



SAYI/ISSUE 46
OCAK/JANUARY 2023

EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

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

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

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Editor

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Editor

Editorial Board Members

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

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

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

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

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

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

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

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

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

INDEX  COPERNICUS
I N T E R N A T I O N A L



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

e-ISSN 2148-2683

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Hiperbolik Soğutma Kulelerinin Soğutma Performansının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Değerlendirilmesi
Muharrem İMAL
Sayfa: 1 - 8
- Antimikrobiyal Film ve Kaplamaların Kırmızı Et ve Köftelerin Mikrobiyal Kalitesine Etkisi
Aysel İÇÖZ, Bülent EKER
Sayfa: 9 - 16
- Aviyonik Kutuların İmalatında Kullanılan Malzemelerin Soğutma Üzerindeki Etkisi
Melih ATEŞ, Rasim BEHCET
Sayfa: 17 - 26
- Ti6Al4V Alaşımının Ultrasonik Yüksek Hızlı Mikro Frezelenmesinde Talaşların İncelenmesi
Aybars MAHMAT, Nihat TOSUN, Salih AĞAR
Sayfa: 27 - 36
- Forecasting of Monkeypox Cases in the World Using the ARIMA Model
Pinar CİHAN
Sayfa: 37 - 45
- Kinect Tabanlı Akıllı Ayna Uygulaması
Yahya DİNVAR, Burakhan ÇUBUKÇU, Uğur YÜZGEÇ
Sayfa: 46 - 53
- Solitary wave solutions of the (4+1)-dimensional Fokas equation via an efficient integration technique
Pinar ALBAYRAK
Sayfa: 54 - 63
- Al/Organometalik Kompleks/p-Si Yapısının Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi
Hülya DOĞAN
Sayfa: 64 - 73
- Andız (Juniperus drupacea) Pekmezinin Üretimi, Çeşitli Fizikokimyasal ve Biyoaktif Özellikleri
Kübra ÖZKAN, Güliz TÜRKMEÑOÇLU, Hüseyin FAKİR, Osman SAĞDIÇ
Sayfa: 74 - 81
- Bazı Yeni Potansiyel Biyolojik Aktif 2-Etoksi-6-(3-substitue-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il-azometin)-fenil Fenilasetat Türevlerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antioksidan Özellikleri
Haydar YÜKSEK, Faruk KARDAŞ, Sevda MANAP
Sayfa: 82 - 89
- Student opinions about the training set consists of smart interactive mockups and application program used in anatomy and histology education
Güneş BOLATLI, Fatih TAŞ
Sayfa: 90 - 97
- Hybrid Approach to Supply Chain Project Manager Selection Problem
Karahana KARA, Sercan EDİNSEL, Galip Cihan YALÇIN
Sayfa: 98 - 108
- Artificial Intelligence Based Instance-Aware Semantic Lobe Segmentation on Chest Computed Tomography Images
Beyza SAYRACI, Mahmut AĞRALI, Volkan KILIÇ
Sayfa: 109 - 115
- El Hareketleri ile Mutfak Gereçlerinin Temassız Kontrolü: Sanal Ocak Üzerine Bir Uygulama Arayüzü
Buse BATUKAN, Bülent KAYA
Sayfa: 116 - 125
- Hint Yarımadasında Türk Mimari İzleri ve Karakteri
Zeynep CEVAHİREFENDİOĞLU, Leyla SURI
Sayfa: 126 - 150

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Employee Shuttle Bus Routing Problem: A Case Study

Gaye PEKER, Deniz TÜRSEL ELİİYİ

Sayfa: 151 - 160

Bor Madeni ve Ensdüstriyel Uygulamaları

Ayşe ZENGİN, Berra AKA, Selin GENÇAY, Muhammet UZUN

Sayfa: 161 - 178

Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyelinin Sayısal Hava Tahmin Sistemi ile Simülasyonu ve Analizi

Fahrettin Fırat ÖZDEMİR, Abdulla SAKALLI

Sayfa: 179 - 192

Kendi Kendine Yeterlilik ve İthalata Bağımlılık Açısından Tavuk Yumurtası Üretimini Değerlendirilmesi

