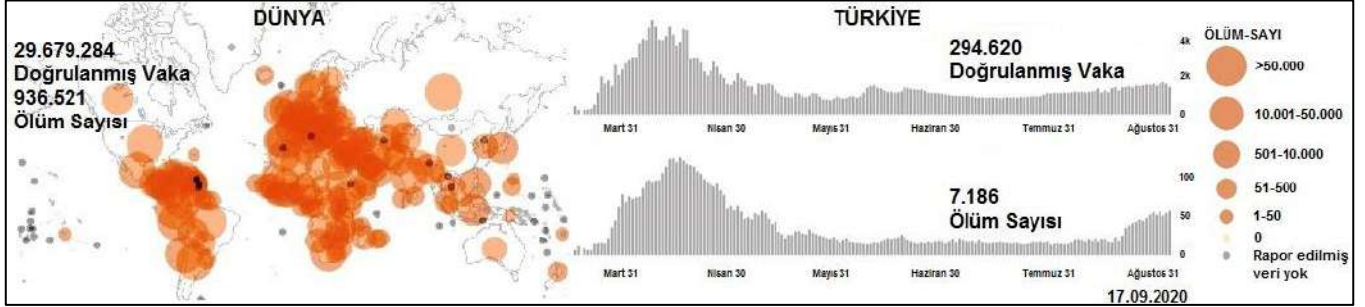
Keywords: COVID-19, Emergency remote teaching, Teaching process, Landscape architecture, Burdur

* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9644-0921, bbingol@mehmetakif.edu.tr

1. Giriş

1 Aralık 2019 tarihinde, Çin'in Hubei bölgesinin başkenti olan Wuhan'da ortaya çıktığı iddia edilen ve hızla tüm dünyada yayılmaya başlayan COVID-19 pandemisi, günümüzde tüm ülkeleri tehdit eder bir hâl almıştır. Dünya genelinde tüm ülkelerde artan ölüm ve vaka sayıları, alışkanlıklarımızın ve yaşayış biçimlerimizin de değişmesine neden olmuştur. Salgın, dünya çapında halk sağlığı hakkında büyük endişelere neden

olmaktadır (Taş ve Yağanoğlu, 2020). Türkiye'de ise ilk COVID-19 vakası, 11 Mart 2020 tarihinde görülmüştür (Anonim, 2020a). Aynı tarihte de Dünya Sağlık Örgütü, bu yeni gelişen virüsün bir pandemi olduğunu açıklamıştır (Anonymous, 2020a). Yaşanan süreç içerisinde 17.09.2020 tarihine kadar COVID-19 pandemisi, dünyada 29.679.284 doğrulanmış vaka ve 936.521 ölüm sayısına, ülkemizde ise 294.620 doğrulanmış vaka ve 7.186 ölüm sayısına ulaşmıştır (Anonymous, 2020b) (Şekil 1).



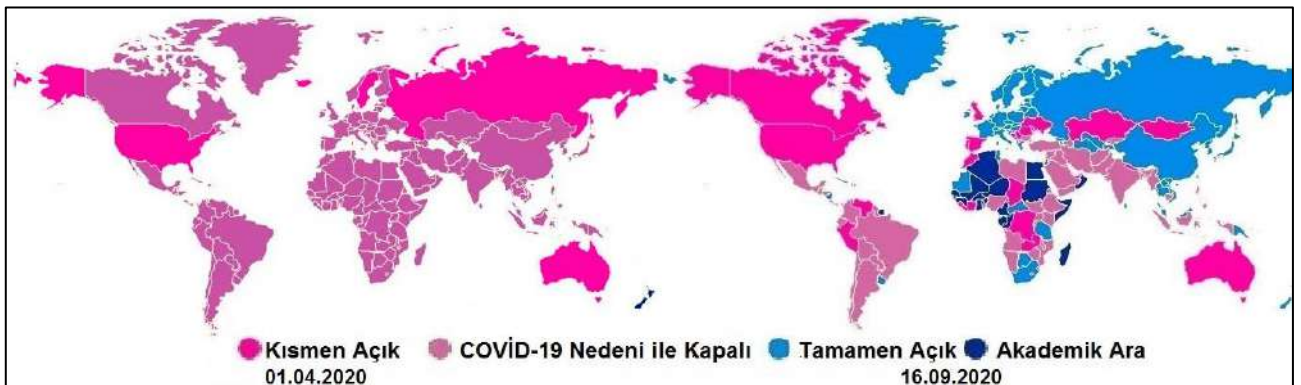
Şekil 1. COVID-19 pandemisi vaka ve ölüm sayıları (17.09.2020) (Anonymous, 2020b)

COVID-19 pandemisinin hızla yayılarak tüm dünyayı tehdit eder hale gelmesi, ülkelerin de farklı önlemler almasına sebep olmuştur. Artan hastalık ve ölüm vakaları birçok kısıtlamayı da beraberinde getirmiştir. Ülkemizde de bu süreçte uçuş yasakları, seyahat yasakları, sokağa çıkma yasakları, karantina, filyasyon, maske takma zorunluluğu gibi çeşitli önlemler ve tedbirler alınmıştır. Bu tedbirler ile vatandaşların pandemi süresi boyunca evde kalarak, serbest dolaşımın minimum seviyeye düşürülmesini amaçlayan izolasyon yaklaşımı, dünya genelinde ülkelerin benimsediği zorunlu bir yaklaşım haline gelmiştir (Düşünceli ve ark., 2020).

Ülkeler aldıkları önlem ve tedbirler ile COVID-19 pandemi döneminin muhtemel etkilerini azaltmaya çalışsalar da, birçok ülkenin başta sağlık, ekonomi ve eğitim olmak üzere tüm sistemlerini de etkilemiştir. Bu sistemlerden eğitim sistemi de bu süreçte önemli şekilde etkilenmiş ve değişime uğramıştır. Çoğu ülke ilk etapta COVID-19'un yayılma ve bulaşma ihtimalini en aza düşürmek ve gerekli tedbirleri almak için örgün eğitime ara

vermiş veya eğitim dönemini sonlandırmıştır. Zaman içerisinde ise gerekli altyapı ve sistemler oluşturularak çoğu ülkede acil uzaktan öğretim sistemine geçilmiştir. Ülkemizde ise süreç bir süre yüz yüze eğitime ara verildikten sonra acil uzaktan öğretim sistemi ile devam ettirilmiştir.

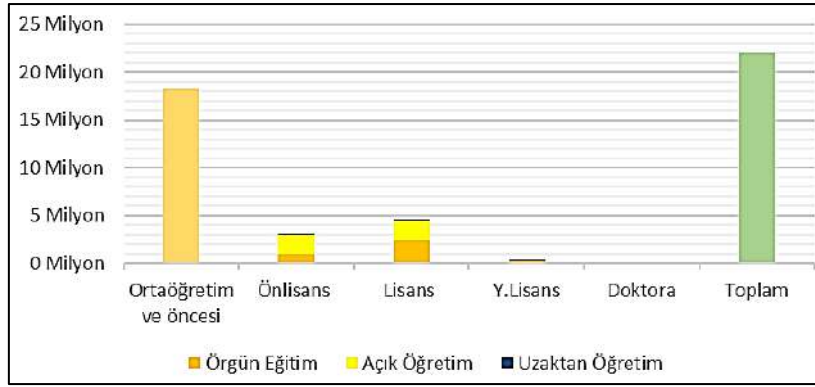
COVID-19 pandemi sürecinin, eğitim sistemi üzerine olan en büyük etkisi 01.04.2020 tarihinde gözlemlenmiştir. Tüm dünyada eğitim kurumlarının kapanmasından dolayı 1.596.842.024 öğrenci eğitimlerini sürdürmemiş, 116.251.678 öğrenci ise kısmen açık olan yerlerde eğitimlerine devam edebilmişlerdir. Bu tarihte 193 ülkede eğitime ara verilmiş ve öğrencilerin %91.2'si bu durumdan etkilenmiştir. 16.09.2020 tarihine gelindiğinde ise bu sayı, eğitim kurumlarının bir kısmının açılmasından dolayı 875.405.778'e düşmüş, kısmen açık olan yerlerde öğrenim görenlerin sayısı da 216.879.483'e çıkmıştır. Ancak 16.09.2020 tarihinde dahi bu durumdan öğrencilerin yaklaşık %50'si etkilenmekte ve 53 ülkede ise hâlâ eğitim verilememektedir (Anonymous, 2020c) (Şekil 2).



Şekil 2. COVID-19 pandemi sürecinde eğitim sistemi (01.04.2020, 16.09.2020) (Anonymous, 2020c)

Ülkemizde ise 13 Mart 2020 tarihinde ilk ve orta öğretime, 16 Mart 2020 tarihinden itibaren de yükseköğretime ara verilmiştir (Anonim, 2020b; Dikmen ve Bahçeci, 2020). 23 Mart 2020 tarihinden itibaren ise 2019-2020 eğitim öğretim yılı bahar yarıyılına tamamen açık ve uzaktan öğretim sistemi ile sürdürülmesine karar verilmiştir (Anonim 2020c; Can, 2020). Bu süreçte 2019-2020 öğretim yılı verilerine göre Türkiye'de okul

öncesi, ilköğretim ve ortaöğretimdeki öğrenci sayısı 18.241.881 kişidir (Anonim, 2020d). Yükseköğretimdeki öğrenci sayısı ise 7.940.133 kişidir. Bunun 4.199.801 kişisi ise açık öğretim ve uzaktan eğitimde öğrenim görmektedir (Anonim, 2020e). Bu veriler dikkate alındığında, 2019-2020 eğitim öğretim yılı bahar yarıyılında, Türkiye'de COVID-19 pandemi sürecinde etkilenen toplam öğrenci sayısı ise 21.982.213 kişidir (Şekil 3).



Şekil 3. COVID-19 pandemi sürecinden Türkiye’de etkilenen öğrenci sayıları (Anonim, 2020d-e)

Bu süreçten öğrencilerin en az şekilde etkilenmeleri ve eğitimlerine devam edebilmeleri için Türkiye’de hem Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) hem de Yükseköğretim Kurumu (YÖK) bu dönemde çeşitli kararlar almışlardır. Milli Eğitim Bakanlığı tarafından, ilköğretim ve ortaöğretim düzeyinde açık ve uzaktan eğitim uygulamaları kapsamında 3 TV Kanalı ve Eğitim Bilişim Ağı (EBA) üzerinden eğitimlerin sürdürülmesine karar verilmiştir (Anonim, 2020g). Yükseköğretim Kurumu tarafından ise özellikle Uzaktan Eğitim Birimi bulunan üniversitelerde, kendi alt yapılarını kullanarak ve eğitim-öğretim faaliyetlerini planlayarak eğitime devam etmeleri sağlanmıştır. Türkiye’de 123 Üniversitede Uzaktan Eğitim birimi bulunmaktadır. Uzaktan Eğitim Birimi bulunmayan üniversiteler için ise uzaktan eğitim alt yapısına veya açık öğretim kabiliyetine sahip üniversitelerden Yükseköğretim Kurulu koordinasyonu ile destek verilmesi kararlaştırılmıştır (Anonim, 2020f; Dikmen ve Bahçeci, 2020). Bu süreçte üniversitelerde öğretimlerini kendi imkân ve altyapılarına göre senkron (eşzamanlı) veya asenkron (eşzamanlı olmayan) şekilde sürdürmüşlerdir. Ayrıca Türkiye Radyo ve Televizyon Kurumu (TRT) bünyesinde bulundurduğu devlet adına yayın yapan televizyon kanallarını kullanarak ortak dersler verilmesi kararlaştırılmıştır (Anonim, 2020f; Dikmen ve Bahçeci, 2020).

Her ne kadar yüz yüze olmayan ve internet üzerinden yapılan eğitimi uzaktan eğitim olarak adlandırsak da aslında uzaktan eğitim ile acil uzaktan öğretim arasında gerek kullanılan araçlar gerekse sistemin işleyişi açısından önemli farklar bulunmaktadır. Pandemi döneminde yürütülen uzaktan eğitim, bir kriz anında yüz yüze eğitimin geçici olarak teknoloji ortamına aktarılmasıdır ve acil uzaktan öğretim veya acil durum uzaktan öğretim olarak isimlendirilmektedir. Yüz yüze ortamlar için hazırlanmış öğretim programları, ders materyalleri çevrim içi ortama taşınır, bu durum, acil durumlar için bir çözüm olarak ele alınır ve yaşam normale döndüğünde, sorun ortadan kalktığında tekrar yüz yüze eğitime geçilir. Bu koşullarda birincil amaç acil bir durum ya da kriz sırasında hızlı bir şekilde kurulabilecek ve güvenilir olarak kullanılacak eğitim ve öğretim desteklerine geçici erişim sağlamaktır (Akkoyunlu ve Bardakçı, 2020). Günümüzde uzaktan eğitim kavramı ülkemizde maalesef yanlış kullanılmakta hatta bu kavramı da zedelemektedir. Çünkü COVID-19 pandemi sürecinde Türkiye’de yürütülen uzaktan eğitim değil, acil uzaktan öğretimdir.

Günümüzde yüz yüze eğitim, hibrit, acil uzaktan öğretim ve uzaktan eğitim sistemlerinin bu süreçte nasıl kullanılacağı halen tartışılmaktadır. Beklenmedik şekilde gelişen bu durum karşısında ülkeler de kendi altyapı, imkân ve pandemi olgu durumlarına göre farklı eğitim sistemlerini tercih etmektedirler. Fakat hangi sistem tercih edilirse edilsin, beklenilmeyen bu

durumun, eğitim sistemi üzerine büyük etkilerinin olacağı ve öğretim sistemi araçlarını da değiştireceği açıktır.

Bu çalışmada, yüz yüze eğitime ara verilen dönemde, acil uzaktan öğretim sistemini kullanan öğrencilerin sistemi kullanım biçim ve tercihleri ile bu süreçte sistemde karşılaştıkları problemlerin saptanmasına çalışılmıştır. Çalışma sırasında elde edilen verilerle acil uzaktan öğretim sistemin sağladığı avantaj ve dezavantajlar analiz edilmiş ve yüz yüze eğitimle karşılaştırılarak eğitim ve öğretim sistemi üzerine olan etkileri açıklanmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, COVID-19 pandemi süreci nedeniyle yüz yüze eğitime ara verilmesi sonucunda, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü’nde eğitimlerine devam eden öğrencilerin acil uzaktan öğretim sistemi hakkındaki geri bildirimleri değerlendirilmiştir. Çalışma evreni olarak 2019-2020 bahar yarıyılında, Burdur Mehmet Akif Ersoy Peyzaj Mimarlığı bölümünde öğrenim gören tüm peyzaj mimarlığı lisans öğrencileri seçilmiştir. Araştırmada veri toplamak amacıyla 06.04.2020 ile 04.05.2020 tarihleri arasında bir çevrimiçi anket tasarlanarak, uygulamaya açılmıştır. Ankete 136 lisans öğrencisinden basit tesadüfi yöntem ile toplam 63 kişi katılmıştır ($(1-\alpha) = 0.95$; $E = 0.09$).

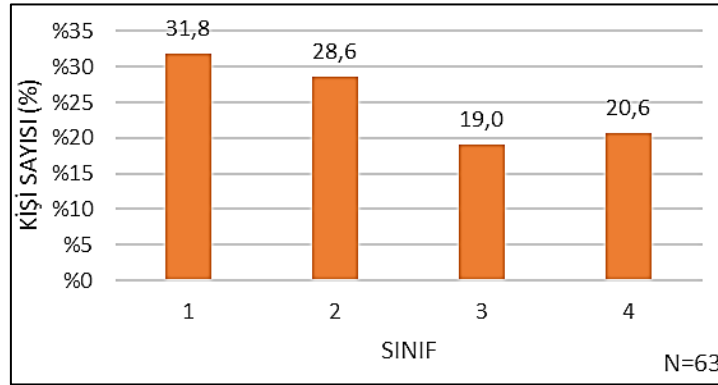
Veri toplama aracı olarak kullanılan anket formunda toplam 18 adet soru sorulmuştur. İlk olarak demografik soruların ardından, öğrencilerin uzaktan eğitim sistemi ile daha önceden deneyimlerinin olup olmadığı ve öğrencilerin acil uzaktan öğretim sistemini hangi cihazlarla takip ettikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ardından yaşanan süreçte öğrencilerin karşılaştıkları başlıca sorunların tespitine yönelik sorular yer almıştır. Sonraki bölümde ise öğrencilerin acil uzaktan öğretim sisteminin kullanımına yönelik görüşleri sorularak sistemin yeterliliği ve öğrenci davranışları sorgulanmıştır. Son bölümde ise acil uzaktan öğretim sisteminin nasıl uygulanması gerektiği konusunda öğrencilerin fikirleri alınarak, yüz yüze eğitimle ilgili karşılaştırma yapılmıştır.

Elde edilen anket sonuçlarının analiz ve değerlendirilmesi için SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 26.0 istatistik paket programı kullanılmıştır. Araştırmada elde edilen anket verilerinin değerlendirilmesinde frekans, çapraz tablolama, parametrik ve parametrik olmayan analizler uygulanmıştır. Bu kapsamda Mann Whitney U, Fisher exact ve T testi analizleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, acil uzaktan öğretim sisteminin etkileri üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmaya katılan öğrencilerin 27'si (%42.9) erkek, 36'sı (%57.1) ise kadındır. Katılımcıların 20'si (%31.8) 1. sınıf

öğrencisi iken, 18'i (%28.6) 2. sınıf, 12'si (% 19.0) 3. sınıf ve 13'ü (%20.6) ise 4. sınıf öğrencisidir (Şekil 4).



Şekil 4. Ankete katılan öğrenci sayılarının sınıflara göre dağılımı

“Daha önce uzaktan eğitim ile bir deneyiminiz oldu mu?” sorusuna ise yine öğrencilerin çoğunluğunun 42'si (%66.7) “Hayır” olmadı, geri kalan 21'i (%33.3) ise “Evet” oldu şeklinde cevaplamışlardır.

Öğrencilere yöneltilen “Acil uzaktan öğretimi hangi cihazlarla takip ediyorsunuz?” sorusuna ise öğrencilerin büyük

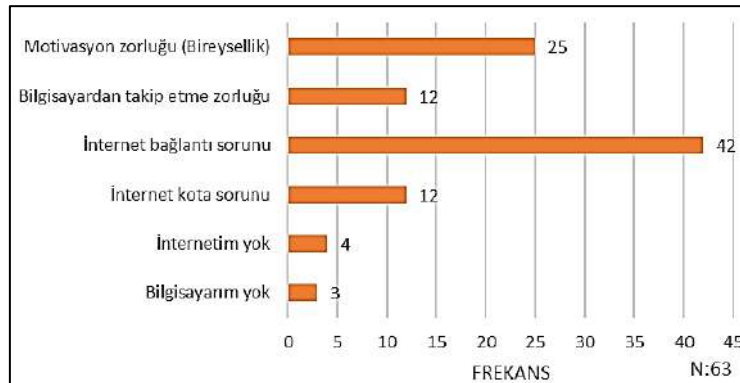
çoğunluğu, 50'si (%79.4) “Bilgisayar” ile, geri kalan 13'ü (%20.6) ise “Akıllı telefon” ile takip ettiklerini belirtmişlerdir. Bu soruda tablet seçeneğini ise öğrencilerden hiçbirinin tercih etmediği tespit edilmiştir. Sonuçlar Tablo 1’de çapraz tablo olarak verilmiştir.

Tablo 1. Öğrencilerin uzaktan eğitim deneyimleri ve cihaz tercihleri

Daha önce uzaktan eğitim ile ilgili bir deneyiminiz oldu mu?					
Evet 21 (%33.3)			Hayır 42 (%66.7)		
(N=63)					
Acil uzaktan öğretimi hangi cihazlardan takip ediyorsunuz?			Acil uzaktan öğretimi hangi cihazlardan takip ediyorsunuz?		
Bilgisayar	Akıllı telefon	Tablet	Bilgisayar	Akıllı telefon	Tablet
15	6	0	35	7	0

Sonuçlar incelendiğinde, öğrenci deneyimi ile cihaz seçimi arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p = .218$). Cevaplar ele alındığında öğrencilerin çoğunluğunun uzaktan eğitim sistemini daha önce deneyimlemedikleri görülmektedir. Ayrıca daha önce uzaktan eğitim gören öğrencilerin dâhi cihazla ilgili soruya tablet cevabını vermedikleri görülmektedir. Bu da tablet kullanımının ülkemizde yaygınlaşmasına rağmen, kullanım sınırlılıkları ve fiyatı nedeni ile öğrencilerin ilk tercih olarak bilgisayar seçeneğini seçtiklerini düşündürmektedir.

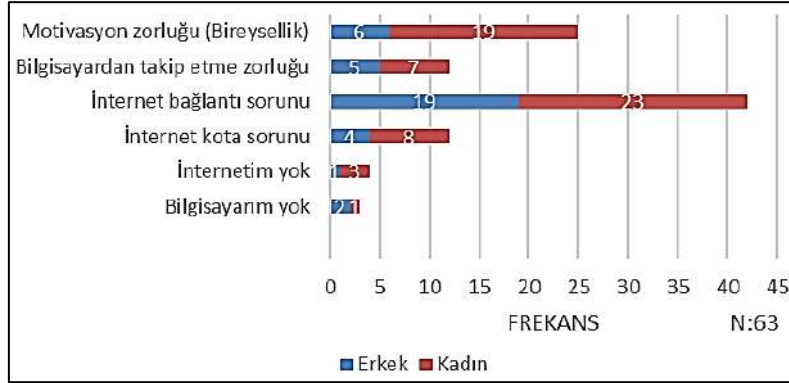
Öğrencilere yöneltilen “Acil uzaktan eğitim süreci ile ilgili karşılaştığınız en büyük problem nedir?” şeklindeki çoklu cevaplı soruya ise öğrenciler, birinci sırada %42.9 ile “İnternet bağlantı sorunu”, ikinci sırada %25.5 ile “Motivasyon zorluğu (Bireysellik)”, üçüncü sırada ise %12.2 ile “İnternet kota sorunu” ve “Bilgisayardan takip etme zorluğu” olarak cevap vermişlerdir (Şekil 5).



Şekil 5. Öğrencilerin acil uzaktan eğitim sürecinde karşılaştıkları problemler (Çoklu cevap)

Sonuçlar incelendiğinde, acil uzaktan öğretim sürecinde karşılaşılan problemlerin ilk sırasında internet bağlantı sorunu olduğu görülmektedir. Bu nokta ülkemizde internet altyapısının güçlenmesine karşın hâlâ eksik olduğu ortaya çıkmaktadır. Oysa internete dayalı olarak verilen acil uzaktan öğretim sistemi kesintisiz ve hızlı bir internet altyapısına ihtiyaç duymaktadır. Yaşanan süreç içerisinde özellikle sınav dönemlerinde ve çok öğrencinin katıldığı derslerde sisteme erişimin durma noktasına geldiği görülmektedir. Bu noktada da gerek internet altyapısının gerekse de eğitim kurumlarımızdaki teknolojik altyapının güçlendirilmesi gerekmektedir.

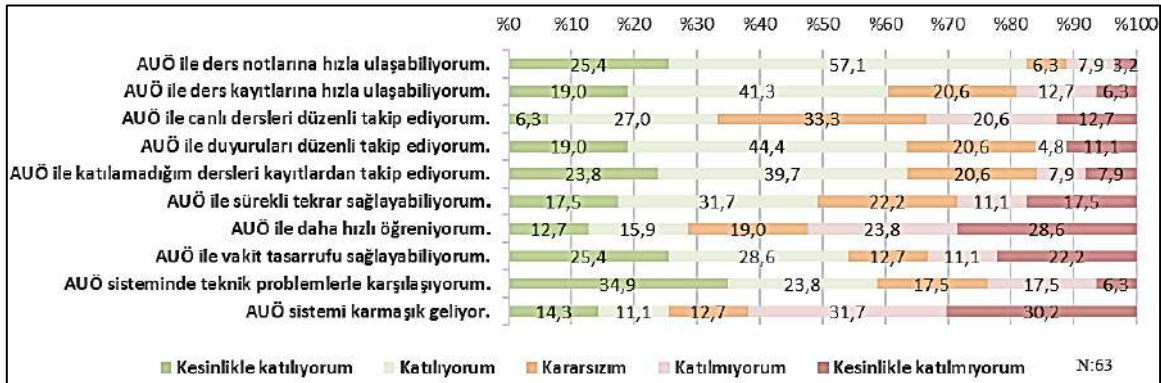
Sonuçlarda ikinci sırada ise öğrencilerin karşılaştığı bir diğer önemli sorunun motivasyon zorluğu (Bireysellik) olduğu görülmektedir. Öğrencilerin karşılaştığı motivasyon zorluğu (Bireysellik) konusunda çapraz tablo sorgulaması yapıldığında ise kadın öğrencilerin motivasyon konusunda erkek öğrencilere oranla daha fazla zorlandıkları ortaya çıkmıştır ($t(61) = 2.604$; $p = .012$) (Şekil 6). Bu noktada öğrencinin tek başına kalması, sınıf ortamından ve arkadaşlarından uzaklaşması motivasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun için ders anlatımlarında yüz yüze eğitimden farklı alternatif yöntemlerle dersler daha ilgi çekici hale getirilmeli ve öğrencilerin derse katılımları artırılmalıdır.



Şekil 6. Öğrencilerin acil uzaktan öğretim sürecinde karşılaştıkları problemlerde kadın-erkek dağılımı

Sonuçlarda üçüncü sırada görülen internet kota sorunu ve bilgisayardan takip etme zorluğu da öğrencilerin karşılaştığı bir başka önemli sorundur. Canlı ders kayıtlarını izlemek isteyen öğrenciler video kayıtlarını takip ettiklerinden video kullanımı da aynı zamanda daha fazla internet kullanımı gerektirmektedir. Bu yüzden de öğrenciler internette kota sıkıntısı yaşamaktadırlar. Bu sıkıntının giderilmesi için öğrencilere mutlaka kota desteği sağlanmalıdır. İlk bölümde öğrencilerin %79.4'ünün bilgisayar ile kalan %20.6'sının ise cep telefonu ile acil uzaktan öğretimi takip ettikleri tespit edilmişti. Evlerde acil uzaktan öğretimi takip edebilecek teknolojik araç olmaması veya sınırlı sayıda olması, öğrencileri olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden öğrencilerin dersleri rahat takip edebilmeleri için evlerde her öğrenciye özel teknolojik araç imkânı sunulmalıdır.

Öğrencilerin acil uzaktan öğretim sisteminin kullanımına yönelik görüşleri ise 10 soru ve 5'li likert ölçeği ile değerlendirilmiştir. Anket verileri incelendiğinde, öğrencilerin %82.5'i ders notlarına, %60.3'ünün ise ders kayıtlarına hızla ulaştıkları görülmektedir. Öğrencilerin %63.4'ü duyuruları düzenli olarak takip etmekte ve %63.5'i ise katılmadığı dersleri kayıtlardan takip etmektedirler. Sürekli tekrar sağlayan öğrenciler %49.2 iken, vakit tasarrufu sağlayanların sayısı ise %54.0'dür. Sistemde teknik problemlerle karşılaşan öğrenci sayısı %58.7'dir. Öğrencilerin %61.9'u sistemi karmaşık bulmadığını ifade ederken, %52.4'ü ise acil uzaktan öğretim sistemi ile daha hızlı öğrenmediğini ifade etmiştir. Canlı derslerin düzenli takibi konusunda ise öğrenciler tamamen kararsız kalmışlardır (Şekil 7).



Şekil 7. Öğrencilerin acil uzaktan öğretim sisteminin kullanımına yönelik görüşleri

Sonuçlar incelendiğinde, acil uzaktan öğretim sisteminde öğrencilerin ders notlarına ve kayıtlarına ulaşmada herhangi bir sıkıntı yaşamadıkları görülmektedir. Ayrıca gerek duyuruları gerekse kaçırıldıkları ama kayıt altına alınmış dersleri öğrencilerin takip ettiği de tespit edilmiştir. Sistem ders notlarında, canlı derslerde ve kayıt altına alınan derslerde, öğrencilerin ihtiyaçlarına cevap verebilecek düzeydedir. Kayıt altına alınan

dersler sayesinde bu noktada öğrencilerin dersleri tekrar ettikleri de sonuçlarda görülmektedir. Sistemin öğrencilerin öğrenme hızına etkisi ise görülmemiştir. Bunda derslerde uygulama yapılamaması ve yüz yüze eğitim avantajlarının kullanılmamasının etkisi büyüktür.

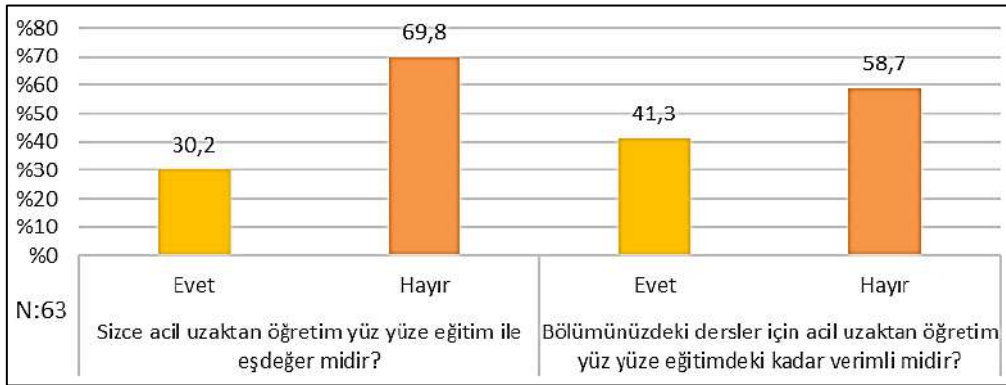
Sonuçlar incelendiğinde, canlı derslerin düzenli takip edilmesi noktasındaki öğrencilerin kararsızlıkları bir kez daha

motivasyon konusunun irdelenmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Canlı derse gerek yok, nasıl olsa tekrar kayıttan izleriz; yaklaşımı öğrencinin soru sorma ve çabuk kavrama gibi imkânları yitirmesine ve çalışma disiplininin uzaklaşmasına neden olmaktadır. Öğrencilerin de belirttiği gibi mekan bağımsız çalışma, öğrencilere vakit tasarrufu sağlamıştır. Ancak kazanılan bu zamanın boşa harcanmaması gerekmektedir.

Sistem kullanım açısından incelendiğinde ise günümüz teknolojisine daha çabuk adapte olan öğrenciler sistemi karmaşık bulmamakta ve kullanım esnasında zorlanmamaktadırlar. Fakat sistemle ilgili teknik problemler burada da etkisini göstermektedir. Bu noktada eğitim kurumlarının kullandığı yazılım, teknolojik altyapı ve internet altyapısı bir kez daha ön plana çıkmaktadır.

Öğrencilerin acil uzaktan öğretim sisteminin kullanımına ilişkin cevaplarının, cinsiyet açısından farklılık göstermediği ise t testi ile incelenmiştir. Buna göre, farklılık “Canlı derslerin düzenli takibi” noktasında ortaya çıkmıştır. Bu soruda kadınların erkeklere kıyasla canlı dersleri daha düzenli takip ettikleri sonucuna ulaşılmıştır ($t(61) = 2.174; p = .034$).

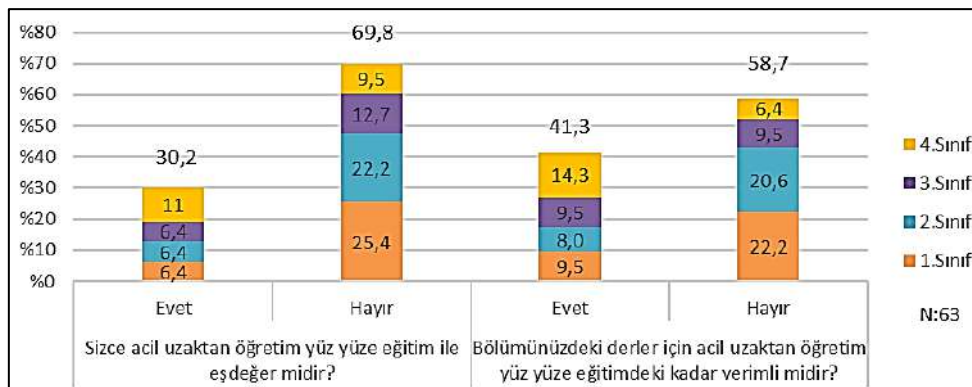
Öğrencilere yöneltilen “Acil uzaktan öğretim, yüz yüze eğitimle eşdeğer midir?” sorusuna ise 19 (%30.2) öğrenci “Evet”, 44 (%69.8) öğrenci ise “Hayır” şeklinde cevaplandırmıştır. “Bölümünüzdeki dersler için acil uzaktan öğretim, yüz yüze eğitim kadar verimli midir?” sorusuna ise öğrencilerin 26’sı (%41.3) “Evet”, 37’si (%58.7) ise “Hayır” şeklinde cevaplandırmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Öğrencilerin acil uzaktan öğretim ve yüz yüze eğitim hakkındaki görüşleri

Sonuçlar incelendiğinde, öğrencilerin acil uzaktan öğretimi, yüz yüze eğitim kadar verimli bulmadıkları ve yüz yüze eğitimle eşdeğer tutulamayacağı konusunda hemfikir oldukları görülmektedir. Bu sonucun çıkmasında peyzaj mimarlığı bölümündeki uygulamalı derslerin payı büyüktür. Elde edilen cevaplar incelendiğinde sınıf düzeyi açısından anlamlı bir farklılık gösterdiği tespit edilmiştir ($U = 289.0; p = .045; r = 0.25$). Sonuçlar sınıf düzeyinde incelendiğinde, dördüncü sınıf öğrencilerinin, diğer sınıflardan farklı olarak acil uzaktan öğretimi, yüz yüze eğitimle eşdeğer gördükleri sonucu ortaya

çıkmıştır (Şekil 9). Bölüm dersleri açısından da cevaplar incelendiğinde, sınıf düzeyi açısından gene anlamlı bir farklılık gösterdiği tespit edilmiştir ($U = 322.5; p = .022; r = 0.29$). Bölüm derslerinde dördüncü sınıf öğrencilerinin, acil uzaktan öğretimi yüz yüze eğitimden daha verimli buldukları, üçüncü sınıf öğrencilerinin ise bu konuda kararsız kaldıkları görülmektedir (Şekil 9). Dördüncü sınıfta netleşen bu farklılıkta, öğrencilerin ders yüklerinin azalması ve çizim, tasarım gibi uygulamalı derslerin azalarak dönem bazında teke düşmesi gibi nedenlerin etken olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9. Öğrencilerin sınıf düzeyinde acil uzaktan öğretim ve yüz yüze eğitim hakkındaki görüşleri

“Bölümünüzdeki derslerin uygulanma şekli için tercihiniz hangisidir?” sorusuna ise öğrenciler, birinci sırada 28 (%44.4) öğrenci ile “Uygulanması olmayan dersleri acil uzaktan öğretim ile almak isterim”, 2. sırada 15 (%23.8) öğrenci ile “Tüm dersleri acil uzaktan öğretim ile almak isterim”, 3. Sırada 14 (%22.2) öğrenci ile “Tüm dersleri yüz yüze almak isterim”, 4. Sırada ise 6 (%9.6) öğrenci ile “Fikrim yok” şeklinde cevaplamışlardır (Şekil 10).

Sonuçlar incelendiğinde, peyzaj mimarlığı bölümünde okuyan öğrencilerin sadece %23.8’inin tamamen acil uzaktan öğretimi tercih ettiği görülmektedir. Süreç incelendiğinde de teorik derslerin acil uzaktan öğretim ile sürdürülmesinde herhangi bir sıkıntı gözlemlenmemiştir. Fakat uygulamalı derslerin işleyişinde bilgisayar destekli tasarım dersleri hariç ciddi sıkıntılar yaşanmaktadır. Özellikle çizim, tasarım, laboratuvar, arazi, teknik gezi ve maket çalışmaları içeren, öğrencilerin deneyimleyerek, tekrarlayarak ve gözlemleyerek öğrenebilecekleri, eğitimcilerin

de öğrenim sürecinde daha etkin rol aldıkları uygulamalı derslerde süreç maalesef sağlıklı bir şekilde yürütülememektedir.

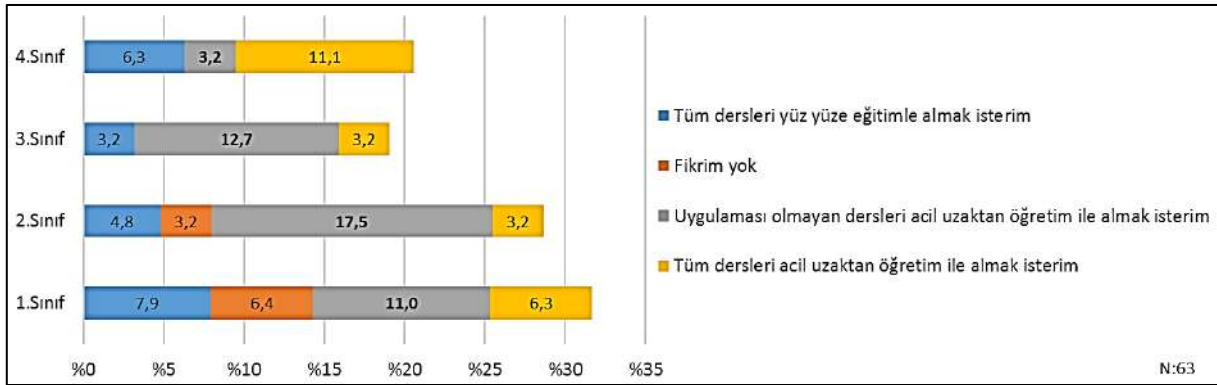
Aynı şekilde anket sonuçları da incelendiğinde, öğrencilerin de ilk sırada %44.4 ile bu görüşe katıldıkları görülmüştür.



Şekil 10. Peyzaj mimarlığı bölümünde okutulan derslerin uygulanma şekline ilişkin öğrenci görüşleri

Elde edilen cevaplar, sınıf düzeyinde incelendiğinde ise verilen cevapların sınıf düzeyinde anlamlı bir farklılık göstermediği tespit edilmiştir (p = .054). Buna karşın sonuçlar incelendiğinde fikrim yok seçeneğini seçen öğrencilerin birinci ve

ikinci sınıfta oldukları ve tüm dersleri acil uzaktan öğretim ile almak isteyen öğrenci sayısının ise gene dördüncü sınıfta artış gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Peyzaj mimarlığı bölümünde okutulan derslerin uygulanma şekline ilişkin sınıf düzeyinde öğrenci görüşleri

Üniversiteye ve bölüme yeni başlayan öğrencilerin ders içerikleri ve derslerin işleniş biçimi hakkında fazla bilgiye sahip olmadıklarından dolayı fikrim yok seçeneğinin birinci ve ikinci sınıflar tarafından tercih edildiği düşünülmüştür. Tüm dersleri acil uzaktan öğretim ile almak isteyen öğrenci sayısının dördüncü sınıfta artmasının nedeni olarak ise ders yüklerinin azalması ve çizim, tasarım gibi uygulamalı derslerin dönem bazında teke düşmesinin sebep olduğu düşünülmüştür. Bu sonucun çıkmasında öğrencilerin gerek son sınıfa kadar almış oldukları eğitimle gerekse kendi çabaları ile dijital tasarım becerilerini geliştirerek, bu araçları diğer sınıf öğrencilerine oranla daha etkin kullanmalarının ve bu sayede çizim, tasarım gibi derslerin üstesinden daha kolay gelebilmelerinin de etken olduğu sanılmaktadır. Ayrıca, dördüncü sınıf öğrencilerinde yaşanan mezuniyet kaygısı nedeni ile acil uzaktan öğretimin kendilerine daha kolay ders geçme imkânı tanyacağı yönündeki algılarında sonucu etkilediği düşünülmektedir.

4. Sonuç

Yaşanan süreç ve araştırma sonuçları analiz edildiğinde, acil uzaktan öğretimin kısa sürede birçok ihtiyacı karşıladığı, eğitim ve öğretim sürecinin devam ettirilmesine fayda sağladığı görülmektedir. Fakat bu faydaların yanında acil uzaktan öğretimin yüz yüze eğitim kadar başarılı olamadığı ve birçok sorunu da beraberinde getirdiği yadsınamaz bir gerçektir.

Araştırma sonuçlarına göre sistemde karşılaşılan sorunlar ele alındığında, Türkiye’de acil uzaktan öğretimde karşılaşılan en büyük sorun altyapı eksiklikleridir. Bu eksiklikleri gidermek için gerek internet altyapısı, gerekse üniversite teknoloji altyapıları bu talebi karşılayacak şekilde mutlaka geliştirilmelidir. Çünkü sistemin vazgeçilmez kesintisiz ve hızlı internettir. Bu noktada karşılaşılan bir başka önemli sorun da sistem için kullanılan yazılım tercihidir. Eğitim kurumlarının doğru yazılımları tercih etmeleri bu noktada büyük önem taşımaktadır. Eğitim kurumlarının, konferans sistemi yazılımları entegre edilmiş sistemlerden ziyade kendi web tabanlı uygulamalarını geliştirmeleri, olası birçok karmaşa ve güvenlik sorunlarının önüne geçecektir. Acil uzaktan öğretim sistemi kullanılırken yaşanan sorunların daha hızlı çözümü içinse mutlaka daha fazla bilgilendirme yapılmalı ve rehberlik hizmetleri sunulmalıdır. Ayrıca kütüphane gibi kampüs içi olanakları da sisteme dâhil ederek öğrencilerin sistemden daha fazla yararlanması sağlanmalıdır.

Süreç incelendiğinde acil ve beklenmeyen bu durum karşısında öğretmenlerin de birçok konuda eksik kaldığı ve yeterli kadar hazırlanamadığı görülmektedir. Eğitimin aksamaması için öğretmenler de ders anlatımlarını ve ders notlarını yeni sisteme göre alelacele yeniden düzenlemek zorunda kalmışlardır. Acil uzaktan öğretim sistemine uygun eğitim materyallerinin hazırlanmasında, öğretmenlerin bilgi ve becerilerinin de sınırlı olduğu düşünülürse öğretmenlerinde bu konuda mutlaka desteklenmesi gerekmektedir. Çoğu öğretmen bu sistemin

kullanımıyla ilgili herhangi bir eğitim almadığı gibi kendilerini de aslında daha önce deneyimlemedikleri bir sisteme adapte etmek zorunda kalmışlardır. Bu da oluşabilecek sorunların önüne geçme noktasında öğretmenleri ancak yaşa ve gör seçeneği ile hareket etmek zorunda bırakmıştır. Öğretmenler açısından bir başka önemli nokta da verilen ödevlerin ve yapılan sınavların şeffaflığı ve güvenilirliğidir. Sınav ve ödev uygulamaları ile bunların değerlendirilmesi noktasında mutlaka alternatif çözümler getirilmelidir.

Acil uzaktan öğretim sistemi öğrenciler açısından incelendiğinde ise öncelikle öğrenciler arasında teknolojik eşitlik sağlanmalıdır. Çünkü günümüzde hâlâ dersleri takip edecek teknolojik araçlara sahip olmayan öğrenciler bulunmaktadır. Öğrencilerin teknolojik gelişmeleri daha yakından takip ettikleri ve sisteme çabuk adapte oldukları görülmektedir. Öğrencilerin canlı derslerden ziyade video kayıtlarını takip ettikleri görülmüştür. Fakat video kayıtlarının kullanımı fazla internet kullanımı gerektirdiği için, kota desteği öğrencilere mutlaka sağlanmalıdır. Acil uzaktan eğitim her ne kadar zaman ve mekandan bağımsız çalışma esnekliği sağlasa da öğrencilerin aktif katılımlarının düşük olduğu görülmektedir. Katılımların artırılarak, disiplin eksikliği giderilmeli ve öğrenci motivasyonunun düşmesine izin verilmemelidir. Canlı ders kayıtlarının tekrar izlenebilmesi öğrencinin tekrar edebilmesine katkı sağlarken derslerin düzenli takibi noktasında öğrencileri kararsızlığa sürüklemiştir. Ödev ve sınavlara odaklanmada öğrencilerin sorun yaşamaması için öğrencilerin derse olan ilgileri artırılmalıdır.

Süreç peyzaj mimarlığı bölümleri açısından incelendiğinde ise acil uzaktan öğretimde, özellikle uygulamalı derslerde, hem öğrencilerin hem de öğretmenlerin zorlandığı görülmektedir. Çok bileşenli uygulamalı derslerde, derslerin acil uzaktan öğretim sistemiyle işlenmesi nedeniyle öğrenciler kendilerini keşfedememektedirler. Öğretmenler ise öğrencilerin yatkın olduğu alanları ortaya çıkartmakta ve öğrencileri yönlendirme konusunda zorlanmaktadır. Uygulamalı derslerde çizim, tasarım, laboratuvar, arazi, teknik gezi ve maket çalışmaları yeteri kadar ya da hiç yapılamadığı için öğrenciler deneyim kazanamamakta, öğretmenler de öğrencilerin teknik becerilerini yeteri kadar ölçememekte ve katkı sağlayamamaktadır. Özellikle tasarım ve çizim içeren derslerin paylaşımlı ortamında yürütülememesi ve stüdyo kültüründen kopuk işlenmesi sebebiyle öğrencilerde motivasyon düşüklüğü ve eleştirel düşünceden uzaklaştıkları görülmektedir. Bu noktada öğrencilerin aktif deneyimleme ve gözlem ile edindikleri bilgileri işleme yüz yüze yapılan uygulamalı derslerde daha kolay gerçekleştirebildikleri görülmektedir. Bu yüzden acil uzaktan öğretimin, peyzaj mimarlığı bölümlerindeki uygulamalı derslerde, bilgisayar destekli tasarım dersleri hariç, bu şartlarla kullanılmasının uygun olmayacağı görülmüştür.

Kaynakça

- Anonim, (2020a). T.C. Sağlık Bakanlığı, COVID-19 Haftalık Durum Raporu 06.07.2020–12.07.2020 Türkiye, 13.07.2020.
- Anonim, (2020b). T.C. Sağlık Bakanlığı, Haberler, <https://www.saglik.gov.tr/Genel/MansetHaberListesi.aspx>, (Erişim tarihi: 10.09.2020).
- Anonim, (2020c). YÖK, Basın açıklaması, <https://www.yok.gov.tr/Sayfalar/Haberler/2020/YKS%20Ertelenmesi%20Basin%20Açiklamasi.aspx>, (Erişim tarihi: 05.09.2020).

- Anonim, (2020d). T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, Milli Eğitim İstatistikleri, Örgün Eğitim, 2019/20.
- Anonim, (2020e). YÖK, Yüksek Öğretim Bilgi Yönetim Sistemi. <https://istatistik.yok.gov.tr/>, (Erişim tarihi: 15.09.2020).
- Anonim, (2020f). YÖK, Üniversitelerde uygulanacak uzaktan eğitime ilişkin açıklama. <https://www.yok.gov.tr/Sayfalar/Haberler/2020/universitelerde-uygulanacak-uzaktaneğitime-ilişkin-acikla.ma.aspx>, (Erişim tarihi: 08.09.2020).
- Anonim, (2020g). T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Haberler. <https://www.meb.gov.tr/bakan-selcuk-koronaviruse-karsi-egitim-alaninda-alinan-tedbirleri-acikladi/haber/20497/tr>, (Erişim tarihi: 13.09.2020).
- Anonymous, (2020a). Aljazeera. Timeline: How the new coronavirus spread. <https://www.aljazeera.com/news/2020/01/timeline-china-coronavirus-spread-200126061554884.html>, (Date of access: 20 September 2020).
- Anonymous, (2020b). WHO (World Health Organization), WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. <https://covid19.who.int/>, (Date of access: 17 September 2020).
- Anonymous, (2020c). UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), COVID-19 Impact on Akkoyunlu, B., Bardakçı, S. (2020). Yükseköğretim Kalite Kurulu, Pandemi Döneminde Uzaktan Eğitim. <https://portal.yokak.gov.tr/makale/pandemi-doneminde-uzaktan-egitim/>, (Erişim tarihi: 11.09.2020).
- Can, E. (2020). Coronavirüs (COVID-19) pandemisi ve pedagojik yansımaları: Türkiye’de açık ve uzaktan eğitim uygulamaları. Açık öğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi, 6 (2), 11-53.
- Dikmen, S., Bahçeci, F. (2020). COVID-19 Pandemisi Sürecinde Yükseköğretim Kurumlarının Uzaktan Eğitime Yönelik Stratejileri: Fırat Üniversitesi Örneği. Turkish Journal of Educational Studies, 7 (2), 78-98. DOI: 10.33907/turkjes.721685.
- Düşünceli, F., Arı, Ö., Evren, M., Kavak, O. (2020). COVID-19 Sürecinde Mardin Artuklu Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Sistemi, Eğitim-Öğretim ile Araştırma Faaliyetlerinin Değerlendirilmesi. Haziran 2020.
- Taş, M.B.H., Yağanoğlu, M. (2020). Ağır Akut Solunum Yolu Yetersizliği Sendromu Koronavirüsü 2 (SARSCoV-2) Dünya Çapındaki Analizi ve Gelecekteki Durumu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (20), 248-253. DOI: 10.31590/ejosat.764638.



Sulak Alanlarda Uzaktan Algılama ile Belirlenen Zamansal Değişime Kuraklığın Etkisinin İncelenmesi: Umurbey Deltası (Çanakkale) Örneği

Derya Çakaroz^{1*}, Emre Özelkan^{2,3}, Muhittin Karaman⁴

^{1*} Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6723-3632), derya.cakaroz@gmail.com

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2031-1610), emreozelkan@comu.edu.tr

³ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doğal Afetlerin Risk Yönetimi Anabilim, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2031-1610), emreozelkan@comu.edu.tr

⁴ İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8971-010X), mkaraman@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.799717)

ATIF/REFERENCE: 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.

Öz

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. Son zamanlarda uzaktan algılama ile sulak alanların izlenmesi, bu alanlara etki eden faktörlerin ve önem derecelerinin belirlenmesi ve sorunların çözümüne yönelik koruma ve geliştirme çalışmaları ağırlık kazanmıştır. Bu çalışmada 2013 ve 2019 yılları arasında yağışlı ve kurak dönem sonlarında Çanakkale ili sınırları içerisinde yer alan Umurbey Deltası'nda yer alan lagünlerdeki su varlığı uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenmiş, su ile kaplı alanların alansal değişimlerine meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın etkisi incelenmiştir. Çok zamanlı alansal değişimin belirlenmesinde 15 m mekansal çözünürlüklü Landsat-8 OLI (Operational Land Imager) multispektral pankeskinleştirilmiş uydu görüntülerinden üretilen Modifiye Edilmiş Normalize Fark Su İndisi (MNDWI), meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde Standart Yağış İndisi (SPI) ve hidrolojik kuraklık için ise evapotranspirasyon ve su bütçesi hesabını içeren Thornthwaite İklim Sınıflama metodu kullanılmıştır. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın lagün alanına etkileri yağışlı ve kurak dönem sonlarına kadar olacak şekilde aylık ve mevsimlik (1 ve 3 aylık) dönemlerde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar lagün alanlarındaki değişimde meteorolojik kuraklık kısa inceleme dönemlerinde yağışlı dönemin sonunda daha fazla etkili olmaktadır. Diğer taraftan hidrolojik kuraklığın ise (buharlaştırma ve bitki ile su tüketiminin) kurak dönemi içeren tüm inceleme dönemlerinde alansal değişimde daha etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sulak Alan, Uzaktan Algılama, MNDWI, Standart Yağış İndisi, Thornthwaite, Kuraklık.

Investigation of the Effect of Drought on Temporal Change in Wetlands Determined by Remote Sensing: The Case Study in Umurbey Delta (Çanakkale)

Abstract

Wetlands are one of the most important and precious parts of the Earth that provide the balance and continuity of the world ecosystem. These areas, which are parts of a large system, are very sensitive to environmental factors such as the climate of their site,

* Sorumlu Yazar: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Çanakkale, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6723-3632, derya.cakaroz@gmail.com

water resources and geomorphological features, but they are especially faced with the drought problem. Recently, monitoring of wetlands with remote sensing, determining the factors affecting these areas and their importance, and conservation and development studies for the solution of problems have gained importance. In this study, was determined remote sensing the presence of water in lagoons in the Umurbey Delta, which is located in the borders of Çanakkale province, the effect of meteorological and hydrological drought on the changes of water-covered areas were investigated between 2013 and 2019 at the end of rainy and dry periods. Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) produced from 15 m spatial resolution Landsat-8 OLI (Operational Land Imager) multispectral pansharpening satellite images in the determination of multi-temporal spatial change, Standard Precipitation Index (SPI) for meteorological drought and for hydrological drought Thornthwaite Climate Classification method, which includes the calculation of evapotranspiration and water budget, were used. The effects of meteorological and hydrological drought on the lagoon area were examined in monthly and seasonal (1 and 3 months) periods at the end of rainy and dry periods. The results showed that the meteorological drought is more effective in the short review periods at the end of the rainy season. On the other hand, the hydrological drought under the effect of evaporation and plant water consumption (i.e. evapotranspiration) is more effective in water area changes at the end of the dry season.

Keywords: Wetland, Remote Sensing, MNDWI, Standardized Precipitation Index, Thornthwaite, Drought.

1. Giriş

Deltalar, biyolojik çeşitlilik bakımından en zengin ekosistemlerden birini oluşturan sulak alanları barındırmaları sebebiyle önem taşımaktadır [1-3]. Biyolojik çeşitliliği, çevresel ve ekolojik dengenin devamlılığını sağlayan sulak alanlar karasal ve sucül ekosistemler arasında enerji akışı sağlayan, doğal ve beşerî girdi-çıkıtları olan üretim sistemleridir [4-6].

Sulak alan ekosistemlerinin karmaşık yapısı yeraltı sularının beslenmesi, sel ve taşkın kontrol ve mikro iklim stabilizasyonu gibi ekolojik fonksiyonlar ve orman kaynakları, balıkçılık ve yem kaynakları gibi sosyo-ekonomik hizmetler ve ürünler sunmaktadır [7].

Sulak alanların özellikleri buldukları bölgenin iklim, jeomorfoloji ve su kaynağı gibi çevresel etmenlerin etkisindedir [4]. Sulak alana su girdisi; doğrudan kar ve yağmur suyu, gel-git suları, yeraltı suyu, çevre alanlardan yüzey akışı ile gelen sular ile sağlanmaktadır [8]. Su çıkışları ise buharlaşma, terleme, yeraltına sızma, gel-git ile nehir ve derelerin kolları tarafından dışarı drene edilmesi sonucunda meydana gelmektedir [4, 2]. Sulak alanlardan aşırı miktarda su tüketimi, sulak alanların bulunduğu havzalarda yeraltı sularının aşırı kullanımını, sistemi besleyen akarsular üzerindeki baraj vb. yapılarla suların tutulması, akarsuların yönlerinin değiştirilmesi gibi olaylar sulak alanlardaki hidrolojik dengeyi etkilemekte, bu alanların ve bu alanlara bağlı ekosistemin yok olmasına varan sonuçları doğurmaktadır. [9, 10].

Kıyı kesimlerde yer alan sulak alanlarda doğal hidrolojik süreçler, su seviyesi değişimi, dalga hareketleri ve gel-git etkisine bağlı olarak günlük ve aylık olarak değişim göstermektedir. Mevsimsel su değişimleri, yıl içindeki kurak ve yağışlı dönemlere paralel bir değişim gösterirken, uzun dönemli seviye değişimleri iklimsel değişimlere paralel seyretmektedir [10]. Mevsimsel değişim sürecinden etkilenen su kütlelerinde alansal ve hacimsel değişimler meydana gelmektedir [6, 11]. Değişimde kuraklık ve yağış sulak alanlar üzerinde baskı oluşturan en önemli faktörlerdir. Bu nedenle su kaynaklarına yönelik değişim analizlerinin gerekliliği ortaya çıkmıştır [1, 12].

Son zamanlarda sulak alanların önemi daha çok anlaşılma başlamış ve bu alanların korunması için ekolojik ve sosyoekonomik analizlere dayanan koruma programları geliştirilmiştir [13-16]. Beşerî etkenlerin de etkisinin görüldüğü sulak alanların hassas ekosistemler olmaları, bu alanların sürekli izlenmesi ve koruma çalışmalarının yapılmasını zorunlu kılmıştır [1, 6, 17, 18].

Sulak alanlardaki değişime etki eden en temel etken kuraklıktır. Kuraklık meteorolojik kökenli doğal ve yıkıcı bir afettir [19, 20]. Yeryüzüne suyun ulaşmasında önemli bileşen olan yağışlardaki eksiklik meteorolojik kuraklık olarak ifade edilir [21]. Meteorolojik kuraklık sırasıyla hidrolojik, tarımsal ve sosyoekonomik kuraklığa neden olur [22]. Meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde, sıcaklık, yağış ve nem gibi meteoroloji ve iklim verileri kullanılarak hesaplanan Standart Yağış İndisi (SPI), Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) ve Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI) gibi kuraklık indislerinden yararlanılmaktadır [19, 20, 23, 24]. Sulak alanlarda su yüzeyinde meydana gelen seviye değişimini açık yüzey buharlaşma metotları ile tek başına açıklamak yeterli olamayabilir. İçerdikleri bitki örtüsünde meydana gelen terleme olayı, sulak alanlardaki su miktarında meydana gelen değişime katkıda bulunur [11, 25]. Thornthwaite İklim Sınıflama Metodu sulak alanlardaki hidrolojik kuraklığın belirlenmesinde sıklıkla kullanılırken hem su yüzeyindeki buharlaşma hem de bitkilerden terleme yoluyla kaybolan su miktarını, diğer bir deyişle evapotranspirasyonu belirler [6, 11, 26-28].

Uzaktan Algılama (UA) doğal kaynakların izlenmesi, analizi, korunması ve yönetiminde önemli bir yere sahiptir [19, 29]. Su kaynaklarının izlenmesi, korunması ve yönetimi çalışmalarında, hidrometeorolojik ve hidrojeolojik yöntemlerin yanı sıra uzaktan algılama yöntemlerinden faydalanmak büyük avantajlar sağlar [29, 30]. Uzaktan Algılama algılayıcılarının, verilerinin ve yöntemlerinin sağladığı avantajların bazıları geniş sahalarda tek seferde izlenebilmesi, kısa süre zarfında geleneksel yöntemlere göre daha hızlı sonuç üretilebilmesi, daha az iş gücü gerektirmesi, çok amaçlı ve farklı veri setlerini üretebilmesi şeklinde sıralanabilir [1, 6, 19, 29, 31, 32]. Sulak alanlardaki su ile kaplı alanların, su seviyesinin, kıyı çizgisinin, suyun kimyasal özelliklerinin mevcut durumunun ve çok zamanlı değişimlerinin belirlenmesi gibi pek çok konu uzaktan algılama yöntemleri ile araştırılmaktadır [1, 6, 22, 33-35].

Uydu görüntülerinden yararlanılarak suyla kaplı alanların diğer alanlardan sağlıklı olarak ayırt edilebilmesi ve su bileşenlerinin tanımlanması için geliştirilmiş su indisleri bulunmaktadır [27, 32, 36-39]. Uydu görüntülerinden oluşturulan su indisleri görüntüleri, herhangi bir yer ve zamanda meydana gelen kuraklığın izlenmesini mümkün kılar [40]. Normalize Fark Su İndisi (NDWI) [36] ve Modifiye Edilmiş Normalize Fark Su İndisi (MNDWI) [37] suyun görünür bölgedeki yüksek ve kızılötesi bölgedeki düşük yansıtımı dikkate alarak geliştirilmiş, su alanlarının tespiti için sıklıkla kullanılan ve başarılı sonuçlar veren indislerdir [6, 19, 22, 32]. Normalize su indisleri ile elde edilen verilerin kolay anlaşılır ve yorumlanabilir olması, diğer kaynaklardan temin edilen veriler

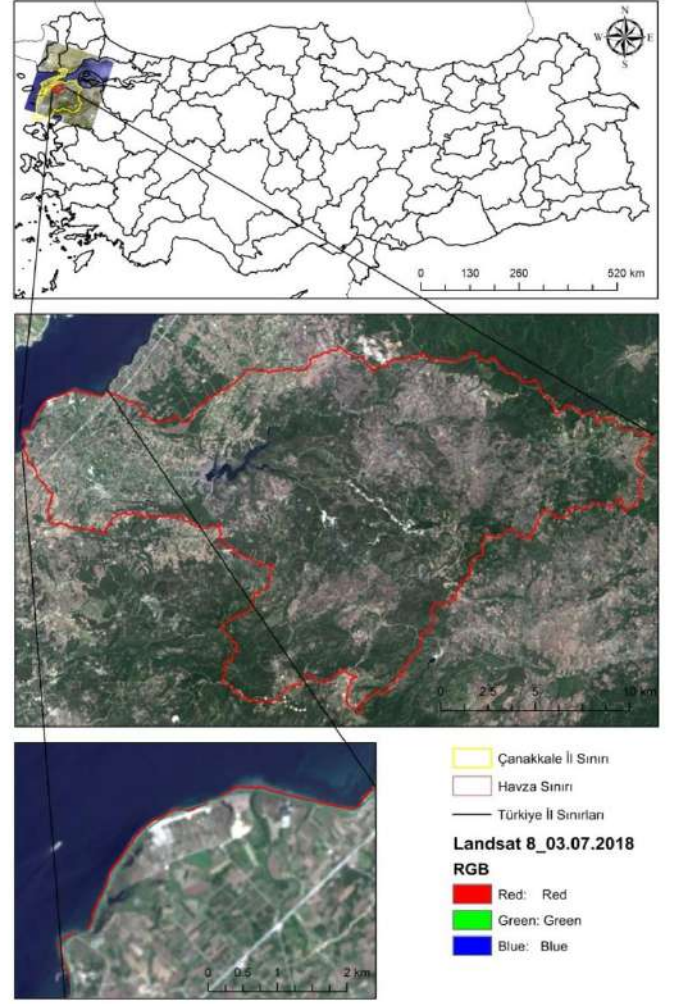
ile entegrasyonda büyük kolaylık sağlar ve bu da etkili bir sulak alan yönetimindeki başarıyı artırır [32, 22].

Bu çalışmada Çanakkale ili sınırları içerisinde bulunan Umurbey Deltasındaki sulak alanların yağışlı ve kurak dönemler sonundaki alansal değişimi belirlenmiş ve alansal değişim ile meteorolojik ve hidrolojik kuraklık verileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Su ile kaplı alanların belirlenmesinde “Modifiye Edilmiş Normalize Fark Su İndisi” (MNDWI) kullanılmıştır. Meteorolojik ve hidrolojik koşullar SPI ve Thornthwaite yöntemleri ile tanımlanmış ve lagün su dinamiklerindeki değişim ile ilişkileri aylık ve mevsimlik (1 ve 3 ay) inceleme dönemlerinde değerlendirilmiştir.

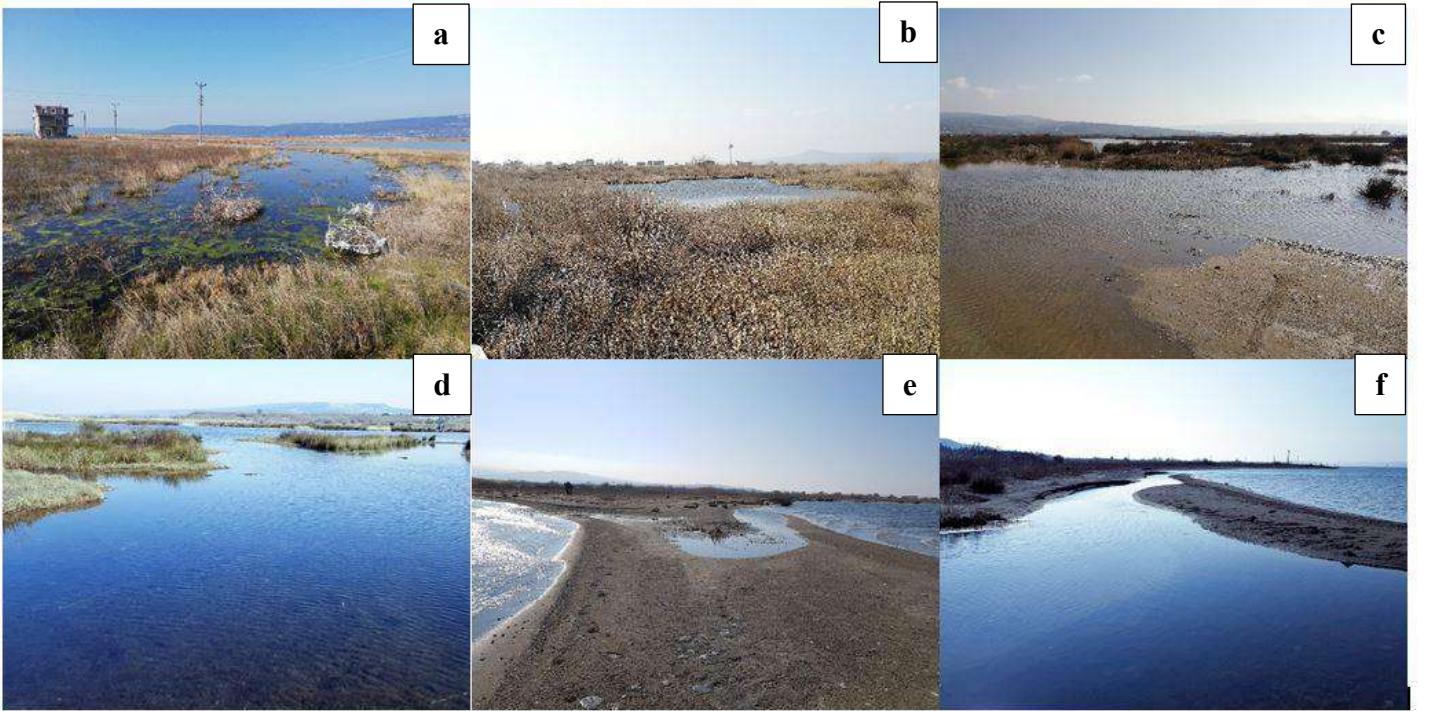
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, 26°33'22" – 26°57'1" doğu meridyenleri ile 40°7'52" – 40°18'21" kuzey paralelleri arasında ve Çanakkale ili, Umurbey beldesi sınırları içerisinde yer alan Umurbey Deltası'dır (Şekil 1). Yaklaşık 450 ha alan kaplayan ve deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 3 m olan delta alanı, karasal sulak alan olup (Şekil 2b), kuş türlerinin beslenme, barınma ve üremeleri için önemli bir sahadır [41]. Delta, birçok küçük azmak içeren bataklık bir saha durumundadır [42]. Sahada yer alan azmak ve lagünler arasındaki en büyüğü Umurbey Lagün Gölü (Çatalazmak) olup, derinliği 50-75 cm civarındadır (Şekil 2c, 2d). Umurbey kıyılarında yer alan lagünlerin (Şekil 2e, 2f) alanı toplamda 206,71 ha'dır [43]. Derinliği fazla olmayan lagün alanlarının büyük bir kesiminde bitki ile su karma yapısı göze çarpmaktadır (Şekil 2a).



Şekil 1. Çalışma Alanı



Şekil 2. Umurbey sulak alanında bitki+su karma yapısı (a), karasal sulak alan (b), sığ su alanları (c,d), Umurbey Deltası kıyı kesimi (e) lagün ile denizin birleştiği kesimler (f) (Foto: Derya Çakaroz, 10 Şubat 2019, Çanakkale)

2.2. Uzaktan Algılama Verisi ve Görüntü İşleme

Umurbey Deltası'ndaki sulak alanların alansal değişimlerinin belirlenmesinde Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) [44] 'den ücretsiz olarak temin edilen, 16 bit radyometrik ve 30 m ve 15 m mekânsal çözünürlüklü, 181/032 ve 182/032 (yol/sıra) numaralı Level 1-T Landsat-8 OLI (Operational Land Imager) multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uzaktan algılama tabanlı değerlendirmeler, 2013-2019 yılları arasında 7 yağışlı ve kurak dönem hidrolojik döngüsüne ait toplam 14 adet görüntü ile yapılmıştır (Tablo 1). Uydu görüntülerindeki sistematik hataların giderilmesi ve atmosferdeki yutulma ve saçılma etkilerinin en aza indirilmesi için görüntülere, radyometrik kalibrasyon ve atmosferik düzeltme uygulanmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri

No	Görüntüleme Tarihi	Uydu	Yol/Sıra
1	10.6.2013	Landsat 8 OLI	182/032
2	29.8.2013	Landsat 8 OLI	182/032
3	13.6.2014	Landsat 8 OLI	182/032
4	25.8.2014	Landsat 8 OLI	181/032
5	16.6.2015	Landsat 8 OLI	182/032
6	28.8.2015	Landsat 8 OLI	181/032
7	2.6.2016	Landsat 8 OLI	182/032
8	30.8.2016	Landsat 8 OLI	182/032
9	14.6.2017	Landsat 8 OLI	181/032
10	24.8.2017	Landsat 8 OLI	182/032
11	8.6.2018	Landsat 8 OLI	182/032
12	27.8.2018	Landsat 8 OLI	182/032
13	26.5.2019	Landsat 8 OLI	182/032
14	23.8.2019	Landsat 8 OLI	181/032

Umurbey Deltası'nda su ile kaplı alanların belirlenmesinde piksel boyutundan kaynaklı hataların giderilmesi amacıyla görüntülere füzyon yöntemlerinden NNDiffuse (Nearest Neighbor Diffusion Based Pansharpening) pankeskinleştirme [45] yöntemi uygulanmıştır [31]. NNDiffuse yöntemi kullanılarak, düşük mekansal çözünürlüklü multispektral bantlara (30m), yüksek mekansal çözünürlüklü pankromatik bantlar (15m) füzyon edilerek, 15 m mekânsal çözünürlüğe sahip çok bantlı yeni görüntüler elde edilmiş ve sulak alanların tespiti için MNDWI kullanılmıştır.

Landsat uydu görüntüleri kullanılarak su kütlelerini belirlemek için üretilen ilk su indisi NDWI'dır. NDWI suyun, spektrumun yeşil bölgesindeki yüksek ve yakın kızılötesi (YKÖ) bölgesindeki düşük yansıtım özelliğini kullanarak oluşturulmuştur (1) [36]. NDWI -1 ile 1 arasında değer alır, 0 değerinin üstü suyu temsil eder ve aşağıdaki şekilde ifade edilir [36].

$$NDWI = (\text{Yeşil Bölge} - \text{YKÖ}) / (\text{Yeşil Bölge} + \text{YKÖ}) \quad (1)$$

Yakın kızılötesi (YKÖ) yerine kısa dalga kızılötesi bölgesi (KDKÖ) kullanılarak oluşturulan modifiye NDWI (MNDWI) ise suyun, elektromanyetik spektrumun yeşil bölgesindeki yüksek yansıtım ile kısa dalga kızılötesi (KDKÖ) bölgesindeki düşük

yansıtım arasındaki zıtlığı kullanır (2). MNDWI da -1 ile 1 arasında değer alır, genel olarak pozitif değerleri suyu ifade eder ve aşağıdaki şekilde formülize edilir [11, 31, 32, 37].

$$MNDWI = (\text{Yeşil Bölge} - \text{KDKÖ}) / (\text{Yeşil Bölge} + \text{KDKÖ}) \quad (2)$$

Çalışma sahasının özelliklerine göre değişiklik gösterse de sulak alanların diğer arazi kullanımı/örtüsü sınıflarından ayırt edilmesinde MNDWI'nın diğer indislere göre daha başarılı olduğu birçok çalışmada ispatlanmıştır [1, 6, 11, 37, 46]. MNDWI veri setleri Tablo 1'de gösterilen görüntüler üzerinden üretilmiştir. Yeşil bölge ve KDKÖ bölge bantları için Landsat 8 OLI'nin üçüncü (525-600 nm) ve altıncı (1560-1660 nm) bantları kullanılmıştır. Ayrıca kuraklık verileri ile uyumlu olması için yağışlı dönem sonu (mayıs sonu - haziran başı) ve kurak dönem sonu (ağustos sonu - eylül başı) görüntüleri tercih edilmiştir. Sulak alanları belirlemek için belirlenmesi gereken MNDWI eşik değerleri manuel eşikleme (manual thresholding) yoluyla belirlenmiştir.

2.3. Meteorolojik Veri ve İşlenmesi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen meteorolojik ve hidrolojik kuraklık incelemelerinde T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Lapseki Meteoroloji İstasyonu'nda 2013-2019 yılları arasında elde edilmiş sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. İnceleme kapsamında kullanılan, Lapseki İstasyonu'nun belirli bir süre kapatılıp tekrar açılması veya ölçümlerin yapılmaması nedeni ile meteorolojik verilerde bütünlük sağlanamamıştır. 2014 itibarıyla OMGİ sistemi ile tekrar ölçümlerin başladığı Lapseki İstasyonu'nda kuraklığın belirlenmesinde yeterli uzunlukta veri olmaması sebebiyle 2013-2019 yılları arasındaki eksik verileri tamamlamak için 33 km uzaklıktaki ve boğazın aynı tarafındaki Çanakkale İstasyonu'na ait meteorolojik verilerden faydalanılmıştır.

2.3.1. Standart Yağış İndisi (SPI)

Meteorolojik kuraklık şiddetinin değişimini belirlemek amacıyla, sadece yağış verisi ile güvenilir, kolay ve hızlı bir şekilde hesaplama yapan SPI [24, 47-49] kullanılmıştır. SPI, belli bir dönemin iklim değerlerinin uzun yıllara ait iklim değerlerinden sapma miktarını 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler şeklinde belirleyebilir [22, 48, 49] ve bu sapma aşağıdaki formül ile hesaplanır [47].

$$SPI = (X_i - X_{ort}) / \sigma \quad (3)$$

Formülde belirtilen "X_i" incelenen dönemdeki toplam yağış (mm), "X_{ort}" toplam yağış uzun yıllar ortalamasını (mm) ve "σ" ise toplam yağışın uzun yıllar standart sapmasını (3) ifade etmekte, hesaplanan SPI incelenen dönemdeki hidrometeorolojik yağışın uzun yıllardaki seyirinden farklılaşmasını ortaya koymaktadır. SPI hesaplaması sonucunda elde edilen negatif değerler kurak dönemi, pozitif değerler ise yağışlı-nemli dönemi ifade etmektedir [24, 48, 50, 51] (Tablo 1).

Tablo 2. SPI değerleri ve sınıflandırılması [23]

SPI değerleri	Kuraklık Kategorisi
≥ 2	Olağanüstü Nemli
1,60 ~ 1,99	Aşırı Nemli
1,30 ~ 1,59	Çok Nemli
0,80 ~ 1,29	Orta Nemli
0,51 ~ 0,79	Hafif Nemli
0,50 ~ -0,50	Normal Cıvarı
-0,51 ~ -0,79	Hafif Kurak
-0,80 ~ -1,29	Orta Kurak
-1,30 ~ -1,59	Şiddetli Kurak
-1,60 ~ -1,99	Çok Şiddetli Kurak
≤ -2	Olağanüstü Kurak

Bu çalışmada, SPI, açık kodlu bir istatistik programlama dili olan R ile de hesaplanmıştır. SPI hesaplamasında log-Logistic, Gamma veya PearsonIII dağılım fonksiyonlarından biri kullanılmaktadır. R, SPI için “Gamma” dağılım fonksiyonundan sonra bir değişkeni, ortalamayı 0 ve standart sapmayı 1 alarak, standart Gauss değişkenine dönüştürmektedir [52, 53]. Çalışmada Lapseki İstasyonu’ndan sağlanan yağış verileri kullanılarak R programının SPI modülü ile aylık ve mevsimlik (1 ve 3 aylık) SPI değerleri hesaplanmıştır.

2.3.2. Thornthwaite İklim Sınıflama Metodu

Sulak alanlar bitki ile su karma yapısı nedeniyle buharlaşma ve terlemeyi birlikte ifade eden evapotranspirasyon olayının etkisindedir [54]. Evapotranspirasyon ile su kaybının hesaplanmasında Thornthwaite İklim Sınıflandırması en çok tercih edilen yöntemlerden biridir [28, 6]. Thornthwaite metodu, sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak hesaplanan evapotranspirasyon kaybına dayanılarak, yıl içerisinde toprakta birikmiş su, birikmiş rezerv suyun aylık değişimi, yıllık gerçek evapotranspirasyon, su fazlası ve su noksanı, akış ile su bütçesi hesaplanmaktadır [6, 11, 54-56]. Uç iklim koşullarında (kurak ve aşırı nemli) tatmin edici sonuç vermediği belirtilen Thornthwaite metodu [11, 57], Çanakkale’de ılıman bir iklim yaşanmasından dolayı tercih edilmiş ve aşağıdaki işlem adımları [54, 58, 11] ile SPI ile uyumlu olması için aylık ve mevsimlik (1 ve 3 aylık) dönemlerde hesaplanmıştır.

$$I_i = \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1,514} \rightarrow J = \sum_{k=1}^{12} I_i \rightarrow ET_p = 16 \times \left(\frac{10 \times T_i}{J}\right)^c \times K \quad (4)$$

$$c = (0,000000675 \times J^3) - (0,000077 \times J^2) + (0,01792 \times J) + 0,49239 \quad (5)$$

Thornthwaite metodu denklemlerinde; I_i aylık sıcaklık indisini, T aylık ortalama sıcaklığı ($^{\circ}C$), J o yıla ait sıcaklık indisini, ET_p potansiyel evapotranspirasyonu (mm/ay), c

katsayıyı ve K bulunan enleme göre Thornthwaite çizelgesinden okunan düzeltme katsayısını (4, 5) ifade eder.

Aylık ET_p hesaplandıktan sonra gerçek evapotranspirasyon ET_R ve su bilançosu aşağıdaki şekilde hesaplanır [54, 58, 11].

- I. Eğer ilgili ayın yağış miktarı $> ET_p$:
 - a. $ET_p = ET_R$,
 - b. Yağış ile ET_p arasındaki fark azaldıkça zemin rezervi azalır,
 - c. Zemin rezervi %100’e ulaştıkça su fazlası akışa geçer.
- II. Eğer ilgili ayın yağış miktarı $< ET_p$:
 - a. ET_R , yağış ile zemin rezervinin bir kısmının veya tamamının toplamına eşittir
 - b. Zemin rezervi = 0 olunca ET_R yağış miktarına eşit olur.
- III. ET_p ile ET_R arasındaki fark su noksanı olarak tanımlanır.
- IV. Zemin rezervi başlangıçta %100 kabul edilir ve üstündeki miktar su fazlası olarak tanımlanır.

Hesaplanan su bilanço çizelgesi aracılığıyla iklim tipi belirlenmektedir. Thornthwaite İklim Sınıflandırmasında, ilk aşamayı oluşturan Yağış Etkinlik İndisi aşağıdaki formül ile hesaplanır [59]:

$$I_m = (100s - 60d)/n \quad (6)$$

formülde, (I_m) yağış etkinlik indeksi, (s) yıllık su fazlası, (d) yıllık su noksanı, (n) ise yıllık potansiyel evapotranspirasyonu (6) ifade etmektedir. Thornthwaite, yağış ve evapotranspirasyon arasındaki ilişkiye dayanarak iklimleri nemli ve kurak olmak üzere iki sınıfa, daha sonrasında nemli ve kurak iklimleri kendi içerisinde ayırmıştır [59]. Yağış etkinlik indisine göre E, D, C1 kurak alanları tanımlarken C2, B1, B2, B3, B4 ve A nemli sahaları işaret etmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Yağış Etkinlik İndisi Değerleri ve Sınıflandırılması [59]

Sembol	İklim Tipi	Yağış Etkinlik İndisi	Genel Nemlilik Tipi
A	Çok Nemli	> 100	Nemli İklimler
B4	Nemli	80 - 100	
B3	Nemli	60 - 80	
B2	Nemli	40 - 60	
B1	Nemli	20 - 40	
C2	Yarı Nemli	0 - 20	
C1	Kurak-Yarı Nemli	(-20) - 0	Kurak İklimler
D	Yarı Kurak	(-40) - (-20)	
E	Kurak	< -40	

Sınıflandırmanın ikinci aşamasında Sıcaklık Etkinlik İndisi, yıllık toplam potansiyel evapotranspirasyon değerine göre belirlenir [59].

Tablo 4. Sıcaklık Etkinlik İndis Değerleri ve Sınıflandırılması [59]

Sembol	İklim Tipi	Sıcaklık Etkinlik İndisi	Genel Nemlilik Tipi
A'	Megatermal	> 1140	Yüksek Sıcaklıktaki İklimler
B'4	4. Dereceden Mezotermal	997 - 1140	
B'3	3. Dereceden Mezotermal	855 - 997	Orta Sıcaklıktaki İklimler
B'2	2. Dereceden Mezotermal	712 - 855	
B'1	1. Dereceden Mezotermal	570 - 712	
C'2	2. Dereceden Mikrotermal	427 - 570	Düşük Sıcaklıktaki İklimler
C'1	1. Dereceden Mikrotermal	285 - 427	
D'	Tundra	142 - 285	Çok Düşük Sıcaklıktaki İklimler
E'	Don	< 142	

Üçüncü aşamada, kurak iklimler için nemlilik indisi (Ia), nemli iklimler için kuraklık indisi (Ih) hesaplanarak, ilgili bölgenin nemlilik – kuraklık derecesi belirlenir. Hesaplama “n” yıllık potansiyel evapotranspirasyonu “d” yıllık toplam su noksanını, “s” ise yıllık su fazlasını (7) ifade etmektedir. Her

nokta ya da istasyon için kuraklık ve nemlilik indislerinden sadece biri hesaplanmalıdır [59].

$$Ia = 100d/n \quad Ih = 100s/n \quad (7)$$

Tablo 5. Kuraklık-Nemlilik İndis Değerleri ve Sınıflandırılması [59]

Nemli İklimler			Kurak İklimler		
Sembol	Tali İklim Tipi	Ia	Sembol	Tali İklim Tipi	Ih
R	Su Noksanı Yok veya Az	0 – 16,7	d	Su Fazlası Yok veya Az	0 - 10
S	Yazın Orta Derecede Su Noksanı	16,8 – 33,3	s	Yazın Orta Derecede Su Fazlası	11 - 20
W	Kışın Orta Derecede Su Noksanı	16,8 – 33,3	w	Kışın Orta Derecede Su Fazlası	11 - 20
s2	Yazın Şiddetli Su Noksanı	> 33,4	s2	Yazın Şiddetli Su Fazlası	> 21
w2	Kışın Şiddetli Su Noksanı	> 33,4	w2	Kışın Şiddetli Su Fazlası	> 21

Son olarak dördüncü aşamada, denizsellik ve karasallık oranı (PE oranı) belirlenmektedir [59]. En sıcak üç ayın potansiyel evapotranspirasyonunun yıllık potansiyel evapotranspirasyona oranıyla elde edilmektedir [59].

$$PE \text{ Oranı} = (make1 + make2 + make3)/n \quad (8)$$

make 1, make 2 ve make 3 en yüksek aylık potansiyel evapotranspirasyonu, n ise yıllık potansiyel evapotranspirasyonu (8) ifade etmektedir.

Tablo 6. Denizellik-Karasallık İndis Değerleri ve Sınıflandırılması [59]

Sembol	PE Oranı %	Tali İklim Tipi
a'	<48	Tam Denizel
b'4	48 – 51,9	Denizel
b'3	52,0 – 56,3	Yarı Denizel
b'2	56,4 – 61,6	Hafif Denizel
b'1	61,7 – 68,0	Hafif Karasal
c'2	68,1 – 76,3	Yarı Karasal
c'1	76,3 – 88,0	Karasal
d'	>88,1	Şiddetli Karasal

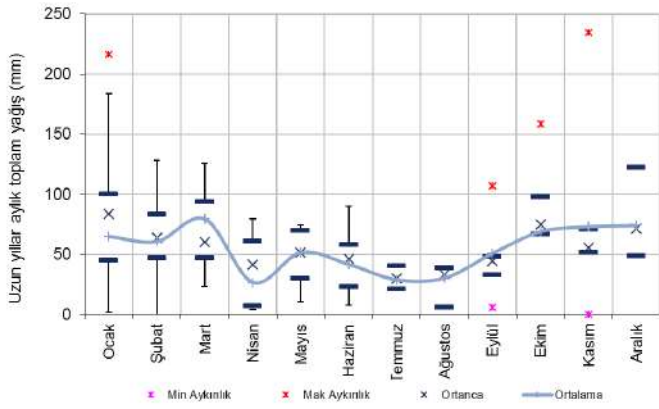
2.4. Veri Analizi

2013 ve 2019 yılları arasında yağışlı ve kurak dönem sonlarında elde edilen uydu görüntülerinden (Tablo 1) MNDWI su indisi kullanılarak elde edilen 14 su ile kaplı alan verisi ile aynı dönemlere ait SPI ve Thornthwaite verileri arasındaki ilişki, korelasyon-regresyon analizi ile incelenmiştir. Uzaktan algılama ve hidrometeorolojik veri setleri arasındaki ilişkiyi ifade etmek için Pearson korelasyon katsayısı (R), belirleme katsayısı (R²) kullanılmıştır.

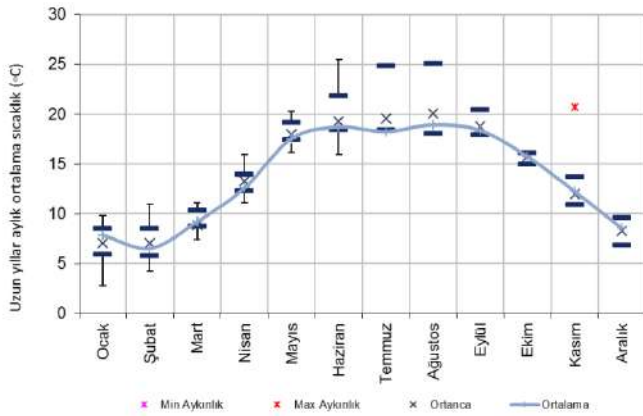
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. İklim Özellikleri

Lapseki MGM İstasyonu'nun 1986-2019 yılları arasındaki verilerine göre Karadeniz ikliminden Akdeniz iklimine geçiş özelliği gösteren Marmara ikliminin etkisi altındaki Umurbey'in uzun yıllar ortalama sıcaklığı 13,9°C'dir. En soğuk ay ortalama 5,5°C ile Ocak iken, en sıcak ay ortalama 25,1°C ile Ağustos ayında yaşanır (Şekil 4). Yıllık toplam yağış 648 mm'dir. Ortalama yağışlar Ağustos'da 10 mm civarında en düşük, Aralık'ta ise en yüksektir 110 mm seviyelerindedir (Şekil 3). Bölgede yıl içerisinde hâkim rüzgâr yönü kuzeydoğu (KD) ve ikinci yön ise güneybatıdır (GB). Kuzey yönlü rüzgârlar sıcaklıkların düşmesine neden olur iken, güneyden esen rüzgârlar da bölgeye yağış getirmektedir [50].



Şekil 3. Uzun yıllar aylık toplam yağış kutu grafiği



Şekil 4. Uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık kutu grafiği

3.2.Uzaktan Algılama Bulguları

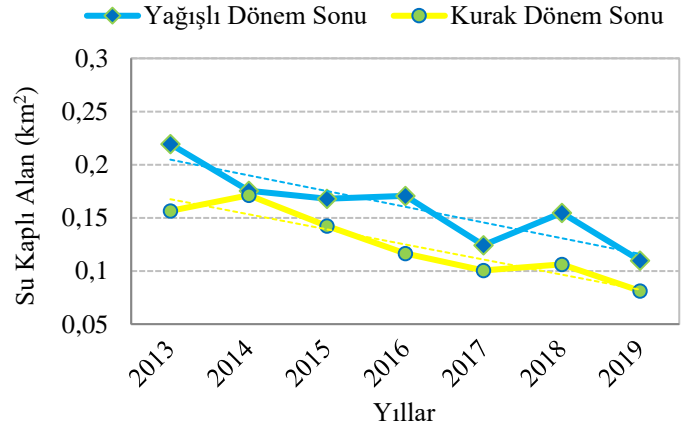
Çalışma alanındaki su varlığı 2013-2019 yılları arasındaki Landsat uydu görüntülerine uygulanan MNDWI su indisi ile belirlenmiştir. Her ne kadar genel olarak MNDWI için 0'dan büyük değerler suyu ifade etse de suyun içeriğine göre bu değer değişebilmekte ve su kütleleri 0'ın altı veya üstü değerler alabilmektedir [37, 38, 60, 61]. Bu çalışmada her görüntü için manuel olarak belirlenen eşik değerlerin ortalaması yağışlı dönem sonu için -0,03 iken kurak dönem sonu için 0,03'tür. Eşik değerlerinin 0'dan farklı olmasının en belirgin nedeni çalışma alanındaki sulak alanlardaki su kütlesi dışında bolca bitki ve toprak içeren karma arazi örtüsü yapısının varlığıdır.

Elde edilen bulgulara göre sulak alandaki su varlığı, 2013'ten 2019'a kadar hem yağışlı dönem hem de kurak dönem sonunda azalma eğilimindedir (Şekil 5, Şekil 6). 2013-2019 yılları arasında, yağışlı dönem sonlarındaki su kaplı alan 0,11-

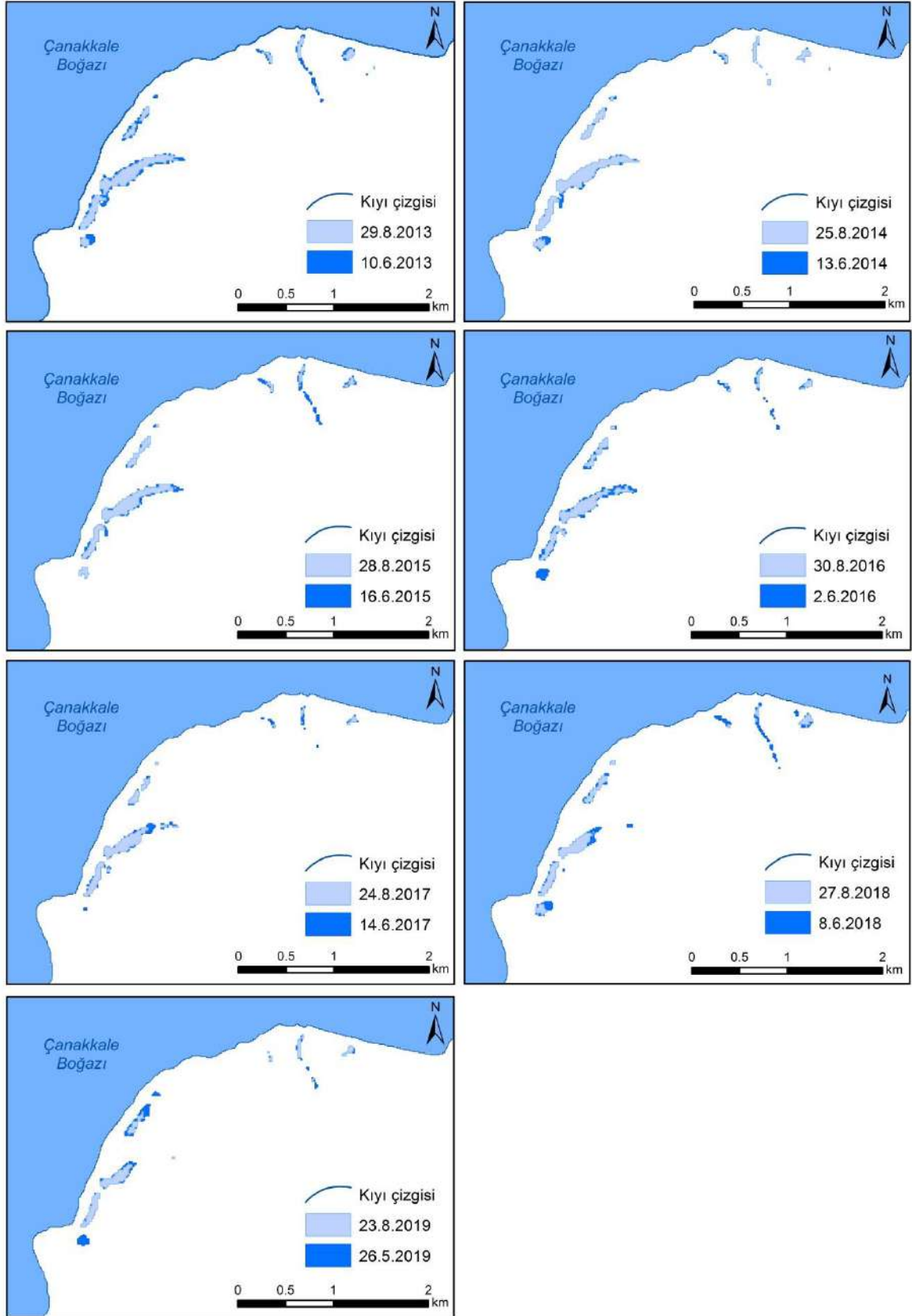
0,22 km², kurak dönem sonlarındaki su kaplı alan 0,08-0,17 km² arasındadır. Yağışlı dönem sonlarında su ile kaplı alanların ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,16 km² ve 0,04 km², kurak dönem sonlarında ise 0,12 km² ve 0,03 km²'dir. Yağışlı dönem sonlarında en geniş ve en dar su alanları 0,22 km² ile 2013 ve 0,11 km² ile 2019 yıllarında oluşmuştur. Kurak dönem sonlarında ise en geniş ve dar su ile kaplı alanlar 0,17 km² ile 2014 ve 0,08 km² ile 2019 yıllarında oluşmuştur.

Yağışlı ve kurak dönemlerdeki su kaplı alanların mutlak farkının ortalamasının 0,04 km² ve standart sapmalarındaki farkın ortalamasının ise 0,003 km² gibi düşük değerlerde olması, çalışma alanı olan sulak alanın yaz mevsiminde yaşanan doğal kuraklık baskısından (yağış eksikliği ve yüksek evapotranspirasyon ile su kaybı) çok fazla etkilenmediğini, değişimin yatay yönden ziyade düşey yönde meydana geldiğini göstermektedir.

Kurak dönemlerde bitkilerin varlığı nedeniyle, lagün alanlarının MNDWI değerinin düşük olması beklenmektedir. Ancak sulak alanın doğal yapısındaki bitki+su yapısından dolayı bu alanlar da sulak alanın içine dahil edilmiştir. Ancak çalışma alanında 2014, 2015, 2017 ve 2019 yıllarına ait değerler birbirine çok yakındır. Burada yağışlı ve kurak dönem sonunda hem sulak alanın kapladığı alan hem de MNDWI sonucu elde edilen alan farkı olduğundan, yer altı ve yer üstü beslenimin ve kurak dönem etkisi ile kar yağış eksikliğinin alan üzerinde ortalamanın altında bir etkiye sahip olması nedeniyle farkın az olduğunu, ancak lagünlerde hem düşey hem de yatayda değişimin meydana geldiğini söyleyebiliriz. Diğer taraftan 15 m mekânsal çözünürlüklü Landsat uydu görüntüleri pankeskinleştirme ile çözünürlüğü artırıldığı ve multispektrali 30 m olduğu için su ile bitki ayırımını yapmada yetersiz kalıyor olabilir. Bu durum incelenen iki dönem sonunda su alanı değerlerinin birbirine yakın çıkmasının nedeni olabilir.



Şekil 5. Yağışlı ve kurak dönemlerin sonunda MNDWI ile belirlenen su ile kaplı alanların zamansal değişiminin grafiksel gösterimi



Şekil 6. Yağışlı ve kurak dönemlerin sonunda MNDWI ile belirlenen su ile kaplı alanların zamansal değişimi

3.3.Kuraklık Bulguları

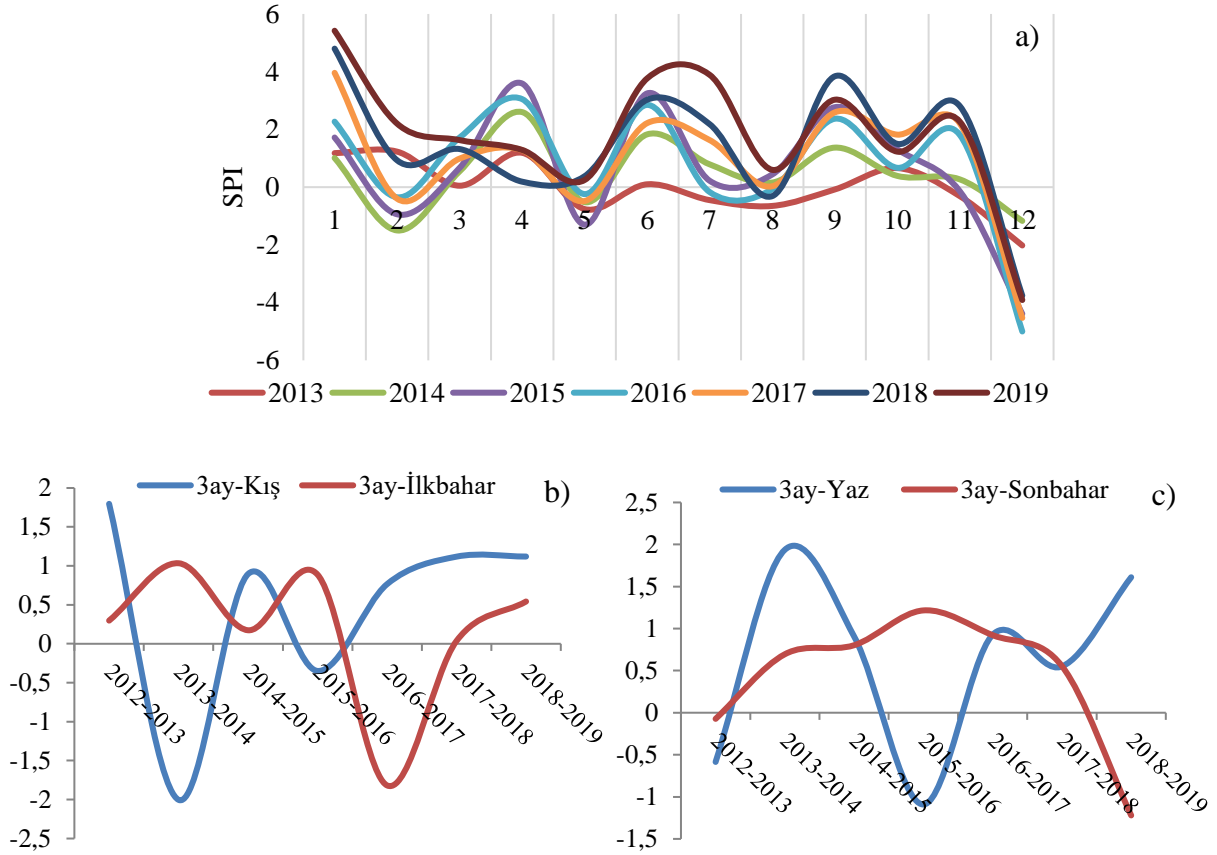
Çalışma sahasında 2013–2019 yılları arasındaki meteorolojik değerlendirmeler, SPI ve Thornthwaite yöntemleri kullanılarak her bir yıl için 1 aylık ve 3 aylık (mevsimlik) dönemler şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yağışlı ve kurak dönem sonlarında MNDWI ile elde edilen su ile kaplı alanlar, SPI ve Thornthwaite yöntemlerinin sonuçları ile ilişkilendirilmiştir.

3.3.1. Standart Yağış İndisi (SPI)

2013–2019 yılları arasında her bir yıl için 1 ve 3 aylık dönemler şeklinde değerlendirilen SPI sonuçları Şekil 7’de görselleştirilmiştir. 1 aylık SPI indis sonuçlarına göre, 2013 ve 2015 yıllarının Aralık ayında sırası ile -2,02 ve -3,22, 2014 yılının ise Şubat ayında -2,73 SPI ile olağanüstü kurak bir dönem yaşanmıştır. 2014 yılı Haziran ayı (1,73), 2016 Kasım (1,95), 2017 Ocak (1,69) ve 2019 Temmuz ayında (1,71) aşırı nemli dönemler yaşanırken, 2017 yılının Nisan ayı (-1,77) çok şiddetli kurak geçmiştir. Yağışlı dönem sonu olan Mayıs ve kurak dönem sonu olan Ağustos ayları değerlendirildiğinde,

2013 ve 2015 yılları sırası ile -0,76 ve -0,78 değerleri ile hafif kurak, 2014, 2017 ve 2019 yılları sırası ile 0,24, -0,24 ve -0,13 değerleri ile normal civarında, 2016 ve 2018 Mayıs aylarında 1,06 ve 0,86 değerleri ile orta nemli dönemler yaşanmıştır. Ağustos dönemleri ise 2013 ve 2016 yılları sırasıyla -0,65 ve -0,51 ile hafif kurak, 2014 ve 2019 yılları (0,81 ve 0,91) orta nemli, 2015, 2017 ve 2018 yıllarında sırasıyla 0,28, 0,10 ve -0,34 değerleri ile orta nemli geçmiştir.