Oktay TOMAR, Alptekin Mert YILMAZ, Abdullah ÇAĞLAR

Sayfa: 193 - 201

Duygusal İştahın Beden Kütle İndeksi ve Basit Karbonhidrat Tüketimi Üzerine Etkisi

Sabiha Zeynep Aydenk KÖSEOĞLU, Ayda SMAİL

Sayfa: 202 - 208

An Evaluation on the Circular Economy Model and the Loops Design in the Context of Waste Management

Evren SAPMAZ VERAL

Düzeltilme Makalesi



Hiperbolik Soğutma Kulelerinin Soğutma Performansının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Değerlendirilmesi

Muharrem İmal

Kahramanmaraş S.İ. Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Makine Müh. Böl., Kahramanmaraş, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5320-8858), muharremimal@ksu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 21 Aralık 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1134400)

ATIF/REFERENCE: İmal., M. (2023). Hiperbolik Soğutma Kulelerinin Soğutma Analizinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Değerlendirilmesi., *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 1-8.

Öz

Bu makalede, çeşitli giriş koşullarına sahip hiperbolik bir soğutma kulesinin akış analizi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği modülü kullanılarak hesaplanmıştır. Referans olarak 50 ton/saat kapasiteli bir soğutma kulesi alınmıştır. Sistemde soğutma kulesinin sağ ve sol tarafta olmak üzere iki su girişi ve alttan hava girişi bulunmaktadır. Analiz sonucunda soğutma kulesinin performansını etkileyen ana faktörlerin akışkan sıcaklığı ve çevre nem değerleri olduğu görülmüştür. Ayrıca optimum boyutlarda kule yüksekliğinin soğutma performansını artırdığı hesaplanmıştır. Soğutma kulesi içerisinde hava debisinin ve akış hızının artması ile kulenin soğutma kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu analizde k-ε enerji denklemi yöntemi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hiperbolik Soğutma Kulesi, Isı Transferi Analizi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.

An Evaluation of Cooling Performance Analysis of Hyperbolic Cooling Towers with Computational Fluid Dynamics

Abstract

In this paper, the flow analysis of a hyperbolic cooling tower with various inlet conditions is calculated using the computational fluid dynamics module. A cooling tower with a capacity of 50 tons/hour is taken as a reference system. The system has two water inlets on the left and right sides and an air inlet at the bottom. As a result of the analysis, it is seen that the main factors affecting the performance of the cooling tower are fluid temperature and ambient humidity values. It is also calculated that the cooling performance increases if the tower height is designed at the optimum level. It is observed that the cooling capacity of the tower increases with the increase in air flow rate and flow rate. The k-ε energy equation method was used in this analysis.

Keywords: Hyperbolic Cooling Tower, Heat Transfer Analysis, Computational Fluid Dynamics.

1. Giriş

Soğutma kuleleri, endüstriyel tesislere proseste oluşan atık sıcak suyun taşıdığı ısı enerjisini uzaklaştırarak soğutma suyu temin etmek için kullanılan sistemlerdir. Endüstriyel soğutma kuleleri, petrokimya tesisleri, doğalgaz işleme tesisleri ve diğer termik esaslı endüstriyel tesislerde kullanılır. Soğutma kuleleri sistemde dolaşan soğutma suyunun sistemden aldığı atık ısıyı çevreye atarak, aynı sisteme tekrar soğutma suyu temin edilmesini sağlamaktadır. Soğutma kuleleri kapasite değerlerine göre değişik yüksekliklerde olabilmektedir. 100 metre çapına ve 120 metre yüksekliğe ulaşabilen hiperbolik soğutma kuleleri mevcuttur. Örnek olarak 700 MW'lık termik santralde soğutma suyu dolaşım miktarı yaklaşık 71600 m³/saat'tir ve bu akışkanın %5 civarındaki oranı buharlaşma işlemi sonucu çevreye atılmaktadır. Bu tesiste soğutma kulesi kullanılmasıyla, yaklaşık 100000 m³/saat akışkanın geri kazanımı gerçekleştirilmektedir. Bu açıdan soğutma kuleleri soğutma suyunun verimli kullanılmasını sağlamaktadır.