3 aylık SPI indis sonuçlarına bakıldığında; kış mevsimlerinde 2013 yılı 1,80 ile aşırı nemli, 2014 yılı -2,00 ile olağanüstü kurak geçmiştir. Diğer yıllarda ise orta ve hafif nemli dönemler yaşanmıştır. Sonbahar mevsiminde en kurak yıl (-1,22) orta kurak sınıfında 2019 yılı, 1,22 değeri ile en nemli yılı ise 2016’dır. İlkbahar mevsiminde, genel olarak orta nemli ve normal civarında SPI sınıfları görülürken, en nemli yıl 1,03 değeri ile orta nemli sınıfında olan 2014, -1,82 değeri ile çok şiddetli kuraklık sınıfında değerlendirilen yıl ise 2017’dir. Son olarak yaz mevsiminde, hafif ve orta nemli dönemler birbirini takip etmiş, 1,94 değeri ile 2014 yılı aşırı nemli, -1,09 değeri ile de 2016 yılında orta kurak bir dönem yaşanmıştır.



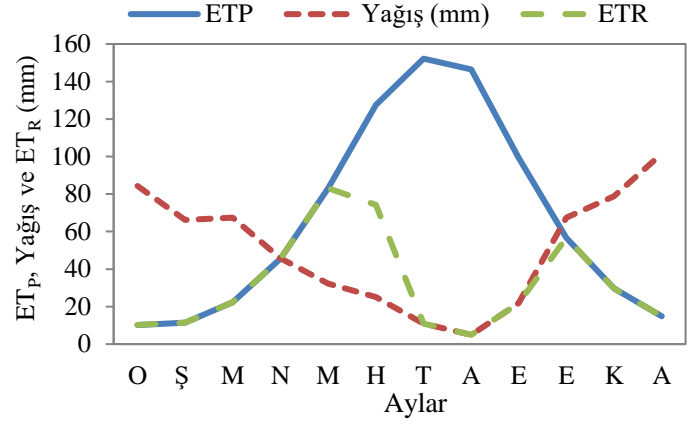
Şekil 7. 1 aylık dönem incelemesi (a), 2013-2019 yılları arasında SPI değişiminin 3 aylık dönem incelemesi (b, c)

3.3.2. Thornthwaite Su Bütçesi ve İklim Sınıflaması

Potansiyel ve gerçek evapotranspirasyon değerleri, 1985-2019 (34 yıl) aralığındaki yıllık veriler esas alınarak Thornthwaite yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu yöntemle göre Lapseki’de yıllık ET_p toplamı 799,5 mm, yıllık ET_R toplamı ise 385,8 mm’dir. Ekim ayının başından Mayıs ayına kadar yağış ET_p ’den fazladır. 100 mm kabul edilen zemin rezervi Nisan ayının sonundan itibaren Mayıs sonuna kadar harcanır. Haziran

ayı ortasından Eylül ayının sonuna kadar su noksanlığı görülmektedir. 100 mm’lik zemin rezervi Ekim ayı itibarıyla dolmaya başlar ve Aralık ayında tamamlanır. Aralık ayı ve bir sonraki yılın Nisan ayı sonuna kadar zemin rezervi 100 mm dir. Mayıs ayı itibarıyla yağışın ET_R ’yi karşılayamaması ile zemin rezervinde azalma başlar. Lapseki’de yağışın ET_R ’den fazla olduğu kış ve sonbahar aylarında 220,7 mm su fazlası neticesinde iklim nemli seyir ederken, yağışın ET_R ’den az

olduğu Mayıs ve Eylül ayları arasında ise 413,6 mm su eksiği nedeniyle kurak şartların hakim olduğu görülmektedir. Sonuç olarak 606,5 mm'lik toplam yağışın, 385,8 mm'si buharlaşma ve terleme yoluyla tekrar atmosfere geri döner. Lapseki'nin iklim verilerine göre su bilançosu Tablo 7, ortalama yağış, ET_p ve ET_R aylık değişimi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Lapseki'nin ET_p , Yağış ve ET_R Grafığı

Tablo 7. Lapseki'nin Su Bilançosu

İklim Unsurları	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Sıcaklık (°C)	5,93	5,99	8,52	12,55	17,37	22,21	25,10	25,57	21,31	16	11,41	7,66	
Sıcaklık İndisi	1,29	1,31	2,24	4,03	6,59	9,56	11,51	11,83	8,98	5,82	3,49	1,91	68,56
ET_p	10,17	11,50	22,30	45,65	83,12	127,51	152,20	146,51	99,40	56,60	29,63	14,86	799,45
Enlem	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78	
Yağış (mm)	84,37	66,16	67,39	45,67	32,28	25,12	10,97	4,92	21,81	67,40	78,92	101,50	606,51
Birikmiş suyun aylık değişimi	0	0	0	0	-50,84	-49,16	0	0	0	10,80	49,29	39,91	
Birikmiş su	100	100	100	100	49,16	0	0	0	0	10,80	60,09	100	
ET_R	10,17	11,50	22,30	45,65	83,12	74,28	10,97	4,92	21,81	56,60	29,63	14,86	385,81
Su noksanı	0	0	0	0	0	-53,23	-141,22	-141,59	-77,58	0	0	0	413,62
Su fazlası	74,19	54,66	45,09	0,01	0	0	0	0	0	0	0	46,72	220,68
Akım	48,78	51,72	48,41	24,21	24,21	0	0	0	0	0	0	23,36	220,68

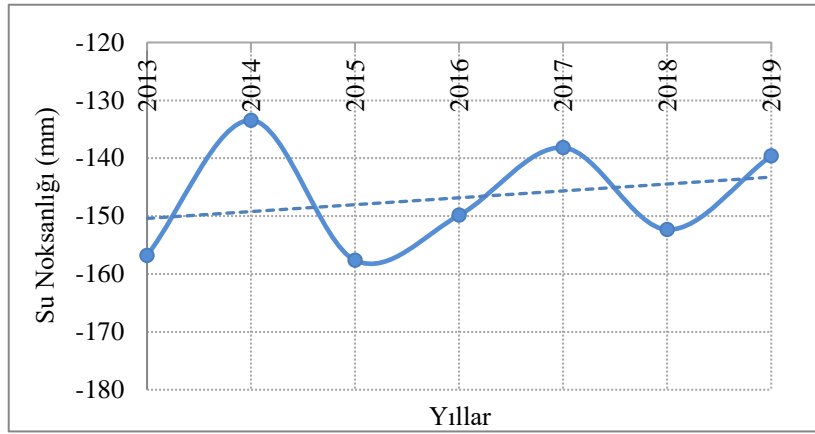
Hesaplanan su bilançosundan elde edilen değerler neticesinde Lapseki yağış etkinlik indisinden "Kurak-Yarı Nemli", sıcaklık tesiri indisinden "2. dereceden Mezotermal", nemlilik indisinden "Kışın çok kuvvetli su fazlası" ve denizellik-karasallık oranından "yarı denizel" olduğundan Lapseki'nin iklim indisini "Kurak-Yarı nemli, 2. dereceden Mezotermal, kışın çok kuvvetli su fazlası, yarı denizel" olarak ifade edilir.

3.4. Kuraklığın Alansal Değişim ile İlişkisi

2013-2019 yılları arasında yağışlı dönemde sulak alanların SPI ile kuvvetli ilişki olması, kurak dönemde ise su alanlarının ET_p ile kuvvetli ilişki vermesi beklenmektedir. Bulgular bu doğrultuda değerlendirilecek olup, 1 ve 3 aylık (aylık ve mevsimlik) olarak incelenmiştir.

3.4.1. 1 Aylık Dönem İncelemesi

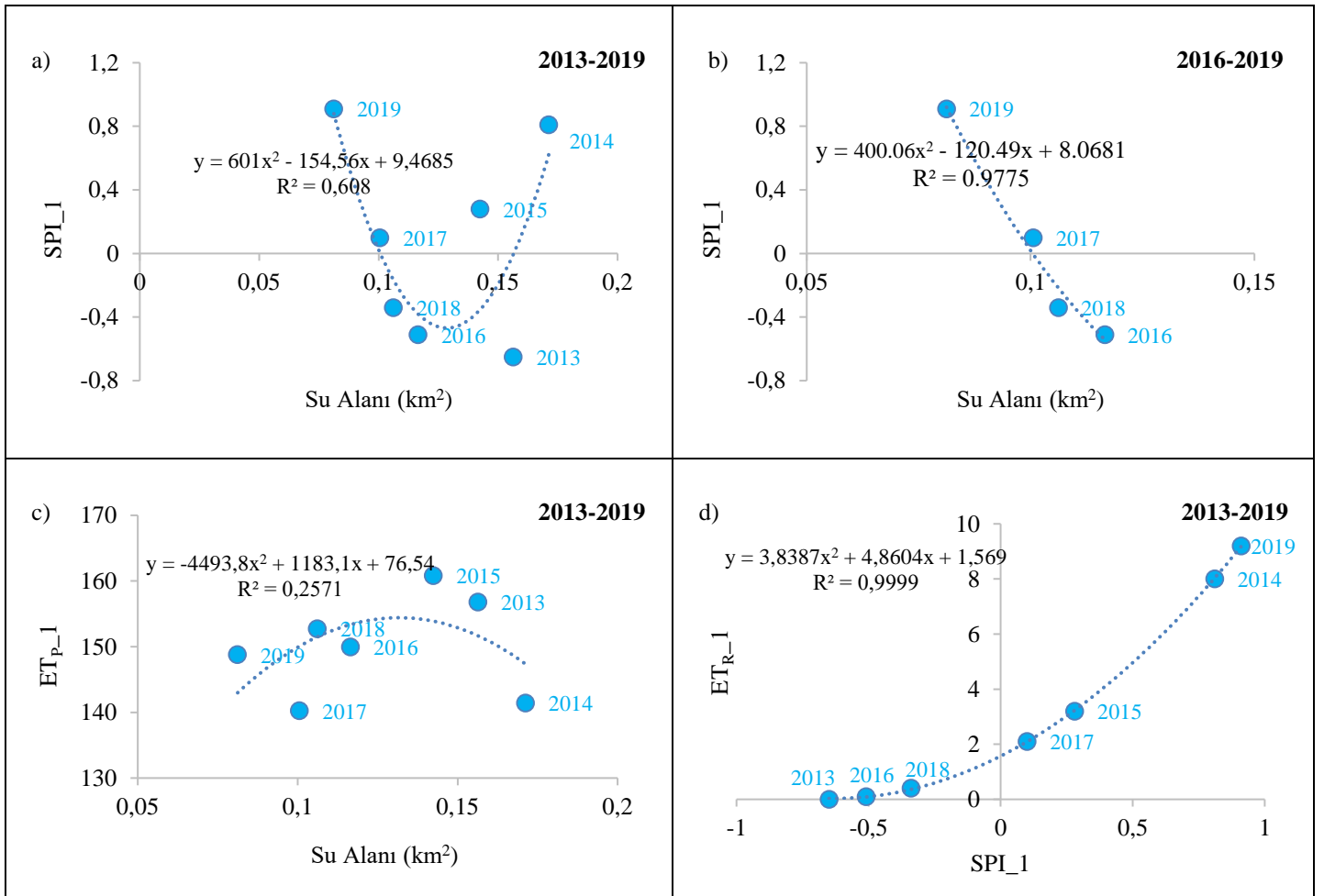
Lagün alanında uzun yıllar içinde meteorolojik bileşenlerin su alanları üzerindeki farklı etkileri, bölgenin su bütçesinden ileri gelir. Özellikle su noksanlığı, bu etkinin ve anomalinin değişmesinde etkindir. Su noksanlığı 2013-2019 yılları arasında artma trendi içindedir. Ancak yıldan yıla artış ve azalış yani sinüzoidal dalga şeklinde bir davranış göstermektedir. Bu döngüde 2014-2015 yıllarında bir bozulma görülse de 2016-2019 yılları arasında çok daha kuvvetlidir (Şekil 9).

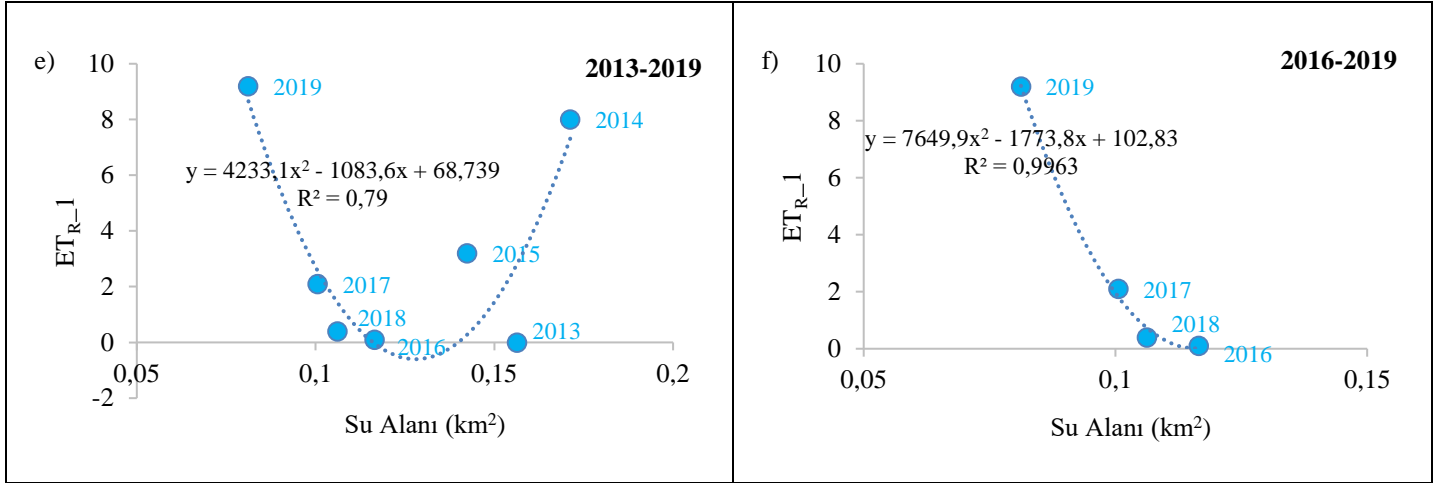


Şekil 9. 2013-2019 yılları arasında su noksanlığı eğilim grafiği

2013-2019 yılları arasında kurak dönemde su alanı ile SPI arasında, su alanında meydana gelen artışın aksine, SPI meteorolojik kuraklık değerlerinde bir azalma olup, polinomsal negatif bir ilişki vardır ($R^2=0,608$) (Şekil 10a). Diğer taraftan son dört yıllık dönemde 2016-2019 itibariyle SPI ve su alanları arasındaki ilişki daha anlamlı sonuçlar vermektedir ($R^2=0,9775$) (Şekil 10b). Bu ilişki 2014 ve 2015 yıllarındaki değerler ile bozulmaktadır. 2014 ve 2015'te yağışa bağlı olarak kuraklığın artmasına rağmen, sıcaklık ve rüzgarın normalin altında gerçekleşmesinden dolayı, ET'nin düşük olmasına bağlı olarak

beklenen korelasyonlar gerçekleşmez. 2013-2019 yılları arasında kurak dönemde potansiyel buharlaşmanın su alanlarındaki değişimde etkisi düşüktür ($R^2=0,2571$) (Şekil 10c). Kurak dönemde gerçek buharlaşma (ET_R), tam anlamıyla yağışları yansıtır ($R^2=0,99$) (Şekil 10d). 2016-2019 yılları arasında gerçek buharlaşma arttıkça su kaplı alanların azaldığı görülür ($R^2=0,9963$) (Şekil 10f). Tüm bu incelemeler neticesinde ET'nin su alanları üzerindeki etkileri iki farklı davranış sergiler ve bu davranışlar 2013-2019 ve 2016-2019 dönemlerini kapsayacak şekilde iki farklı anomalilerde temsil edilir (Şekil 10c, 10e, 10f).

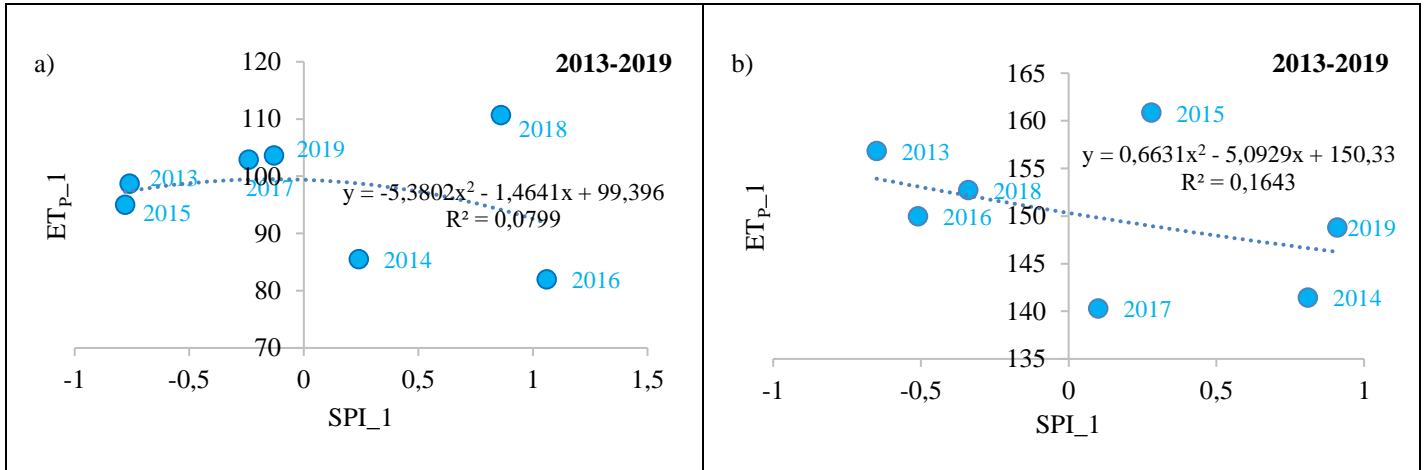




Şekil 10. Kurak dönemde 2013-2019 yılları arasında NDWI ile belirlenen su alanı ile SPI1 (a) 2016-2019 yılları arasında alan ile SPI1 (b), 2013-2019 yılları arasında alan ile ET_{p1} (c), 2013-2019 yılları arasında ET_{R1} ile SPI1 (d), 2013-2019 yılları arasında alan ile ET_{R1} (e) ve 2016-2019 yılları arasındaki alan ile ET_{R1} (f) ilişkisi

Yağışlı ve kurak dönemlerin uzun yıllar seyrinde potansiyel buharlaşmanın yüksek olduğu dönemler aynı zamanda kuraklığın da yüksek olduğu dönemlerdir. Kurak dönemde potansiyel buharlaşmanın yüksek olduğu dönemde yağışlar

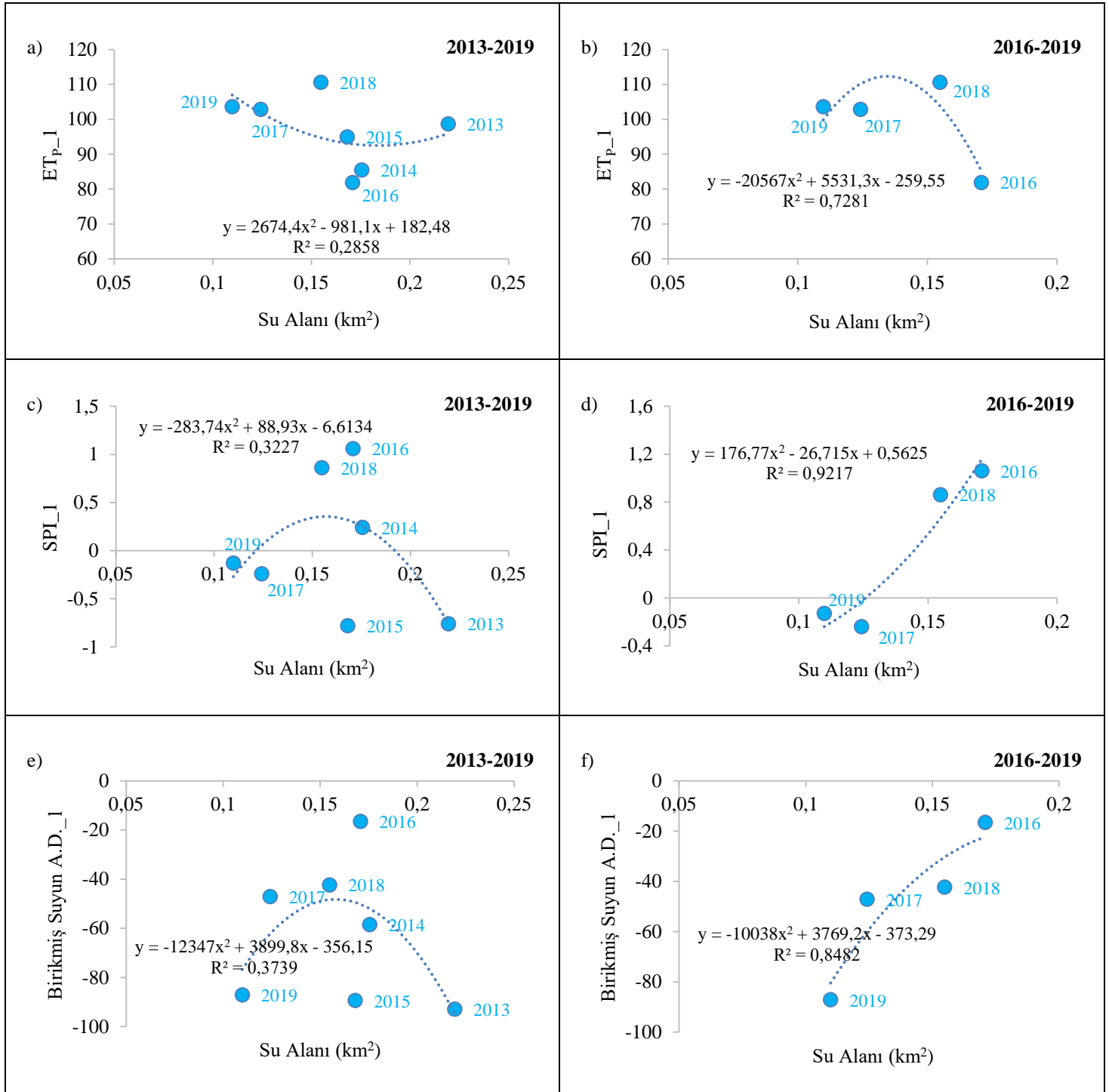
belirgin bir şekilde düşüken ($R^2=0,1643$) (Şekil 11b), yağışlı dönemde potansiyel buharlaşma ile yağış ilişkisi görülmez ($R^2=0,0799$) (Şekil 11a).



Şekil 11. 2013-2019 yılları arasındaki yağışlı dönem (a), kurak dönem (b) ET_{p1}-SPI1 ilişkisi

Yağışlı dönemde potansiyel buharlaşmanın su kaplı alanlardaki değişime doğrudan etkisi uzun yıllar birlikte değerlendirildiğinde düşüktür ($R^2=0,2858$) (Şekil 12a, b). 2016-2019 Yağışlı döneminde potansiyel buharlaşmadan daha ziyade, yağışlar su kaplı alanın değişiminde etkindir ($R^2=0,9217$) (Şekil 12d). Yağmurun dışında farklı bileşenlerin de (eriyen kar suyu,

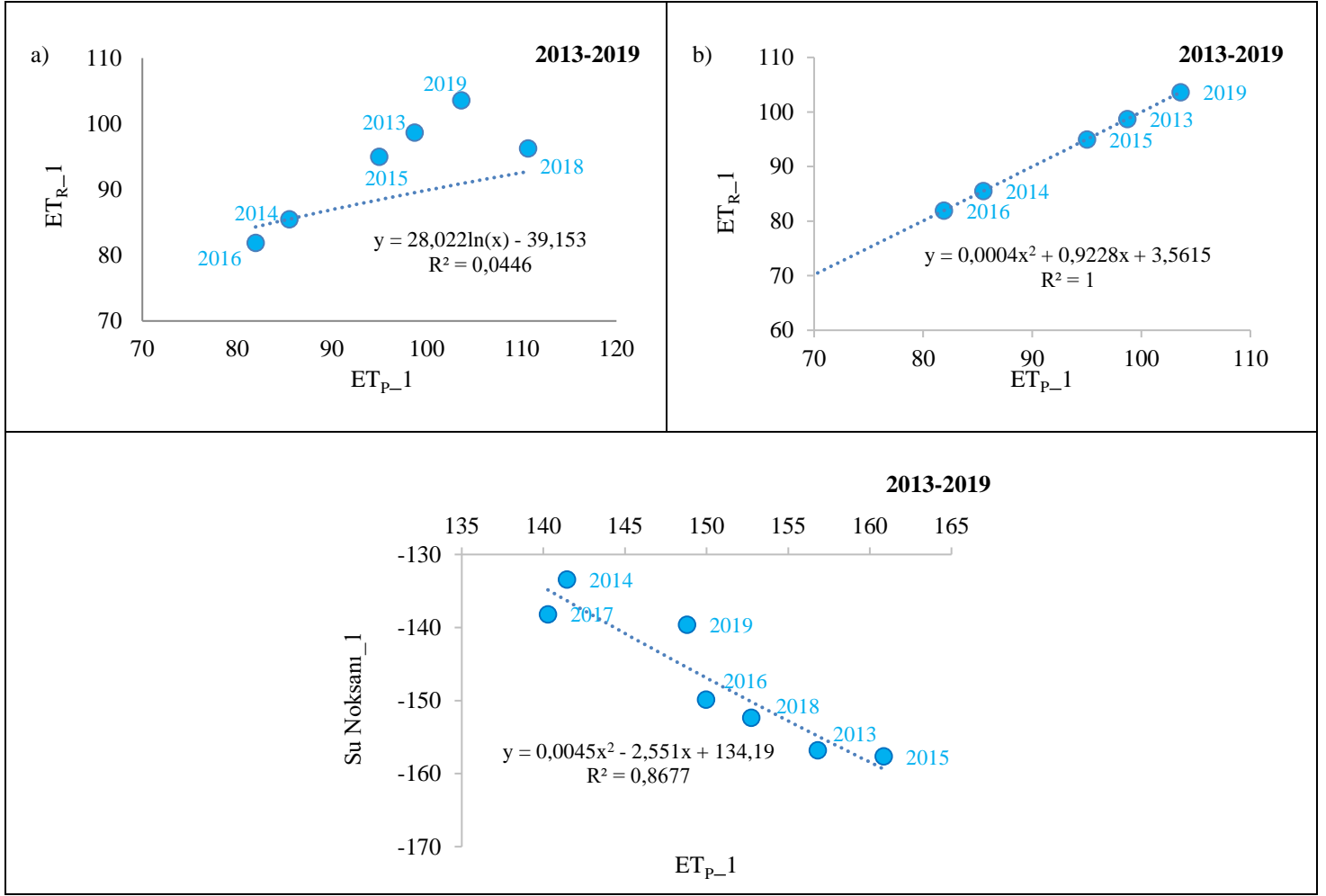
yüzey akışı veya yeraltı suyu beslenimi) su kaplı alanların değişiminde etkilidir. 2013-2019 yılları arasındaki yağışlı dönemde birikmiş suyun aylık değişiminin su alanlarına etkisi düşük iken ($R^2= 0,3739$) (Şekil 12e), 2016-2019 yağışlı döneminde birikmiş suyun aylık değişimine bakıldığında ise, bu bileşenlerin su kaplı alanların değişimindeki etkin rolü görülmektedir ($R^2=0,8482$) (Şekil 12f).



Şekil 12. Yağışlı dönemde 2013-2019 yılları arasında NDWI ile belirlenen su alanı ile ET_{P-1} (a), 2016-2019 yılları arasındaki su alanı-ET_{P-1} (b), 2013-2019 yılları arasındaki SPI₋₁ ile su alanı (c), 2016-2019 yılları arasındaki SPI₋₁-su alanı (d), 2013-2019 yılları arasındaki Birikmiş Suyun Aylık Değişimi-1 ile su alanı (e), 2016-2019 yılları arasında Birikmiş Suyun Aylık Değişimi-1 ile su alanı (f) arasındaki ilişki

Uzun yıllar yağışlı dönemdeki potansiyel ve gerçek buharlaşma, son iki yılın haricinde (2017 ve 2018) gerçek buharlaşma potansiyel buharlaşmaya eş değerdedir ($R^2=1$) (Şekil13b). Ancak uzun dönemde 2017-2018 yılları hesaba katıldığında gerçek ve potansiyel buharlaşma arasında anlamlı bir ilişki görülmemektedir (Şekil 13a). 2018 yılında ET_P'nin ET_R'den daha yüksek olması beklenenden daha fazla yağış ile açıklanabilir. Bu anomali Şekil 13a'daki ET_R ile ET_P arasındaki ilişkiyi zayıf hale getirebilmektedir. Kurak dönemde ise

potansiyel buharlaşmanın maksimum olduğu dönemlerde gerçek buharlaşma minimumdur. Kurak dönemde potansiyel buharlaşma arttıkça su noksanı artar ($R^2=0,8677$) (Şekil 13c). Yağışlı dönemde su bütçesindeki aktif değişim, su kaplı alandaki değişimi doğrudan etkiler. Kurak dönem için böyle bir durum söz konusu değildir.



Şekil 13. Yağışlı dönem 2013-2019 yılları arasındaki $ET_{P1}-ET_{R1}$ (a), 2013-2019 yılları arasındaki (2017-2018 hariç) $ET_{P1}-ET_{R1}$ (b) ve 2013-2019 yılları arasındaki $Su\ Noksanı_{-1}-ET_{P1}$ (c) ilişkisi

1 aylık dönem incelemesinde 2013-2019 yılları arasında yağışlı dönem sonu olan Mayıs ve kurak dönem sonu olan Ağustos aylarının SPI-alan ve ET_P -alan arasındaki ilişki her iki dönem için ayrı ayrı dağılım grafikleri ile gösterilmiştir (bkz. Şekil 10a, b, c), Şekil 12a, b, c, d). 1 aylık dönem incelemesine göre Mayıs ayları içerisinde en kurak yıl; -0,78 (hafif kuraklık) SPI değeri ile 2015 ve -0,76 (hafif kuraklık) değeri ile 2013 yıllarıdır. Ağustos ayı içerisinde ise 2013 yılı -0,65 SPI değeriyle hafif kurak iken, 2014 yılı orta nemli, 2015 yılında ise normal civarında gerçekleşmiştir. 2016 yılında hafif kuraklık etkili iken, 2017-2018 yılları normal civarında ve 2019 yılında ise orta derecede nemlilik etkili olmuştur.

1 aylık dönem incelemesinde su alanlarının değişiminde yağışlı dönem sonu, uzun yıllar seyrinde SPI ve ET etkisi düşük iken, 2016-2019 yıllarında bu etki daha yüksektir. Ayrıca Mayıs ayında su alanlarında meydana gelen değişimde yağışlar ve su bütçesinde meydana gelen değişim su alanlarını daha fazla etkilemekte, buharlaşmanın yağışlardan düşük olması ET etkisinin düşük olmasına sebep olmaktadır. Ağustos ayına bakıldığında Mayıs ayında görülen bu durumun aksine buharlaşmanın yağışlardan daha baskın olması ET değerlerinin alanların değişiminde daha etkili olduğunu gösterir. Yağışlı dönemde sulak alanların SPI, kurak dönemde ise ET_P ile kuvvetli ilişki vermesi beklenmesine rağmen, SPI'nın negatif ve anlamsız ilişkiler görülmesi sebebinin, sulak alanın karma yapısı (Şekil 2a), bitki örtüsü ile kaplı olması ve dikey yönlü meydana

gelen değişimlerin olabileceği düşünülmektedir. SPI, ET ve alan arasındaki ilişkinin beklenenden düşük olması, SPI ve ET ile ilişkilendirilmesinin 1 aylık dönemsel inceleme ile yetersiz kaldığını göstermektedir.

3.4.2. 3 Aylık Dönem İncelemesi

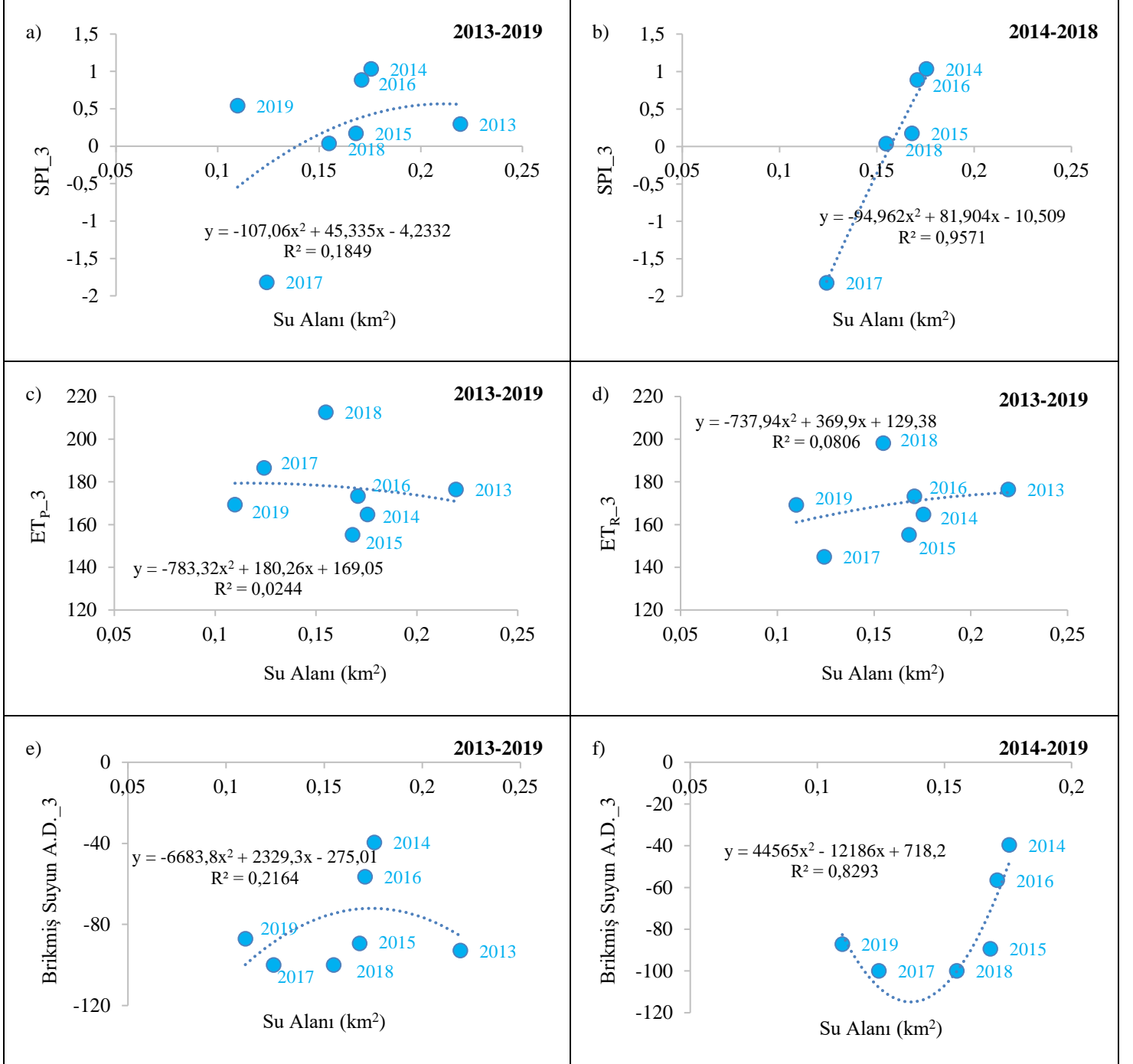
3 aylık dönem incelemesinde 2013-2019 yılları arasında ilkbahar (Mart, Nisan, Mayıs) ve yaz mevsimleri (Haziran, Temmuz, Ağustos) SPI ile alan ve ET_P ile alan arasındaki ilişki her iki dönem için ayrı dağılım grafikleri ile gösterilmiştir (Şekil 14a, b, c, d, e, f, Şekil 15a, b, c, d).

İlkbahar dönemlerinde SPI ve ET_P ile yağışlı dönem sonundaki su kütlesi alanı arasında sırasıyla, $R=0,40$ ve $R=-0,14$ çok zayıf korelasyonlar görülmektedir. Yaz dönemi ve kurak dönem sonundaki su kütlesi alanı arasında sırasıyla $R=-0,03$ çok zayıf ve $R=-0,73$ ile kuvvetli düzeyde ilişki saptanmıştır. İlkbahar döneminde SPI ile alan arasında orta düzeyde pozitif, yaz dönemlerinde negatif çok zayıf korelasyon görülürken, ET_P ile alan arasında negatif ilişki olmakla birlikte, buharlaşmanın daha baskın olduğu Ağustos ayında bu ilişki çok daha yüksektir.

Yağışlı ve kurak dönem sonlarında su kütlelerindeki alansal değişimde yaz dönemindeki kuraklığın etkisi büyüktür. Bu değişimde SPI'ya ($R=-0,03$) kıyasla ET_P 'nin ($R=-0,73$) etkisi çok daha fazladır. Yaz döneminde yağışların azalırken buharlaşmanın artması, artan buharlaşma sonucu su kütlesinin alanında azalma meydana geldiğini göstermektedir.

İlkbahar dönemlerinde, SPI ile su kaplı alan arasında uzun dönemde polinomsal pozitif bir ilişki olup, kuvvetli bir ilişki görülmemektedir ($R^2=0,1849$) (Şekil 14a). 2014-2018 döneminde ise yağış ve su kaplı alan arasındaki pozitif ilişki ($R^2=0,9571$) (Şekil 14b) yüksektir. Yağışlı dönemin 3 aylık halinde birlikte incelenmesinde, 2013-2019 yıllarında potansiyel ($R^2=0,0244$)

(Şekil 14c) ve gerçek buharlaşmanın ($R^2=0,0806$) (Şekil 14d) su alanları üzerinde doğrudan etkisi oldukça düşüktür. Su bütçesinde meydana gelen değişimler su kaplı alanları etkilemekte, belirli dönemlerde zemin rezervinin kullanımı su alanlarını azaltmaktadır ($R^2=0,8293$) (Şekil 14f, e).



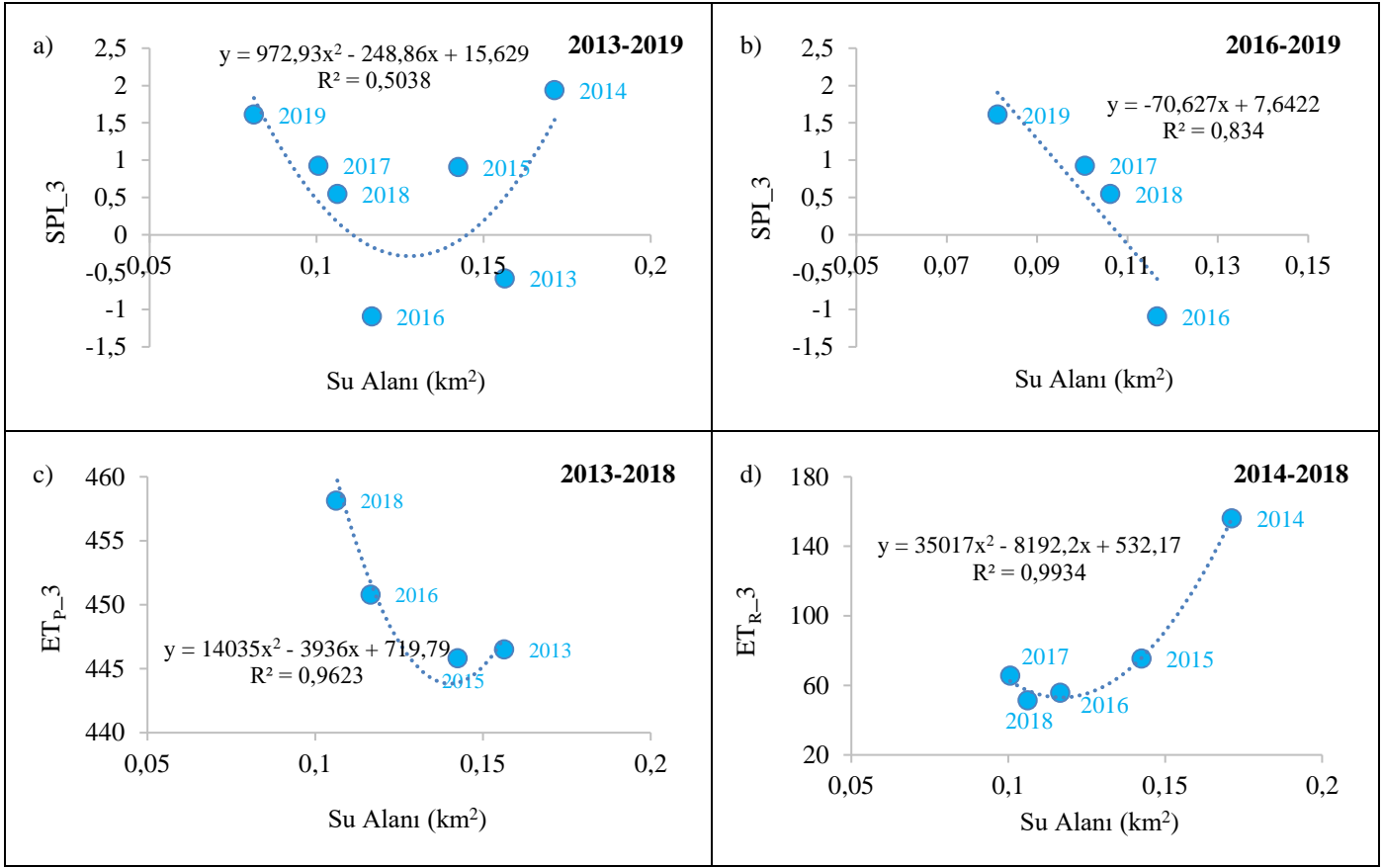
Şekil 14. Yağışlı dönem 2013-2019 yılları arasında NDWI ile belirlenen su alanı ile SPI3 (a), 2014-2018 yılları arasında su alanı ile SPI3 (b), 2013-2019 yılları arasında su alanı ile ET_p3 (c), 2013-2019 yılları arasında su alanı ile ET_r3 (d), 2013-2019 yılları arasında su alanı ile Brikmiş Suyun Aylık Değişimi-3 (e), 2014-2019 yılları arasında su alanı ile Brikmiş Suyun Aylık Değişimi-3 (f) arasındaki ilişki

Kurak dönemde su kaplı alanların değişiminde ise SPI doğrudan ilişkilidir ($R^2=0,5038$) (Şekil 15a). 2016-2019 yılları arasında bu ilişki ($R^2=-0,834$)'dir (Şekil 15b). ET_p, Haziran-Ağustos dönemindeki uzun dönem anomalisinde su kaplı alanlar

üzerinde etkilidir ($R^2=0,8284$). Delta üzerinde artan potansiyel buharlaşma, su kaplı alanların azalmasına gerçek buharlaşma (ET_r) ise yağışlarla da ilişkili olduğundan su kaplı alanların artmasına neden olur. 2014 ve 2019 yılları gözardı edildiğinde

potansiyel buharlaşmanın artmasının su alanlarının azalmasına etkisindeki korelasyon katsayısı $R^2=-0,9623$ (Şekil 15c) iken

gerçek buharlaşmanın alanların artmasına etkisindeki korelasyon katsayısı $R^2=0,9934$ 'tür (Şekil 15d).



Şekil 15. Kurak dönemde 2013-2019 yılları arasında NDWI ile belirlenen su alanı ile SPI3 (a), 2016-2019 yılları arasında alan ile SPI3 (b), 2013-2018 yılları arasında alan-ET_{p3} (c) ve 2014-2018 yılları arasında alan ile ET_{r3} (d) arasındaki ilişki

Genel olarak mevsimsel ve aylık değerlendirmeler deltada yer alan sulak alanlar üzerinde ET'nin yağışlardan daha etkili olduğunu göstermektedir. 1 aylık değerlendirmede, kısa bir süre içinde meydana gelen değişimler su alanlarındaki değişimi açıklamada mevsimsel etki kadar açıklayıcı olmamaktadır. ET ve SPI etkisine ek olarak çalışma sahasının yeraltı suyu beslenimi ve yüzey akışı ile su bütçesinde meydana gelen değişimlerin de bu alanlar üzerinde büyük bir rolü olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmadaki su kütlelerinin alansal değişiminde ET_p, SPI' den daha etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca kış ve ilkbahar aylarında yağışların bir kısmı sızma olayı ile kaybedilmekte, yaz aylarında meydana gelen buharlaşma, rüzgar ile şiddetlendiğinde su alanlarında önemli ölçüde küçülmeye sebep olmaktadır.

4. Sonuçlar

Dünyanın pek çok ülkesinde olduğu gibi ülkemizin de en büyük sorunlarından birisi olan kuraklık, canlı yaşamı, ekolojik ve sosyo-ekonomik sistemler üzerinde doğrudan ve dolaylı olarak tehdit oluşturmaktadır. Meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklık olarak dört ayrı grupta incelenen bu doğal afeti belirlemek, nitelendirmek ve izlemek amacıyla birçok kuraklık analiz ve yöntemleri kullanılmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda Uzaktan Algılama, özellikle su

kütlelerinde meydana gelen değişimlerin izlenmesinde ve hidrolojik kuraklığın yorumlanmasında pozitif sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayan önemli bir araçtır.

Bu çalışmada Çanakkale Umurbey Deltası'ndaki sulak alanların yağışlı ve kurak dönemler sonundaki alansal ve zamansal değişimi belirlenmiş ve alansal değişim ile meteorolojik ve hidrolojik kuraklık verileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Landsat 8 uydu görüntülerine uygulanan MNDWI kullanarak elde edilen, yağışlı ve kurak olmak üzere toplam 14 döneme ait su ile kaplı alan verisi ile aynı dönemlere ait SPI ve Thornthwaite verileri arasındaki ilişki korelasyon-regresyon analizi ile incelenmiştir. Çalışmanın bulguları doğrultusunda ulaşılan sonuçlar aşağıdaki şekildedir;

- Evapotranspirasyon ile su kaybının belirlenmesinde Thornthwaite, meteorolojik kuraklığın yıllık değişiminde ise SPI daha anlamlı sonuçlar vermektedir.
- MNDWI kullanarak elde edilen su ile kaplı alan verisi ile aynı dönemlere ait SPI ve Thornthwaite verileri arasında tutarlı korelasyonlar elde edilmiştir. Su alanlarının aylık ve mevsimlik değişimlerinin 1 aylık dönem incelemesinde, uzun yıllar seyirinin yağışlı dönem sonunda, SPI ve ET etkisinin düşük olduğu görülmüştür. Ağustos ayına bakıldığında buharlaşmanın yağışlardan daha baskın olması ET değerlerinin su

alanlarının değişiminde daha etkili olduğunu göstermektedir. 3 aylık dönem incelemesinde yağışlı ve kurak dönem sonlarında su kütlelerindeki alansal değişimde yaz dönemindeki kuraklığın etkisinin büyük olduğu görülmüştür.

• Yapılan analizler sonucunda, su ile kaplı alanların 2013 yılından 2019 yılına kadar olan süreçte azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

• Yağışların fazla olmasına karşın, buharlaşmanın da yüksek olması, sulak alanın yaz mevsiminde yaşanan doğal kurak süreçten çok fazla etkilenmediğini, bunda yeraltı ve yer üstü kaynaklı beslenimin etkili olabileceği ve değişimin yatay yönden ziyade dikey yönde meydana geldiği söylenebilir.

• 2016-2019 döneminde yağış ve buharlaşmanın sulak alanlar üzerindeki etkisi uzun döneme kıyasla daha yüksek korelasyon göstermiştir. Bunda en büyük etken meteorolojik verilerdeki anomalilerdir.

• Uzaktan algılama, su kütlelerinde meydana gelen değişimlerin izlenmesinde ve bu değişimin modellenmesinde önemli katkı sağlar. Sulak alan ve olmayan alanların ayırımı 15 m mekânsal çözünürlüklü Landsat veri seti ile kısmen belirlenebilmektedir ancak arazinin su ile bitki karma yapısı nedeniyle, bazı alanlarda çok net ayırım sağlanamamıştır. Bu nedenle ayırımın daha kolay ve doğru yapılabilmesi ve ortalama bir standartta incelenebilmesi için eşik değerler seçilmiştir.

• Uzaktan algılamadan üretilen veriler, meteorolojik veriler ile kolaylıkla ilişkilendirilebilir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde sulak alanlarda meydana gelen meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın belirlenmesinde MNDWI'nin katkı sağladığı görülmüştür.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar su kaynaklarının devamlılığı açısından kuraklığın ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, sulak alanlardaki değişiminde sadece hidrometeorolojik parametrelerin değil, su tüketimi (içme suyu, tarımsal sulama, sanayi faaliyetleri için kullanım vb.) parametrelerinin de değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın sonuçları uzaktan algılama yöntemlerinin sulak alanların yönetiminde ne denli başarılı ve etkili bir yöntem olduğunu bir kere daha ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Yazarlar uydu görüntülerinin paylaşımından dolayı Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'na (USGS), meteorolojik verilerin paylaşımından dolayı T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

Kaynakça

1. Karabulut, M. (2015). Farklı Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Göksu Deltası Göllerinde Zamansal Değişimlerin İncelenmesi. *Journal Of International Social Research*, 8(37).
2. Çağırankaya, S., e Köylüoğlu, F., (2013). Sulak Alan Kavramı, Sulak Alan Nedir? Sulak Alan Sınıflandırması. Meriç, B.T., e Çağırankaya, S., (ed.) *Sulak Alanlar*. (s. 7-38) içinde. <http://www.turkiyesulakalanlari.com/wp-content/uploads/sulak-alanlar-kitabi-baski-onayi-icin.pdf>

3. Keçer, M., Duman, T. (2007). Yapay Etkinliklerin Göksu Deltası Gelişimine Etkisi Mersin-Türkiye", *MTA Dergisi*, s. 134, s. 17-26.
4. Korkanç, S. Y. (2004). Sulak Alanların Havza Sistemi İçindeki Yeri. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 6(6), 117-126.
5. Polat, Z., Deniz, B., Kılıçaslan, Ç., Kara, B. (2011) "Aydın İlindeki Sulak Alanlara Rekreatif Açısından Bir Bakış", II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-24 Haziran 2011, Kırşehir / Türkiye, 149-155.
6. Karaman M., Budakoglu M., Avcı Z.D.U., Özelkan E., Bulbul A., Civas M., Tasdelen S., (2015). Determination of Seasonal Changes in Wetlands Using Chris/Proba Hyperspectral Satellite Images: A Case Study From Acıgöl (Denizli), Turkey, *Journal of Environmental Biology*, 36(1), 73-83.
7. Harou, P. (1995). *Wetlands Economics and Land Use*. In: *Environmental and Land Use Issues*, Ciheam-Eaae. 540 P.
8. Marsh, W. (1991). *Wetlands, Habitat and Land Use Planning, Environmental Applications*, 2nd Editions, John Wiley and Sons Inc. New York, Usa.
9. TMMOB Orman Mühendisleri Odası, (2007). *Sulak Alanların ve Sazlık Alanların Tahribi ve Yok Edilmesi Kuraklık ve Doğa Felaketine Yol Açmıştır*", yıl: 44 sayı: 7-8-9 Temmuz-Ağustos-Eylül 2007. Erişim adresi https://ormuh.org.tr/uploads/docs/magazines/DERGI_2007_3.pdf
10. Aydın vd. (2013). Sulak Alan Hidrolojisi. Meriç, B.T., Ve Çağırankaya, S., (Ed.) *Sulak Alanlar*. (S. 41-66) içinde. url:<http://www.turkiyesulakalanlari.com/wp-content/uploads/sulak-alanlar-kitabi-baski-onayi-icin.pdf>
11. Karaman, M., Özelkan, E., Taşdelen, S. (2018). Dar Nehirlerin Sentinel2-A Uydu Görüntüleri ile Belirlenebilirliğinde Havza Hidrojeolojisinin Etkisi: Karamenderes (Çanakkale) Örneği, *Doğ Afet Çev Derg*, 2018; 4(2): 140-155.
12. Pastor, Melendez I., Pedreno, Navarro. J., Gomez, Ignacio, Koch, Magaly (2010). Detecting Drought Induced Environmental Changes in A Mediterranean Wetland by Remote Sensing", *Applied Geography*, s. 3 (2), s. 254-262.
13. Cebe, M., Kardaş, F. (2018). Doğa Koruma ve Çevre Eğitimi Açısından Sulak Alanların İşlevleri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 4(1), 29-35.
14. Yıldız, N., Ve Yılmaz, S. (2009). Sulak Alanların Önemi ve Gavur Gölü. *Kahramanmaraş Sempozyumu*, Kahramanmaraş.
15. Hızlı vd. (2013). Sulak Alan Mevzuatı. Meriç, B.T., Çağırankaya, S., (ed.) *Sulak Alanlar*. (s. 81-96) içinde. url:<http://www.turkiyesulakalanlari.com/wp-content/uploads/sulak-alanlar-kitabi-baski-onayi-icin.pdf>
16. İnaç, S. (2001). Kahramanmaraş Türkoğlu Gavur Gölü Sulak Alanında Yaban Hayatı, *Türkiye Ormancılar Derneği*, I. Ulusal Ormancılık Kongresi Bildiri Kitabı, 19-20 Mart 2001, Ankara, S: 536-543.
17. Reis, S., H. M. Yılmaz. "Seyfe Gölünün Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama Tekniği ile İzlenmesi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV." (2007): 5-7.
18. Anlı, A. S., Polat, H. E., Semiz, G. D. (2011). Kırşehir İlinin Kuraklığının Analizi Ve Sulak Alanlara Etkisi. II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi. *Bildiriler*, 22-24.
19. Özelkan, E. (2019). Uzaktan Algılama ile Belirlenen Baraj Gölü Alanının Zamansal Değişiminin Meteorolojik Kuraklık

- ile Değerlendirilmesi: Atikhisar Barajı (Çanakkale) Örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(4), 904-916.
20. Ozelkan, E., Chen, G., Ustundag, B.B. (2016). Multiscale Object-Based Drought Monitoring and Comparison in Rainfed and Irrigated Agriculture From Landsat 8 Oli Imagery", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 44, 159-170.
21. Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010). A Review of Drought Concepts. *Journal of Hydrology*, 391 (1-2): 204-216.
22. Özelkan, E., Karaman, M. (2018). Baraj Göllerindeki Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklığın Etkisinin Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri ile Analizi: Atikhisar Barajı (Çanakkale) Örneği", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 1023-1037.
23. MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) (2018). <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx?d=yontemsinif>. Erişim Tarihi: (2.11.2018).
24. Arslan, O., Bilgil, A., Veske, O. (2016). Standart Yağış İndisi Yöntemi İle Kızılırmak Havzası'nın Meteorolojik Kuraklık Analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 188-194.
25. Lu N., Chen S., Wilske B., Sun G., Chen J. (2011). Evapotranspiration and Soil Water Relationships in A Range of Disturbed and Undisturbed Ecosystems in The Semi-Arid Inner Mongolia, China, *Journal of Plant Ecology*, 4(1-2), 49-60.
26. Liu W., Wang L., Zhou J., Li Y., Sun F., Fu G., Li X., Sang Y.-F. (2016). A Worldwide Evaluation of Basin-Scale Evapotranspiration Estimates Against The Water Balance Method, *Journal of Hydrology*, 538, 82-95.
27. Karaman M., Uça Avcı Z. D., Budakoğlu M., Taşdelen S., Özelkan E., Papila İ. (2011). Flamingoların Beslenme Alanlarındaki Tahribatın Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Acıgöl (Denizli) Örneği: II, II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-24 Haziran, Kırşehir.
28. Demir, Y., Doğan Demir, A., Meral, R., Alaaddin, Y. (2015). Bingöl Ovası İklim Tipinin Thornthwaite ve Eriç İndisine Göre Belirlenmesi. *Türk Tarım Ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2(4): 332-337.
29. Günel, N., Özdemir, Y. (2010). Çok Zamanlı Landsat Uydu Görüntüleri Kullanılarak Neyriz Göllerinin (İran) Yüzey Değişiminin Belirlenmesi. III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 11 – 13 Ekim 2010, Gebze – Kocaeli.
30. Şener, E., Davraz, A., İsmailov, T. (2005). Burdur Gölü Seviye Değişimlerinin Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri ile İzlenmesi. *Türkiye Kuvatner Sempozyumu Turqua-V, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü*, 148-156.
31. Özelkan, E. (2020). Water Body Detection Analysis Using NDWI Indices Derived from Landsat-8 OLI. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 1759-1769.
32. Özelkan, E. (2019a). Comparison of Remote Sensing Classification Techniques for Water Body Detection: A Case Study in Atikhisar Dam Lake (Çanakkale). *Cumhuriyet Science Journal*, 40(3), 650-661.
33. Sunar, F. (1998). An Analysis Of Changes in A Multi-Date Data Set: A Case Study in The İkitelli Area, İstanbul, Turkey, *Int. J. Remote Sensing*, 19:2, Pp. 225-235.
34. Koç, A., Çoban, H., Yener, H. (2006). Değişim Belirlemede Görüntü Farkı Yönteminin Uygulanması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 56(2), 77-92.
35. Karaman, M., Budakoğlu, M., Avcı, Z. D. U., Özelkan, E., Taşdelen, S., Bülbül, A., Cıvaş, M. (2013). Chris/Proba Hiperspektral Uydu Görüntüleri ile Sulak Alanların Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi: Acıgöl (Denizli), Türkiye.
36. Mcfeeters, S. K. (1996). The Use of The Normalized Difference Water Index (NDWI) in The Delineation of Open Water Features" *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432.
37. Xu, H. (2006). Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery" *International Journal Of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033.
38. Ji L., Zhang L., Wylie B. (2009). Analysis of Dynamic Thresholds for The Normalized Difference Water Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75 (11), 1307-1317.
39. Akar, İ., Maktav, D., Günel, N. (2012). Göl Yüzeyi Değişimlerinin Belirlenmesinde Farklı Dijital Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanılması. *Journal of Aeronautics & Space Technologies/Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5(4).
40. Schultz, G.A., Engman, E.T. (2012). *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*, Springer Science & Business Media.
41. T.C. Çanakkale Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Çanakkale İli 2016 Yılı İl Çevre Durum Raporu, Hazırlayan Çed ve Çevre İzinlerinden Sorumlu Şube Müdürlüğü, Çanakkale-2017.
42. Doğaner, S. (1994) Çanakkale Boğazı Kıyılarının Coğrafyası, *Türk Coğrafya Dergisi*, (29), 125-159, İstanbul.
43. Erturaç, M. K. (2002). *Marmara Denizi Kıyıları Veri Tabanı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ - Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
44. USGS (United States Geological Survey). (2019). "Earth Explorer." Accessed 20 January 2019. <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
45. Sun, W., Chen, B., Messinger, D., (2014) "Nearest-Neighbor Diffusion-Based Pan-Sharpening Algorithm for Spectral Images", *Optical Engineering*, 53(1), 013107.
46. Karaman M., (2017). Hipersalin Acıgöl'ün (Denizli) Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, *Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.*
47. Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. in *Proceedings of The 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, Pp. 179-183). Boston, Ma: American Meteorological Society.
48. Pamuk, G., Özgürel, M., Topçuoğlu, K. (2004). Standart Yağış İndisi (SPI) ile Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1).
49. Yılmaz, M. (2017). Konya Kapalı Havzası'nın Tmpa Uydu Kaynaklı Yağış Verileri ile Kuraklık Analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(2), 541-549.
50. Ilgar, R. (2010). Çanakkale'de Kuraklık Durumu ve Eğilimlerinin Standartlaştırılmış Yağış İndisi ile Belirlenmesi" *Marmara Coğrafya Dergisi*, (22), 183-204.
51. Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1995). Drought Monitoring with Multiple Time Scales, January 15-20, *American Meteorological Society, Proceeding of The 9th Conference on Applied Climatology, Boston, Pp.233-236.*

52. Vicente-Serrano, S. Beguería, J.I. López-Moreno. (2010). A Multi-Scalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate* **23**: 1696, Doi: 10.1175/2009jcli2909.1.
53. Beguería, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., & Latorre, B. (2014). Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Revisited: Parameter Fitting, Evapotranspiration Models, Tools, Datasets and Drought Monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001-3023.
54. Thornthwaite C.W., (1948). An Approach Toward A Rational Classification of Climate, *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
55. Bacanlı, Ü. G., Saf, B. (2005). Kuraklık Belirleme Yöntemlerinin Antalya İli Örneğinde İncelenmesi. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Sempozyumu.
56. Ölgen, M.K., Birsoy Y. (1992). Thornthwaite Yöntemi ile Su Bilançosunun ve İklim Tipinin Belirlenmesinde Bilgisayar Kullanımı." *Ege Coğrafya Dergisi* 6.1.
57. Pereira A.R., Pruitt W.O., (2004). Adaptation of The Thornthwaite Scheme for Estimating Daily Reference Evapotranspiration, *Agricultural Water Management*, 66(3), 251-257.
58. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi, Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ocak – 2016.
59. Yılmaz, E., Çiçek, İ. (2016). Thornthwaite Climate Classification of Turkey Türkiye Thornthwaite İklim Sınıflandırması. *Journal of Human Sciences*, 13(3), 3973-3994.
60. Du Z., Li W., Zhou D., Tian L., Ling F., Wang H., Gui Y., Sun B. (2014). Analysis of Landsat-8 Oli Imagery for Land Surface Water Mapping. *Remote Sensing Letters*, 5 (7), 672.
61. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. (2014). Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery. *Remote Sensing Of Environment*, 140, 23.



Farklı Leonardit Dozlarının Nohut (*Cicer arietinum* L.)'un Verim ve Bazı Verim Özelliklerine Etkileri

Özge Uçar^{1*}, Sipan Soysal², Murat Erman³

^{1*} Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4650-4998), ozgeonderr@hotmail.com

² Siirt Üniversitesi, Kurtalan MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0840-6609), sipansoyosal@siirt.edu.tr

³ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1435-1982), merman56@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 7 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 26 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.822906)

ATIF/REFERENCE: 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.

Öz

Bu çalışma Siirt ili ekolojik koşullarında leonardit uygulamalarının nohutun verim ve bazı verim özelliklerine etkilerini belirlemek üzere 2018-2019 yıllarında yürütülmüştür. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Denemede nohut tohumu olarak Azkan çeşidi kullanılmıştır. Leonardit dozları 0, 25, 50, 75, 100 ve 125 kg da⁻¹ olacak şekilde uygulama yapılmıştır. Araştırmada uygulamaların bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı, bitkide tane sayısı, 100-tane ağırlığı ve tane verimi özelliklerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Araştırmanın sonuçlarına göre bitki boyu 51,0-57,5 cm, ilk bakla yüksekliği 27,9-33,1 cm, bitkide bakla sayısı 30,2-34,2 adet bitki⁻¹, bitkide tane sayısı 33,2-37,9 adet bitki⁻¹, 100-tane ağırlığı 31,2-35,4 g ve tane verimi ise 169,7-208,2 kg da⁻¹ arasında değişim göstermiştir. İncelenen tüm özellikler açısından çalışmanın iki yılında da 100 kg da⁻¹ leonardit uygulaması en yüksek değerleri vermiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Siirt ili ekolojik koşullarında nohut tarımında 100 kg da⁻¹ leonardit kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nohut, Siirt, leonardit, verim, *Cicer arietinum* L.

The Effects of Different Leonardite Doses on the Yield and Some Yield Properties of Chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Abstract

This study was conducted in 2018-2019 to determine the effects of leonardite applications on the yield and some yield components of chickpeas in the ecological conditions of Siirt province. The trials were set up with 3 replications according to the randomized blocks trial design. Azkan variety was used as chickpea seed in the experiments. Leonardite doses were applied as 0, 25, 50, 75, 100 and 125 kg da⁻¹. In the research, the effects of the applications on the plant height, first pod height, number of pods per plant, number of seeds per plant, 100-grain weight and grain yield were found to be statistically significant. According to the results of the research, plant height, first pod height, number of pods per plant, number of seeds per plant, 100-grain weight and grain yield varied between 51,0-57,5 cm, 27,9-33,1 cm, 30,2-34,2 adet bitki⁻¹, 33,2-37,9 adet bitki⁻¹, 31,2-35,4 g and 169,7-208,2 kg da⁻¹. In terms of all the properties examined, 100 kg da⁻¹ leonardite application in both years of the study gave the highest values. According to the results obtained from this study, it is recommended to use 100 kg da⁻¹ leonardite in chickpea cultivation in Siirt province ecological conditions.

Keywords: Chickpea, Siirt, leonardite, yield, *Cicer arietinum* L.

* Sorumlu Yazar: ozgeonderr@hotmail.com

1. Giriş

İnsan ve hayvan beslenmesinde baklagiller önemli yer tutmaktadır. Bitkisel protein kaynağı olan baklagiller hem beslenmede hem de toprak yapısının iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Nohut, Türkiye’de en fazla yetiştiriciliği yapılan yemeklik tane baklagildir. Dünya’da ise kuru fasulyeden sonra ikinci sıradadır (FAO, 2020; TÜİK, 2020). Nohut, toprak isteği bakımından kanaatkâr oluşu dolayısıyla ve köklerinin havanın serbest azotunu tespit etmesi bakımından hububat-yemeklik münavebesinde önemi çok büyüktür. Nohut, danelerinde bulunan % 20-25 protein, % 40-60 karbonhidrat, % 4.5-5.5 yağ, fosfor ve kalsiyum sayesinde insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (Karaağaç ve ark., 2019). Zengin protein içeriğine sahip kuru taneleri, insan beslenmesinde kullanılırken, elek altı nohutlar ve samanı hayvan beslenmesinde önemli yer tutmaktadır. Kök bölgesinde yaşayan Rhizobium türü bakteriler ile simbiyotik ilişki kurarak havada serbest halde bulunan elementel azotun fikse edilmesinde rol oynamaktadır. Ayrıca hasat artıklarının toprağa karıştırılmasıyla toprağın organik madde içeriğinin artırarak toprağın yapısının iyileştirilmesinde önem taşımaktadır (Kulaz ve Çiftçi, 1999; Uçar, 2020).

Nohut tarımında gübreleme ile verim ve kalite özelliklerinin iyileştirilmesi mümkündür. Nohut yetiştiriciliğinde mikrobiyal, organik ve kimyasal gübreler kullanılmaktadır. Kimyasal gübrelerin yoğun kullanımı ile üretimde verim artışı sağlanmakta ancak çevre kirliliğine neden olmaktadır. Buna bağlı olarak toprak verimliliği düşmekte ve kullanılabilir tarım alanları azalış göstermektedir. Tarım topraklarının kullanılabilirliğinin sürdürülebilmesi için tarımsal üretimde gerekli önlemler alınmalıdır. Özellikle toprak yapısının iyileştirilmesi amacıyla kimyasal gübre kullanımı yerine organik gübreler kullanılmalıdır. Organik gübre olarak kullanılacak birçok materyal mevcut olup, leonardit ve leonardit menşei gübreler de bunlardan biridir (Uçar, 2019).

Leonardit, tarih öncesi dönemlerde bitki ve hayvan kalıntılarının bataklıklarda ve göl ortamlarında çökmesi; sıcaklık, basınç ve anaerobik şartlarda milyonlarca yılda parçalanarak bozuşması, humifikasyonu, oksidasyonu ve başkalaşıma uğraması sonucunda tabakalaşan, killi organik sedimanter bir kayattır (Akıncı, 2011; Pekcan ve Esetlili, 2018).

Leonarditin yapısına bulunan çökelen kahverengi kömür tabakaları en önemli humik asit kaynağıdır. Humik asitler topraktaki besin maddelerinin bitkiler tarafından alınmasına kolaylık sağlamaktadırlar (Engin ve Cöcen, 2016). Leonardit, toksik element içeriği düşük, humik asit içeriği yüksek ve bitki besin elementi içeriğinden dolayı bitkisel üretimle ilgili araştırmalarda toprak düzenleyici olarak kullanılmaktadır (Demir ve ark., 2012; Engin ve Cöcen, 2012).

Bitkisel üretimde verim ve kalitenin artırılmasında, toprak yapısının iyileştirilmesinde leonardit kullanılması son yıllarda yaygınlaşmıştır. Bu çalışma kapsamında Siirt ili ekolojik koşullarında farklı dozlarda leonardit uygulamalarının nohutun verim ve bazı verim özelliklerine olan etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Farklı leonardit dozlarının nohutun verim ve bazı verim özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla iki yıllık yürütülen bu araştırma 2018 ve 2019 yılları yetiştirme sezonunda Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü deneme arazisinde yürütülmüştür. Çalışmada nohut tohumluğu olarak Azkan çeşidi kullanılmıştır. Azkan çeşidi, dik gelişen 35-80 cm boylanabilen, bej renkli, koçbaşı tane yapısına sahip, antraknoz hastalığına dayanıklı, kök ve solgunluk hastalıklarına toleranslı sertifikalı bir nohut çeşididir (Anonim, 2020). Denemelerde kullanılan leonardit % 35 organik madde, % 40 Toplam (Humik + Fulvik) asit, pH:3-5 içeriğine sahip ve granül yapıdadır. Deneme arazisinin toprakları tuzsuz (0,17 dS/m), kireçli (% 1,52), hafif alkali (pH:7,1), su tutma kapasitesi yüksek (killi-tınlı), eğimi düze yakın, organik madde yönünden fakir (% 1,06) olup, potasyumca zengin (63,7 kg/da), fosfor içeriği (3,01 kg/da) düşüktür (FAO, 1990).

Denemelerin yürütüldüğü 2018, 2019 yılları ve uzun yıllar ortalamasına ait iklim verileri Tablo 1’de verilmiştir. Yetiştirme sezonu boyunca toplam yağış miktarı 2018 yılında 264,8 mm’dir. 2019 yılında ise yağış miktarı 423,2 mm olup uzun yıllar ortalamasının üzerindedir. Ortalama sıcaklık 2019 yılında uzun yıllar ortalaması ile yakınlık gösterirken, 2018 yılında uzun yıllar ortalamasının üzerindedir. Ortalama nispi nem 2018 yılı ve uzun yıllar ortalaması değerleri aynı olup, 2019 yılı değerlerinin altındadır (Tablo 1).

Tablo 1. Denemenin yürütüldüğü alana ait iklim verileri*

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)			Yağış miktarı (mm)			Ortalama Nispi Nem (%)		
	2018	2019	UYO	2018	2019	UYO	2018	2019	UYO
Mart	13,7	8,3	10,1	47,6	182,0	92,3	55,9	63,5	59,2
Nisan	16,8	11,9	15,3	61,6	175,6	91,7	47,6	66,8	53,8
Mayıs	19,8	21,9	20,0	139,6	64,4	69,5	59,2	41,8	49,6
Haziran	27,4	29,1	27,0	10,0	1,2	10,8	31,7	26,5	28,7
Temmuz	32,3	30,2	30,6	0,6	0,0	2,7	20,1	23,0	23,3
Top./Ort.	22,0	20,3	20,6	264,8	423,2	267,0	42,9	44,3	42,9

*UYO, Uzun yıllar ortalaması (1963-2019)(Anonim, 2019)

Çalışma tesadüf blokları deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her parsel 4 sıra, 30 cm sıra arası mesafe, 5m sıra uzunluğunda metrekarede 60 bitki olacak şekilde planlanmıştır (Toğay ve ark. 2005). Deneme alanı sonbaharda

pulluk ile sürülmüştür. İlkbaharda ekimden önce kültivatör ile yüzlek bir şekilde sürülüp, tapan çekilmiştir. Markör yardımıyla çiziler açılıp, tohumların ekimi 05.03.2018 ve 02.03.2019 tarihlerinde sıralara elle yapılmıştır.

Ekimden önce parsellere 0, 25, 50, 75, 100 ve 125 kg da⁻¹ dozlarında leonardit serpilip, tırmıkla toprağa karıştırılmıştır. Nohut doğal yağış koşullarında yetiştirilmiş ve sulama yapılmamıştır. Yabancı otlar deneme alanında elle temizlenmiştir. Bitkileride görülen antraknoz hastalığıyla kimyasal mücadele yapılmıştır. Her parselin kenarlarındaki birer sıra ile parsel baş ve sonlarında 50 cm'lik kısımlar kenar tesiri olarak ayrılmıştır. Geriye kalan alandaki bitkilerden seçilen 10 bitkide gözlem yapılmıştır. Kenar tesiri olarak ayrılan alanın iç kısmında kalan bitkilerin tamamı hasat edilmiştir. Bu çalışma kapsamında bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı, bitkide tane sayısı, 100 tane ağırlığı ve tane verimi incelenmiştir. Bitkiler, baklaların sararıp tanelerin sertleştiği dönemde elle hasat ve harman edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler JMP istatistik paket programında analiz edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Farklı leonardit dozlarının nohut bitkisinde verim ve bazı verim özellikleri üzerine etkilerine ait ortalamalar ile LSD grupları Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

3.1. Bitki Boyu

Nohutta bitki boyuna yılların ve leonardit dozlarının etkisi istatistik bakımından önemli bulunurken, interaksyonun etkisi önemsiz bulunmuştur. Bitki boyu değerlerinin 2019 yılında 2018 yılına göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bitkilerin gelişimlerinin ilk dönemlerinde yağın yağışlarla birlikte toprakta mineralizasyona uğrayan azot, bitkilerin vejetatif gelişimini teşvik etmiş ve buna bağlı olarak bitki boyu değerleri artış göstermiştir. En yüksek bitki boyu 100 kg da⁻¹ leonardit uygulamasından, en düşük bitki boyu ise kontrolden edilmiştir. Leonardit dozu 100 kg da⁻¹'a kadar bitki boyunda artışı teşvik etmiş ancak daha yüksek leonardit dozunda bitki boyu değerleri düşüş göstermiştir (Tablo 2). Pertuit ve ark. (2001) leonardit uygulamasının bitki boyunu etkilemediğini bildirirken, İmamoğlu (2019), Azcona ve ark. (2011) ve Özel (2011) bitki boyunu artırdığını, Ergönül (2011) ise bitki boyunu azalttığını, Dinç (2014) ise bitki boyunu kontrole göre artırmadığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmadan elde edilen bitki boyu değerleri İmamoğlu (2019), Azcona ve ark. (2011) ve Özel (2011)'in elde ettiği sonuçlar ile benzerlik gösterirken, diğer çalışmaların sonuçları ile farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların bitkilerin yetiştirildiği iklim ve toprak koşullarının, yetiştirilen bitkilerin ve kullanılan leonardit veya humik asit dozlarının farklılıklarında kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.2. İlk Bakla Yüksekliği

İlk bakla yüksekliğine yılların, leonardit dozlarının ve interaksyonun etkisi önemli bulunmuştur. İlk bakla yüksekliği değerleri çalışmanın ikinci yılında bitkilerin ilk gelişme dönemlerinde yağın yağışların bitki gelişimini teşvik etmesiyle ilk yıla göre daha yüksek bulunmuştur. En yüksek ilk bakla yüksekliği 100 kg da⁻¹ leonardit uygulamasında, en düşük ilk bakla yüksekliği değeri ise kontrolden tespit edilmiştir. 100 kg da⁻¹'dan daha yüksek dozda leonardit uygulamasının da ilk bakla yüksekliğini düşürdüğü belirlenmiştir. İnteraksiyona göre en yüksek ilk bakla yüksekliği 2. yıl 100 kg da⁻¹ leonardit uygulamasından, en düşük değer ise 1. yıl kontrolden alınmıştır (Tablo 2). Öktem ve ark. (2017) humik asit uygulamasının ilk bakla yüksekliğini artırdığını bildirmişlerdir. Bu çalışmadan alınan ilk bakla yüksekliği değerleri Öktem ve ark. (2017)'nin elde ettiği sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

3.3. Bitkide Bakla Sayısı

Bitkide bakla sayısına yılların ve leonardit dozlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, interaksyonun etkisi önemsiz bulunmuştur. Bitkide bakla sayısının çalışmanın ikinci yılında ilk yıla göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek bitkide bakla sayısı 100 kg da⁻¹ leonardit dozundan elde edilirken, en düşük değerler ise kontrolden alınmıştır. Nohut yetiştiriciliğinde uygulanan leonardit dozu arttıkça, bitkide bakla sayısı artış göstermiştir. Leonardit dozu 100 kg da⁻¹'ı geçtiğinde bitkide bakla sayısı düşüş göstermiştir. Öktem ve ark. (2017) humik asit uygulamasının bitkide bakla sayısını artırdığını bildirmişlerdir. Araştırmadan elde edilen bitkide bakla sayısı değerleri Öktem ve ark. (2017)'nin sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Tablo 2. Nohutta farklı leonardit dozlarına ait bitki boyu, ilk bakla yüksekliği ve bitkide bakla sayısı ortalamaları ve grupları

Leonardit dozları	Bitki boyu (cm)			İlk bakla yüksekliği (cm)			Bitkide bakla sayısı (adet bitki ⁻¹)		
	2018	2019	Ortalama	2018	2019	Ortalama	2018	2019	Ortalama
Kontrol	51,0	52,6	51,8 E	27,9 g	28,3 g	28,1 E	30,2	30,9	30,6 C
25 kg da⁻¹	52,0	53,6	52,8 D	28,3 g	29,1 f	28,7 D	31,2	31,2	31,2 C
50 kg da⁻¹	53,7	54,2	54,0 C	30,7 de	31,8 bc	31,3 B	31,6	32,5	32,1 B
75 kg da⁻¹	54,6	55,9	55,3 B	30,6 e	32,2 b	31,4 B	32,1	33,1	32,6 B
100 kg da⁻¹	56,4	57,5	57,0 A	31,3 cd	33,1 a	32,2 A	33,0	34,2	33,6 A
125 kg da⁻¹	54,9	56,1	55,5 B	29,1 f	31,8 bc	30,4 C	30,2	31,9	31,0 C
Ortalama	53,8 B	55,0 A		29,6 B	31,0 A		31,4 B	32,3 A	
Leonardit		0,743			0,464			0,745	
LSD (0.05) Yıl		0,504			0,351			0,745	
Leonardit x Yıl		ö.d.			0,656			ö.d.	

3.4. Bitkide Tane Sayısı

Uygulanan leonardit dozlarının ve yılların bitkide tane sayısına etkisi istatistiksel bakımdan önemli bulunurken, interaksiyonun etkisi önemsiz bulunmuştur. Bitkide tane sayısının 2018 yılında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek bitkide tane sayısı 100 kg da⁻¹ leonardit dozunda tespit edilirken, en düşük bitkide tane sayısı kontrolden alınmıştır. Leonardit dozu arttıkça bitkide tane sayısı da artmıştır. Ancak leonardit dozu 125 kg da⁻¹ ulaştığında bitkide tane sayısı azalmıştır (Tablo 3). Batanay (2016) humik asidin bitkide tane sayısını artırdığını bildirmiştir. Bu araştırmanın sonucunda elde edilen bitkide tane sayısı değerleri ile Batanay (2016)'ın sonuçları benzerlik göstermektedir.

3.5. 100-Tane Ağırlığı

Yılların ve uygulanan leonardit dozlarının 100-tane ağırlığına etkileri istatistiksel olarak önemli bulunurken, interaksiyonun etkisi önemli bulunmamıştır. Çalışmanın ilk yılında 100-tane ağırlığının ikinci yıla nazaran daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En yüksek 100-tane ağırlığı değeri 100 kg da⁻¹ leonardit dozunda saptanırken, en düşük değer kontrolden alınmıştır. Leonardit dozu arttıkça 100-tane ağırlığı değerleri artmıştır. Ancak 125 kg da⁻¹ leonardit dozunda 100-tane ağırlığı azalmıştır (Tablo 3). Mostofa ve Akın (2017) ve Gürsoy (2016) leonarditin 100-tane ağırlığını artırdığını bildirmişlerdir. Ergönül (2011) ise leonardit uygulamasının 1000-tane ağırlığını azalttığını bildirmiştir. Öktem ve ark. (2017) humik asit uygulamasının 1000-tane ağırlığını etkilemediğini belirtmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen 100-tane ağırlığı

değerleri Mostofa ve Akın (2017) ve Gürsoy (2016)'un sonuçları ile benzerlik gösterirken, Ergönül (2011) ve Öktem ve ark. (2017)'nin sonuçları ile farklılık göstermektedir. Bu farklılığın denemelerde yetiştirilen bitki türlerinin, çeşitlerinin ve genotiplerinin, uygulanan leonarditin humik asit içeriklerinin, uygulama şekillerinin, çalışmaların yapıldığı alanların iklim ve toprak özelliklerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.6. Tane Verimi

Leonardit dozlarının, yılların ve interaksiyonun nohutun tane verimine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tane verimi 2019 yılında 2018 yılına göre daha yüksek bulunmuştur. Çalışmanın ilk yılında çiçeklenme döneminde aşırı yağın yağışlar çiçeklenmeyi olumsuz etkilemiştir. Yiğitoğlu ve Anlarsal (2012) çiçeklenme döneminde yoğun bir şekilde yağın yağışın çiçeklenmeyi azalttığını ve buna bağlı olarak tane veriminin düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir. En yüksek tane verimi 100 kg da⁻¹ leonardit dozundan elde edilirken, en düşük tane verimi kontrolden tespit edilmiştir. İnteraksiyonun etkisi incelendiğinde en yüksek tane verimi 2019 yılında 100 kg da⁻¹ leonardit uygulamasında tespit edilmiş olup, en düşük değer 2018 yılında kontrolden alınmıştır (Tablo 3). Leonardit dozu belli bir düzeye kadar arttıkça, tane verimi de artış göstermiştir. Ancak 100 kg da⁻¹'dan daha fazla leonardit uygulaması tane verimini düşürmüştür. Öktem ve ark. (2017), Ergönül (2011), Öztürk (2010) leonardit uygulamasının tane verimini artırdığını bildirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen tane verimi değerleri Öktem ve ark. (2017), Ergönül (2011) ve Öztürk (2010)'ün sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Tablo 3. Nohutta farklı leonardit dozlarına ait bitkide tane sayısı, 100-tane ağırlığı ve tane verimi ortalamaları ve grupları

Leonardit dozları	Bitkide tane sayısı (adet bitki ⁻¹)			100-tane ağırlığı (g)			Tane verimi (kg da ⁻¹)		
	2018	2019	Ortalama	2018	2019	Ortalama	2018	2019	Ortalama
Kontrol	33,2	34,3	33,7 C	31,2	32,3	31,8 D	169,7 i	175,2 h	172,5 E
25 kg da⁻¹	33,4	35,1	34,3 C	31,9	32,5	32,2 D	176,2 gh	179,3 ef	177,8 D
50 kg da⁻¹	32,9	35,2	34,1 C	32,7	33,4	33,0 C	179,0 e-g	189,2 d	184,1 C
75 kg da⁻¹	34,8	36,2	35,5 B	33,1	34,4	33,8 B	181,0 e	193,6 c	187,3 B
100 kg da⁻¹	35,3	37,9	36,6 A	34,4	35,4	34,9 A	197,2 b	208,2 a	202,7 A
125 kg da⁻¹	32,7	35,3	34,0 C	32,3	33,4	32,9 C	177,5 f-h	187,4 d	182,4 C
Ortalama	33,7 B	35,7 A		32,6 B	33,6 A		180,1 B	188,8 A	
Leonardit		0,692			0,562			2,067	
LSD (0.05) Yıl		0,708			0,363			1,995	
Leonardit x Yıl		ö.d.			ö.d.			2,923	

4. Sonuç

Farklı dozlarda leonardit uygulamalarının nohut bitkisinin verim ve bazı verim özelliklerine etkilerini saptamak amacıyla yürütülen bu çalışmada bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı, bitkide tane sayısı, 100-tane ağırlığı ve tane verimi özellikleri incelenmiştir. Leonardit uygulamasının nohutun verimini artırdığı, aynı zamanda verim özelliklerini de iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Çalışmada incelenen tüm parametreler bakımından en yüksek değerler 100 kg da⁻¹ leonardit dozundan, en düşük değerler ise kontrolden elde edilmiştir. Leonardit dozu belli bir düzeye kadar arttıkça, bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı, bitkide tane sayısı, 100-tane ağırlığı ve tane verimi değerleri de artış göstermiştir. Leonardit dozu 100 kg da⁻¹'dan fazla olduğunda verim ve verim özelliklerine ait değerlerde düşüş görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Siirt ili koşullarında nohut tarımında tane verimini artırmak amacıyla 100 kg da⁻¹ leonardit kullanılması önerilmektedir.

Kaynakça

- Akıncı Ş. (2011). Hüyük asitler, bitki büyümesi ve besleyici alımı. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1), 46-56.
- Anonim (2019). Siirt İli Meteoroloji Bölge Müdürlüğü Kayıtları.
- Anonim (2020). Altatarım [İnternet], Azkan çeşidi nohut. Erişim adresi <https://www.altattarim.com/azkan-sertifikali-nohut-tohumu/>
- Azcona, I., Pascual, I., Aguirreoleal, J., Fuentes, M., Gracia-Mina, J.M. ve SanchezDiaz, M. (2011). Growth and development of pepper are affected by humic substances derived from composted sludge. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174, 916-924 .
- Batanay, Ş. (2016) Kireçli toprak koşullarında farklı organik gübrelere aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisinde verim ve verim özellikleri üzerine etkisi. (Yükseklisans Tezi), Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat.
- Demir, M., Noyan, Ö.F. ve Oğuz, İ. (2012). Leonardit kullanımı ile birlikte azaltılmış azotlu gübre uygulamalarının bitki verim ve toprak özellikleri üzerine etkileri. *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 2012-1, 445-455.
- Diñç E. (2014). Sater (*Satureja hortensis* L.) bitkisinde inorganik ve organik gübre uygulamalarının verim ve bazı kalite unsurlarına etkileri. (Yükseklisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Engin, V.T. ve Cöcen, E.İ. (2016)Leonardit ve humik maddeler. *Yer Altı Kaynakları Dergisi*, 1(2): 13-20.
- Engin, V.T., Cöcen, İ. ve Uğur, İ. (2012). Türkiye’de leonardit. *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 2012(1), 435-443.
- Ergönül, S. (2011). Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) çeşitlerine uygulanan humik asit ve leonardit’in verim, verim öğeleri üzerine etkileri. (Yükseklisans Tezi), Ankara Üniversitesi, Ankara.
- FAO (1990). Micronutrient, assessment at the country level: An international study. FAO Soil Bulletin by Sillanpaa, Rome.
- FAO (2020). Food and agriculture data. Erişim adresi <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Gürsoy, M. (2016). Ankara koşullarında yazlık kolza (*Brassica napus* ssp. *oleifera* L.)’nın kantitatif ve kalitatif özelliklerine leonarditli ortamda farklı humik asit dozlarının etkileri. (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Ankara.
- İmamoğlu, S. (2019). Farklı leonardit uygulamalarının fasulyede verim ve kalite üzerine etkisi. (Yükseklisans Tezi), Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- 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.
- Kulaz, H. ve Çiftçi, V. (1999). Van koşullarında bitki sıklığının nohut (*Cicer arietinum* L.)’ta verim ve verim öğelerine etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23 Ek sayı (3), 599-601.
- Mostafa, A.A.A. ve Akın, A. (2017). Italia üzüm çeşidinde farklı dozlarda hüyük madde uygulamasının verim ve kalite üzerine etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2), 73-78.
- Öktem, A., Nacar, A. ve Öktem, A. (2017). Sıvı olarak toprağa uygulanan hüyük asit miktarlarının kırmızı mercimek bitkisinde (*Lens culinaris* Medic.) verim ve bazı verim unsurlarına etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26 (2017), 119-124.
- Özel, E.Z. (2011). İki farklı tekstüre sahip toprakta leonardit organik metaryalinin mısır bitkisinin azot alımına etkisi. (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Öztürk, E. (2010). Organik mısır yetiştiriciliğinde farklı leonardit miktarlarının verim ve verim unsurlarına etkileri. (Yüksek Lisans Tezi), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.
- Pekcan, T. ve Çolak Esetlili, B. (2018). Leonardit kökenli organik materyallerin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(1), 31-41.
- Pertuit, A.J., Dudley, J.B. ve Toler, J.E. (2001). Leonardite and fertilizer levels influence tomato seeling growth. *Hortscience*, 36(5), 913-915.
- Toğay, N., Toğay, Y., Erman, M., Doğan, Y. ve Çığ, F. (2005). Kuru ve sulu koşullarda farklı bitki sıklıklarının bazı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinde verim ve verim öğelerine etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11 (4), 417-42
- TÜİK (2020). Bitkisel üretim istatistikleri. Erişim adresi <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Uçar, Ö., (2019). Nohut yetiştiriciliğinde organik madde içeren gübrelere önemi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 3(1): 116-127.
- Uçar, Ö. (2020). Farklı sıra arası mesafeleri, tavuk gübresi dozları ve tohum ön uygulamalarının nohut (*Cicer arietinum* L.)’un verim, verim öğeleri ve nodülasyonu üzerine etkileri. (Doktora Tezi), Siirt Üniversitesi, Siirt.
- Yığıtoğlu, D. ve Anlarsal, A.E. (2012). Kahramanmaraş koşullarında farklı bitki sıklıklarının kışlık ve yazlık ekilen bazı nohut çeşitlerinde (*Cicer arietinum* L.) verim ve verim ile ilgili özelliklere etkisi. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27 (2), 11-20.



Lazer Kaynağı İle Birleştirilen AISI 410S Ferritik Paslanmaz Çeliğın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Gerilme Giderme Isıl İşleminin Etkileri

Ceyhun Köse^{1*}, Ceyhun Topal²

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3907-2226)

² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8820-9316)

(İlk Geliş Tarihi 4 Mart 2020 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.698727)

ATIF/REFERENCE: Köse, C. & Topal, C. (2020). Lazer Kaynağı İle Birleştirilen AISI 410S Ferritik Paslanmaz Çeliğın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Gerilme Giderme Isıl İşleminin Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 922-931.

Öz

Bu çalışmada, AISI 410S ferritik paslanmaz çelik levhalar farklı kaynak parametreleri kullanılarak lazer kaynağı ile birleştirilmiştir. Lazer kaynaklı birleştirmelere kaynak sonrası gerilme giderme ısıl işlemi uygulanmıştır. Isıl işlemli ve ısıl işlemsiz lazer kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleri ve mikroyapıları karakterize edilmiştir. Kaynak sonrası uygulanan ısıl işlem nedeniyle tane yapısının daha da kabalaştığı, sertlik düşüşünün devam etmesiyle birlikte çekme dayanımında da düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. Kaynak sonrası uygulanan ısıl işlem sebebiyle mekanik özelliklerin olumsuz etkilendiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lazer kaynak, Ferritik paslanmaz çelik, Mikroyapı, Mekanik özellikler, Gerilme giderme ısıl işlemi

Effects of Stress Relieving Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Laser Welded AISI 410S Ferritic Stainless Steel

Abstract

In this study, AISI 410S ferritic stainless steel sheets were joined with laser welding method using different welding parameters. Stress relieving heat treatment was applied to laser welded joints. Mechanical properties and microstructure of heat treated and non heat treated laser welded joints were investigated. It was determined that grain structure was more coarsened due to heat treatment process and tensile strength decreased because of continuing of decrease in hardness. It was found out that mechanical properties were negatively affected because of stress relieving heat treatment applied to laser welded joints.

Keywords: Laser welding, Ferritic stainless steel, Microstructure, Mechanical properties, Stress relieving heat treatment

* Sorumlu Yazar: Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3907-2226), ceyhun.kose@gop.edu.tr

1. Giriş

Ferritik paslanmaz çelikler genellikle %11-30 Cr ve az miktarda veya hiç Ni içermeyen, oda sıcaklığında esasen ferritik bir mikroyapıda bulunan, hacim merkezli kübik (HMK) kristal kafes yapısına sahip bir paslanmaz çelik grubudur [1-4]. Nikel içermemesi nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklere göre daha ucuzdur ve östenitik paslanmaz çeliklere iyi bir alternatif malzeme türüdür. Yüksek ısı iletkenliği, doğrusal genleşmesinin az olması, stres korozyon çatlak direncinin iyi olmasının yanında klorür ortamında çukurcuk ve aralık korozyona üstün dayanımları, yüksek sıcaklık oksidasyonuna dayanımları nedeniyle özellikle otomotiv endüstrisinde, karayolu ve demiryolu taşımacılığında, güç jeneratörü, fırın parçası olarak, ısı değiştiricisi yapımında, petrol rafineri ekipmanlarında, depolama tankları yapımında, elektrikli alet yapımında, güneş enerjili su ısıtıcısı yapımında, ev aletleri yapında ve madencilik gibi alanlarda geniş bir kullanıma sahiptir [1-5]. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde kaynak süresince ITAB ve kaynak metalinde, ergiyik metalin katılması esnasında herhangi bir arafaz oluşmadan sıvı fazdan direkt ferrit fazı oluşturması ve tane irileşmesi meydana gelmesi nedeniyle, bu çeliklerin kullanım alanlarını sınırlayan ana nedenler olarak karşımıza çıkmaktadır [1-5]. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde metalurjik faz olarak ferrit fazı görülmekle birlikte, belirli şartlar altında martenzit fazı, karbürler ve nitrür oluşumları görülebilir. Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapıları hiçbir zaman %100 ferrit fazından oluşmaz, bu çelikler yüksek sıcaklıklara ısıtıldıkları zaman, katılma veya soğuma süresince mikroyapıda bazı östenit tanesi oluşumları meydana gelir. Yüksek sıcaklıkta bulunan östenit, oda sıcaklığına soğuma sırasında (genellikle hızlı soğutma) martenzite dönüşmektedir. Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapılarında martenzit oluşumunu minimize edilebilmesi ve kaynak kabiliyetinin iyileştirilebilmesi için daha düşük karbonlu ve ferrit dengeleyici elementler içeren ferritik paslanmaz çelik türleri tercih edilmesi önerilmektedir [1,3].

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde daha ince taneli bir mikroyapı elde edilebilmesi için düşük ısı girdili kaynak yöntemleri önerilmektedir. Ergitmeli kaynak yöntemleri arasında düşük ısı girdisi oluşturan yöntemler arasında lazer kaynağı, TIG kaynağı, Lazer-TIG hibrit kaynağı ve plazma transfer ark kaynağı sayılabilir. Bu kaynak yöntemleri çok yüksek güç yoğunluğuna sahip olmaktadır ve düşük metalurjik distorsiyon oluşturmaktadırlar, bu yüzden yüksek kaliteli kaynaklı birleştirmeler elde edilmektedir [1,6-9]. Ark kaynak yöntemleriyle karşılaştırıldığında yüksek enerji

yoğunluğu ve hızlı soğuma oranı oluşturması nedeniyle lazer kaynağı ile birleştirilen ferritik paslanmaz çeliklerin ITAB ve kaynak metalinde tane irileşmesi engellenebilir [2]. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında meydana gelen diğer bir problem de ITAB ve kaynak metalinde meydana gelen sigma fazı gibi ikincil faz partikülleridir. İkincil faz oluşumları kaynaklı birleştirmelerin tokluğunda ve sünekliğinde düşüşe neden olmaktadır. [1-6,10]. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini iyileştirmenin önemli yöntemlerinden bir tanesi kaynak sonrası ısıl işlemler olarak gösterilmektedir. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmelerine kaynak sonrası uygulanan ısıl işlemler ile birlikte tokluk, süneklik ve korozyon dirençleri iyileşmektedir [1,3]. Kaynak sonrası ısıl işlemin 750°C-800°C sıcaklığı aralığında yapılması kaynak kalıntı gerilmeleri azaltıcı etkisi olabileceği gibi aynı zamanda bu ısıl işlem mikroyapıda küçük bir etki oluşturmaktadır [3]. Isıl işlem ve kaynak gibi prosesler nedeniyle hassas sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında (genellikle 900°C üzerinde) hassasiyet oluşmaktadır. Bu çeliklerin tavlama işlemleri genellikle 820 °C civarında gerçekleştirilmekte ve böylelikle kromca fakir bölgeye kromun tekrar difüz olmasına imkan sağlanmaktadır [11].

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde bazı problemler ile karşılaşmaktadır. Kaynak esnasında ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda önemli derecede düşüşe neden olan tane büyümesi ve gevrek çatlama problemidir. Bu çalışmada lazer kaynak işlemi, kaynak hızı sabit tutularak iki farklı lazer kaynak gücüyle gerçekleştirilmiş olup farklı ısı girdisi şartlarında lazer kaynaklı ferritik paslanmaz çelik birleştirmelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, lazer kaynaklı birleştirmelere kaynak sonrası 770°C'de 60 dakika gerilme giderme ısıl işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak sonrası ısıl işlemin mekanik özellikler ve mikroyapıya etkileri karakterize edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme ve Kaynak İşlemi

Bu çalışmada, AISI 410S ferritik paslanmaz çelik sac levhalar deneylerde kullanılmak üzere SILVERLINE firmasından temin edilmiştir. Malzeme 90×180×0.6 mm ebatlarında lazer kesim tezgahında kesilmiştir. AISI 410S ferritik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu spektral analiz ile belirlenmiş ve Tablo 1' de kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 1. AISI 410S ferritik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi (% ağırlık).

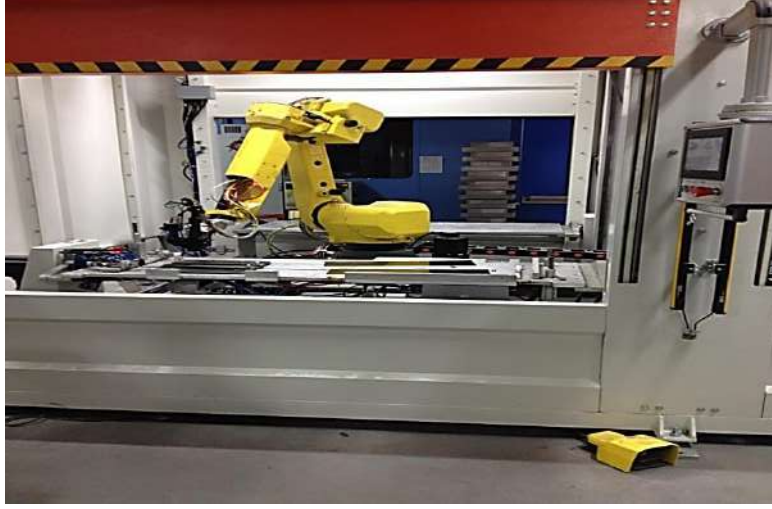
%C	Si	Mn	P	S	Ni	Ti	Cr	Fe
0,047	0,374	0,414	0,020	0,015	<0,0001	0,060	14,065	Kalan

Ferritik paslanmaz çelik levhalar Tablo 2'de verilen parametreler kullanılarak, HAN'S Laser marka 300W gücüne sahip Nd:YAG lazer kaynak makinesine monte edilmiş 6 eksenli FANUC M-20iA marka robot yardımıyla, yatay pozisyonda ve

ilave metal kullanılmadan birleştirilmiştir. (Şekil 1.). Kaynak sonrası lazer kaynaklı numunelere fırın içerisinde gerilme giderme ısıl işlemi 770°C'de 60 dakika uygulanmış ve havada soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Lazer kaynak parametreleri.

Numune	Lazer gücü (W)	Kaynak hızı (mm/s)	Koruyucu gaz	Gaz basıncı (bar)	Odak mesafesi (mm)	Isı girdisi (kJ/mm)
A1	200	1.25	Ar	0.6	190	0.16
A2	300	1.25	Ar	0.6	190	0.24



Şekil 1. Lazer kaynak makinesi.

2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanışı

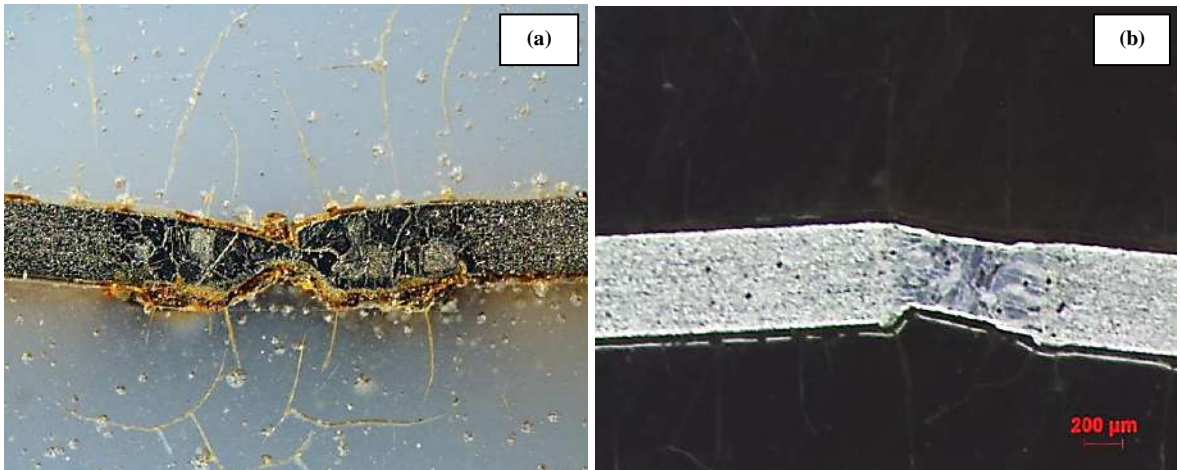
Lazer kaynağı ile birleştirilen AISI 410S ferritik paslanmaz çeliğin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin belirlenebilmesi için birleştirmelerden deney numuneleri lazer kesim ile hazırlanmıştır. Lazer kaynaklı numunelerin mikroyapı değişimlerini karakterize etmek için Kalling No.2 çözeltisinde (225ml alkol + 20ml hidroklorik asit + 12 gr bakır(II)oksit) 20 saniye süre ile dağlama işlemi yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri 50X-100X büyütmeli NIKON marka optik mikroskop, JEOL JSM 6060 LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve (EDS) donanımı ile gerçekleştirilmiştir. Makroyapı görüntüleri ise NIKON SMZ25 marka optik stereomakroskop vasıtasıyla elde edilmiştir. XRD analizi ise, RIGAKU Smart Lab X-Işını Difraktometresi Cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi, 100 kN kapasiteli INSTRON

marka çekme testi cihazında 10 mm/dk. çekme hızında boyuna doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçümü ise, GALILEO marka ölçüm cihazında uca 15 saniye 200g yük uygulanarak belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Makroyapı İncelemeleri

Farklı lazer kaynak gücüne bağlı olarak değişiklik gösteren kaynak dikiş boyutları (Şekil 2'de) gösterilmiştir. A2 numunesinde tam nüfuziyet gözlenirken (Şekil 2b), A1 numunesinde nüfuziyet eksikliği gözlenmiştir (Şekil 2a). Kaynaklı birleştirmelerin makro görüntülerinden dar bir ITAB ve kaynak dikişi profili gözlenirken, herhangi bir porozite oluşumu gözlenmemiştir.

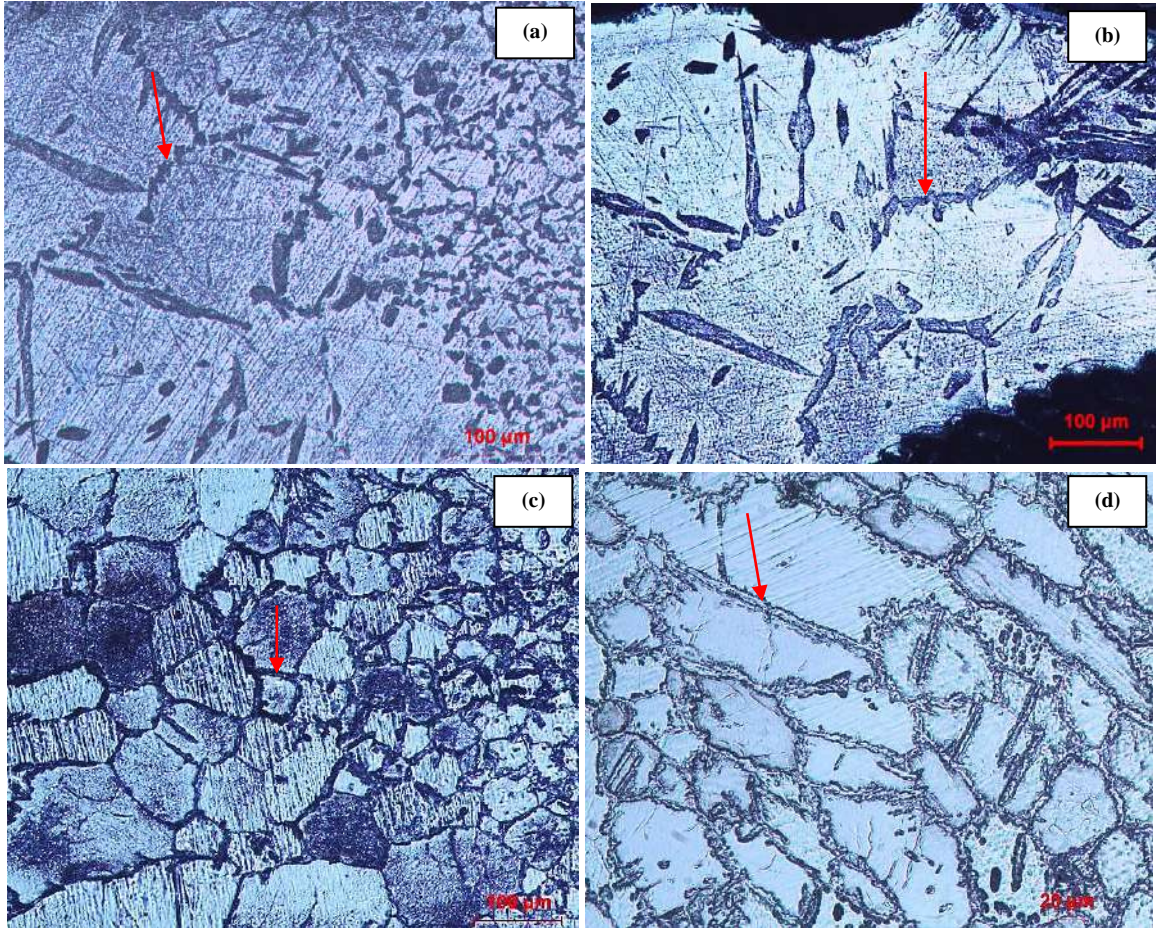


Şekil 2. (a) A1 ve (b) A2 numunelerinin kaynak dikiş profili.

3.2. Mikroyapı İncelemeleri

AISI 410S ferritik paslanmaz çeliğin farklı ısı girdileriyle birleştirilmesini içeren mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, ilave kaynak metali kullanılmamasına bağlı olarak ITAB ve kaynak metali mikroyapısının ana metalin ergitilmesi ile oluşum gösterdiği bir mikroyapı görülmektedir (Şekil 3a-d). Bu şartlarda, alaşımın kimyasal kompozisyonuna ve soğuma oranına göre mikroyapı şekil almaktadır. İlave kaynak metali kullanılması durumunda ise, ITAB ve kaynak metali mikroyapısında ana metale göre büyük farklılıklar oluşacağı bilinmektedir [1]. Lazer kaynağının karakteristik özelliği olan düşük ısı girdisine bağlı hızlı soğuma neticesinde, kaynak bölgesinde ince taneli mikroyapı oluşumu meydana gelmektedir. Ancak, yüksek lazer gücü veya çok yavaş kaynak hızıyla gerçekleştirilen birleştirmelerde tane irileşmesi beklenebilir. Farklı ısı girdisi ile birleştirilen numunelerin ITAB'ında açık bir şekilde tane irileşmesinin meydana geldiği (Şekil 3a,c), tane büyüklüğünün kaynak metali tane yapısından daha iri oldukları

görülmektedir (Şekil 3a-d). Kaynak metali mikroyapısının ise kısmen sütunsal ve eşeksenli ferrit tane yapısından meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 3b,d). Ferritik paslanmaz çeliğin kaynak metali her zaman başlangıçta birincil ferrit taneleri biçiminde katılaşmaktadır [3,12]. Kaynak termal çevriminin erken evrelerinde, çift fazdan ($\alpha + \gamma$) soğutulduklarında ITAB'da östenit çekirdeklenmesi baskılanabildiği ve tamamen ferritik mikroyapı modu elde edilebileceği araştırmacılar tarafından vurgulanmaktadır [6]. Kaynak metali tamamen ferritiktir ya da ferrit ve martenzit tanelerinden oluşum gösterebilmektedir. Martenzit ise, ferrit tane sınırlarında konumlanmaktadır. Düşük lazer kaynak gücüyle yani düşük ısı girdisi ile birleştirilen A1 numunesinin (0.16 kJ/mm) mikroyapısı yüksek ısı girdisiyle birleştirilen A2 numunesinin (0.24 kJ/mm) mikroyapısına kıyasla daha ince ferrit tanelerinden oluşum gösterdiği Şekil 3a-d'den anlaşılmaktadır. Düşük ısı girdili A1 numunesinin kaynak bölgesinde hızlı soğumanın meydana gelmesi nedeniyle ince taneli bir mikroyapı elde edilmiştir.



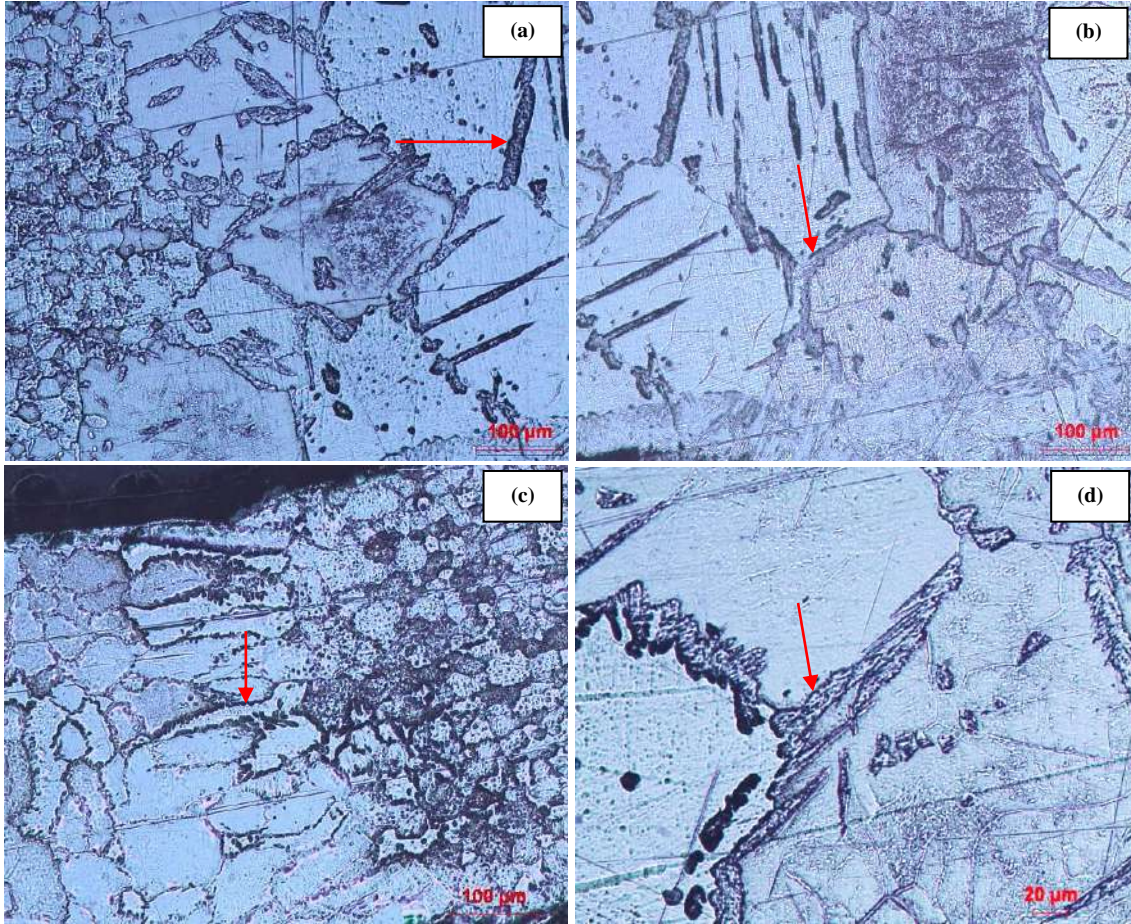
Şekil 3. (a), (b) A1 numunesinin ITAB ve kaynak metali görüntüsü, (c), (d) A2 numunesinin ITAB ve kaynak metali görüntüsü, tane sınırı martenziti kırmızı oklar ile gösterilmiştir.

Düşük ısı girdisiyle birleştirilen A1 numunesinin ITAB'ında ana malzemeye göre bir miktar tane irileşmesinin meydana geldiği ancak bu irileşmenin sınırlı boyutlarda kaldığı (Şekil 3a), kaynak metali mikroyapısının ise ITAB'a kıyasla daha homojen ve neredeyse tamamen ince ferrit tanelerinden meydana geldiği (Şekil 3b), ferrit tane sınırlarında küçük hacim oranlarına sahip martenzit oluşumu gözlenmiştir. Yüksek ısı girdisiyle birleştirilen A2 numunesinin kaynak metali ve ITAB mikroyapısı incelendiğinde ise (Şekil 3c,d), kaynak termal çevrimin uzun

sürmesi ve düşük soğuma hızı oluşmasına bağlı olarak, ITAB'da tane irileşmesi, kaynak metalinde ise sütunsal bir tane morfolojisi oluşum göstermiştir. Isı girdisi değişimlerine bağlı olarak, özellikle de yüksek ısı girdisiyle birleştirilen numunenin kaynak metali mikroyapısında sütunsal ferrit ve tane sınırı martenzit oluşumlarının hacim oranlarının değişiklik gösterdiği, hacim oranının açık bir şekilde arttığı gözlenmiştir (Şekil 3d). Ferritik paslanmaz çeliğin kaynak metalinin soğuma oranı önemli bir faktördür, hızlı soğuma oranlarında martenzitik

mikroyapı oluşumu gerçekleşebilmektedir [1]. Yüksek ısı girdisiyle birleştirmelerde ise daha yavaş bir soğuma oranı meydana gelmesine ve geniş bir kaynak havuzuyla birlikte kompleks bir katılaşma yapısının oluşmasına neden olacağı araştırmacılar tarafından vurgulanmaktadır [6]. Araştırmacılar ayrıca, ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek sıcaklığın etkisiyle tamamen ferritik bir içyapı oluşmazsa, küçük bir hacim oranında östenit taneleri oluşabileceği, bu küçük hacim oranına sahip östenit taneleri de kaynak termal çevriminin ya da soğuma hızına bağlı olarak martenzite dönüşebileceğine işaret etmektedirler [13]. Martenzit oluşumu gerçekleşmeyen kaynaklı birleştirmelerde ısı girdisinin etkisiyle aşırı tane büyümesi gerçekleşerek kaynaklı birleştirmelerin dayanımında düşüşler yaşanacağına da araştırmacılar dikkat çekmektedir (gevrekleşme mekanizması oluşumu) [13]. Birleştirmelere ait kaynak metali ve ITAB'da herhangi bir boşluk veya gözenek oluşumu ya da çökelti oluşumları gözlenmemiştir. Çökelti ve bazı ikincil faz oluşumları kaynaklı birleştirmelerin tokluğunda ve sünekliğinde düşüşe neden olan ve kaynak mikroyapısında istenilmeyen yapılarıdır.

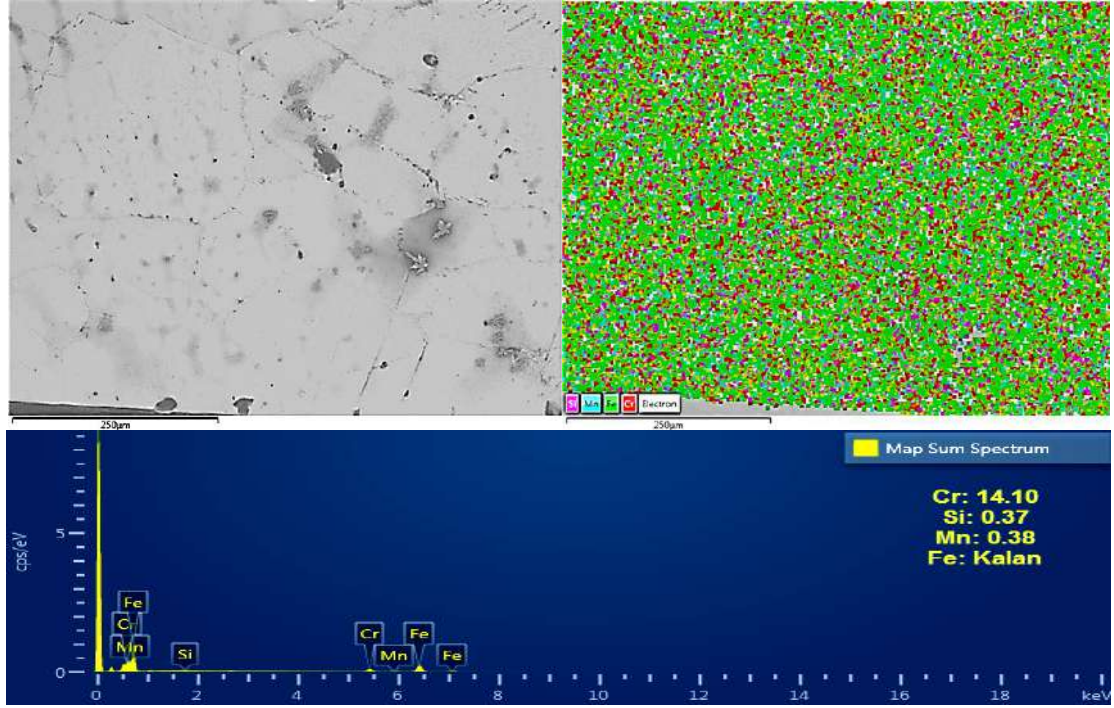
Kaynak sonrası ısıl işlem uygulanan lazer kaynaklı birleştirmelerin (ısı işlemli numuneler H harfi ile kodlanmıştır) mikroyapı görüntüleri Şekil 4a-d'de verilmiştir. Yüksek ısı girdisiyle (A2H) ve düşük ısı girdisiyle birleştirilen numunelerin (A1H) ITAB ve kaynak metali mikroyapıları incelendiğinde, yüksek ısı girdisiyle birleştirilen numunenin ITAB'ında yüksek sıcaklığın ve bu sıcaklıkta tutmanın etkisiyle lokal olarak sütünsal tane irileşmesinin gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 4c). Yüksek ısı girdisiyle birleştirilen numunenin ITAB'ında tane irileşmesinin yanısıra, ısıl işlemin etkisiyle kaynak metalinin sütünsal ve iri taneli ferrit morfolojisinden meydana geldiği ve tane sınırlarında martenzit tanelerinin oluştuğu görülmüştür (Şekil 4d). Kaynaklı birleştirmelerin ITAB ve kaynak metali bölgelerinde oluşumları istenilmeyen yapılar olan krom karbür ($Cr_{23}C_6$) gözlenmemiştir. Ferritik paslanmaz çeliklerde ısıl işlem ve kaynak gibi prosesler nedeniyle hassas sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında (genellikle $900^{\circ}C$ üzerinde) karbür çökelmelerinin oluşabileceği araştırmacılar vurgulanmaktadır [11].



Şekil 4. (a), (b) A1H numunesinin ITAB ve kaynak metali görüntüsü, (c), (d) A2H numunesinin ITAB ve kaynak metali görüntüsü, tane sınırı martenziti kırmızı oklar ile gösterilmiştir.

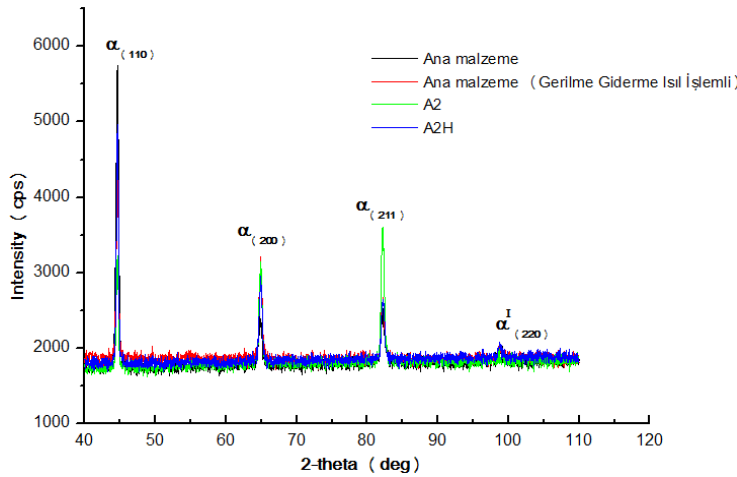
Yüksek ısı girdisiyle birleştirilen ve ısıl işlem uygulanan A2H numunesinin kaynak metali EDS analiz sonucu incelendiğinde (Şekil 5.) bu malzemeye ait spektral analiz sonuçlarıyla (Tablo 1.) uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Kaynak

işlemi ve ısıl işlem prosesinden dolayı belirgin alaşım elementi kayıplarının yaşanmadığı ve alaşım elementi miktarlarında önemli bir değişim meydana gelmediği tespit edilmiştir.



Şekil 5. A2H numunesine ait SEM-EDS analizi.

Isıl işlem uygulanan ve ısıl işlem uygulanmayan ana malzeme ve yüksek ısı girdisiyle birleştirilen lazer kaynaklı numunelerin XRD cihazıyla analizi yapılmıştır (Şekil 6). XRD karakterizasyon incelemelerinden elde edilen verilere göre, çalışmada kullanılan AISI 410S ferritik paslanmaz çelik ana malzeme ve kaynaklı birleştirmelerde ferrit (α), ve martenzit (α') fazlarının varlığı dışında herhangi bir faz oluşumu tanımlanmamıştır. AISI 410S ferritik paslanmaz çelik ana malzemeye ait pikler ile farklı parametrelerle birleştirilmiş numuneler ile ısıl işlemlenmiş kaynaklı numunelerin pikleri karşılaştırıldığında, kaynaklı numune piklerinin daha keskin ve sık olduğu, ayrıca pik şiddetlerinde artışların meydana geldiği gözlenmiştir. Krom karbür, nitrür gibi çökelti oluşumları XRD vasıtasıyla tespit edilmemiştir.

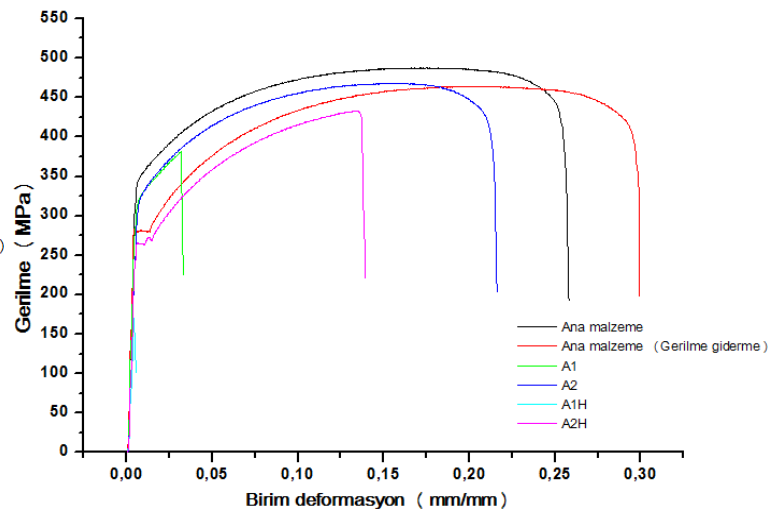


Şekil 6. XRD analizi.

3.3. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

3.3.1. Çekme deneyi

Isıl işlem uygulanan ve ısıl işlem uygulanmayan ana malzeme ve lazer kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi uygulanmış ve çekme testi sonucunda ortalama çekme dayanımı, akma dayanımı ve % uzama miktarları Tablo 3.'de verilmiş olup, gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri ise Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Çekme deneyi sonuçları.

Tablo 3. Çekme deneyi sonuçları.

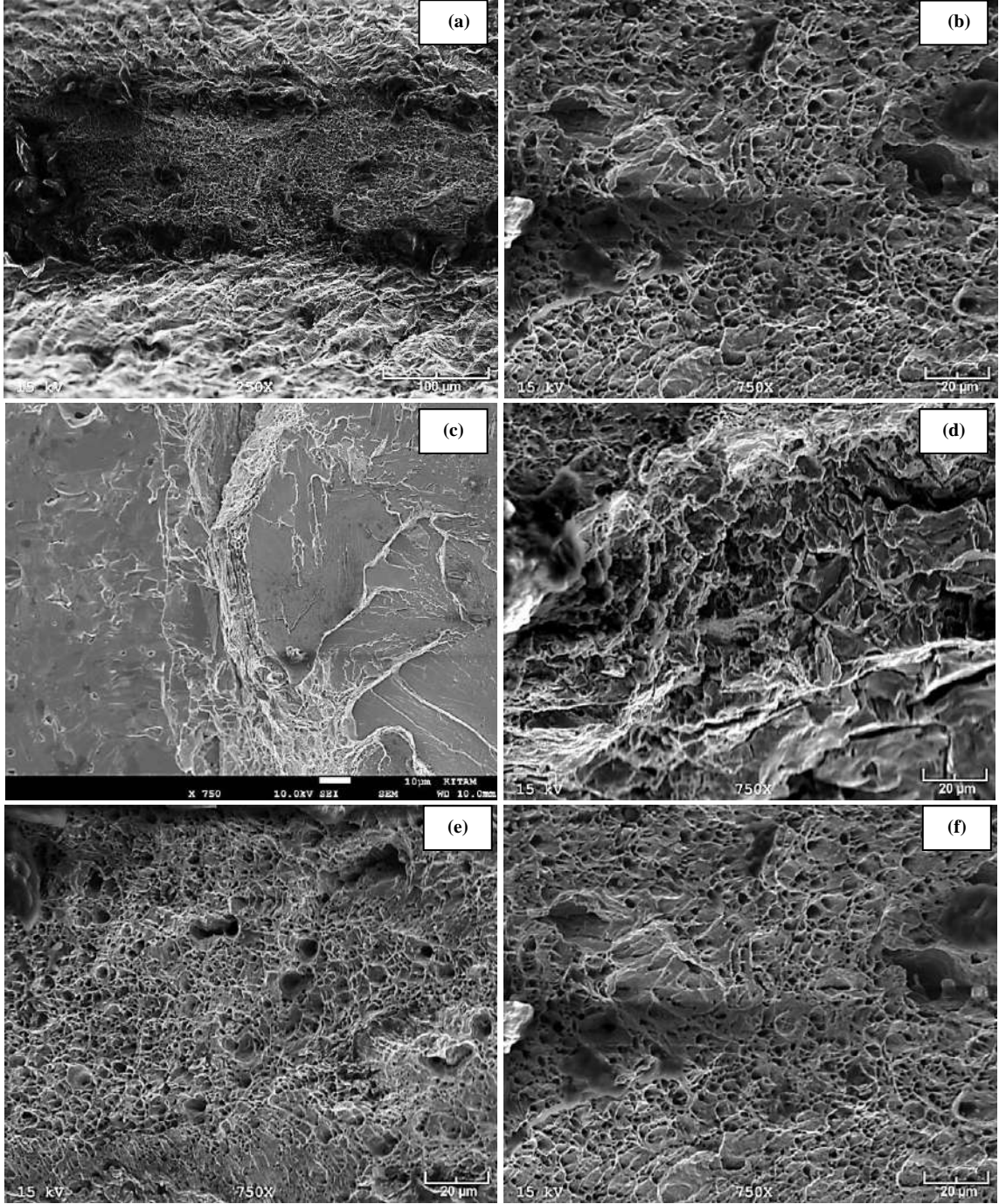
Numune	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Uzama (%)
A (Ana malzeme-Isıl işlemsiz)	490	349	26,5
AH (Ana malzeme-Gerilme giderme)	463	290	30
A1	370	275	3
A2	465	334	21,7
A1H	160	50	1,7
A2H	435	250	12

Isıl işlemsiz lazer kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları incelendiğinde (Şekil 7 ve Tablo 3), ana malzemenin çekme dayanımı, akma dayanımı ve yüzde uzama değerleri, farklı ısı girdisiyle birleştirilen lazer kaynaklı numunelerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerinin ana malzemeye kıyasla daha düşük çıkmasının ana nedeni olarak kaynak işlemiyle birlikte kaynak dikişinde meydana gelen mikroyapısal dönüşümler sayılabilir. Kaynak bölgesine iletilen ısı girdisi sonucunda, tane boyutlarında meydana gelen irileşmeler çekme ve akma dayanımında düşüşe neden olduğu düşünülmektedir. Düşük ısı girdisiyle birleştirilen A1 numunesinin çekme dayanımı, yüksek ısı girdisiyle birleştirilen A2 numunesinin çekme dayanımından düşük bulunmuştur. Bu sonucun alınmasına yetersiz nüfuziyetli birleştirmenin gerçekleşmesi ana neden olarak görülmektedir. Aslında, düşük ısı girdisiyle birleştirme nedeniyle ITAB ve kaynak metalinin ince tanelerden oluşum göstermesi sebebiyle yüksek çekme dayanımı elde edilmesi beklenirdi. Aynı zamanda A1 numunesinin mikroyapı görüntülerinde de anlaşılacağı üzere, kaynak mikroyapısında meydana gelen küçük hacimli martenzit ve küçük boyutlardaki çökeltiler çekme dayanımının artışında önemli rol oynaması beklenebilirdi. Bazı araştırmacılar ise, ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapıları ergime noktasından oda sıcaklığına kadar özünde tamamen ferritik olacağını [3,14] ve sonuç olarak, mikroyapılarında oluşabilecek küçük miktarlardaki martenzit oluşumları ya da küçük miktardaki östenitin martenzite dönüşümü, dayanım artışı üzerinde esasen önemli etkisi bulunmadığını vurgulamaktadır [3]. Özellikle karbon ve azotun varlığıyla birlikte, katı-eriyik sertleşmesiyle dayanımda bir miktar artış yaşanabileceğine dikkat çekilmektedir [3]. Ergitmeli kaynak yöntemleriyle gerçekleştirilen birleştirmelerde farklı enerji seviyeleri kaynak bölgesine iletilindiğinde tane irileşmesiyle birlikte sert ve gevrek faz olan martenzit oluştuğu, özellikle tokluk değerlerinde düşüş meydana geleceği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir [10]. Sonuçlardan, ana malzemenin ortalama çekme dayanımı 490 MPa olarak belirlenmiştir. Düşük ısı girdisiyle birleştirilen A1 numunesinde yetersiz nüfuziyet oluşması nedeniyle düşük sayılabilecek mekanik dayanım elde edilmiştir. A1 numunesinin ortalama çekme dayanımı 370 MPa olarak belirlenmiştir. Yüksek ısı girdisiyle birleştirilen ve tam nüfuziyet elde edilen A2 numunesinin ortalama çekme dayanımı 465 MPa olarak belirlenmiştir. Yüzde uzama değerleri incelendiğinde ise, kaynaklı birleştirmelerin sünekliğinin ana malzemedan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En yüksek çekme dayanımı elde edilen A2 numunesinin uzama değeri %21,7, ana malzemenin uzama değeri ise %26,5 olarak belirlenmiştir.

Kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işlemi uygulanan lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyi sonuçları incelendiğinde ise, ana malzemenin çekme dayanımı farklı lazer kaynak

parametreleriyle birleştirilen numunelerin çekme dayanımından yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ana malzemenin (AH numunesi) ortalama çekme dayanımı 463 MPa olarak tespit edilmiştir. Düşük ısı girdisiyle birleştirilen ve yetersiz nüfuziyet gözlenen A1H numunesinin ortalama çekme dayanımı 160 MPa olarak belirlenmiştir. Yüksek ısı girdisiyle birleştirilen ve tam nüfuziyet elde edilen A2H numunesinin ortalama çekme dayanımı 435 MPa olarak belirlenmiştir. Sonuçlardan, ısıl işlemlenmiş numunelerin çekme dayanımlarının ısıl işlemsiz numunelere göre biraz daha düşük olduğu sonuçlardan tespit edilmiştir. Kaynak sonrası fırın içerisinde 770°C'de 60 dakika tutma ile birlikte kaynak mikroyapısının yumuşaması ve mikroyapıda meydana gelen dönüşümler nedeniyle bu sonucun alındığı düşünülmektedir. Dikkati çeken sonuçlar arasında, kaynak sonrası ısıl işlem uygulaması sonrasında A1 numunesinde meydana gelen dayanım düşüşünün yaşanması sonucu olmuştur. Isıl işlem öncesi 370 MPa çekme dayanımı elde edilen A1 numunesinde, kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işlemi sonrası 160 MPa ortalama çekme dayanımı değeri elde edilmiştir. A1H numunesinde meydana gelen dayanım düşüşü ana nedenleri olarak ITAB veya kaynak metalinde meydana gelen çok küçük boyutlarda ikincil faz çökeltileri veya ısıl işlem sıcaklığı ve bu sıcaklıkta tutma süresi, lokal tane irileşmeleri olabileceği gibi soğutma ortamının da etkisinin olabileceği düşünülmektedir. Isıl işlemlenmiş ve ısıl işlemsiz ana malzeme ve lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyi sonrasında elde edilen sonuçları birbirleriyle kıyaslandığında ise, deneysel çalışmalarda tercih edilen ısıl işlem sıcaklığı ve süresi literatüre göre belirlenmesine karşın kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işlemi uygulanan numunelerin ısıl işlemsiz birleştirmelere göre daha düşük çekme dayanımı, akma dayanımı ve süneklik özellikleri sergilediği belirlenmiştir. Bu sonuçlardan tespit edildiği gibi, AISI 410S ferritik paslanmaz çeliklere kaynak sonrası uygulanan ısıl işlemler özellikle çekme dayanımında düşüşe neden olmuştur.

Isıl işlemsiz ve ısıl işlemlenmiş ana malzeme ve lazer kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonrası kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 8), yüzey morfolojisinden anlaşılacağı üzere ana malzemede ve lazer kaynaklı numunelerde sünek kırılma biçimini ifade eden lokal çukurcuk yüzey morfolojisiyle birlikte klivaj kırılmanın gerçekleştiği, kırılmanın tanelerarası meydana geldiği gözlenmiştir. Çekme deneyi sonucunda düşük mekanik dayanım gösteren A1 ve A1H numunelerinin ise ağırlıklı olarak klivaj kırılma modunda kırılmanın gerçekleşmesi ile birlikte lokal olarak sünek kırılma biçimini işaret eden çukurcuk şeklinde yüzey morfolojisinin oluştuğu tespit edilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin kırılma yüzeyi görüntülerinde herhangi bir inklüzyon oluşumu gözlenmemiştir. A2 ve A2H numunelerinin çekme deneyi sonrası makro görüntüleri ise Şekil 9'da gösterilmiştir



Şekil 8. Isıl işlemsiz ve ısıl işlemlı ana malzemeler ve lazer kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonrası kırılma yüzeyi SEM görüntüleri; (a) Ana malzeme (b) AH (Isıl işlemlı ana malzeme), (c) A1, (d) A1H, (e) A2, (f) A2H.

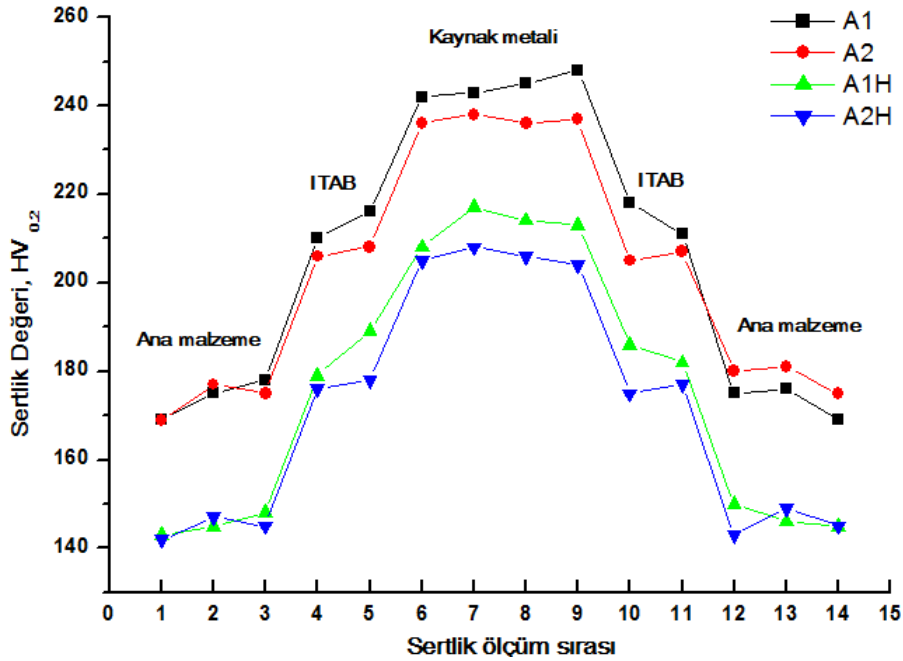


Şekil 9. A2 ve A2H numunelerinin çekme deneyi sonrası görüntüleri.

3.3.2. Mikrosertlik

Lazer kaynağı geleneksel kaynak yöntemlerine göre yüksek güç yoğunluğuna sahip olması nedeniyle düşük ısı girdisi ve hızlı katılaşma oluşturarak ince taneli bir mikroyapı elde edilmesini sağlamakta ve böylelikle kaynaklı birleştirmelerde yüksek sertlik değerleri elde edilmektedir. Kaynaklı birleştirmelerdeki sertlik dağılımı esasen mikroyapı ile doğrudan ilişkilidir, özellikle ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısında martenzit oluşumu, ITAB ve kaynak metalinin sertlik artışındaki önemli faktörlerdendir, ısı girdisi ise mikrosertlik değişiminde en önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Küçük hacimli nitrür veya karbür oluşumları da sertlik değişimleri üzerinde

etkili olabilmektedir. Farklı lazer kaynak parametreleriyle diğer bir deyişle farklı ısı girdisi ile birleştirilen numunelerin ortalama sertlik değerleri incelendiğinde (Şekil 10), kaynak metali ve ITAB sertliğinin ana metalden daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir. Düşük ısı girdisiyle birleştirilen A1 numunesinin sertlik değeri yüksek ısı girdisiyle birleştirilen A2 numunesinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca, düşük ısı girdisiyle birleştirme sonucunda meydana gelen daha ince taneli mikroyapının etkili olduğu düşünülmektedir. Yüksek ısı girdisiyle birleştirilen numunede ise kaynak mikroyapısında tane irileşmesi meydana gelmesi sertlik düşüşün ana nedeni olarak görülmektedir.



Şekil 10. Lazer kaynaklı birleştirmelerin sertlik dağılımları.

Kaynak sonrası gerilme giderme ısıl işlemi uygulanan lazer kaynaklı birleştirmelerin sertlik dağılımları incelendiğinde ise, kaynak metali ve ITAB sertliğinin ana metalden daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Düşük ısı girdisiyle birleştirilen A1H numunesinin sertlik değerinin yüksek ısı girdisiyle birleştirilen A2H numunesinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Isıl işlemsiz ve kaynak sonrası gerilme giderme uygulanan lazer kaynaklı birleştirmelerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında ise, kaynak sonrası uygulanan gerilme ısıl işlemi sebebiyle ana metal, ITAB ve kaynak metali bölgelerinde belirgin sertlik düşüşleri meydana geldiği tespit edilmiştir. Isıl işlem ile birlikte meydana gelen mikroyapısal dönüşümler ve kaynak mikroyapısında bulunan küçük hacimli martenzitin temperlenmesinin de sertlik düşüşüne neden olabileceği gözardı edilmemelidir.

4. Sonuçlar

1. Düşük ısı girdisiyle birleştirilen A1 numunesinin mikroyapısı neredeyse tamamen ferrit tanelerinden meydana

geldiği ve tane sınırlarında küçük hacimli martenzit tane oluştuğu, yüksek ısı girdisiyle birleştirilen A2 numunesinin tane yapısının daha iri taneli ve sütunsal bir mikroyapıdan oluşum gösterdiği gözlenmiştir. Mikroyapıda herhangi bir gözenek, gevrek çatılma veya krom karbür oluşumu gözlenmemiştir. Yüksek ısı girdisiyle birleştirilen ve ısıl işlem uygulanan A2H numunesinin kaynak metaline ait SEM-EDS analizinde önemli bir element kaybı yaşanmadığı belirlenmiştir. XRD analizleri sonucunda ise krom karbür veya nitrür oluşumları tespit edilmemiştir.

2. Düşük ısı girdisiyle birleştirilen A1 numunesinin çekme ve akma dayanımı, yüksek ısı girdisiyle birleştirilen A2 numunesinden daha düşük bulunmuştur. Kaynaklı birleştirmelerin sünekliği ise ana malzemeden daha düşük bulunmuştur. Kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işlemi uygulanan A2H numunesinin çekme ve akma dayanımı düşük ısı girdisiyle birleştirilen A1H numunesinin çekme dayanımından yüksek bulunmuştur. Kaynak sonrası uygulanan ısıl işlem tane irileşmesine neden olmasına bağlı olarak kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Isı girdisinin azalmasına bağlı olarak sertlik

değerlerinin artış gösterdiği ve kaynak sonrası uygulanan ısı işlem ile sertlikte belirgin düşüş yaşandığı tespit edilmiştir.

3. Çekme deneyi sonrası kırılma yüzeylerine ait yüzey morfolojisi görüntülerinden, ana malzemede ve lazer kaynaklı numunelerde sünek kırılma biçimini ifade eden lokal çukurcuk yüzey morfolojisiyle birlikte klivaj kırılmanın gerçekleştiği, kırılmanın tanelerarası meydana geldiği gözlenmiştir. Çekme deneyi sonucunda düşük mekanik dayanım gösteren A1 ve A1H numunelerinin ise ağırlıklı olarak klivaj kırılma modunda kırılmanın gerçekleşmesi ile birlikte lokal olarak sünek kırılma biçimini işaret eden çukurcuk şeklinde yüzey morfolojisinin oluştuğu tespit edilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin kırılma yüzeyi görüntülerinde herhangi bir inklüzyon oluşumu gözlenmemiştir.

Teşekkür

Yazarlar, malzeme temini ve lazer kaynak prosesi desteklerinden dolayı SILVERLINE Firmasına teşekkür etmektedir.

Kaynakça

- [1] Topal, C. (2019) Robotik lazer kaynak ve plazma ark kaynak yöntemleri ile birleştirilen AISI 410S ferritik paslanmaz çeliğin mekanik, mikroyapı ve kaynak sonrası ısı işlem özelliklerinin incelenmesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- [2] Taban, E., Dhooge, A. ve Kaluç, E. (2009). Plasma arc welding of modified 12%Cr stainless steel. *Materials and Manufacturing Processes*, 24, 649-656.
- [3] Lippold J C ve Kotecki DJ 2005 *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. New York: A John Wiley & Sons.
- [4] Li, M., Shengsun, H., Bao, H., Junqi, S., and Yonghui, W. (2014) Activating flux design for laser welding of ferritic stainless steel. *Transactions of Tianjin University*, 20, 429-434.
- [5] Taban, E., Deleu, E., Dhooge, A. ve Kaluç, E. (2009). Laser welding of modified 12% Cr stainless steel: Strength, fatigue, toughness, microstructure and corrosion properties. *Materials and Design*, 30, 1193-1200.
- [6] Amuda, M. O. H. ve Mridha, S. (2011). An overview of sensitization dynamics in ferritic stainless steel welds. *International Corrosion Science*, Article ID 305793, 1-9.
- [7] Köse, C. (2016). Weldability of 5754 aluminum alloy using a pulsed Nd:YAG micro scale laser. *Materials Testing*, 58, 963-969.
- [8] Köse, C., ve Karaca, E. (2017). Robotic Nd:YAG fiber laser welding of Ti-6Al-4V alloy. *Metals*, 221.
- [9] Köse, C., ve Karaca, E. (2018). Effect of pre and post weld heat treatments on the microstructure and mechanical properties of fiber optic beam delivery system ssisted robotic Nd: YAG laser welded Ti-6Al-4V alloy. *Archives and Metallurgy and Materials*, 63, 1225-1233.
- [10] Caetano, G. Q., Silva, C. C., Motta, F. M., Miranda, H .C., Farias, J. P., Bergmann, L.A., ve Dos Santos, J.F. (2018). Influence of rotation speed and axial force on the friction stir welding of AISI 410S ferritic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 262, 430-436.
- [11] Gordon, W. ve van Bennekom, A. (1996). Review of stabilisation of ferritic stainless steels. *Materials Science and Technology*, 12, 126-131.
- [12] Kou, S. (2003). *Welding Metallurgy*. Hoboken: Second Editon A John Wiley & Sons INC. Publication.
- [13] Kah, D. H. ve Dickinson, D. W. (1981). Weldability of ferritic stainless steels. *Welding Journal*, August, 135-142.
- [14] Pekkarinen, J. ve Kujanp, V. (2010). The effects of laser welding parameters on the microstructure of ferritic and duplex stainless steels welds. *Physics Procedia*, 5, 517-523.



Termal Uydu Görüntülerinden Üretilen Yer Yüzeyi Sıcaklığı ile Hava Sıcaklığı İlişkisinin Değerlendirilmesi

Murat Türkyilmaz¹, Emre Özelkan^{1,2}, Muhittin Karaman³

^{1*}Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doğal Afetlerin Risk Yönetimi Anabilim Dalı, 17020 Çanakkale / Türkiye (ORCID: 0000-0002-3545-3988), muratrkylmz@gmail.com

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 17020, Çanakkale/ Türkiye (ORCID: 0000-0002-2031-1610), emreozelkan@comu.edu.tr

³İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul/Türkiye (ORCID: 0000-0002-8971-010X), m.karaman@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 30 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.799722)

ATIF/REFERENCE: Türkyilmaz, M., Özelkan, E., & Karaman, M. (2020). Termal Uydu Görüntülerinden Üretilen Yer Yüzeyi Sıcaklığı ile Hava Sıcaklığı İlişkisinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 932-948.

Öz

Yer Yüzeyi Sıcaklığı (YYS) yerelden küresel yeryüzündeki arazi örtüsü ve kullanımı değişimlerinin incelenmesinde anahtar parametrelerden biridir. Uzaktan algılama yöntemleri ile termal uydu görüntülerinden üretilen YYS değerlerinin, meteoroloji istasyonlarında ölçülen hava sıcaklığı verileri ile ilişkilendirilmesi ve doğruluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada farklı yöntemlerle Landsat uydusunun termal verilerinden elde edilen YYS değerlerinin, hava sıcaklığını ne kadar temsil ettiği incelenmiştir. İnceleme alanı olarak Çanakkale İli tercih edilmiştir. Çalışmada, Çanakkale ilinin 1984 ile 2019 yılları arasındaki (2002, 2006, 2012, 2017 yılları haricinde) her Temmuz ayında temin edilen 66 adet Landsat uydu görüntüsünün termal verileri kullanılarak çok zamanlı YYS değişimi incelenmiştir. YYS değerleri, atmosferik su buharı içeriği ve hava sıcaklığı gibi girdi parametrelerine ihtiyaç duymadan çalışan yöntemlerden Artis & Carnahan Denklemi ve tek kanal yöntemlerinden Radyatif Transfer Denklemi, Tek kanal Denklemi, Tek Pencere Denklemi ile hesaplanmıştır. Denklemlerin YYS değerlerinin hesaplanması için Landsat uydularının termal verileri, Landsat uydu görüntüleri ile eş zamanlı hava sıcaklık değerleri, Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Fark İndisi (NDVI) ve atmosferik etkenler (yükselen ışınım, alçalan ışınım ve atmosferik geçirgenlik) kullanılmıştır. Hesaplanan YYS değerleri 12 farklı meteoroloji istasyonundan temin edilen eş zamanlı saatlik yersel veriler ile kıyaslanmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen uygulama üç adımda sıralanabilir; 1) YYS değerlerinin Artis & Carnahan, Tek Kanal, Tek Pencere, Radyatif Işıma Denklemleri ile hesaplanması, 2) Oluşturulan YYS değerlerinin doğruluğunu belirlemek için meteoroloji istasyonlarından alınan Landsat uydu görüntüleri ile eş zamanlı hava sıcaklık verileri ile karşılaştırılması ve en başarılı yöntemin regresyon - korelasyon analizi ve kök ortalama karesel hata (RMSE) ile belirlenmesi, ve 3) Arazi örtüsü ve kullanımı ve yapısı ile YYS ilişkisinin incelenmesi. Regresyon - korelasyon değerlerine göre tüm yöntemler birbirine çok yakın çıkmış ve başarı sıralaması Tek Kanal, Tek Pencere, Radyatif Transfer ve Artis & Carnahan şeklindedir. RMSE değerleri yöntemlerin başarı sıralamasının tespitinde daha belirleyicidir. RMSEmin ve RMSEort değerlerine göre yöntemlerin başarı sıralaması ise Artis & Carnahan, Tek Pencere, Tek Kanal, Radyatif Transfer Denklemi şeklindedir. YYS değerleri ormanlık alanlar, park alanları ve yeşil alanlarda en düşük değerlere ulaşırken, en yüksek değerlere betonarme ve asfalt yapıların yoğun olduğu kentsel alanlarda ve boş arazilerde ulaşılmıştır. NDVI, YYS ile negatif bir korelasyona sahiptir. Elde edilen bulgular termal görüntülerden üretilen YYS verisinin arazi örtüsünün ve arazi kullanımının yorumlanmasında önemli bir kaynak olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Algılama, Yer Yüzey Sıcaklığı, Hava Sıcaklığı, Çanakkale, Landsat.

Evaluation of the Relationship between Land Surface Temperature Derived from Thermal Satellite Images and Air Temperature

Abstract

Land Surface Temperature (LST) is one of the key parameters in the analysis of land cover and use changes on the earth from local to global. It is necessary to correlate the LST values produced by remote sensing methods from thermal satellite images with the air temperature data measured at meteorology gauging stations and to determine their accuracy. In this study, to what extent the LST values obtained from the thermal data of the Landsat satellite with different methods represent the air temperature, was examined. Çanakkale Province was chosen as the research area. In the study, multi-temporal LST change was examined using the thermal data of 66 Landsat satellite images obtained in every July between 1984 and 2019 (except for 2002, 2006, 2012, 2017) in Çanakkale

Province. LST values are calculated using Artis & Carnahan Equation that works without the need for input parameters such as atmospheric water vapor content and air temperature, and single methods Radiative Transfer Equation, Single Channel Equation, Single Window Equation, which are methods that work without the need for input parameters such as atmospheric water vapor content and air temperature. Thermal data of Landsat satellite, simultaneous air temperature values with Landsat satellite images, Normalized Vegetation Difference Index (NDVI) and atmospheric factors (upwelling atmospheric radiance, downwelling atmospheric radiance, total atmospheric transmissivity) were used to calculate the LST values. The LST values in the study were compared with the simultaneous hourly data obtained from 12 different local meteorology stations. The application performed in the study can be listed in three steps; 1) Calculation of LST values with Artis & Carnahan, Single Channel, Single Window, and Radiative Radiation Equations, and 2) Comparison of air temperature data of local meteorology stations, which is simultaneous to Landsat acquisition time to determine the accuracy of the generated LST values, and determination of the most successful method by regression-correlation analysis and root mean square error (RMSE), and 3) Examining the relationship between land use/cover and LST. According to the regression-correlation values, all methods are very close to each other and the success order is as Single Channel, Single Window, Radiative Transfer and Artis & Carnahan. RMSE values are more determinant in determining the success ranking of the methods. According to RMSEmin and RMSEort values, the success order of the methods is Artis & Carnahan, Single Window, Single Channel, and Radiative Transfer Equation. LST values reached the lowest values in forestlands, park areas and green areas, while the highest values reached in urban areas which have high dense of reinforced concrete and asphalt structures and empty lands. NDVI has a negative correlation with LST. The findings obtained show that LST data produced from thermal images is an important source in the interpretation of land cover and land use.

Keywords: Remote sensing, Land Surface Temperature, Air Temperature, Çanakkale, Landsat.

1. Giriş

Dünya nüfusu hızla artmakta ve doğal kaynaklar da hızla tüketilmekte ve tahrip olmaktadır (Yaylı, H., 2012). Sadece ülkemizde 1927 yılında 13,5 milyon olan nüfus 2019 yılında 83 milyona ulaşmış ve 2030 yılı senaryolarına göre ise 93 milyon olması beklenmektedir (Aydın ve Çiftçi, 2015; URL 1). Bu artışa bağlı olarak yaşadığımız yeryüzünün arazi örtüsünde ve kullanımında büyük değişimler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler düzensiz kentleşme, doğal kaynakların tahribatı ve yok olması şeklinde özetlenebilir. Çanakkale'nin merkez ilçesi için yapılan bir çalışmada 12 yıllık süreç içerisinde tarım alanlarının %26.94'lük kısmının yerini kent alanlarına bıraktığı görülmektedir. (Özelkan ve ark., 2018). Arazi örtüsü ve kullanımındaki değişimler şekilsel olduğu kadar araziden yayılan ısı bakımından da farklılıklara ve anomalilere neden olabilmektedir. Çünkü yeryüzünde bulunan tüm cisimler güneş ışığını farklı oranlarda soğurur ya da yansıtmaktadır (Ayvacı ve ark., 2018). Arazide meydana gelen değişimlerin tümü yüzey albedosunu, emisyonunu ve evatranspirasyonunu değiştirmektedir (Oke, 2002). İdeal atmosfer koşullarında (açık gökyüzü ve hafif rüzgâr) arazi örtüsünde oluşan tahribat ve betonlaşmadan kaynaklı olarak, kent ile kırsal alanlar arasında 5 °C ile 10 °C'yi aşan sıcaklık farklılıkları görülmüştür. (Lac ve ark, 2013).

Uzaktan algılama arazi örtüsü ve kullanımındaki mevcut durumu ve değişimleri belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir araçtır (Kavzaoğlu ve Çölkesen, 2011). Uydudan uzaktan algılama, yer yüzeyi sıcaklığı (YYS) değerlerinin ve değişimlerinin belirlenmesinde ve etkilerinin araştırılmasında başarıyla kullanılmaktadır (Yomralıoğlu, 2000; Arca, 2012; Liu ve ark., 2014). YYS, arazi örtüsü ve kullanımına göre farklılık gösterir ve arazide meydana gelen değişimlerin belirlenmesinde sıklıkla kullanılır (Bayar ve Karabacak, 2017). Kent ısı adası (Yüksel ve Yılmaz, 2008), iklim (Özelkan ve ark., 2015), tarım (Özelkan, 2014), kuraklık (Özelkan ve ark, 2011a), ormancılık (Özelkan ve ark., 2011b), denizcilik (Durna, 2014) ve daha pek çok çalışmada YYS verileri önemli ve etkin bir veri kaynağıdır. YYS çalışmaları uydu görüntülerinin termal bantları kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Weng, 2009; Hamdi, 2010; Liu ve Zhang., 2011; Zhou ve ark., 2011).

YYS değerinin başarılı bir şekilde hesaplanabilmesi için atmosferik etkilerin değerlerine, sensör parametrelerine, yer yüzeyi yayıncılığı gibi YYS hesaplanmasında yardımcı olacak verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Şekertekin ve Bonafani, 2020). YYS hesaplanmasında Tek kanal, Çok açılı, Çok kanal, Bölünmüş Pencere yöntemleri kullanılmaktadır (Şekertekin ve ark., 2015). Tek kanal yöntemi, atmosferden yayılan yeryüzündeki ışınım değişimi iki farklı kanalda algılanan veriler ile doğru orantılıdır. Bu sayede atmosferik etki ve yüzey ışınım değerlerine ulaşılabilmektedir (Çelik, B, 2013). Atmosferik sıcaklık, nem, su buharı ve termal uydu görüntüsünden elde edilen parlaklık sıcaklık değerleri kullanılmaktadır (Price, 1981; Chedin ve ark., 1985). Çok açılı yönteminde farklı iki uydu kullanılır, bunlar kutup ve sabit yörüngeli uydulardır ve farklı iki uyduların eş zamanlı olarak aynı konumdan alınan veriler dâhilinde farklı bakış açısı ile cismin farklı yutulmuş değeri oluşturması temel alınmıştır (Becker, 1982; Goradetskii, 1985). Çok kanal yönteminde uydudaki iki farklı komşu termal bant temel alınarak cismin farklı yutulmuş değeri oluşturması temel alınarak oluşturulan yöntemdir (Ho ve ark, 1986). Bölünmüş pencere yönteminde ise çok açılı ve çok kanal yöntemlerinin birleştirilmesi sonucunda farklı değer sabitleri ile eşleştirilerek cismin farklı yutulmuş değeri oluşturmasından yola çıkılarak hesaplanan yöntemdir (Price, 1983; Becker, 1987). Uydudan uzaktan algılama ile geniş alanları görüntüleyebilen termal veri kaynakları ise Landsat (Dağlıyar ve ark., 2015), ASTER (Oğuz, H, 2015), MODIS (Şekertekin ve ark., 2018) ve NOAA (Şahin ve ark., 2011), gibi uydulardır. Yüksek mekânsal çözünürlüklü bir termal algılayıcıya sahip olması Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'ndan (USGS) ücretsiz temin edilebilmesi nedeniyle Landsat uydularına ait termal bantlar YYS elde edilmesinde en yaygın kullanılan veri kaynaklarından biridir. Bu doğrultuda Landsat 5 (Thematic Mapper) TM (Sobrino, J ve ark., 2004), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) (Mallik ve ark., 2008) ve Landsat-8 Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor OLI/TIRS (Rozenstein ve ark., 2014) ile sayısız YYS çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada Çanakkale ilinin 1984 ile 2019 yılları arasındaki her bir yıl için Temmuz ayında temin edilen 66 adet (2002, 2006, 2012, 2017 yılları haricinde) Landsat uydu görüntüsünün termal bantları kullanılarak YYS değişimi incelenmiştir. Bu çalışmada atmosferik su buharı içeriği ve hava sıcaklığı gibi girdi

parametrelerine ihtiyaç duymadan çalışan Artis & Carnahan Denklemi ve Tek kanal yöntemlerinden Radyatif Transfer Denklemi, Tek kanal Denklemi, Tek Pencere Denklemi olacak şekilde dört farklı yöntem ile YYS değeri hesaplanmıştır. Dört farklı yöntemle türetilmiş YYS değerleri, 10 farklı meteoroloji istasyonundan temin edilen uydu geçişi ile eş zamanlı saatlik meteorolojik veriler ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın aşamaları; 1) YYS değerlerinin farklı yöntemlerle hesaplanması, ve 2) Doğruluk analizi: YYS değerlerinin meteoroloji istasyonlarında uydu geçişi ile eş zamanlı ölçülmüş hava sıcaklığı verileri ile karşılaştırılması ve en başarılı yöntemin korelasyon – regresyon analizi ve kök ortalama karesel hata (RMSE) ile belirlenmesi, ve 3) Fiziki ve çevresel etkenler karşısında YYS değerlerindeki değişimin incelenmesidir. YYS değerini üretmede denklemlerin başarı durumları, arazi örtüsü olarak homojen alanlara sahip meteoroloji istasyonları üzerinde değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Çanakkale sınırları içinde Avrupa ile Asya'yı kapsayan alanda bulunmaktadır. İl sınırlarının iki kıta üzerinde dağılmış olması ve Çanakkale Boğazı nedeni ile jeopolitik olarak önemli bir alanı kapsamaktadır. İl sınırları 39° 30' - 40° 45' Kuzey enlemleri ve 27° 45' - 25° 35' Doğu boyları içinde yer alır. Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara Bölgesi'nin güneybatısında. Çanakkale'nin kuzeyinde Edirne ile Tekirdağ illeri, doğu ve güneydoğusunda Balıkesir ili bulunmaktadır. Güneydoğu ve güney kısımları yüksek rakımlı bölgeler olmak ile birlikte içerisinde Kaz dağlarının en yüksek rakımlı tepesi 1774 m rakıma sahip Karakaş tepesini barındırmaktadır (URL 2). Çanakkale ilinin iklimi bulunduğu konum nedeniyle Akdeniz ve Karadeniz iklimlerinin geçiş iklimi olarak tanımlanan bölgesel ılıman Marmara iklimidir (Sensoy ve ark., 2008; Koçman, 1993). Ortalama hava sıcaklığı değeri 14.3 °C olmakla birlikte yazları 24 °C'ye kadar çıkmaktadır. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre en sıcak ay Temmuz en soğuk ay Ocak iken en kurak ay 3.3 mm yağış ile Ağustos ve en yağışlı ise 105.3 mm ile Aralık ayıdır (URL 3). 1990 yıllarında 430 bin toplam nüfusun 168 bini kentte yaşamaktayken 2017 yılında 530 bin olan toplam nüfusun 378 bini kent ve ilçelerde yaşar hale gelmiştir (URL 4). Nüfus yoğunluğu il merkezinde yüksek olmakla birlikte sahil kesimlerinde önemli yerleşimler bulunmaktadır (Şekil 1).

2.1. Çalışma Alanı

2.1.1. Uzaktan Algılama Verileri

Bu çalışma kapsamında Çanakkale ilinin 1984 ile 2019 yılları arasındaki her bir yıl için Temmuz ayında algılanan 66 adet (2002, 2006, 2012, 2017 yılları haricinde) Landsat-5 TM ve Landsat-8 OLI/TIRS uydu görüntüsü kullanılmıştır. Görüntüler USGS'den temin edilmiştir (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

2.3. Metod

Bu çalışmada atmosferik su buharı içeriği ve hava sıcaklığı gibi girdi parametrelerine ihtiyaç duymadan çalışan Artis & Carnahan Denklemi ve tek kanal yöntemlerinden Radyatif Transfer Denklemi, Tek kanal Denklemi, Tek Pencere Denklemi olacak şekilde dört farklı yöntem ile YYS değeri hesaplanmıştır. YYS değerlerinin Landsat uydu görüntülerinden hesaplanması ArcGIS 10.5 Model Builder ile gerçekleştirilmiştir. Sekiz farklı

Landsat 5 TM uydu görüntüsünde 120 m mekânsal çözünürlüklü bir adet termal band ve 30 m mekânsal çözünürlüklü altı adet multispektral band olmak üzere 7 bandı bulunmaktadır. Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüsünün 100 m mekânsal çözünürlüklü 2 termal bandı, 30 m mekânsal 8 multispektral bandı ve 15 m mekânsal çözünürlüklü 1 adet pankromatik bandı olmak üzere 11 bandı bulunmaktadır. Çalışma alanı iki farklı Landsat rota/sıra görüntüsünü içerdiğinden her bir yıldaki 181/32 ve 181/33 rota/sıra görüntüleri mozaikleme ile birleştirilmiştir.

2.1.2. Meteorolojik Veriler

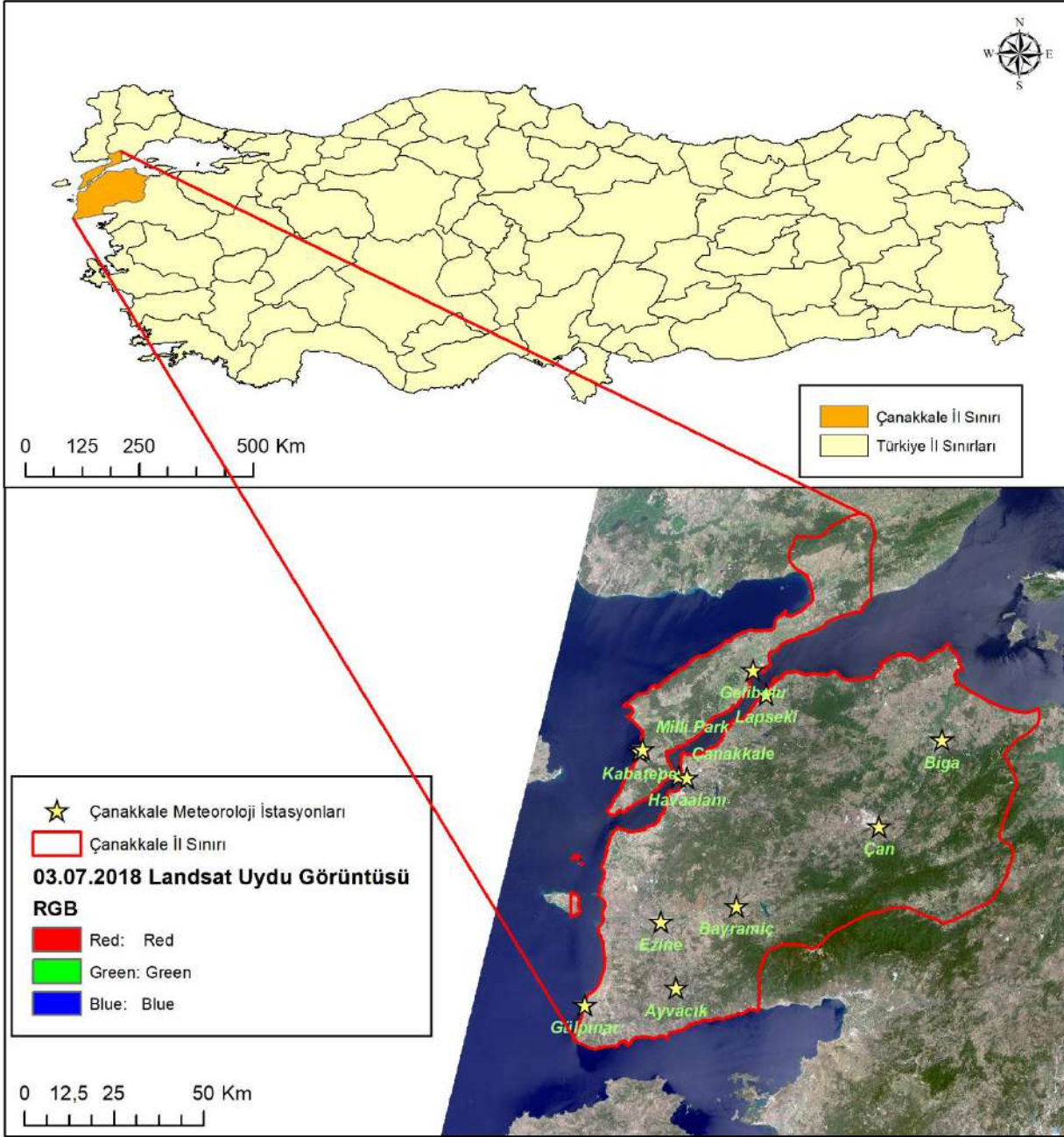
Çalışma kapsamında Çanakkale İli sınırları içerisinde bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait 12 meteoroloji istasyonunda temin edilmiş veriler kullanılmıştır. Bu istasyonlar Çanakkale Merkez Meteoroloji İstasyonu (40° 8'30.21"K, 26°24'1.58"D), Çanakkale Havaalanı Meteoroloji İstasyonu (40° 8'16.80"K, 26°25'35.76"D), Eceabat Kabatepe Meteoroloji İstasyonu (40°12'2.79"K, 26°16'17.50"D), Gelibolu Merkez Meteoroloji İstasyonu (40°24'29.16"K, 26°38'30.12"D), Gelibolu Milli Park Meteoroloji İstasyonu (40°12'29.86"K, 26°16'54.12"D), Bayramiç Meteoroloji İstasyonu (39°48'52.92"K, 26°35'26.16"D), Ayvacık Merkez Meteoroloji İstasyonu (39°36'29.16"K, 26°23'44.88"D), Ayvacık Gürpınar Meteoroloji İstasyonu (39°33'49.24"K, 26° 6'0.62"D), Lapseki Merkez Meteoroloji İstasyonu (40°20'23.98"K, 26°41'47.04"D), Çan Merkez Meteoroloji İstasyonu (40° 0'57.94"K, 27° 3'23.04"D), Biga Meteoroloji İstasyonu (40°13'59.28"K, 27°15'48.96"D), Ezine Meteoroloji İstasyonu (39°46'25.99"K, 26°20'44.16"D)'larıdır (Şekil 1). Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 2 m seviyesindeki hava sıcaklığı değerleri, kullanılan 12 meteoroloji istasyonlarının çalışma sürelerinin belirli zaman dilimlerinde olmasından dolayı çalışılan her yıl için temin edilememiştir. Meteoroloji istasyonları ve çalışma süreleri tablo 4'de gösterilmektedir. Ayrıca Meteoroloji Genel Müdürlüğünden 2 m hava sıcaklığı temin edilmesine rağmen bazı istasyonlarda (Biga, Çan, Ayvacık) bulut örtüsünden kaynaklı olarak her yıl için YYS verileri sağlanamamıştır. Uydu görüntüleri ile eş zamanlı 2 m seviyesinde ölçülen hava sıcaklığı değerleri, atmosferik etkenler (yükselen ışınım değeri, alçalan ışınım değeri, atmosferik geçirgenlik değerleri) temin edilmiştir. Atmosferik etkenler Atmosferik Parametre Hesaplayıcısı tarafından konum verileri ve uydu görüntüsü zamanı girdileri ile elde edilmiştir. Çanakkale bölgesindeki 12 istasyonun atmosferik etkenleri bulunmuş ve her sıra/rot için atmosferik etkenlerin ortalamaları alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu sıcaklık verileri ortalama atmosferik hava sıcaklığı değeri hesaplanmasında ardından Tek Pencere denklemi ile YYS elde edilmesinde kullanılmıştır. Atmosferik geçirgenlik, yükselen ışınım ve alçalan ışınım değerleri Radyatif Transfer Denklemi ve Tek Kanal Denklemi ile YYS değeri elde edilmesinde kullanılmıştır. YYS denklemleri ile hava sıcaklığı değerleri arasındaki ilişkinin incelenmesi için kullanılmıştır.

filtre boyutunun denendiği çalışmada, 5×5 boyutlu ortalama filtre uygulanmış YYS değerlerinin iklim verileri ile

İlişkilendirilmesinin daha uygun olduğu Özelkan ve ark. (2015) tarafından önerilmiştir. Bu nedenle, YYS değerleri hesaplandıktan sonra ArcMap üzerinden her bir görüntüye 5×5'lik ortalama filtre uygulanmıştır. Bu çalışmada YYS üretiminde takip edilen iş akışı diyagramı şekil 2'de verilmiştir. YYS değerleri meteoroloji genel müdürlüğünden eş zamanlı

alınan 2 m hava sıcaklığı değerleri ile karşılaştırılmış ve korelasyon – regresyon analizi ve RMSE değerleri ile doğrulukları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların arazi örtüsü

ve kullanımı ile ilişkisi multispektral ve NDVI görüntüleri ile yorumlanmıştır.

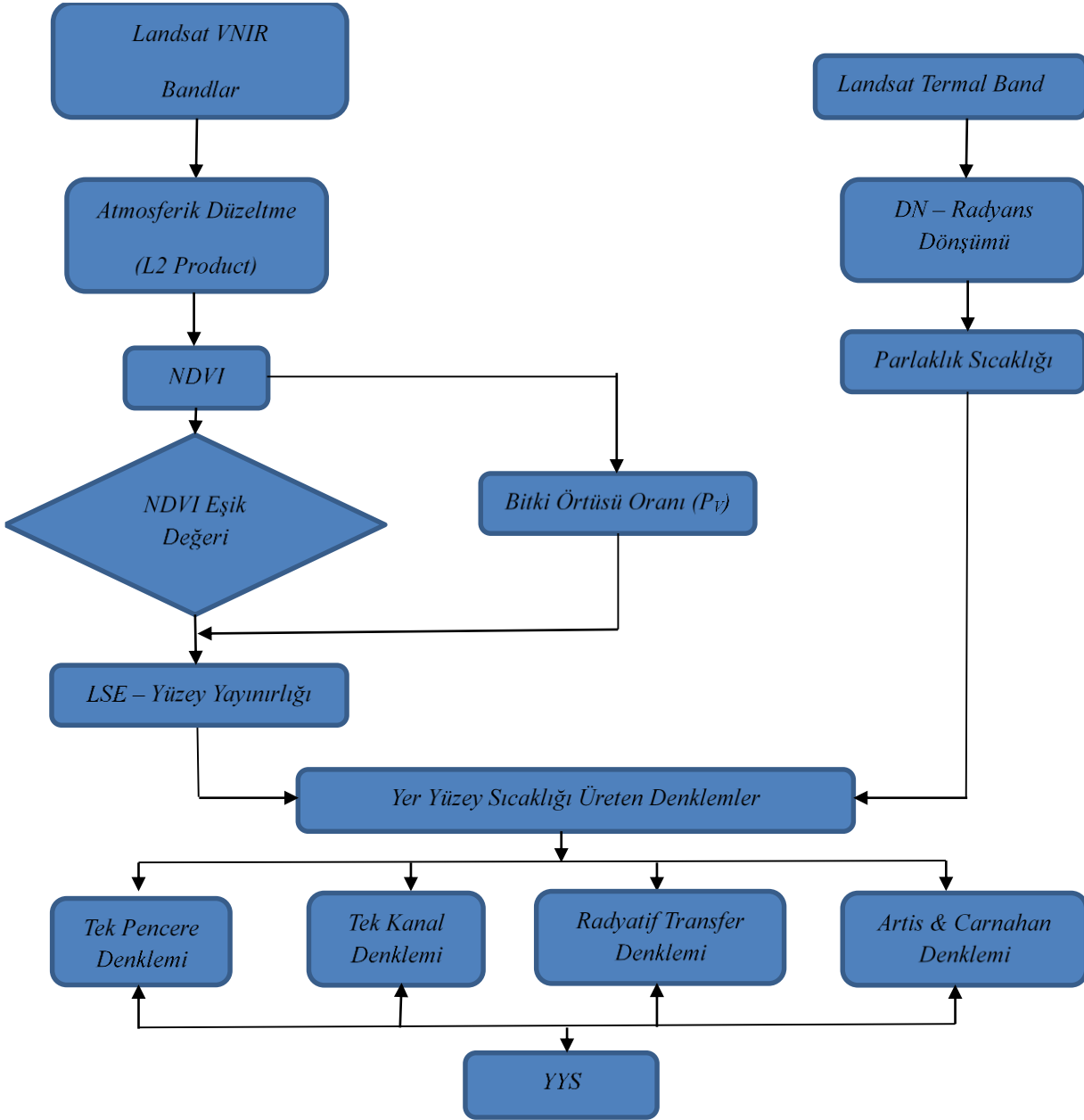


Şekil 1.Çanakkale Lokasyon Haritası (Türkiye Haritası Görüntüsü Google Earth Pro'dan elde edilmiştir.)

2.3.1. YYS verilerinin Hesaplanması

Landsat serisi uydu verilerinden YYS verilerini türetme adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

- 1) Sayısal verilerin (DNs) radyans değerine ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) dönüştürülmesi,
- 2) Radyans değerlerinin parlaklık sıcaklığı değerlerine dönüştürülmesi,
- 3) Normalize edilmiş fark bitki indisinin (NDVI) oluşturulması,
- 4) Bitki örtüsü oranının (P_v) belirlenmesi,
- 5) Yer yüzeyi yansırılığı değerinin (ϵ) hesaplanması,
- 6)Ortalama atmosferik hava sıcaklığının (T_a) hesaplanması,
- 7) YYS hesaplanması.



Şekil 2. Artis&Carnahan, Tek Pencere, Tek Kanal, Radyatif Transfer Denklemi yöntemleri ile YYS üretimine ait iş akış diyagramı

2.3.1.1. Sayısal Veri Değerinin (DNs) Radyans Değerine ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) Dönüştürülmesi

Landsat-8 OLI/TIRS uydusu verileri için (USGS, 2016);

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{CAL} + A_L \quad (1)$$

L_{λ} =Radyans değeri ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), M_L = Banda özel radyans çarpan ölçekleme faktörü, Q_{CAL} = incelenen pikselin sayısal değerini (DN), A_L = banda özel radyans katkı ölçekleme faktörü değerini ifade etmektedir.

Landsat-5 TM uydusu verileri için (Chander ve ark., 2009);

$$L_{\lambda} = \left[\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right] \times [Q_{CAL} - QCAL_{MIN}] + LMIN_{\lambda} \quad (2)$$

L_{λ} = Sensördaki spektral radyans ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), $LMAX_{\lambda}$ = $QCAL_{MAX}$ 'a göre ölçeklendirilen sensördeki spektral radyans ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), $LMIN_{\lambda}$ = $QCAL_{MIN}$ 'a göre ölçeklendirilen sensördeki spektral radyans ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), Q_{CAL} = Sayısal veri değeri, $QCAL_{MAX}$ = $LMAX_{\lambda}$ (DN)'ya karşılık gelen maksimum

nicelleştirilmiş kalibre edilmiş sayısal veri değeridir, $QCAL_{MIN}$ = $LMIN_{\lambda}$ (DN)'ya karşılık gelen minimum nicelleştirilmiş kalibre edilmiş sayısal veri değeridir.

2.3.1.2. Radyans Değerinin Parlaklık Sıcaklık (Brightness temperature) Değerine Dönüştürülmesi

Landsat-5 TM uydusu için 6. Landsat-8 OLI/TIRS uydusu için 10. bantlara dönüşüm denklemi uygulanmaktadır (USGS, 2016; Chander ve ark., 2009).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3)$$

T=Kelvin cinsinden parlaklık sıcaklığı (K), K_1 = Birinci Kalibrasyon Sabiti, K_2 =İkinci Kalibrasyon Sabiti,

$L\lambda$ =Sensördeki spektral radyansdır ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$). Kalibrasyon sabitlerine tablo 3'den erişilebilir.

2.3.1.3. Normalize Edilmiş Fark Bitki İndisi (NDVI)

Kırmızı ve yakın kızılötesi bantlarının yansıtım değerlerinden yararlanarak hesaplanan NDVI indeksi -1 ile +1 arasında değer alır (Rouse ve ark., 1973). Bitki örtüsü oranı (P_v) ve yüzey yayınlılığı (emissivity: ϵ) değerlerinin belirlenebilmesi için gerekli olan NDVI ile arazi örtüsü türleri, özellikle bitki örtüsü durumu belirlenir (Salih ve ark., 2018; Akyürek, 2020).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (4)$$

Denklemden NDVI; Normalize edilmiş bitki örtüsü indisi, ρ_{NIR} ; yakın kızılötesi bant yansıtımını ve ρ_{RED} ; kırmızı bant yansıtımını ifade etmektedir (4).

2.3.1.4. Bitki Örtüsü Oranının Belirlenmesi (Proportional vegetation: P_v)

Carlson ve Ripley (1997) tarafından geliştirilen bitki örtüsü oranı (P_v), yer yüzey yayınlılığı hesabı için gerekli bir parametredir. NDVI değeri ile birlikte NDVI maksimum ($NDVI_{max}$) ve NDVI minimum ($NDVI_{min}$) değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. $NDVI_{max}$ $NDVI_{min}$ histogram üzerinde elde edilen değerlerin yerine sırasıyla 0.5 ve 0.2 olarak alınabilmektedir (Sobrino ve ark., 2004). Denklem eşitliği (5) deki gibi gösterilmektedir.

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (5)$$

2.3.1.5. Yer Yüzeyi Yayınlılığı (LSE: Land Surface Emissivity(ϵ)) Hesabı

LSE, YYS değerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan bir parametredir. LSE, uzun dalga radyasyon spektrumunda bir yüzeyin ışınım ve soğurma yeteneğinin bir ölçüsüdür (Sobrino ve ark., 2008). LSE, büyük ölçüde inceleme alanının arazi örtüsünün özelliğine (bitki örtüsü, toprak türü ve pürüzlülük vb) bağlıdır (Stathopoulou ve Cartalis, 2007; Salih ve ark., 2018).

$0.2 \leq NDVI \leq 0.5$ ise;

$$\epsilon = \epsilon_v P_v + \epsilon_s (1 - P_v) + d\epsilon \quad (6)$$

Yukarıdaki eşitlikte ϵ_v bitki örtüsü için yer yüzeyi yayınlılığı değerini, ϵ_s toprak için yer yüzeyi yayınlılığı değerini ve $d\epsilon$ ise doğal yüzeylerin geometrisinden kaynaklanan etkileri göstermektedir. P_v ise bitki oranı ifade etmektedir.

$$\epsilon = m P_v + n \quad (7)$$

$$m = \epsilon_v - \epsilon_s - (1 - \epsilon_s) F_{ev} \quad (8)$$

$$n = \epsilon_s + (1 - \epsilon_s) F_{ev} \quad (9)$$

Bu veriler dahilinde yer yüzey yayınlılığı 0.2 ile 0.5 aralığında son formül olarak denklem (10) olarak ifade edilmektedir.

$$\epsilon = 0.004 P_v + 0.986 \quad (10)$$

Tablo 1. NDVI ile Yer yüzey yayınlılığı ilişkisi (Sobrino, 2008)

Numara	NDVI	Yer Yüzeyi Yayınlılığı (ϵ)
1	$NDVI < 0.2$	$0.979 - 0.035 \times p_{RED}$
2	$0.5 > NDVI > 0.2$	$0.004 \times P_v + 0.986$
3	$NDVI > 0.5$	0.99

2.3.1.6. Ortalama Atmosferik Sıcaklık Hesabı (T_a)

Ülkemiz coğrafi olarak orta enlem kuşağında yer almaktadır. Bu nedenle ortalama atmosferik sıcaklık değeri hesaplamasında orta enlem kuşağında ve YYS değerlendirmelerin hangi mevsimde olduğu dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır (Qin ve ark., 2001) (Tablo 2).

Tablo 2. Bölgelere göre Ortalama Atmosferik (T_a) Sıcaklık ilişkisi (Qin ve ark., 2001)

Bölge	Ortalama Atmosferik Sıcaklık (T_a)
USA (Amerika Birleşik Devletleri)	$25,9396 + 0,88045 \times T_0$
Tropikal	$17,9769 + 0,91715 \times T_0$
Orta-Meridyen Yaz	$16,0110 + 0,92621 \times T_0$
Orta-Meridyen Kış	$19,2704 + 0,91118 \times T_0$

2.3.1.7. Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS) Hesabı

YYS hesabı için geliştirilen farklı denklemlerin gerçek yer sıcaklığı değerini belirlemedeki başarımları dört farklı yöntem ile değerlendirilmiştir.

2.3.1.7.1. Tek Pencere (The Qin et al.'s mono-window algorithm) Denklemi ile YYS Hesabı

Tek pencere denklemi (11) Qin ve ark. (2001) tarafından Landsat TM termal verileri (TM6) için geliştirmişlerdir. Bu metoda ait üç ana parametre; yüzey yayınlılığı (land surface emissivity), atmosferik geçirgenlik (atmospheric transmittance) ve ortalama atmosferik sıcaklık (mean atmospheric temperature) değeridir.

$$T_s = \frac{\{a(1-C-D) + [b(1-C-D) + C + D]T - D.T_a\}}{c} \quad (11)$$

Tek pencere denkleminde a ve b denklem sabiti olup sırasıyla -67,355351 ve 0,458606'ye eşittir. C ve D parametreleri (12), (13) ise yer yüzeyi yayınlılığı (land surface emissivity: ϵ) ve atmosferik geçirgenlik (atmospheric transmittance: τ) değerlerinden türetilen bileşenlerdir. Formülde T_s ; Kelvin (K) cinsinden yer yüzey sıcaklığını, T; Kelvin (K) cinsinden parlaklık sıcaklık değerini, T_a (14); ortalama atmosferik sıcaklık değerini temsil etmektedir. Çalışmada orta-meridyen yaz bölgesi ele alınmıştır (Tablo 2).

$$C = \epsilon \times \tau \quad (12)$$

$$D = (1 - \tau)[1 + (1 - \epsilon) \times \tau] \quad (13)$$

$$T_a = 16.0110 + 0.92621 \times T_0 \quad (14)$$

Burada T_0 :Yüzeğe yakın hava sıcaklığı)

2.3.1.7.2. Tek Pencere (The Qin et al.'s mono-window algorithm) Denklemi ile YYS Hesabı

Jiménez-Muñoz ve Sobrino (2003) tarafından tek bir termal kanalın kullanılarak YYS değerinin türetilbildiği tek kanal denklemini geliştirmiştir.

$$T_{-S} = \gamma[(\psi_1 \times L_{sen}) + \psi_2]/\varepsilon + \psi_3 + \delta \quad (15)$$

Bu denklemde T_s ; yer yüzey sıcaklığı değerini (K), L_{sen} ; algılayıcıdaki ışınım ($Wm^{-2} sr^{-1}\mu m^{-1}$) değeri, ψ_1, ψ_2, ψ_3 atmosferik fonksiyonlar, γ, δ iki parametredir (Şekertekin ve Bonafoni, 2020).

$$\gamma \approx \frac{T^2}{b_\gamma L_{sen}} \quad (16)$$

$$\delta \approx T - \frac{T^2}{b_\gamma} \quad (17)$$

T ; Parlaklık sıcaklığı değerini, b_γ ; değeri Landsat 5 ve Landsat 8 için 1256 ve 1320 değerlerini almaktadır. Atmosferik fonsiyoneller denklemlerde (18, 19, 20) gösterilmektedir.

$$\psi_1 = \frac{1}{\tau} \quad (18)$$

$$\psi_2 = -L_\lambda^\downarrow - \frac{L_\lambda^\uparrow}{\tau} \quad (19)$$

$$\psi_3 = L_\lambda^\downarrow \quad (20)$$

Burada L_λ^\downarrow alçalan ışınım değeri ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), L_λ^\uparrow yükselen ışınım değeri ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), τ atmosferik geçirgenliktir.

2.3.1.7.3. Radyatif Transfer (Radiative Transfer Equation Method) Denklemine ile YYS Hesabı

$$L_\lambda^{sen} = [\varepsilon B_\lambda(T_s) + (1 - \varepsilon)L_\lambda^\downarrow]\tau + L_\lambda^\uparrow \quad (21)$$

Formülü içerisinde kara cisim sıcaklık değeri ($B_\lambda(T_s)$: blackbody radiance) barındırmaktadır. Kara cisim sıcaklık değerine ulaşılması için denklem ters çevrilmektedir. Bu şekilde denklem (22) haline gelmektedir (Jiménez-Muñoz ve ark, 2008).

$$B_\lambda(T_s) = \frac{L_\lambda^{sen} - L_\lambda^\uparrow - \tau(1 - \varepsilon)L_\lambda^\downarrow}{\tau \times \varepsilon} \quad (22)$$

L_{sen} , sensördeki ışınım değeri (Top of Atmospheric (TOA) radiance) L_λ^\uparrow , yükselen ışınım değeri (upwelling atmospheric radiance) L_λ^\downarrow , alçalan ışınım değeri (downwelling atmospheric radiance), ε , yer yüzey yayınlılığı değeri (land surface emissivity), τ , atmosferik geçirgenliktir (total atmospheric transmissivity)

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{B_\lambda(T_s)} + 1\right)} \quad (23)$$

T_s : Yer yüzey sıcaklık değerini vermektedir. K_2 ve K_1 kalibrasyon sabitleridir (Tablo 3).

UYDU	K_1 (Watts/(m ² ·srad·µm))	K_2 (Kelvin)
Landsat 5 (Bant 6)	607.76	1260.56
Landsat 8 (Band 10)	774.89	1321.08

2.3.1.7.4. Artis & Carnahan Denklemi ile YYS Hesabı

Artis ve Carnahan (1982) tarafından kentsel alanlardaki konut çatılarındaki termogramların termal uydu görüntülerinden tespiti hedeflenmiştir. Yüzey yayınlılığı, termal bant ve karacisim ışınım sabiti alınarak hesaplanır.

$$T_s = \frac{T_b}{T_b \times \frac{\lambda}{a} \times \ln(\varepsilon) + 1} \quad (24)$$

Burada, T_s = Yer yüzey sıcaklığı değeri kelvin cinsinden, T_b = Parlaklık sıcaklığı kelvin (K) cinsinden, ε = yüzey yayınlılığı, $a = hc/K(1.438 \times 10^{-2} \text{ mK})$, h = Planck sabiti ($6,26 \times 10^{-34} \text{ J/s}$), c = ışık hızı ($2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$) K = Boltzman sabiti ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$), λ = Landsat 5 ve Landsat 8 için 11,45 μm , 10,895 μm değerlerini almaktadır.

2.4. Doğruluk Analizi

Çalışmadaki YYS değerleri 12 farklı meteoroloji istasyonundan temin edilen eş zamanlı saatlik veriler ile kıyaslanmıştır. Oluşturulan YYS değerlerinin doğruluğunu belirlemek için meteoroloji istasyonlarının eş zamanlı hava sıcaklık verileri ile karşılaştırılması ve en başarılı olan denklem regresyon – korelasyon analizi ve kök ortalama karesel hata (RMSE) değerleri ile belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada termal verilerden elde edilen YYS değerleri ile meteoroloji istasyonlarından elde edilen hava sıcaklığı değerleri ilişkilendirilmiştir. Termal uydu görüntülerinden farklı yöntemlerle elde edilen YYS değerlerinin alansal dağılımları ile birlikte bölgedeki bitki örtüsünü ortaya koyan NDVI indisin alansal dağılımları şekil 3'te, YYS değerlerinin zamansal değişimi şekil 4'te gösterilmiştir. Zamansal alansal dağılım haritalarından istasyonların bulunduğu alanların 5x5 piksel matrisi ile elde edilen farklı yöntemlere ait YYS değerleri ile bu istasyonlarda uydu geçişi ile eş zamanlı olarak meteoroloji istasyonlarında ölçülmüş hava sıcaklığı değerleri arasındakiler ilişki tablo 4'te özetlenmiştir. Çalışmanın bulguları şu şekilde özetlenebilir; homojen arazi örtüsünde bulunan meteoroloji istasyonları yüksek doğruluk ilişkisi göstermiştir. Çünkü heterojen arazi örtüsündeki yaklaşık 2 m'den hava sıcaklığı ölçümlerini gerçekleştiren yerel meteoroloji istasyonları, kentleşmeden kaynaklanan yüzey albedosu, evatranspasyon ve hâkim yerel rüzgârlardan etkilenmektedir. Bu değişimlerden kaynaklı homojen alanlarda bulunan meteoroloji istasyonları heterojen alanlarda bulunan meteoroloji istasyonlarına göre YYS-Hava Sıcaklığı daha anlamlı sonuçlar oluşturmaktadır. Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2.'de çalışmanın araştırma sonuçları ve bunlarla ilgili tartışmalar ayrıntılı şekilde ortaya konmuştur.

Tablo 3. K_2 ve K_1 kalibrasyon sabitleri

3.1. YYS-Meteoroloji İstasyonlarından Ölçülen Hava Sıcaklığı İlişkisi

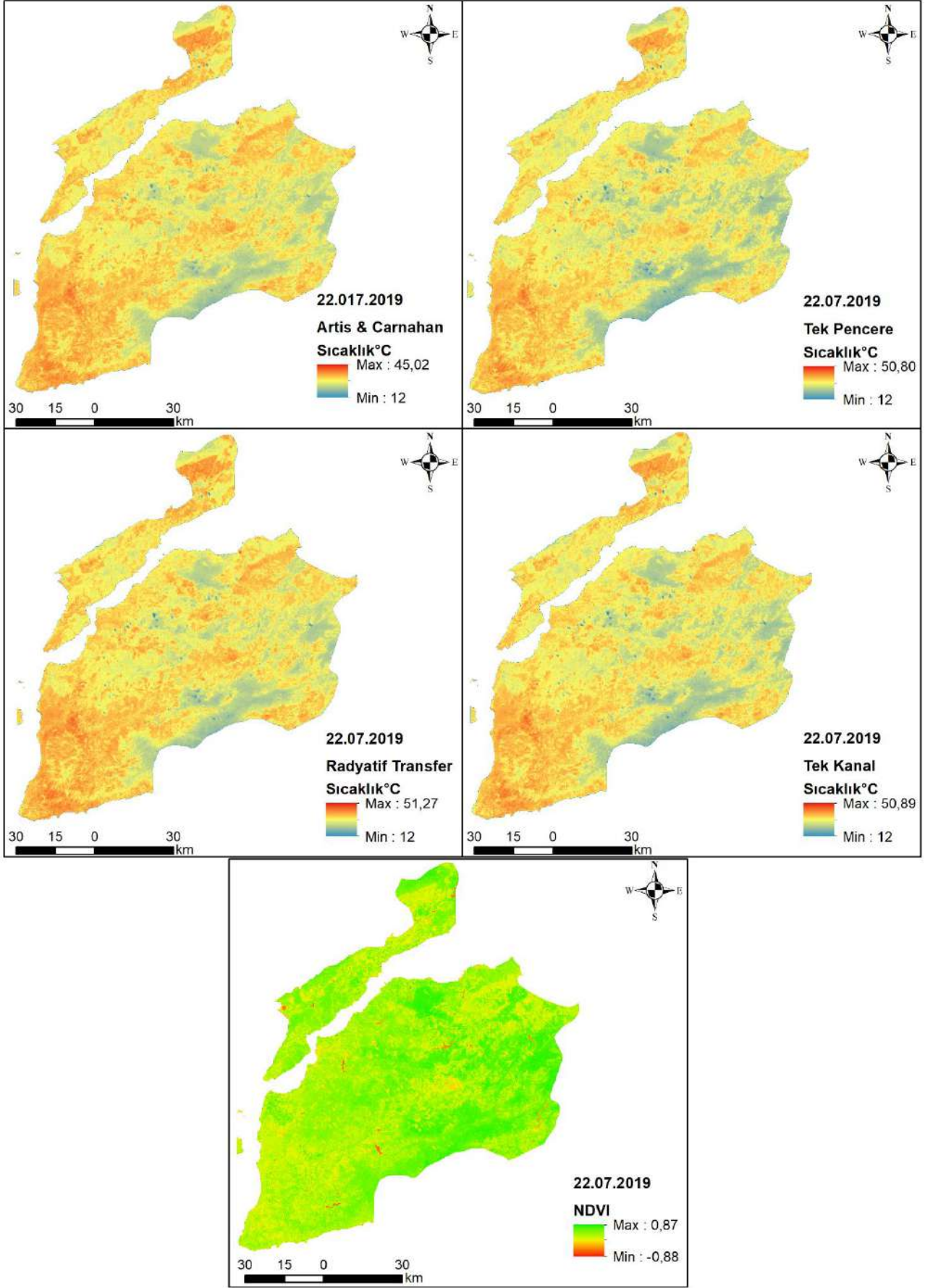
Yöntemlerin başarı sıralaması RMSE'nin minimum ($RMSE_{min}$), maksimum ($RMSE_{mak}$) ve ortalama ($RMSE_{ort}$) değerleri dikkate alınarak Artis & Carnahan Denklemi ($RMSE_{min}=0.83^{\circ}C$, $RMSE_{mak}=12.63^{\circ}C$ ve $RMSE_{ort}=5.22^{\circ}C$) > Tek Pencere Denklemi ($RMSE_{min}=1.97^{\circ}C$, $RMSE_{mak}=16.76^{\circ}C$ ve $RMSE_{ort}=8.16^{\circ}C$) > Tek Kanal Denklemi ($RMSE_{min}=3.35^{\circ}C$, $RMSE_{mak}=17.67^{\circ}C$ ve $RMSE_{ort}=9.61^{\circ}C$) > Radyatif Transfer Denklemi ($RMSE_{min}=3.83^{\circ}C$, $RMSE_{mak}=18.22^{\circ}C$ ve $RMSE_{ort}=10.08^{\circ}C$) şeklindedir. Benzer şekilde regresyon - korelasyon katsayısı (R^2) değerleri dikkate alınarak yöntemlerin başarı sıralaması Tek Kanal Denklemi ($R^2_{min}=0$, $R^2_{max}=0.98$ ve $R^2_{ort}=0.67$) > Radyatif Transfer Denklemi ($R^2_{min}=0.01$, $R^2_{max}=0.98$ ve $R^2_{ort}=0.65$) > Artis & Carnahan Denklemi ($R^2_{min}=0.04$, $R^2_{max}=0.96$ ve $R^2_{ort}=0.62$) > Tek Pencere Denklemi ($R^2_{min}=0.01$, $R^2_{max}=0.98$ ve $R^2_{ort}=0.59$) şeklindedir. Artis & Carnahan Denklemi anlamlı ilişki oluşturduğu istasyonlar sırasıyla Ayvacık, Bayramiç ve Gelibolu, Tek Kanal Denklemi ve Radyatif Transfer Denklemi anlamlı değerlerinin olduğu istasyonlar Ayvacık, Bayramiç, Kabatepe, Çan ve Gelibolu'dur (Şekil 4, Şekil 5, Şekil 7). Tek Pencere Denklemi anlamlı ilişki oluşturduğu istasyonlar ise Ayvacık'tır (Şekil 6). Tüm denklemlerin yüksek korelasyon gösterdiği istasyon Ayvacık ve Çan'dır. Benzer şekilde Bayramiç istasyonunda da Tek Pencere Denklemi dışında yüksek korelasyonlar görülür. Çanakkale kent merkezi örnek sayısının çok, korelasyonun düşük olduğu ancak YYS'nin kentler üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinde yüksek kentleşmeyi temsil etmesi bakımından da önemli bir istasyondur. YYS ile yersel sıcaklık değerlerinin anlamlı ilişkisinin belirlendiği Ayvacık ve Bayramiç istasyonu ile birlikte yüksek kentleşmeyi temsil eden Çanakkale Merkez istasyonu, aynı zamanda da yöntemlerin başarısını değerlendirme istasyonlarıdır (Şekil 4).

RMSE değerlerine göre değerlendirildiğinde Ayvacık, Bayramiç ve Çanakkale/Merkez istasyonu verilerine göre en başarılı yöntem Artis & Carnahan Denklemi ($RMSE_{min}=8.01^{\circ}C$, $RMSE_{min}=2.85^{\circ}C$, $RMSE_{min}=4.61^{\circ}C$)'dir. Yüksek kentleşmenin olduğu bölgelerde, arazi kullanımındaki heterojenlik (çatı çeşitliliği, asfalt yol, beton kaldırım, bahçe, sahil şeridi, deniz,

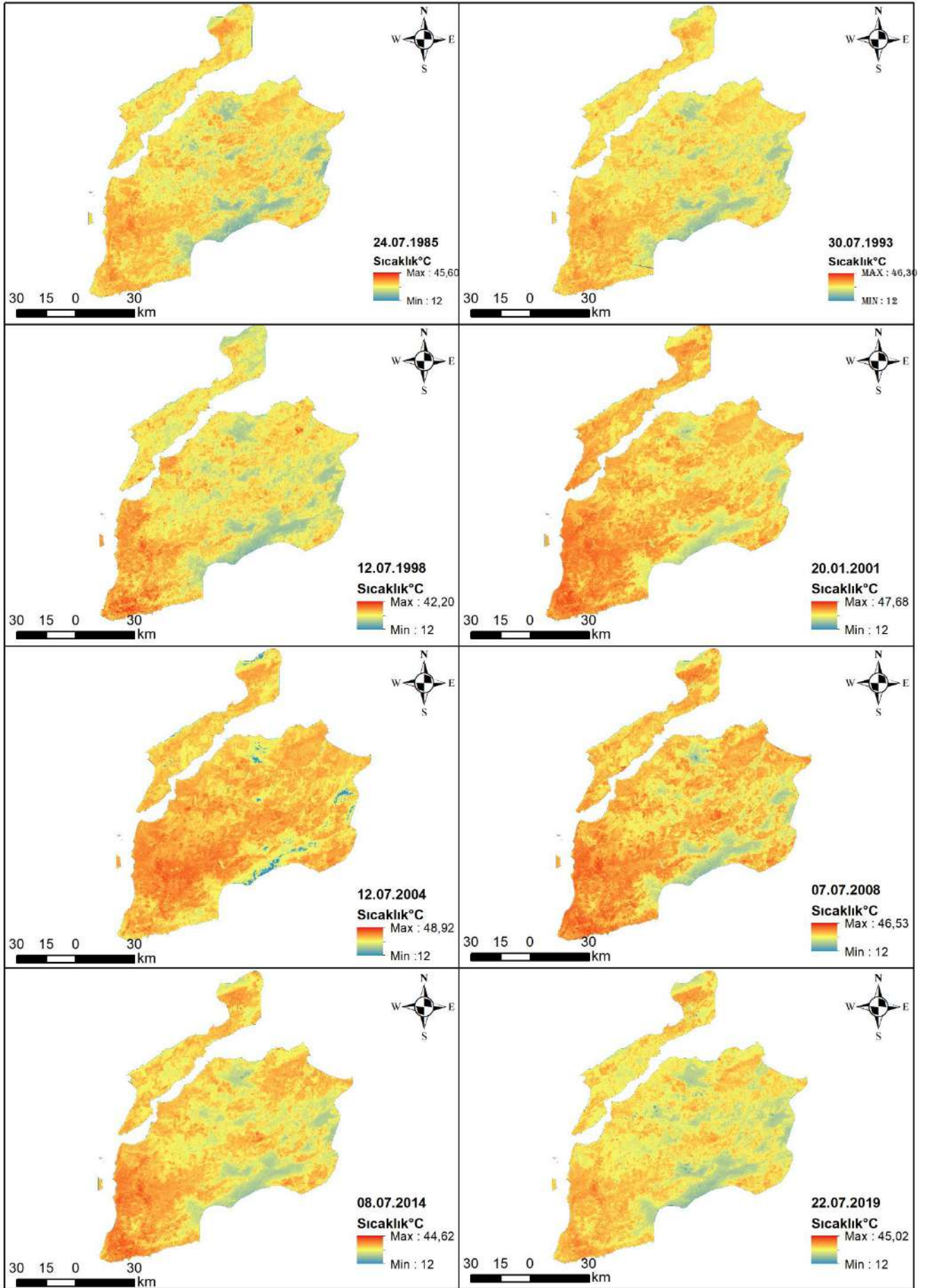
akarsu), doğal olmayan yüzey bileşenleri ve birim alandaki arazi öğelerindeki yoğunluk tüm yöntemlerin başarısını düşürmektedir. Kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde ısı adası etkisi, kent alanlarındaki bina çatısı, asfalt yol gibi bileşenlerin ısıyı soğurma kapasiteleri ve diğer doğal ortamlara göre yüzey sıcaklıklarının farklı olması, YYS-yersel sıcaklık ilişkisinin kurulmasını engeller. Ayvacık ve Bayramiç istasyonlarındaki sıcaklık verileri ile YYS değerleri arasındaki yüksek ilişki gözlenmesinin nedeni, meteorolojik istasyonların kent dışında kurulmuş doğal ve homojen bir arazi örtüsüne sahip olmasıdır.

Uyduların termal bandlarından üretilen YYS ile herhangi bir bölgede görülen yersel atmosferik sıcaklığın ilişkisi değerlendirilmek istendiğinde kent ısı adası etkisi ve bileşenlerin farklı ısı depolama kapasitelerinin oluşturduğu etki nedeni ile kent alanlarında kullanılmamalıdır. Kent içindeki meteoroloji istasyonları o bölgedeki hava sıcaklığını yansıtırken, cisimlerin yüzeyindeki sıcaklığı yansıtmaz. Uydudan bir bölgedeki atmosferik yersel sıcaklığın değerlendirmesinde homojenliğin olduğu doğal alanlar tercih edilmelidir. Aynı şekilde YYS ile atmosferik sıcaklığın karşılaştırılmasında kent içindeki meteoroloji istasyonu verilerinden daha ziyade kent alanının dışında homojen arazi örtüsünün bulunduğu doğal alanlarda kurulmuş meteoroloji istasyonu verileri kullanılmalıdır. Kentlerdeki ısı adası çalışmalarında YYS ile gerçek yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kontrol verisi olarak, çatı, asfalt yol yüzeyinden doğrudan ölçülen veriler kullanılmalıdır.

Bunun yanında homojenliğin olduğu kent dışındaki doğal alanlarda bulunan meteoroloji istasyonu bölgelerinde, uydudan belirlenen YYS sıcaklık değerlerinin yersel ölçülen atmosferik sıcaklık değerlerinden saptığı görülmüştür. Ayvacık'ta Artis & Carnahan Denklemi 7 - 9 °C, Tek Kanal Denklemi 11 - 16 °C, Radyatif Transfer Denklemi 12 - 16 °C, Tek Pencere Denklemi ise 11 - 14 °C arasında sapmalar olmuştur. Bayramiç'te YYS denklemlerinin sırasıyla sapma değer aralıkları Artis & Carnahan Denklemi 2 - 4 °C, Tek Kanal Denklemi 6 - 8 °C, Radyatif Transfer Denklemi 7 - 9 °C, Tek Pencere Denklemi 5 - 7 °C'dir. Gelibolu'da ise sapma değer aralığı sırasıyla Artis & Carnahan Denklemi 1 - 6 °C, Tek Kanal Denklemi 4 - 8 °C, Radyatif Transfer Denklemi 5 - 9 °C, Tek Pencere Denklemi 2 - 13 °C'dir.



Şekil 3. Mono Pencere, Tek Kanal, Radyatif Transfer Denklemi ve Artis & Carnahan Denklemleri ile oluşturulan YYS görüntüleri (22.07.2019 tarihli Landsat uydu görüntüsü ile elde edilmiştir.)



Şekil 4. Artis & Carnahan Denklemi ile 1985 ile 2018 yılları arasındaki YYS görüntüleri

Tablo 4. YYS denklemlerinin Meteoroloji istasyonları ile R² ve RMSE değerlerinin gösterimi (* yöntem karşılaştırma istasyonu)

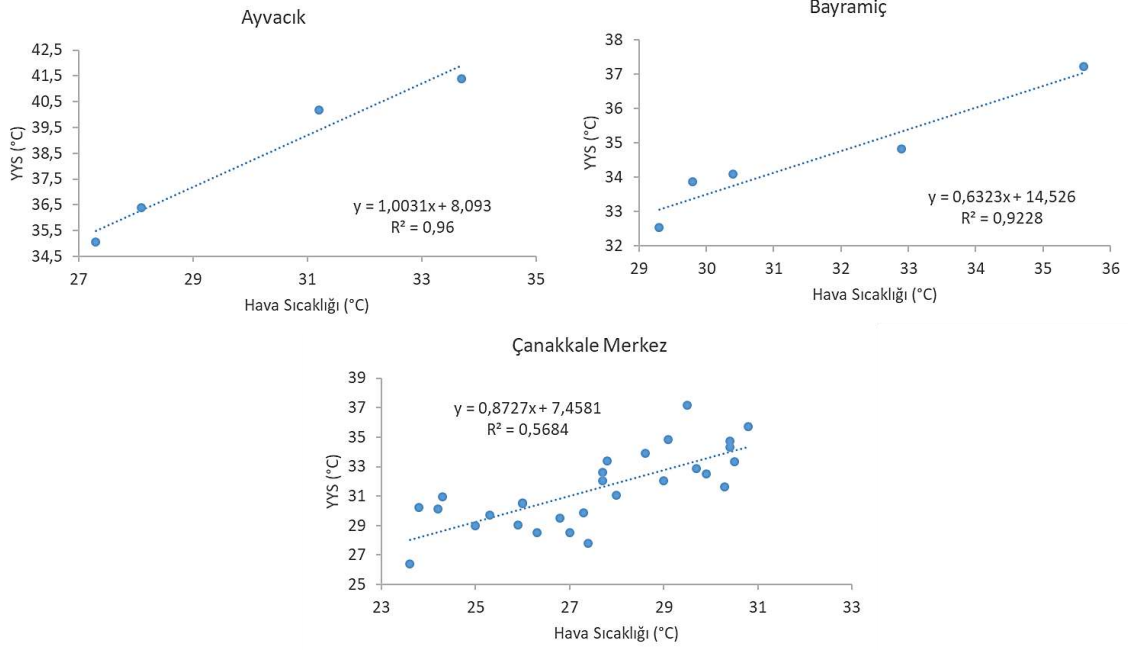
Meteoroloji İstasyonları	Çalışılan Süre	Artis & Carnahan		Tek Pencere		Tek Kanal		Radyatif Transfer Denklemi	
		R ²	RMSE (°C)	R ²	RMSE (°C)	R ²	RMSE (°C)	R ²	RMSE (°C)
Çanakkale / Merkez*	1984-2019	0.57	4.61	0.47	7.08	0.28	10.03	0.42	10.22
Çanakkale / Havaalanı	2007-2019	0.39	6.02	0.53	9.34	0.51	10.61	0.39	11.25
Kabatepe	2014-2019	0.86	2.41	0.8	4.34	0.92	5.73	0.96	6.2
Gelibolu	2013-2019	0.8	3.17	0.76	5.12	0.88	6.46	0.89	6.94
Milli Park	2014-2019	0.68	0.83	0.52	1.97	0.81	3.35	0.87	3.83
Ayvacık*	2014-2019	0.96	8.01	0.98	12.66	0.98	13.82	0.98	14.22
Gülpınar	2014-2019	0.66	12.63	0.63	16.59	0.78	17.67	0.75	18.22
Lâpseki	2015-2019	0.51	2.73	0.25	4.64	0.9	5.74	0.57	6.35
Bayramiç*	2014-2019	0.92	2.85	0.92	5.93	0.94	7.34	0.92	7.92
Çan	2014-2019	0.86	4.43	0.92	7.32	0.91	8.35	0.92	8.79
Ezine	2007-2019	0.15	8.67	0.27	13.22	0.12	14.59	0.13	14.97
Biga	2013-2019	0.04	6.3	0.01	9.73	0	11.65	0.01	12
En Düşük		0.04	0.83	0.01	1.97	0	3.35	0.01	3.83
En Yüksek		0.96	12.63	0.98	16.59	0.98	17.67	0.98	18.22
Ortalama R ² ve RMSE		0.62	5.22	0.59	8.16	0.67	9.61	0.65	10.08



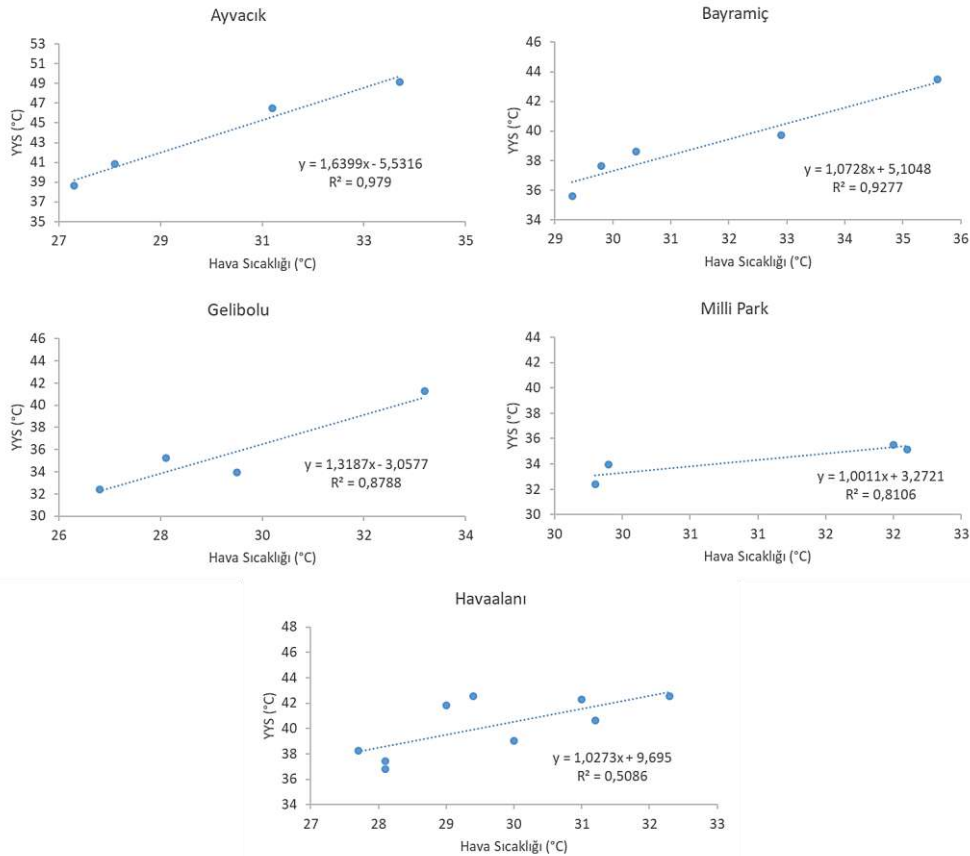
Şekil 5. YYS yöntemlerinin başarımının incelendiği meteoroloji istasyonları haritası (Görüntüler Google Earth'den temin edilmiştir)

Termal uydu görüntülerinden herhangi bir bölgedeki ya da yerleşim alanındaki hava sıcaklığının belirlenebilmesinde en büyük ölçüt kent ısı ada etkisidir. Kentleşmenin yüksek olduğu bölgelerde termal uydu görüntülerinden üretilen YYS ile hava sıcaklığının sıcaklığın belirlenmesi zorlaşır. Ancak kentleşmenin düşük olduğu alanlardaki hava sıcaklığı ile termal uydu

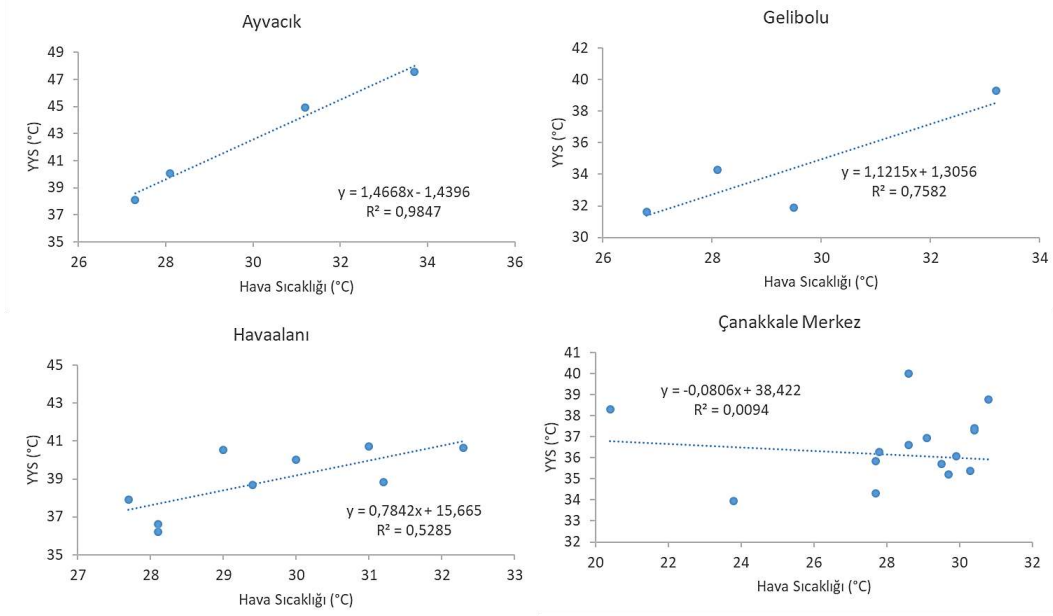
görüntülerinden üretilen YYS arasındaki ilişki daha doğru bir şekilde kurulabilir. Kent alanlarındaki meteoroloji istasyonları, kentteki farklı bileşenlerin yüzey sıcaklığını temsil edemeyebilir. Kentleşmenin düşük olduğu alanlardaki meteoroloji istasyonları, yüzey alanlarının sıcaklığını ancak belirli bir sapma değeri ile temsil edebilir.



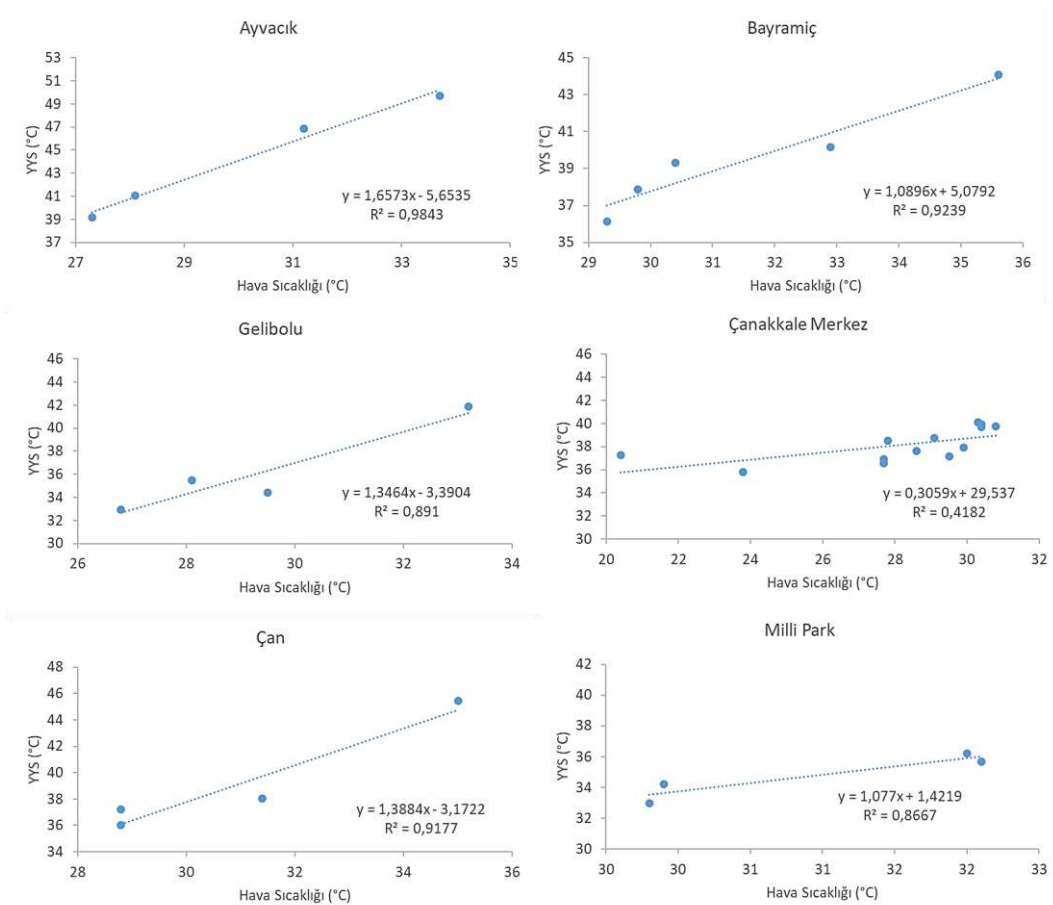
Şekil 6. Artis & Carnahan yönteminin anlamlı ilişki grafiği oluşturduğu bölgeler



Şekil 7. Tek Kanal yönteminin anlamlı ilişki grafiği oluşturduğu bölgeler



Şekil 8. Tek Pencere Yöntemi anlamlı grafiği oluşturduğu bölgeler

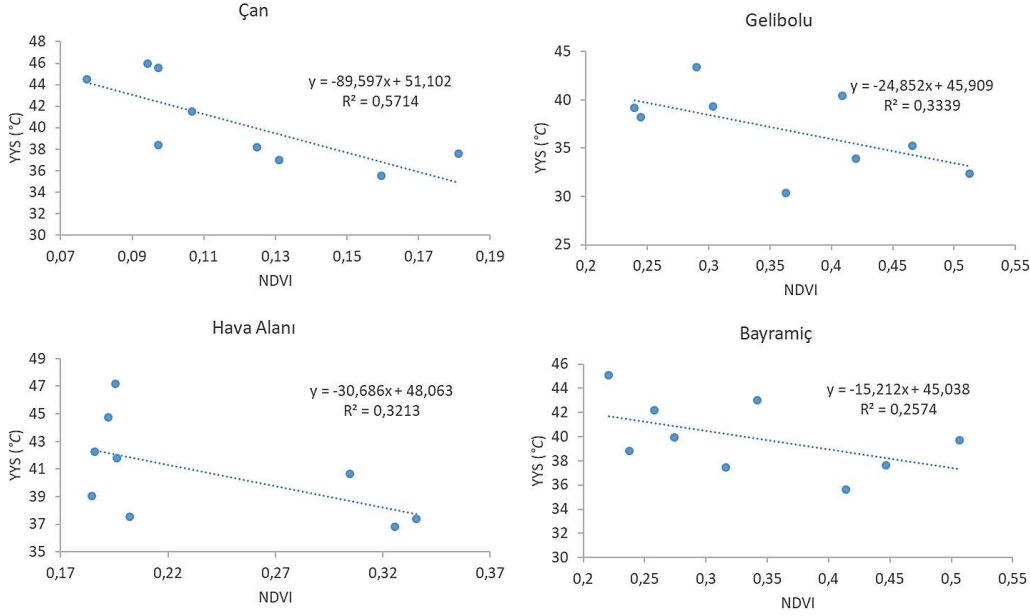


Şekil 9. Radyatif Transfer Denkleminin anlamlı ilişki grafiği oluşturduğu bölgeler

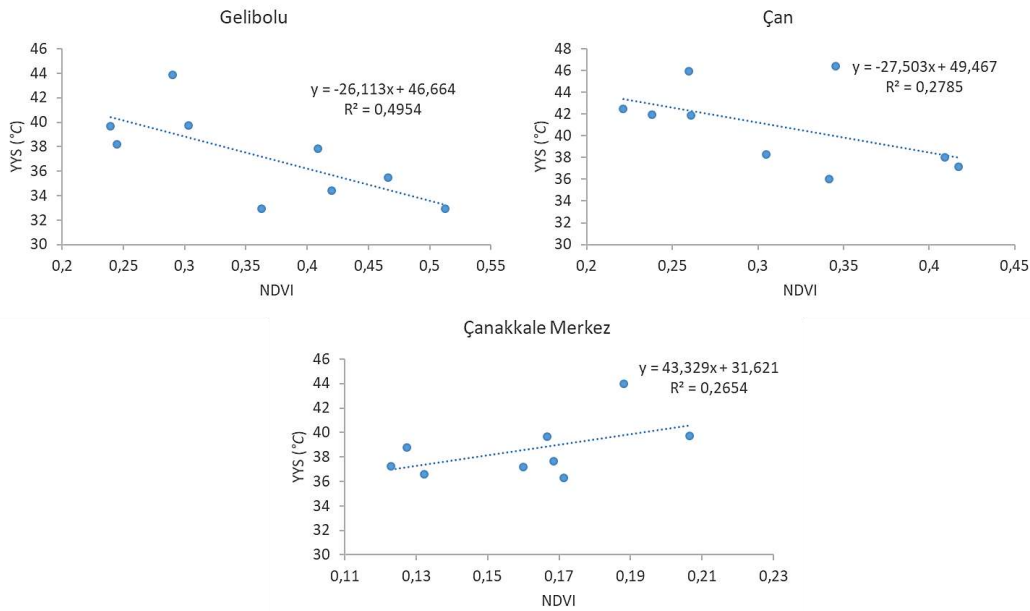
3.1. YYS – NDVI İlişkisi

Her bir yöntem ile üretilen YYS ile yine istasyonlara denk gelen NDVI değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. NDVI indisinin arttığı bölgelerde YYS düşer (Özelkan ve ark., 2011a). Yeşil bitki örtüsünün arttığı alanlar, sağlıklı bitkinin yoğun olduğu alanlar sıcaklığı absorbe etmektedir ve bu bölgelerdeki YYS değerleri bitki olmayan alanlara kıyasla daha düşüktür. İnceleme alanında bitki örtüsüne yakın istasyon alanlarında NDVI ile YYS arasında negatif ilişki gerçekleşmiştir. Radyatif Transfer Denklemi ve Tek Kanal Denklemi en iyi YYS-NDVI ilişkisi Çan ve Gelibolu, Tek Pencere denkleminde ise Çan ve Gelibolu

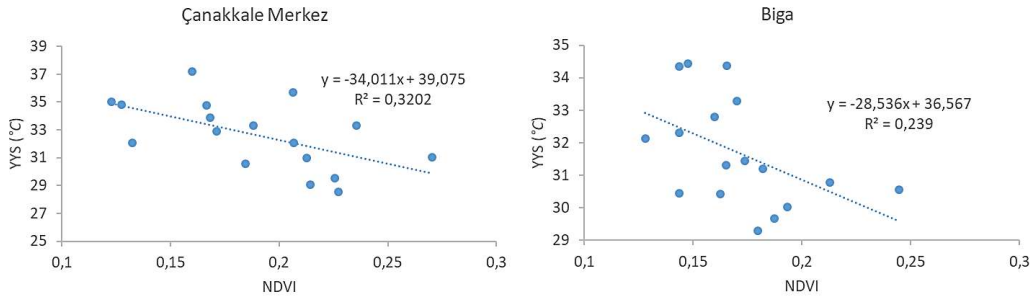
ile birlikte Biga ve Havaalanı istasyonunda gerçekleşmiştir. Tek Pencere Denklemi YYS-NDVI ilişkisini diğer yöntemlere kıyasla daha fazla istasyonda tanımlar (Havaalanı, Biga, Gelibolu, Çan, Lapseki ve Ezine). Tek Pencere Denklemi bu ilişkiyi tanımladığı istasyonlar aynı zamanda bitki örtüsü içinde veya yakın olan alanlardır (Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13). Yeşil alanların arttığı bölgelerde YYS değeri düşer veya tam yeşil alanların azaldığı bölgelerde YYS değerleri artmaktadır.



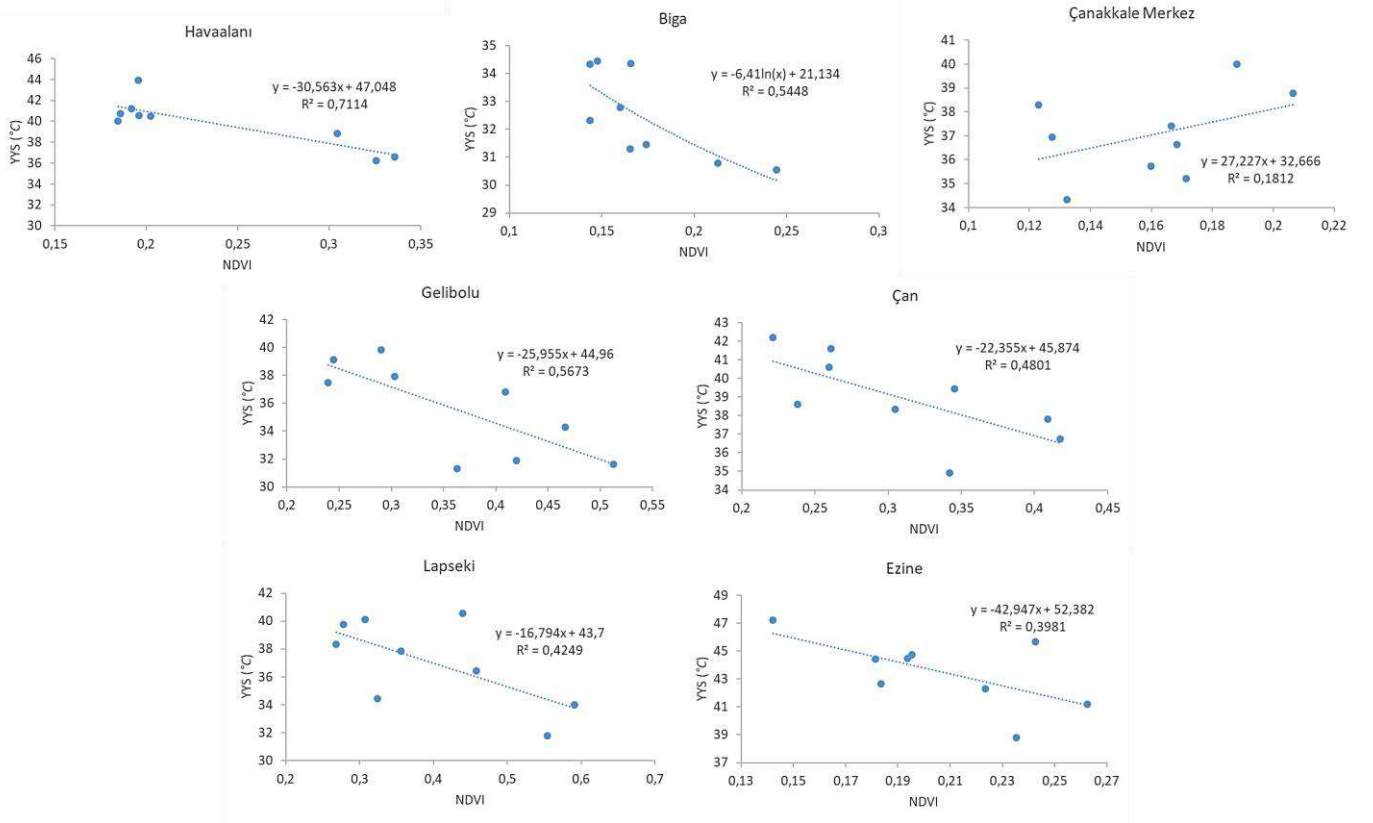
Şekil 10. Tek Kanal Yöntemi ile belirlenen YYS değerleri ile NDVI arasındaki ilişki



Şekil 11. Radyatif Transfer Denklemi ile belirlenen YYS değerleri ile NDVI arasındaki ilişki



Şekil 12. Artis & Carnahan Yöntemi ile belirlenen YYS değerleri ile NDVI arasındaki ilişki



Şekil 13. Tek Pencere Yöntemi ile belirlenen YYS değerleri ile NDVI arasındaki ilişki

4. Sonuç

Bu çalışmada 1984 ile 2019 yılları arasında Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uyduları kullanılarak Artis & Carnahan Denklemi, Tek Pencere Denklemi, Tek Kanal Denklemi, Radyatif Transfer Denklemi ile YYS değerleri hesaplanmıştır. Çalışmadaki YYS değerleri 12 farklı meteoroloji istasyonundan temin edilen eş zamanlı 2 m seviyesinde hava sıcaklığı saatlik verileri ile kıyaslanmıştır. YYS sıcaklığı ile 2 m seviyesindeki hava sıcaklığı ilişkisi incelenmiştir. Yöntemlerden elde edilen YYS değerleri ile 2 m seviyesinde hava sıcaklığı arasındaki ilişkinin R2 ve RMSE değerlerine bakılarak doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda YYS değerleri ile arazi örtüsü ve kullanımını ifade eden NDVI değerleri arasındaki ilişki

değerlendirilmiştir. Çalışmadaki bulgulardan yola çıkılarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1) Artis & Carnahan Denklemi ile üretilen YYS, 2 m hava sıcaklığını ortalama 5.22 °C RMSE ve 0.67 R2 değerleri ile tahmin edebildiğinden Çanakkale ili için en başarılı yöntem olarak belirlenmiştir. YYS değerleri ile 2 m hava sıcaklık değerleri arasındaki sapmanın en düşük olduğu denklem 2 –4 °C ile Artis & Carnahan Denklemidir.

2) Yüksek kentleşmenin bulunduğu heterojen bölgeler (arazi örtüsü yüzey bileşenleri ve arazi örtüsü yoğunluğunun iç içe geçmiş olması) tüm yöntemlerin başarısını düşürmektedir.

3) Kent alanları dışındaki homojen yapıya sahip bölgelerde bulunan meteoroloji istasyonlarında, uydudan belirlenen YYS

değerleri ile 2 m hava sıcaklığı değerleri arasında sıcaklık sapmaları meydana geldiği gözlemlenmiştir.

4) NDVI değerindeki değişimler YYS değerini doğrudan etkilemektedir. NDVI ile YYS değerleri arasında negatif korelasyon bulunmaktadır. YYS değeri yeşil alanların arttığı bölgelerde düşerken yeşil alanların azaldığı bölgelerde artmaktadır.

5) Uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen termal veriler ve bunlardan üretilen YYS değerleri arazi örtüsünün ve kullanımının zamansal değişiminin yorumlanmasında önemli bir kaynaktır. Yer yüzey sıcaklığı çalışmalarında (volkanik alanların belirlenmesi, doğal kaynakların belirlenmesi, orman yangını risk ve analizi, kent ısı adası etkisi, küresel ısınma etkisi, ziraat ürünlerinin analizi, don alanlarının belirlenmesi, kuraklık analizi vb. Landsat uydu verilerinin kullanılması mümkündür.

Kaynakça

Akyürek, Ö., (2020). Termal Uzaktan Algılama Görüntüleri ile Yüzey Sıcaklıklarının Belirlenmesi: Kocaeli Örneği, Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi. 6(2), 377-390. Doi: 10.21324/dacd.667594.

Arca, D., (2012). Afet Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi 2, ss: 53-61.

Artis, D.A. ve Carnahan, W.H., (1982). Survey of Emissivity Variability in Thermography of Urban Areas, Remote Sensing of Environment.

Aydın, H.İ. ve Çiftçi, S., (2015). Türkiye’de Kır-Kent Kavramlarının Değişen Niteliği ve Mevzuatın Sürece Etkisi, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 14(54), (192-200).

Ayvacı, H.Ş., ve Candaş, B., (2018). Students Understandings on Light Reflection from Different Educational Level, Journal of Computer Education Research.

Bayar R. ve Karabacak K., (2017). Ankara İli Arazi Örtüsü Değişimi (2000-2012), Coğrafi Bilimler Dergisi, 15(1), 59–76.

Becker, F., (1982). Absolute Sea Surface Temperature Measurement by Remote Sensing and Atmospheric Corrections Using Differential Radiometry, In Processes in Marine Remote Sensing.

Becker, F., (1987). The Impact of Spectral Emissivity on the Measurement of Land Surface Temperature, Quart. J.Roy Meteorology Social.

Carlson, T. ve Ripley, D.A., (1997). On the Relation Between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index, Remote Sensing of Environment, 62(3), 241-252p.

Chander, G., Markham, B. L., ve Helder, D. L. (2009). Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote sensing of environment, 113(5), 893-903.

Chedin, A., Scott, N.A., Whacihe, C., ve Moulinier, P., (1985). The Improved Initialisation Inversion Method: A High Resolution Physical Method for Temperature Retrievals from the TIROS-N Series, Journal of Climate and Applied Meteorology.

Çelik, B., (2013). Yeryüzü Sıcaklıklarının Uzaktan Algılama Tekniği ile Belirlenmesi: Tek-Kanal Yöntemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

Dağlıyıcı, A., (2016). Uzaktan Algılama Çalışmalarında Termal Uygulamalar, Doğal Kay. ve Eko. Bült. (2016) 22: 109-115.

Durna, S., (2014). Denizlerdeki Yağ Tabakasının Tespitinde Radar Görüntülerinin Kullanımı, Denizcilik uzmanlık tezi.

Gorodetskii, A.K., (1985). Earth Surface Temperature Determined from Angular Radiance Distribution in Atmospheric Windows, Soviet Journal of Remote Sensing.

Hamdi, R., (2010). Estimating Urban Heat Island Effects on the Temperature Series of Uccle (Brussels, Belgium) Using Remote Sensing Data and a Land Surface Scheme, Remote Sens., 2, 2773 - 2784.

Ho. D, Asem A., ve Deschamps, P.Y., (1986). Atmospheric Correction for the Sea Surface Temperature using NOAA-7 AVHRR and METEOSAT-2 infrared data, International Journal of Remote Sensing.

Jimenez – Munoz, J.C., Sobrino, J.A., (2003). A Generalized Single – Channel Method for Retrieving Land Surface Temperature from Remote Sensing Data, J. Geophys. 108(D22), 4688 doi: 10.1029/2003JD003480.

Jiménez-Muñoz, J. C., Cristóbal, J., Sobrino, J. A., Soria, G., Ninyerola, M., & Pons, X., (2008). Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat Thermal-Infrared Data, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 47(1), 339-349.

Kavzoğlu, T., ve Çölkesen, İ., (2011). “Uzaktan Algılama Teknolojileri ve Uygulama Alanları”, Türkiye’de Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Çalıştayı, 26-27 Mayıs 2011, Okan Üniversitesi, İstanbul.

Koçman A., (1993), Türkiye İklimi, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İzmir.

Lac, C., Donnelly, R.P., Masson, V., Pal, S., Riette, S., Donier, S., Queguiner, S., Tanguy, G., Ammoura, L., ve Xuref – Remy, I., (2013). CO2 Dispersion Modelling over Paris Region withing the CO2 – Megaparis Project.

Liu, H., Sun, D., Yu, Y., Wang, H., Liu, Y., Liu, Q., Du, Y., Wang, H., Cao, B., (2014). Evaluation of the VIIRS and MODIS LST products in an arid area of northwest China. Remote Sens. Environment, 142, 111–121.

Liu, L., ve Zhang, Y., (2011). Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and Aster Data: A Case Study in Hong Kong. Remote Sens., 3, 1535–1552.

Mallick, J., Kant, Y., Bharath, B.D., (2008). Estimation of Land Surface Temperature over Delhi Using Landsat-7 ETM+, J.Ind. Geophys. Union 12(3), 131-140.

Oğuz, H., (2015). A Software Tool for Retrieving Land Surface Temperature from ASTER Imagery, Tarım Bilimleri Dergisi 21, 471-482.

Oke, T. R. (2002). Boundary layer climates. Routledge.

Özelkan, E., Papila, I., Avci, D.Z.U., Karaman, M., (2011a). Drought Determination by Using Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index, 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment - The GEOSS Era: Towards Operational Environmental Monitoring, Sydney, Australia, ss: 1-4.

Özelkan, E., Ormeci, C., Karaman, M., (2011b). Determination of the Forest Fire Potential by Using Remote Sensing and Geographical Information System, Case Study-Bodrum/Turkey. Proceedings of the eighth International EARSeL FF-SIG Workshop Stresa (Italy (pp.51-56). Stresa, Italy.

Özelkan, E., (2014). Trakya Bölgesi Bağ Alanlarının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknikleri ile İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora Tezi.

Özelkan, E., Bagis, S., Ozelkan, E. C., Üstündağ, B. B., Yücel, M., ve Ormeci, C., (2015). Spatial Interpolation of Climatic

- Variables Using Land Surface Temperature and Modified Inverse Distance Weighting, *International Journal of Remote Sensing*, vol.36, 1000-1025.
- Özelkan, E., Sağlık, A., Sümer, S. K., Bedir, M., & Kelkit, A., (2018). Kentleşmenin Tarım Alanları Üzerine Etkisinin Uzaktan Algılama ile İncelenmesi; Çanakkale Örneği, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, vol.6, 123-134.
- Price, J.C., (1981). The Contribution of Thermal Data in Landsat Multispectral Classification, *Photo. English Remote Sensing*.
- Price, J.C., (1983). Estimation Surface Temperatures from Satellite Thermal Infrared Data Simple Formulation for the Atmospheric Effect, *Remote Sensing of Environment*.
- Rouse Jr, J. W., (1973). Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) Of Natural Vegetation.
- Salih, M. M., Jasim, O. Z., Hassoon, K. I., ve Abdalkadhum, A. J., (2018). Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT-8 Thermal Infrared Sensor Data and Validation with Infrared Thermometer Camera, *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.20), 608-612.
- Sensoy S., Demircan M., Ulupınar U., Balta İ., (2008). Türkiye İklimi, https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/13_turkiye_iklimi.pdf, [Erişim 20 Temmuz 2020].
- Rozenstein, O., Qin, Z., Dermian, Y., Karnieli, A., (2014). Derivation of Land Surface Temperature for Landsat-8 TIRS Using a Split Window Algorithm, *Sensors*, 14, doi: 10.3390/s140405768.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Paolini, L., (2004). Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing Environment*, 90 (4), 434-440.
- Sobrino, J.A., Jimenez-Muoz, J.C., Soria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A., Martinez, P., (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 316-327.
- Stathopoulou, M., & Cartalis, C., (2007). Daytime Urban Heat Islands from Landsat ETM+ and Corine Land Cover Data: An Application to Major Cities in Greece, *Solar Energy*, 81(3), 358-368.
- Şahin, M., Yıldız, B.Y., Şenkal, O., Peştimalcı, V., (2001). Uydu Verileri Kullanılarak İzmir Şehir Merkezinin Yer Yüzey Sıcaklığının Tahmini, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 15-1(2001), 36-45.
- Şekertekin, A., Kutluoğlu, Ş.H., Kaya, Ş., Marangoz, A.M., (2015). Uydu Verileri ile Arazi Örtüsündeki Yer Yüzey Sıcaklığı Değişimlerinin Analizi: Zonguldak Örneği, Türkiye, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-28 Mart 2015, Ankara.
- Şekertekin, A., Çiçekli, S.Y., Arslan, N., (2018). Gece ve Gündüz Yer Yüzey Sıcaklığı Görüntüleri ile Yüzey Isı Adası Analizi, VII. Uzaktan Algılama Ve CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018) Eskişehir / Türkiye.
- Şekertekin, A. ve Bonafoni, S., (2020). Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation, *Remote Sensing*.
- USGS. (2016). Landsat 8 (L8) data users handbook, Department of the Interior US Geological Survey, L8SDS-1574.
- Yaylı, H., (2012). Çevre Etiği Bağlamında Kalkınma, Çevre ve Nüfus. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Yıl: 2012/1, Sayı: 15.
- Yüksel Ü.D. ve Yılmaz, O., (2008). Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama Ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması Ve Değerlendirilmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 4, 937-952, 2008*.
- Yomrahoğlu, T., (2000). “Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar”, Akademi Kitabevi, 2. Baskı.
- Zhou, J., Chen, Y., Wang, J., Zhan, W., (2011). Maximum Nighttime Urban Heat Island (UHI) Intensity Simulation By Integrating Remotely Sensed Data and Meteorological Observations, *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 4, 138 – 146.
- Weng, Q., (2009). Thermal Infrared Remote Sensing for Urban Climate and Environmental Studies: Methods Applications, and Trends. *ISPRS J. Photogrammetry*, 64, 335-344.
- Qin, Z., Karnieli, A., Berliner, P.A., (2001). Mono – Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Data and Its Application to the Israel – Egypt Border Region, *Int. J. Remote Sen.* 2001, 22, 3719- 3746.
- URL 1, <http://tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> Son Erişim: 07.09.2020.
- URL 2, https://tr.wikipedia.org/wiki/Kaz_Da%C4%9F%C4%B1 Son Erişim: 18.09.2020.
- URL 3, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=CANAKKALE> Son Erişim: 20.09.2020.
- URL 4, <http://tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> Son erişim: 07.09.2020.



Isparta Koşullarında Düzlemsel Su Isıtmalı Güneş Kolektörlerinde Farklı Tasarım Özelliklerinin Enerji ve Verim Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Recep Külcü^{1*}

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta. (ORCID: 0000-0002-7185-6514)

(İlk Geliş Tarihi 24 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 14 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.799663)

ATIF/REFERENCE: Külcü, R. (2020). Isparta Koşullarında Düzlemsel Su Isıtmalı Güneş Kolektörlerinde Farklı Tasarım ve Malzeme Kullanımının Enerji ve Verim Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 949-956.

Öz

Dünya’da küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarının temel kaynağı fosil enerji kaynaklarının yoğun olarak kullanılmasıdır. Fosil enerji kaynaklarının alternatifi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Güneş enerjisi, yenilenebilir ve yakıt kullanmayan özelliğiyle en temiz enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisi; elektrik ve ısı dönüşümler yoluyla kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden ısı enerji dönüşümünde güneş kolektörleri kullanılmaktadır.

Güneş kolektörleri hava ve su ısıtma amacıyla tasarlanmış sistemlerdir. Bu çalışmada; Isparta koşullarında güneş kolektörlerinde, farklı tasarım ve malzeme kullanımının üretilecek enerji ve kolektör verimi üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Kolektörlerde malzeme olarak farklı yutucu yüzey ve izolasyon maddeleri öngörülmüştür. Hesaplamalarda, 7 yutucu yüzey ve 5 yalıtım malzemesi kullanımına göre kurgular yapılmıştır. Tasarım parametresi olarak yalıtım malzemesi kalınlığı ve boru sayısı kullanılmıştır. Çalışmada 4 farklı boru sayısı ve 4 farklı yalıtım malzemesi kalınlığı için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; Isparta koşulları için en uygun eğim açısının 28° olduğu tespit edilmiştir. Yalıtım ve yüzey malzemesi kullanımıyla kolektörlerin yıllık veriminin %30’dan %44’e yükselebileceği ve tasarım parametreleriyle bu verimin %47 seviyelerine taşınabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Isparta, Güneş enerjisi, Güneş kolektörü, Yutucu yüzey, Yalıtım malzemesi

Determination of the Effects of Using Different Designs on Energy and Efficiency in Flat Plate Water Heated Solar Collectors in Isparta Conditions

Abstract

The main source of greenhouse gas emissions that cause global warming in the world is the intense use of fossil energy resources. Alternative to fossil energy sources are renewable energy sources. Solar energy is regarded as the cleanest energy source as a renewable and fuel-free resource. Solar energy; it is used through electrical and thermal transformations. Solar collectors are used in thermal energy conversion from solar energy.

Solar collectors are used for air and water heating. In this study, it is aimed to determine the effects of using different designs and materials on solar collectors used in Isparta conditions on the energy and collector efficiency to be produced. Different absorbing surface and isolation materials have been foreseen as materials in the collectors. In the calculations, the use of 7 absorptive surfaces and 5 insulation materials has been predicted. Insulation material thickness and pipe number are used as design parameters. In the study, simulations were carried out for 4 different pipe numbers and insulation material thickness. In the results of study; it was determined that the most suitable angle of inclination for Isparta conditions was 28°. It has been demonstrated that the annual efficiency of collectors can increase from 30% to 44% with the use of insulation and surface material, and this efficiency can be increased to 47% with design parameters.

Keywords: Isparta, Solar energy, Solar collectors, Absorber, Isolation materials

* Sorumlu Yazar Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Türkiye, ORCID0000-0002-7185-6514, recepkulcu@isparta.edu.tr

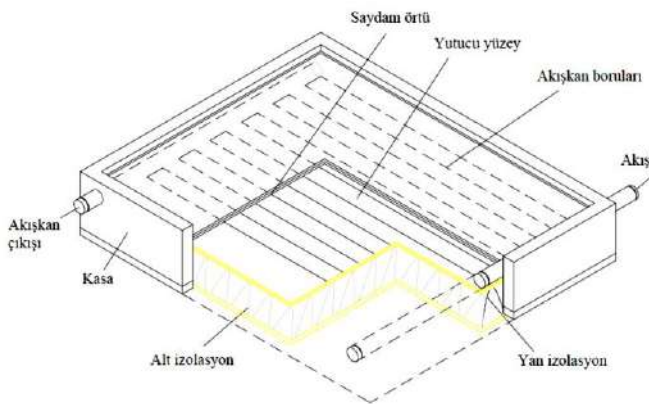
1. Giriş

Dünyamız son yüzyılda sera gazı emisyonlarının sonucunda küresel ısınma ve bu ısınma nedeniyle ortaya çıkan iklim değişiklikleriyle karşı karşıya kalmıştır. Dünya üzerinde yaşamın ve faaliyetlerin sürdürülebilirliği için sera gazı emisyonlarının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Sera gazı emisyonlarının temel nedeni fosil enerji kaynaklarının yoğun olarak kullanılmasıdır. Bu bağlamda fosil enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş kritik öneme sahiptir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi, yakıt kullanmayan özelliğiyle en temiz kaynak olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisi elektrik ve ısı enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Elektrik üretiminde fotovoltaik sistemler kullanılırken, ısı dönüşümlerde kolektörler kullanılmaktadır. Kolektörler kullanım amacına bağlı olarak hava ve su ısıtım için tasarlanmaktadır.

Su ısıtım amacıyla tasarlanan güneş kolektörleri, konutlarda, yüzme havuzlarında, otellerde ve bazı sanayi işletmelerinde sıcak su ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanılmaktadır. Bu kolektörler yaygın olarak düzlem yüzeylidirler ancak son yıllarda vakum tüplü modellerin de yayınlamaya başladığı bilinmektedir. Dünyada 2014 yılı itibarıyla güneş enerjisinden ısı enerjisi üretmek amacıyla kullanılan kolektör alanı 530 milyon m² ve kurulu güç 406 000 MW seviyesine ulaşmıştır. Bu sistemlerden yılda 36,7 MTEP petrol tasarrufunda bulunulmuş ve bunun sonucunda 118,6 milyon ton CO₂ emisyonu azaltılmıştır. Ülkemizde ise 16 milyon m² kolektör alanıyla yılda 1 MTEP enerji tasarrufu gerçekleştirilmekte ve bunun sonucunda 1,6 milyon ton CO₂ emisyonu azaltılmaktadır. Ayrıca ülkemiz yılda 1,6 milyon m² kolektör üretim potansiyeli ile pazarda önemli bir aktör haline gelmiştir (GÜNDER, 2020).

Su ısıtım için güneş kolektörleri; güneşten gelen ışınımın yutucu yüzey üzerinde ısı enerjisine dönüştürülmesi ve bu ısının, yutucu yüzey içerisinde oluşturulan borulardan geçen suya aktarılması prensibine göre çalışmaktadır. Kolektörler bir kasa korumasına alınmakta, ısı kayıplarını azaltmak amacıyla izolasyon malzemesi kullanılmakta ve üst yüzey kayıplarını azaltmak amacıyla genellikle cam üst örtü ile kapatılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Su ısıtım için güneş kolektörü (Tırıs, 1997)

Güneş kolektörlerinde kullanılan malzeme ve tasarım parametreleri elde edilecek verim ve ısı enerjisi miktarını doğrudan etkilemektedir. Kullanılan izolasyon malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısı, kullanılan boru sayısı, yutucu yüzeyin yutma ve yayma oranları kolektör verimini etkilemektedir. Bu etki gelen

ışınım miktarı ve açılarına bağlı olduğu için değişiklikler kolektörün bulunduğu lokasyona göre değişim göstermektedir.

Shariah vd. (2019) su ısıtım için güneş kolektörleri konusunda gerçekleştirdikleri kuramsal çalışmada, kolektör yutucu yüzey plakasının malzemesinin verim üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre çelik sac yerine alüminyum plaka kullanımının verimi %4-7 oranında artırdığını tespit etmişlerdir. Alüminyum yerine bakır plaka kullanımı ise verimi %3 (Çelik saca göre %7-11) oranında artırdığını bildirmişlerdir. Kılıçkap vd. (2015) Elazığ ilinde siyah mat boya kullanılan standart bir güneş kolektörünün verimini deneysel koşullarla belirlemişlerdir. Denemelerinde temmuz ayında anlık verim değerleri %35-56 arasında değişirken, kasım ayında verim değerleri %35-51 arasında değişim göstermiştir. Kumar ve Rosen (2010) çalışmalarında güneş kolektörlerinde izolasyon kullanımının verime etkilerine değerlendirmişlerdir. İzolasyon kullanılması durumunda verimi %46,8 olarak hesaplamışlar ve izolasyon kullanılmaması durumunda verimin %40 seviyesine düşeceğini belirlemişlerdir.

Çalışma kapsamında, güneş kolektörlerinde farklı yutucu yüzey ve yalıtım malzemesi ile farklı boru sayısı kullanımının verim üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Kuramsal nitelikte yapılan çalışma kapsamında kolektörün Isparta koşullarında kullanımı öngörülerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilecek sonuçların Isparta koşullarında hangi kolektör tasarımının ne ölçüde başarılı olacağı konusunda aydınlatıcı veriler ortaya çıkartması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında; Isparta ilinde farklı yutucu yüzey ve izolasyon malzemesi ile farklı boru sayısı ve yalıtım kalınlığına sahip düzlem yüzeyli güneş kolektörlerinin su ısıtım amacıyla kullanılması ile elde edilecek enerji miktarlarının hesaplanması ve yıl içerisindeki enerji değişiminin simülasyonunun yapılması hedeflenmiştir. Kuramsal olarak gerçekleştirilen çalışmada rüzgâr hızı ve sıcaklık gibi veriler T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Hesaplamalarda kolektöre ait bazı özellikler, kullanımda olan sistemlerin tasarım parametreleri dikkate alınarak Tablo 1'deki gibi kabul edilmiştir.

Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan kolektöre ait bazı özellikler

Kolektör uzunluğu	1,94 m
Kolektör yüksekliği	0,1 m
Kolektör genişliği	0,94 m
Toplayıcı sac kalınlığı	0,5 mm
Boruların iç çapı	10 mm
Suyun debisi	0,02 kg/s m ²
Camın yayma katsayısı	0,08
Enlem açısı (Isparta)	37,75
Cam üst örtü sayısı	1

Çalışma kapsamında güneş kolektörlerinde farklı yutucu yüzey ve yalıtım malzemesi kullanımının etkilerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, hesaplamalara dâhil edilen yutucu yüzey malzemesi ve özellikleri Tablo 2'de ve yalıtım malzemeleri ile özellikleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Yutucu yüzey malzemeleri A-F harfleriyle simgelenmiştir. A dışındaki diğer yutucu yüzeyler seçici yüzey olarak adlandırılmaktadır. Bu yüzeylerin temel özelliği ısı ışınlarını yayma oranlarının

düşürülmüş olmasıdır. Seçici yüzey kaplamaları özel tasarlanmış ticari ürünlerdir. Tablo 2’de bu ürünlerin ticari isimleri ve üretici firmaları da gösterilmiştir. A kaplaması ise seçici değildir ve

birçok firma tarafından düşük maliyetli olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Tablo 2. Kollektör yüzeylerinde kullanılan yutucu yüzey malzemeleri ve özellikleri

(Korkmaz, 2006; Madhukeshwara ve Prakash, 2012, Sakallı, 2005)

Simge	Kolektör Yapımcı Firma	Yutucu Kaplama Yapımcı Firma	Yutucunun Ticari İsmi	Yutucu Kaplama Türü	Malzeme	Malzemenin Isıl İletkenliği (W/m K)	Yutma Katsayısı (α_n)	Yayma Katsayısı (ϵ_p)
A	-	-	Siyah Mat Boya	Boya Malzemesi	Galvanizli sac	16	0,94	0,88
B	Agema SA, İsviçre	Energie Solarie SA İsviçre	Energie Solarie	Siyah krom	Galvanizli sac	16	0,94	0,16
C	Schweizer Metallbau, İsviçre	Thermafin Solar, ABD	Thermafin	Siyah krom	Bakır	386	0,94	0,16
D	Tekno Term AB, İsveç	Granges, İsveç	Sunstrip	Nikel pigment, Anodize AL	Alüminyum	204	0,93	0,16
E	VDM Aluminium Gbmh, Almanya	VDM Aluminium Gbmh, Almanya	Evidal	Nikel pigment, Anodize Al	Alüminyum	204	0,92	0,18
F	Arbonia, İsviçre	INCO Selective Surface Ltd İngiltere	Maxorb	Nikel Folyo üstü Ni	Alüminyum	204	0,94	0,09
G	AMCR, İsrail	Solarion, İsrail	Solarion, 2000	Siyah krom	Galvanizli sac	16	0,95	0,10

Tablo 3. Hesaplamalarda kullanılan izolasyon malzemeleri ve ısı iletim katsayıları

(Sakallı, 2005, Özel ve Şengür, 2012; Bektaş vd., 2017)

Simgesi	Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
I	Poliüretan Köpük	0,023
II	Polystrene Köpük	0,029
II	Cam Yünü	0,032
IV	Taş Yünü	0,039
V	Cam Köpüğü	0,052

Farklı özelliklere sahip kolektörlerden elde edilecek ısı enerjisinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Hesaplamalarda, öncelikle kolektörün kurulacağı koordinat için yeryüzüne gelen günlük toplam ışıyım belirlenmiş ve bu ışıyım 06:00-20:00 zaman periyodunda her saat aralığı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Saatlik güneş ışıyımını hesaplamaları tamamlandıktan sonra, kolektör kayıp ve faydalı enerji hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Saatlik gerçekleştirilen bu hesaplamalar sonucunda, bir yıl içerisinde sıfırın üzerinde hesaplanan tüm değerler toplanarak kolektörden bir yıl için elde edilebilecek faydalı enerji toplamına ulaşılmıştır.

Kolektör yüzeyine gelen ışıyım hesabında kullanılan eşitlikler:

(Duffie ve Beckman, 2013; Liu ve Jordan, 1960; Klein, 1977; Munroe, 1980; Lunde, 1980)

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{n+284}{365}\right) \quad [1]$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan\lambda \tan\delta) \quad [2]$$

$$f = 1 + 0.033 \left(\cos \frac{360n}{365}\right) \quad [3]$$

$$H_o = \frac{24}{\pi} \frac{3600}{G_{gc}} f \left[\cos\lambda \cos\delta \sin\omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \right] \quad [4]$$

$$\frac{H}{H_o} = -2.4275 + 11.946 \frac{t}{t_o} - 16.745 \left(\frac{t}{t_o}\right)^2 + 7.9575 \left(\frac{t}{t_o}\right)^3 = 5.7 + 3.8 V_r \quad [5]$$

$$\frac{H_d}{H} = 1.390 - 4.027 \frac{H}{H_o} + 5.531 \left(\frac{H}{H_o}\right)^2 - 3.108 \left(\frac{H}{H_o}\right)^3 = \frac{k}{L} U_k \quad [6]$$

$$\Psi = \exp\left[-4 \left(1 - \frac{|h|}{\omega_s}\right)^2\right] \quad [7]$$

$$r_t = \frac{\pi}{4} \frac{1}{t_o} \left[\cos\left(90 \frac{h}{\omega_s}\right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \Psi) \right] \quad [8]$$

$$r_t = \frac{I}{H} \quad [9]$$

$$r_y = \frac{I_d}{H_d} = \frac{I_o}{H_o} \quad [10]$$

$$I_{dogru} = I - I_d \quad [11]$$

$$r_y = \frac{\pi}{24} \frac{\cosh - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi}{180} \omega_s \cos\omega_s} \quad [12]$$

$$R = \frac{\cos(\lambda - \zeta) \cos\delta \cosh + \sin(\lambda - \zeta) \sin\delta}{\cos\lambda \cos\delta \cosh + \sin\lambda \sin\delta} \quad [13]$$

$$I_t = I_{dogru} R + I_d \frac{(1 + \cos\zeta)}{2} + (I_{dogru} + I_d) \frac{(1 - \cos\zeta) \rho}{2} \quad [14]$$

Kolektör ısı kayıplarını hesaplamada kullanılan eşitlikler:

(Tırs vd., 1997; Klein, 1973; Deris, 1979)

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{344}{T_p} \left[\frac{(T_p - T_a)}{(N + f_a)} \right]^{0.31} + \frac{1}{h_w}} \right\}^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0.0425 N (1 - \varepsilon_p)]} \quad [15]$$

$$f_a = \frac{\sin\lambda \sin\delta}{(1 - 0.04 h_w) + 5 \cdot 10^{-4} h_w^2} (1 + 0.058 N) \quad [16]$$

$$U_e = \frac{k_g c h}{L_y A_c 1.8236} \quad [19]$$

$$U_l = U_t + U_b + U_e \quad [20]$$

Optik kayıpları hesaplamada kullanılan eşitlikler:

(Gordon, 2001; Tırıs vd., 1997)

$$\begin{aligned} \cos \theta_T &= \sin \delta \sin \lambda \cos \zeta - \sin \delta \cos \lambda \sin \zeta \\ &+ \cos \delta \cos \lambda \cos \zeta \cosh + \cos \delta \sin \lambda \sin \zeta \cosh \end{aligned} \quad [21]$$

τ değeri üst örtünün geçiş katsayısını ifade etmektedir. Ancak çalışma kapsamında hesaplamalar saatlik yapıldığından, τ değeri geliş açısına göre hesaplanmıştır. τ değerinin geliş açısına göre değişimi modellenerek, modelleme sonucunda elde edilen değer kullanılmıştır. α değeri için kullanılan düzeltme katsayısı olan D için de bir model oluşturularak, geliş açısına göre belirlenen D katsayısı kullanılmıştır.

$$\alpha = D * \alpha_n \quad [22]$$

$$(\tau \alpha) = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \rho_d} \quad [23]$$

Kollektörden elde edilecek faydalı ısı enerjisi hesaplamada kullanılan eşitlikler:

(Hsieh, 1986; Duffie ve Beckman, 2013; Gordon, 2001; Tırıs, vd., 1997)

$$F = \frac{tg h m(W - D) / 2}{m(W - D) / 2} \quad [24]$$

$$m = \left(\frac{U_L}{k_p \delta_p} \right)^{1/2} \quad [25]$$

$$F' = \frac{1/u_L}{W \left\{ \frac{1}{U_L [D + (W - D) F]} + \frac{1}{c_b} + \frac{1}{\pi D h_{f,i}} \right\}} \quad [26]$$

$$V = \frac{m}{\rho \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right)} \quad [27]$$

$$R_e = \frac{V D}{\nu} \quad [28]$$

$$P_r = \frac{c_p V}{k_a} = \frac{\nu}{\alpha} \quad [29]$$

$$R_e \leq 2300 \Rightarrow Nu = 1.86 (R_e P_r)^{1/3} (D/L)^{1/3} \quad [30]$$

$$R_e \geq 2300 \Rightarrow Nu = 0.027 R_e^{0.8} P_r^{1/3} \quad [31]$$

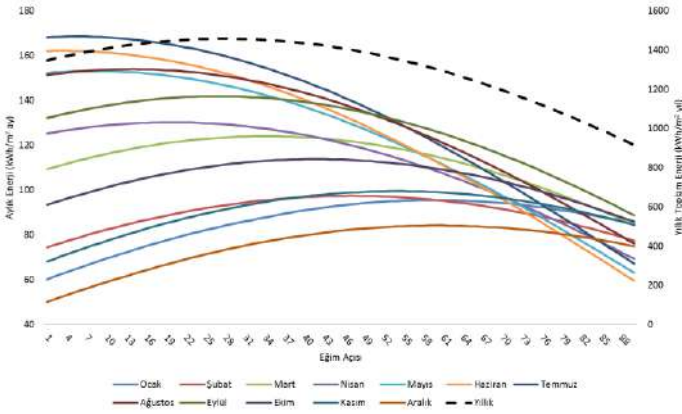
$$h_{f,i} = \frac{Nu k_a}{D} \quad [32]$$

$$F_R = \frac{G c_p}{U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{U_L F' / G c_p}{1} \right) \right] \quad [33]$$

$$\mathcal{G}_u = A_c F_r [I_T (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_a)] \quad [34]$$

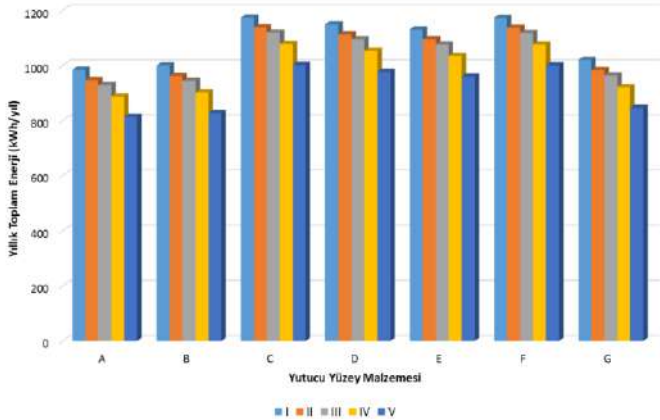
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında öncelikle Isparta koşullarında güneş kollektörlerinin optimum eğim açısının belirlenmesi için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda kollektör yüzeyine yıllık toplam gelen güneş ışınımı miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalar 1-90 derecelik eğimlerde her bir eğim açısı için tekrarlanarak, kollektör yüzeyine gelen enerji miktarları belirlenmiştir. Yaz aylarında düşük eğim açılarında yüksek miktarda enerji sağlanırken, kış aylarında eğim açısındaki artışın belirli bir seviyeye kadar enerji miktarını arttırdığı tespit edilmiştir. Şekil 2'de kesikli çizgi ile gösterilen ve grafiğin sağ tarafındaki eksenle referanslanan çizgi, hesaplama yapılan eğim açısında 1 m² alana gelen yıllık toplam enerji miktarlarını göstermektedir. Bu bağlamda yıllık değerler incelendiğinde en yüksek enerji miktarının Isparta için 28° eğim açısında 1457,83 kWh/m² yıl olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda kollektör hesaplamaları Isparta koşulları için 28° eğim açısında gerçekleştirilmiştir.



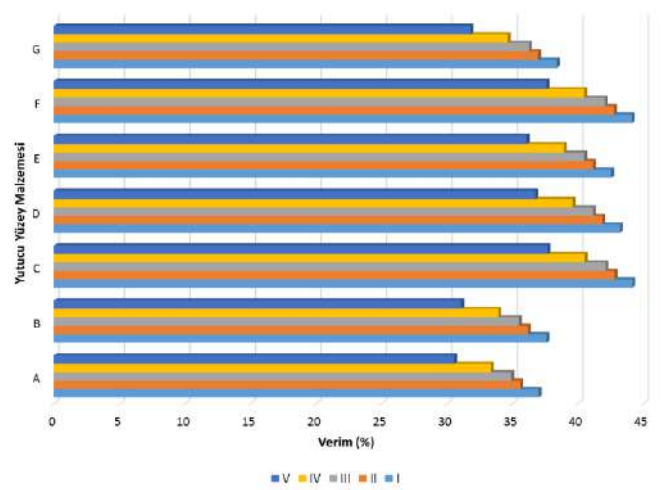
Şekil 2. Isparta koşullarında farklı eğim açılarındaki 1 m² alana gelen güneş enerjisi miktarları

Şekil 3'de Isparta koşullarında 7 farklı yutucu yüzeye sahip ve 5 farklı yalıtım malzemesi kullanılan kollektörlerden elde edilecek enerji miktarları gösterilmiştir. Hesaplamalarda en düşük enerji üretimi, AV (A Yutucu Yüzey, V yalıtım malzemesi) için 812,932 kWh/yıl olarak hesaplanırken, en yüksek değer CI için 1174,305 kWh/yıl seviyesinde hesaplanmıştır. C ve F yutucu yüzeylerinin enerji değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür.



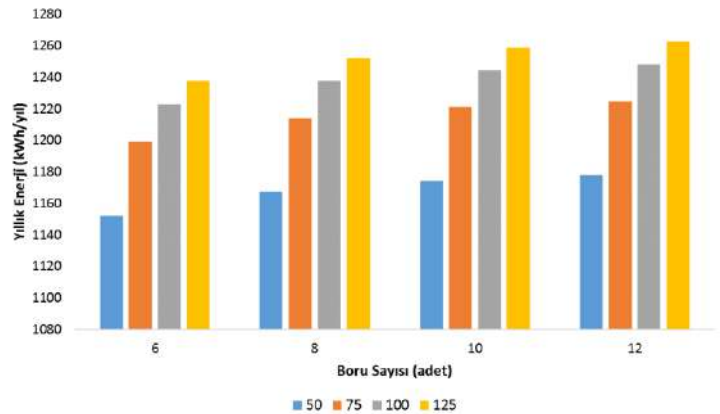
Şekil 3. Isparta koşullarında farklı yutucu yüzey ve yalıtım malzemesi kullanımı sonucunda kollektörlerden alınacak yıllık toplam ısı enerjisi miktarları

Şekil 4'de Isparta koşullarında kollektörlerde farklı yutucu yüzey ve yalıtım malzemeleri kullanımı sonucunda hesaplanan yıllık verim değerleri gösterilmiştir. Yıllık verim değerleri, enerji değerlerine paralel olarak, en düşük AV uygulaması için %30 olarak hesaplanırken, yüksek CI uygulaması için %44 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Farklı yalıtım malzemesi ve yutucu yüzeyler için hesaplanan yıllık verim değerleri

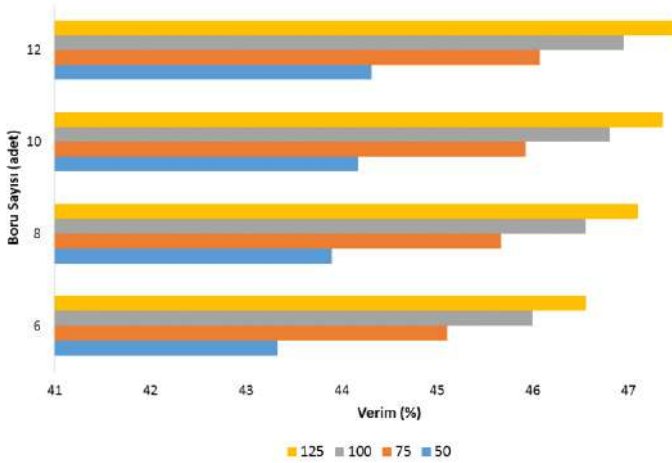
Şekil 5'de farklı boru sayısı ve yalıtım malzemesi kalınlığı kullanılması durumunda Isparta koşullarında güneş kollektöründen elde edilecek enerji miktarları gösterilmiştir. Bu hesaplamalar, yutucu yüzey ve yalıtım malzemesinde CI uygulaması kullanıldığı kabul edilerek gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda yalıtım malzemesinin kalınlaşmasıyla, ısı kayıplarının azalması sonucunda, kollektörden elde edilecek enerji miktarlarının arttığı görülmüştür. Benzer şekilde boru sayısının artması, toplam ısı transfer yüzey alanını artırarak, elde edilecek enerji miktarlarını yükseltmiştir. Kollektör tasarımlarında 28° eğim açısında en düşük enerji kazancı 50 mm yalıtım malzemesi kalınlığında, 6 boru kullanılması durumunda 1151,931 kWh/yıl olarak hesaplanırken en yüksek enerji kazancı 125 mm yalıtım malzemesi kalınlığında 12 boru kullanımında 1262,646 kWh/yıl seviyesinde hesaplanmıştır.



Şekil 5. Farklı boru sayısı ve yalıtım malzemesi kalınlığında kollektörlerden alınacak yıllık toplam ısı enerjisi miktarları

Şekil 6'da farklı boru sayısı ve yalıtım malzemesi kalınlığında kollektör verimlerinde meydana gelen değişimler gösterilmiştir. Kollektör verimleri, kazanılan enerji miktarlarına paralel bir değişim göstermiştir. En düşük kollektör verimi 50 mm yalıtım malzemesi kalınlığında ve 6 boru kullanılması durumunda %43 olarak hesaplanırken, en yüksek kollektör verimi 125 mm yalıtım malzemesi kalınlığında 12 boru kullanımında %47 seviyesinde belirlenmiştir.

Şekil 6. Farklı boru sayısı ve yalıtım malzemesi kalınlığında hesaplanan kolektör verimleri.



4. Sonuç

Çalışma kapsamında; Isparta koşullarında su ısıtmalı güneş kolektörlerinde kullanılan yutucu yüzey, yalıtım malzemesi, yalıtım malzemesi kalınlığı ve boru sayılarının verim ve kazanılacak enerji kazancı üzerindeki etkilerinin kuramsal olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Hesaplamalarda, 7 farklı yutucu yüzey, 5 farklı yalıtım malzemesi, 4 farklı yalıtım malzemesi kalınlığı ve 4 farklı boru sayısı kullanılmıştır. Hesaplamalarda en düşük kolektör verimi %30, en yüksek verim %47 olarak belirlenmiştir. Bu verim değerleri anlık veya aylık değil, yıllık düzeyde hesaplanmıştır. Hesaplanan verim değerleri literatürde belirlenen %35-56 aralığındaki değerlerle uyumludur. Literatürde yutucu yüzey malzemesinin verimi % 7-11 oranında değiştirdiği belirlenirken, çalışma kapsamında yutucu yüzey kaplaması, yutucu yüzey malzemesi ve yalıtım uygulaması kombinasyonunda yapılacak değişikliklerin verimi % 14'e kadar arttırabildiği belirlenmiştir. Hesaplamalarda seçici yüzey kaplamalarının ve malzeme özelliklerinin çok etkin olduğu görülmüştür. Yutucu yüzey olarak "Thermafın" ve "Maxorb" ticari isimlerine sahip seçici yüzey kullanımının kolektör verimini yükselttiği tespit edilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak "Poliüretan Köpük" kullanımının diğer yalıtım malzemelerine göre daha iyi izolasyon sağladığı ve kolektör verimliliğini arttırdığı görülmüştür. Kolektör tasarımında yalıtım malzemesi kalınlığının 50 mm'den 75 mm'ye çıkartılmasının verimliliği yüksek seviyede etkilediği hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi 75 mm'nin üzerine çıktığında sağlanan verim artış hızının biraz azaldığı görülmüştür. Bu kapsamda 75mm'nin üzerinde yalıtım malzemesi kullanımının kolektör maliyetini arttıracığı göz önünde bulundurulmalıdır. Kolektörde kullanılacak boru sayısının artışına paralel olarak verim artışı sağlanabilmektedir. Bu bağlamda 12 boru kullanılması en yüksek verimi sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler ile Isparta koşullarında kullanılan su ısıtma kolektörlerinde tasarımsal değişiklikler yapılması durumunda verimin toplam %17 oranında arttırılabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak bu çalışma kuramsal bir perpektif sunmaktadır. Çalışmanın deneysel verilerle desteklenmesi daha net bir görüntü ortaya koyacaktır. Ayrıca çalışma kapsamında verimi arttıran parametreler seçilirken, pratikte maliyetinde artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Simgeler

- δ - Deklinasyon açısı
- n - Yılın hesaplama yapılan gün sayısı
- h - Saat açısı
- GS- Güneş saati
- w_s - Gün batımı saat açısı
- λ - Hesaplama yapılan kordinatın enlem açısı
- f - Düzeltme faktörü
- G_{sc} - Güneş sabiti (1367 W m^{-2})
- H_0 - Atmosfer dışına gelen günlük ışınlam ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)
- H - Yeryüzünde yatay düzleme gelen günlük ışınlam ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)
- H_d - Difüz günlük ışınlam ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)
- r_t - Günlük ışınlamın saatliğe dönüşüm oranı
- t_0 - Gün uzunluğu (h)
- Ψ - Saat açısı dönüşüm katsayısı
- r_y - Difüz- atmosfer dışı ışınlam gün saat oranı
- $I_{doğru}$ - Doğrudan gelen saatlik ışınlam ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
- I_0 - Atmosfer dışına gelen saatlik ışınlam ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
- I - Yeryüzünde yatay düzleme gelen saatlik ışınlam ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
- I_d - Difüz saatlik ışınlam ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
- I_t - Yeryüzüne düşen saatlik toplam ışınlam ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
- ζ - Eğim açısı
- θ_T - Geliş açısı
- U_T - Kolektör toplam ısı kayıp katsayısı ($\text{W/m}^2\text{°K}$)
- U_b - Kolektör alt yüzey ısı kayıp katsayısı ($\text{W/m}^2\text{°K}$)
- U_c - Kolektör yan yüzey ısı kayıp katsayısı ($\text{W/m}^2\text{°K}$)
- U_t - Kolektör üst yüzey toplam ısı kayıp katsayısı ($\text{W/m}^2 \text{°K}$)
- N - Kolektörün üst örtü sayısı
- f_a - Rüzgar etki faktörü
- h_w - Rüzgar katsayısı
- V_r - Rüzgar hızı (m/s)
- τ - Cam örtü geçirgenlik katsayısı
- α_p - Yutucu yüzey yutma katsayısı (düzeltilmiş)
- D - Yutma katsayısı düzeltme faktörü
- α - Malzemenin yutma katsayısı
- σ - Stefan-Boltzmann Sabiti ($\text{W/m}^2 \text{K}^4$)
- ρ_d - Üst örtünün yutucu yüzeyden yansıyan ışınları yansıtma oranı
- η - kolektör verimi
- $(\tau\alpha)$ - geçiş-yutma katsayısı
- ρ_c - Üst örtünün yansıma katsayısı
- ε_c - Üst örtünün ışınlam yayma katsayısı
- ε_p - Yutucu yüzeyin ışınlam yayma katsayısı
- k - Yalıtım malzemesinin ısı transfer katsayısı (kcal/m K)

- c- Kollektör çevresi (m)
L- Yalıtım malzemesi kalınlığı (m)
h- Kollektörün yan kenar yüksekliği (m)
A_c- Kollektör alanı (m²)
L_c- Yan yüzey yalıtım malzemesi kalınlığı (m)
F- Kollektör kanat verimi katsayısı
F'_c- Kollektör etki faktörü
W- Boru eksenleri arasındaki mesafe (m)
D- Boru iç çapı (m)
k_p- Yutucu plakanın ısı iletkenlik katsayısı (kcal/m h K)
δ_p- Yutucu plakanın kalınlığı (m)
C_b- Kaynak malzemesinin ısı geçiş direnci (kcal/m h K)
h_{fi}- Boru iç yüzeyi ile sıvı arasındaki ısı geçiş katsayısı (kcal/m² h K)
F_R- Kollektör kanat verimi
G- Kollektör birim alanına düşen kütledebisi (kg/h m²)
c_p- Suyun özgül ısısı (kcal/kg C)
Q_u- Kolektörden kazanılan enerji (W/m²)
T_a- Çevre sıcaklığı (°K)
T_i- Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı (°K)
T_p- Yutucu plaka sıcaklığı (°K)
ν- Kinematik viskozite (m²/s)
V- Akışkan hızı (m/s)
Re- Reynolds sayısı
k_a- Akışkanın ısı iletkenlik katsayısı (kcal/m h K)
Pr- Prandtl sayısı
Nu- Nusselt sayısı

Kaynakça

- Bektaş, V. (2017). Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 36-42.
- Deris, N. (1979). Solar energy, solar water heating technique. Sermet Matbaası, İstanbul.
- Duffie J. and Beckman W. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes, 4th ed., 163: 236-319, New Jersey
- Gordon, J. (2001). Solar energy: the state of the art. ISES, New York.
- Günder. (2002). Güneş ülkemizin enerji geleceğidir. Erişim Tarihi: 15/08/2020, erişim adresi: <https://gunder.org.tr/wp-content/uploads/gunder-enerjimaden.pdf>.
- Hsieh, J.S.(1986). Solar energy engineering. Prentice Hall Inc., New York.
- Kılıçkap, S., Yıldız, C., Çakmak, G. (2015). Elazığ iklim koşullarında sıcak sulu güneş kolektörlerine ilişkin verimlerin araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(2), 103-110.
- Klein, S.A. (1973). The effects of thermal capacitance upon the performance of flat plate collectors. M.Sc. Thesis, University of Wisconsin.
- Klein, S.A. (1977). Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. *Solar Energy* 19, 325-329.
- Korkmaz, M. (2006). Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Farklı Profillerdeki Emici Plakaların Deneysel İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Öğretimi ABD Yüksek Lisans Tezi.
- Kumar, R., Rosen, M.A. (2010). Thermal performance of integrated collector storage solar water heater with corrugated absorber surface. *Applied Thermal Engineering*, 30, 1764-1768.

- Liu, B.Y.H.; Jordan, R.C. (1960). The interrelationship and characteristics and distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy* 4, 1-10.
- Lunde, P.J. (1980). Solar thermal engineering: space heating and hot water systems. John Wiley and Sons: New York.
- Madhukeshwara, N., Prakash, E.S. (2012). An investigation on the performance characteristics of solar flat plate collector with different selective surface coatings. *International Journal of Energy And Environment* 3(1), 99-108.
- Munroe, M.M. (1980). Estimation of totals of irradiance on a horizontal surface from UK: average meteorological data. *Solar Energy* 24, 235-238.
- Özel, M., Şengür, S. (2012). Farklı Yakıt Türü ve Yalıtım Malzemelerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği Sayı* 132, 5-11.
- Sakallı, U. (2005). Antifrizli Sulu Vakumlu Isı Borulu Güneş Kollektörü İle Klasik Direkt Dolaşimli Güneş Kollektörlerinin Verimlerinin Karşılaştırılması. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı Bilim Uzmanlığı Tezi.
- Shariaha, A.M., Rousana A., Rousanb Kh.K., Ahmada A.A.(1999). Effect of thermal conductivity of absorber plate on the performance of a solar water heater. *Applied Thermal Engineering* 19, 733-741.
- Tırıs, M.; Tırıs, C.; Erdallı (1997). Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri, Tübitak M.A.M. Matbaası, Kocaeli, 1-60.



***Salvia sclarea*'nın Bitki Kısımlarının Yağ Asidi Bileşenlerinin Belirlenmesi**

Eray Tulukcu¹

^{1*} Selçuk Üniversitesi Çumra Meslek Yüksek Okulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Tıbbi Aromatik Bitkiler Programı (ORCID: 0000-0002-1893-144x), eraytulukcu@selcuk.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 14 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.840103)

ATIF/REFERENCE: Tulukcu, E. (2020). *Salvia sclarea*'nın Bitki Kısımlarının Yağ Asidi Bileşenlerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 957-960.

Öz

Bu çalışmada farklı zamanlarda Çumra ekolojik koşullarında kültüre alınarak yetiştirilen *Salvia sclarea* bitki kısımlarının yağ asidi içerikleri belirlenmiştir. *S. sclarea* bitki kısımlarında major yağ asitleri olarak bilinen oleik asit (C18:1), linoleik asit (C18:2) ve linolenik asit (C18:3) tespit edilmiştir. *S. sclarea* çiçek, çiçek sapı, yaprak ve yaprak sapı olarak ω -3, ω -6 ve toplam doymamış yağ asitleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Salvia sclarea* L., Yağ Asitleri, Çiçek, Yaprak

Determination of Fatty Acid Compositions of Various Plant Parts of *Salvia Sclarea*

Abstract

In this study, determination fatty acid composition of *Salvia sclarea*'s plant parts taking into cultures grown in Cumra ecological conditions. Find of oleik asit (C18:1), linoleik asit (C18:2) ve linolenik asit (C18:3) fatty acids of *S. sclarea*'s plant parts. This fatty acids known the major fatty acids. Observation of *S. sclarea*'s plant parts ω -3, ω -6 and total unsaturated fatty acid.

Keywords: The Clary Sage, Fatty Acid, Leaf, Flower

Giriş

Önemli bir tıbbi bitki olan *S. sclarea* L. *Dicotyledonae* sınıfının *Tubiflorae* takımının *Lamiaceae* familyasına dâhildir. *Lamiaceae* familyası bitkileri başlıca Akdeniz havzasına yayılmış olan uçucu yağ taşıyan tek veya çok yıllık otsu bitkiler ve çalılardır. *S. sclarea*, görünüşünün büyük olması, yaprak ve dallarının fazlaca besin maddesi içermesi nedeniyle, topraktan fazla miktarda azot, potasyum ve kalsiyum gibi besin elementlerini almaktadır. Besin elementleri oranı bitkinin tüm aksamında aynı olmayıp azot ve fosfor, yapraklara göre çiçekte daha fazla bulunmaktadır (Tulukcu 2006)

S. sclarea'nın çiçekli dalları ve yaprakları infüzyon veya tentür halinde, mide rahatsızlıklarında, kabızlığı gidermede, terlemeyi azaltmada ayrıca yatıştırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu bitkinin uçucu yağı daha çok parfümeri sanayinde kullanıldığı gibi unlu yiyecekler, alkollü ya da alkolsüz içecekler, şurup, dondurma ve şekerlemelere koku vermek amacıyla da kullanılır (Tulukcu 2006).

Temel gıda maddelerinden biri olan yağlar, bitkisel ve hayvansal kaynaklardan sağlanmaktadır. Bitkisel yağlar hayvansal yağlara oranla daha kolay ve ucuza elde edilmektedir. Sağlık açısından da bitkisel yağlar hayvansal yağlara nazaran daha uygundur. Bundan dolayıdır ki; bu tip yağlar fazla miktarda tüketim alanı bulmaktadır (İncekara, 1972).

Bu çalışma farklı yıllar ve zamanlarda hasat edilen *S. sclarea* bitki kısımlarının yağ asitleri bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Materyal-Metot

Salvia sclarea L. Çumra'da farklı yıllarda ve farklı zamanlarda yerden 10 cm yükseklikte 36 farklı örnek kesilerek hasat edilmiştir. Bu bitkilerin çiçek ve yaprakları ayrılarak suda temizlenmiş, gölgede tahta sehpa üzerine konarak günde 2-3 defa çevrilerek kurumaları sağlanmıştır. Kuruyan çiçekler, çiçek saplarından, yapraklar yaprak saplarından ayrılmış ve öğütülerek kese kâğıtlarına konulmuştur.

Bitkinin toplanıp yağ asidi değerlerinin tespitine kadar takip edilen yöntemler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Bitkinin öğütülmesi; Bitkinin, kısımları öğütme değirmeninde 1 mm'lik elekte öğütülmüştür.

Ham yağ tayini ve yağ asidi analizleri için kullanılacak yağın elde edilmesi; Yağ analizleri A.O.A.C. (1990) metoduna göre, daha önce etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuş olan iki tane cam balon 1mg duyarlılıkta tartılarak darası alınmıştır. Örnekler öğütüldükten sonra yaklaşık 5-10 g ± 5 mg duyarlılıkta tartılmış ve numune, çözücü ile ıslatılmış küçük bir parça pamuk tampon kullanılıp kartuşa konularak sokshlet cihazında yapılmıştır (Paquot 1979). Ekstraksiyonda dietil eter çözücüsü kullanılmıştır.

Esterleştirme işleminin yapılması; Yağ örneğinden 0,16-0,20 gr alınarak yağ balonlarına konulmuştur. Üzerine 4 mL % 2'lik metanolik NaOH çözeltisi ilave edildikten sonra; su banyosu üzerinde sabunlaşma oluncaya kadar 10 dakika kaynatılmıştır. Sabunlaşma sonunda, yağ balonu içine 5 mL % 14'lük BF₃-metanol kompleksi eklenmiş ve 5 dakika daha kaynamaya bırakılmıştır. Kaynama sonrasında balon sürekli ve yavaş bir şekilde çalkalanmış, sonra üzerine 2 mL n-heptan ilave edilerek

bir dakika daha kaynatıldıktan sonra, üzerine 4 mL doymuş NaCl çözeltisinden ilave edilmiştir. Karışım iyice çalkalandıktan sonra ayırma hunisine alınarak, 5-10 dakika kadar fazların ayrılması beklenmiştir. Bu işlemlerin sonunda alttaki sulu faz atılmış, üstteki açık sarı renkli fazın Na₂SO₄ ile suyu kurutulmuştur. Süzgeçten (0,45 mm'lik) geçirilerek, viallere konulmuş ve analiz yapılabileceği zamana kadar derin dondurucuda saklanmıştır (Paquot 1979).

Numunelerin gaz kromatografiye enjekte edilmesi; Yağ asitleri metilleştirildikten sonra alev iyonlaştırıcı dedektörlü (FID), Shimadzu (Model 15-A) gaz kromatografi ile analiz edilmiştir. Analiz işlemlerinde Supelco firmasından sağlanan GP 10 % SP-2330 on 100/120 Chromosorb WAW, cat no: 11851 ile dolu dış çapı 1,8 inc, iç çapı 0,085 inc olan 6 feet uzunluğunda çift cam kolon kullanılmıştır. Kolonun fırını gerekli sıcaklığa ulaştıktan sonra, bu sıcaklıkta 10 dakika tutulmuştur. Enjektör sıcaklığı 225°C ve dedektör sıcaklığı 245°C' dir. Taşıyıcı gaz olarak kullanılmış azotun akış hızı 20 mL/dk olarak ayarlanmıştır. Bu akış hızındaki gazın basıncı 0,70 kg/cm² dir. Kullanılan gaz akışları H₂: 30 mL/dk ve kuru hava: 300 mL/dk olarak belirlenmiştir. Kromatogramlardaki piklerin yüzde hesabı Shimadzu C-R4A integratöründen alınmıştır. Numune miktarı 1µL' dir. Örneklerin yağ asidi metil esterlerinin kalitatif tayini, Alltech ve Sigma firmalarından sağlanan yağ asidi metil esteri standartlarından elde edilen kromatogramlardaki, bağlı alıkonma zamanları ile karşılaştırılarak yapılmıştır.

Tartışma ve Sonuç

Farklı yıllarda ve farklı zamanlarda hasat edilen *S. sclarea* bitki kısımlarının yağ asidi bileşenleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde *S. sclarea* çiçeklerinin, omega yağ asitlerinin en önemlisi olan α-linolenik asit (C18:3) % 29,37, linoleik asidin (C18:2) % 8,49, Oleik asitin ise (C18:1) % 10,01 olduğu ve çiçekte bitkisel yağlarda bulunan en yaygın doymuş yağ asitlerinden olan palmitik asit (C16:0) % 5,37 ve stearik asitin (C18:0) ise % 11,37 rakamları arasında değiştiği görülmüştür.

S. sclarea çiçeklerine benzer şekilde, yaprakta omega yağ asitlerinin en önemlisi olan α-linolenik asit (C18:3) % 33,35, linoleik asidin (C18:2) % 5,78, Oleik asitin ise (C18:1) % 5,89 değerleri arasında olduğu ve yaprakta bitkisel yağlarda bulunan en yaygın doymuş yağ asitlerinden olan palmitik asit (C16:0) % 16,06 ve stearik asitin (C18:0) ise % 6,48 rakamları arasında değiştiği görülmüştür.

Çiçek sapında omega yağ asitlerinin en önemlisi olan α-linolenik asit (C18:3) % 26,11 arasında, linoleik asitin (C18:2) % 7,054, Oleik asitin ise (C18:1) % 9,42 değerleri arasında olduğu ve çiçek sapında bitkisel yağlarda bulunan en yaygın doymuş yağ asitlerinden olan palmitik asit (C16:0) % 8,43 ve stearik asitin (C18:0) ise % 10,523 rakamları arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Yaprak sapında ise omega yağ asitlerinin en önemlisi olan α-linolenik asit (C18:3) % 19,15, linoleik asitin (C18:2) % 11,75, Oleik asitin ise (C18:1) % 13,74 değerleri arasında olduğu ve yaprak sapında bitkisel yağlarda bulunan en yaygın doymuş yağ asitlerinden olan palmitik asit (C16:0) % 17,14 ve stearik asitin (C18:0) ise % 8,17 rakamları arasında değiştiği belirlenmiştir.

Linolenik asit bitkilerin yeşil yapraklarında rastlanılmaktadır. Bu yağ asidi bitki kloroplastlarında linoleik asitin doymamış hale getirilmesiyle oluştuğu bilinmektedir (Padley ve ark. 1986).

Yapılan bu çalışmada *S. sclarea* bitki kısımlarında yağ asidi içerikleri belirlenmiştir. Bu kısımlarda oleik asit (C18:1), linoleik asit (C18:2), linolenik asit (C18:3) yağ asitleri bulunmuştur. Bu yağ asitleri major yağ asitleri olarak da bilinmektedir (Keskin 2002).

Köroğlu ve Köksal (1998) Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) çeşitleri üzerine yaptıkları çalışmada, Antep fıstığı meyvelerinde çiçek tozu kaynağının, Antep fıstığı meyvelerinin yağ asitleri kompozisyonu üzerine önemli bir etkisinin olmadığını, bazı çeşitlerde (Uzun, Halebi ve Ohadi gibi) ise çiçek tozu kaynağının toplam yağ miktarı üzerine önemli etkileri olabileceğini bildirmişlerdir.

S. sclarea bitki kısımlarında yapılan analiz sonuçlarından (Tablo 1) elde edilen kromatogramlarda doymuş yağ asitleri (ΣD) en fazla (%39,79) yaprak sapında, en az (%19,53) çiçek kısmında belirlenmiştir. Bunun aksine toplam doymamış (ΣUND) yağ asitleri en az (%60,21) yaprak sapı, en fazla (%80,47) çiçek kısmında bulunmuştur.

Özellikle palmitik asit (C16:0) ve stearik asit (C18:0) bitkisel yağlarda bulunan en yaygın ve önemli doymuş yağ asitleridir. Doymuş yağ asitleri insan vücudunda sentez edilebildiğinden, hiç yağ yenilirse bile bu tip yağ asitleri karbonhidrat metabolizması ile oluşan moleküllerden sentez edilebilmektedir. Doymuş yağ asitleri genelde *Salvia* türlerinde fazla miktarda bulunmaktadır (Ayerza 1995, Karaca ve Aytacı 2006).

Tablo 1. *Salvia sclarea* bitki kısımlarının yağ asidi kompozisyonu (%)

<i>Salvia sclarea</i> Yağ Asitleri	Çiçek	Çiçek Sapı	Yaprak	Yaprak Sapı
C 9:0	0,27	0,348	0	0
C10:0	0,06	0,269	0	0
C11:0	0,09	0,119	0	0
C12:0	0,03	0,089	0,09	0,16
C13:0	0,04	0,046	0,36	0,12
C14:0	0,86	2,866	4,83	10,40
C14:1	0,03	0,072	0,44	0,09
C14:1/T	0,00	0,023	0	0,09
C15:0	0,10	0,460	0,64	0,26
C16:0	5,37	8,430	16,06	17,14
C16:1	0,20	0,861	0,30	0,75
C16:1/T	0,22	0,251	2,70	0,33
C17:0	0,63	3,171	1,01	0,60
C18:0	11,37	10,523	6,48	8,17
C18:1	10,01	9,420	5,89	13,74
C18:2	8,49	7,054	5,78	11,75
C18:3	29,37	26,108	33,35	19,15
C20:1	0,60	4,283	4,60	0,62
C20:3	8,21	8,207	4,23	1,03
C20:5	4,60	4,356	0,91	3,98
C21:0	0,56	2,442	0	2,95
C22:1	4,19	2,450	0,52	0,67
C22:2	1,43	0,000	1,62	0
C22:3	0,38	0,000	0	0
C22:4	2,46	0,651	0,99	0
C22:5	8,69	4,846	6,24	0
C22:6	0,29	0,202	0,34	0
C24:1	1,30	2,454	2,62	0
TOP	100,00	100,000	100,00	100,00
ΣD	19,53	28,762	29,48	39,79
ΣUND	80,47	71,238	70,52	60,21
$\Sigma PUFA$	63,90	51,568	53,45	40,97
$\Sigma D/Pufa$	0,32	0,583	0,55	1,06

**D: Doymuş Yağ Asitleri PUFA: Çoklu Doymamış Yağ Asitleri UND:Doymamış Yağ Asitleri

S. sclarea bitki kısımlarında yapılan analiz sonucunda (Tablo 1) Doymuş/PUFA oranı en fazla %1,06 ile yaprak sapı, en az olarak ise %0,32 ile çiçek kısmında bulunmuştur. Toplam PUFA ($\Sigma PUFA$) yağ asitlerinin en az (%40,97) yaprak sapı, en fazla ise (%63,90) çiçek kısmında belirlenmiştir.

Daha önce yapılan bazı çalışmalarda $\omega-3$ yağ asitlerinin en fazla adaçayı (% 63,8) ve keten tohumunda (% 57,5), $\omega-6$ yağ asitlerinin ise en fazla safran çiçeği (% 70) ve ayçiçeğinde (% 65) olduğu bildirilmiştir (Çömlekçioğlu 2005).

PUFA (Polyunsaturated Fatty Acid) /doymamış yağ asidi oranlarına göre bitkiler hayvansal yağlardan daha yüksek bir orana sahiptir. PUFA/doymamış yağ asidi oranlarına göre balık

ve soya yağı fayda yönüyle ön plana çıkmaktadır. Fakat soya yağı içinde $\omega-3$ oranı fazla olsa da endüstride çeşitli şekillerde faydalanılan bitkilerin bütün kısımlarında bulunabilen (C22:1) erusik asit oranı da yüksektir (Çömlekçioğlu 2005).

S. sclarea bitkisinin farklı kısımlarında 28 değişik yağ asitinin varlığı tespit edilmiştir. Bu yağ asitlerinden olan miristelaidik asitin (C14:1/T) çiçek sapı ve yaprak sapında tespit edilirken çiçek ve yaprak kısımlarında bulunamamıştır.

Yağ asitlerinden cis-13,16,19-dokosatrienoik yağ asidi (C22:3) çiçek sapında, yaprak sapında, yaprak kısımlarında bulunmazken, çiçek kısımlarında tespit edilmiştir. Heneikosanoik (C21:0) yağ asidi yaprak kısmı hariç bütün kısımlarında sırasıyla

çiçek (% 0,56), çiçek sapı (%2,44) ve yaprak sapında (%2,95) belirlenmiştir. Palmitelaidik (C16:1/T) yağ asidi ise sırasıyla çiçek (% 0,22), çiçek sapı (%0,25), yaprak sapında (%0,33) ve yaprakta (%2,70) tespit edilmiştir. Ayrıca nonanoik asit (C9:0), kaprik asit (C10:0), undesilik asit (C11:0) yağ asitlerinin bitkinin sadece yaprak ve yaprak sapında olmadığını belirlenmiştir

Daha önce yapılan bazı çalışmalarda omega-3 yağ asitleri ve omega-6 yağ asitlerinin genel olarak kalp ve iltihaplı eklem romatizması gibi hastalıkların önlenmesinde etkili olduğu, ayrıca Omega-6 kanamaları azaltmada, omega-3 ise yangı giderici, antitrombotik, antiritmik ve damar genişletici özelliğe sahip olduğu bilinmektedir (Çelik ve Demirel 2004).

Nasirullah ve ark. (1984) *Brassicaceae*, *Apiaceae* ve *Asteraceae* familyalarına ait 15 farklı sebze tohumu ve yenilebilir kısımlarının yağ asitleri bileşimlerini incelemişlerdir. Bu sebzeler içinde Orta Avrupa'da yaygın olan *Brassicaceae* familyası tohumlarının erusik asitçe zengin, dal ve yapraklarının ise bu asitçe fakir, linolenik asitlerle zengin ayrıca vakkamik asitlerin oleik asitlerden daha fazla bulunduğunu belirlemişlerdir. *Apiaceae* familyasına ait bitkilerde yalnızca tohumlarında petroselinik asit bulunduğunu fakat bu asitin sebzenin diğer kısımlarının yağlarında mevcut olmadığını görmüşlerdir.

Sonuç

S. sclarea'nın bütün kısımlarının bileşiminde yüksek miktarlarda oleik asit (C18:1), linoleik asit (C18:2) ve linolenik asit (C18:3) gibi insan sağlığı açısından önem taşıyan yağ asitlerini buldurması yönüyle dikkat çeken bir bitki olmuştur (Azcan ve ark. 2004; Kara 2007). Çumra ekolojik koşullarında kültüre alınarak yetiştirilen *S. sclarea* bitki kısımlarındaki varyabiliteyi belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada da *S. sclarea*'nın bütün kısımlarının bileşiminde yüksek miktarlarda oleik asit (C18:1), linoleik asit (C18:2) ve linolenik asit (C18:3) olduğu görülmüştür. Özellikle linolenik asit (C18:3) yağ asiti tohum kısmında daha fazla bulunduğu bilinmektedir. Bu çalışma ile *S. sclarea* diğer kısımlarının da oleik asit (C18:1), linoleik asit (C18:2) ve linolenik asit (C18:3) yönüyle zengin olması bu bitkinin bütün kısımlarının değerlendirilebilme imkanı olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- A.O.A.C. (1990). Official Methods for the Analysis (15th ed.). Arlington, Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Ayerza, R. (1995). Oil Content and Fatty Acid Composition of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Five Northwestern Locations in Argentina. J. Am. Oil Chem. Soc., 72, 1079–1081.
- Azcan, N., Ertan, A., Demirci, B., Baser, H.C. (2004). Fatty Acid Composition of Seed Oils of Twelve *Salvia* Species Growing in Turkey. Chemistry of Natural Compounds, 40, 186–188.
- Çelik, S., Demirel, M. (2004). İnsan ve Hayvan Sağlığı Bakımından ω Yağ Asitleri ve Konjuge Linoleik Asidin Önemi. Y.Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Sayı: 1. 25–35. Van.
- Çömlekçioğlu, N. (2005). Ülkemizde Doğal Olarak Yayılış Gösteren *Crambe* SPP'nin Kimyasal İçeriğinin ve Endüstriyel Kullanım Alanlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- İncekara, F. (1972). Endüstri Bitkileri ve Islahı. Cilt 2. Yağ Bitkileri ve Islahı. E.Ü Zir. Fak. No:33. İzmir.
- Kara, Y. (2007). (*Salvia sclarea* L.) Misk adaçayının yağ asitleri kompozisyonları üzerine morfojenetik değişimlerin

incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Ensti.

- Karaca, E., Aytaç, S., (2006). Yağ Bitkilerinde Yağ Asitleri Kompozisyonu Üzerine Etki Eden Faktörler. Ondokuz Mayıs Üniv. Ziraat Fak. Dergisi 22(1), 123–131.
- Köroğlu, M., ve Köksal, A.İ., (1998). Türkiye'de Yetiştirilen Bazı Antepfıstığı (*Pistacia vera* L.) Çeşitlerinde Yağ Miktarı ve Yağ Asitlerinin Değişimi Üzerine Farklı Tozlayıcı Türlerin Etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi, 4(3): 24–29.
- Keskin, C., (2002). Bazı *Hypericum* Türlerinin Total Yağ Asidi Miktarı ve Yağ Asidi Bileşenleri. Yüksek Lisans Tezi, D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Diyarbakır.
- Nasirullah., Werner, G., Seher, A., (1984). Fatty Acid Composition of Lipids from Edible Parts and Seeds of Vegetables. Fette Seifen Anstrichmittel, 86, 264–268.
- Padley, F.B., Gunstone, F.D., Harwood, J.L. (1986). Occurrence and characteristics of oils and fats. The Lipid Handbook. The University Press, Cambridge.
- Paquot C. (1979). Standart Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives. 6th Edition Pergamont Press. Paris.
- Tulukcu, E., (2006). Misk Adaçayı. Doğa Sağlık Dergisi. Kocaeli.