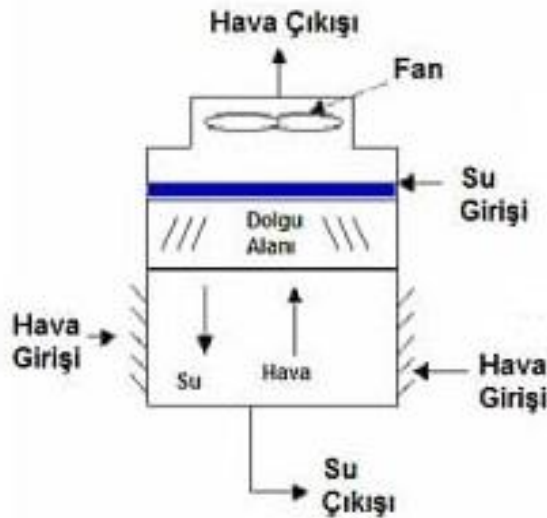
Genellikle soğutma kuleleri, karşıt akışlı ve çapraz akışlı olmak üzere iki grupta incelenir. Bu sistemlerden karşıt akışlı sistemlerin verimi çapraz akışlı sistemlere kıyasla yüksektir. Bu çalışmada doğal hava çekişli ve karşıt akışlı hiperbolik bir soğutma kulesi kullanılmıştır. Bir doğal çekişli hiperbolik gövdeli soğutma kulesinin verimi, evaporatif soğutmanın yanı sıra, duyulur ısı transferinin büyüklüğüne bağlıdır. Soğutma kulesinde evaporatif soğutma sırasında, soğutulan suyun küçük bir miktarı suyun geri kalanını soğutmak için hava akımının etkisiyle buharlaştırılmaktadır. Ayrıca ılık su daha soğuk bir hava ile temas ettiği zaman, duyulur bir ısı transferi oluşmaktadır. Akışkanın taşıdığı ısının %25'lik bir kısmı çevreye atılarak su soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu ısı transferi işlemi ilk olarak Merkel zıt akışlı bir soğutma kulesindeki karmaşık ısı transferi olayını açıklayarak tanımlamıştır. James ve webb Etkinlik-NTU ve logaritmik ortalama entalpi metotlarının doymuş hava entalpisi ile sıcaklık arasındaki lineer olmayan bağıntısını kullanarak soğutma kulesinin tasarımını çalışmışlardır. Kloppers ve Kröger, ısı ve kütle transferi denklemlerini kullanarak soğutma kulesinin tasarımında Merkel, NTU ve Poppe metodlarını karşılaştırmışlar ve Poppe metodunun daha kabul edilir sonuçlar ortaya koyduğunu göstermişlerdir. ElDessouky ve ark. (1997) suyun buharlaşmasının kule performansı üzerinde sürekli olmadığını ancak sabit su debisi koşullarında %1.3 e kadar etkili olduğunu göstermişlerdir. Sayısal çalışma sonuçlarında sistemdeki ısı transferinin büyük oranda buharlaşma yoluyla kule üst bölgesinde %90 oranında gerçekleştiği, %62.5 oranında da kule alt bölgesinde gerçekleştiği hesaplanmıştır.

2.1. Hiperbolik Soğutma Kulelerinin Yapısı ve Sınıflandırılması

Hiperbolik soğutma kulelerinde, su kulenin içinden geçerken suyun hava ile teması sonucunda bir kısmı ısı iletimi ve ısı taşınımı yoluyla buharlaşarak atmosfere atılmaktadır. Bu sırada soğutma suyundaki ısı enerjisinin, bir kısmı buharlaşma yoluyla dış çevreye verilir ve suyun soğuması sağlanmış olur. Soğutma kulelerinin çalışma prensibi, suyun havayla karşılaşma durumuna göre karşıt akışlı ve çapraz akışlı kuleler olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.1.1. Karşı Akışlı Hiperbolik Soğutma Kuleleri

Su ve havanın zıt ve paralel bir açı oluşturacak şekilde karşı karşıya geldiği kulelerdir. Su dağıtımı oluklu bir sistemle ya da trake adı verilen basınçlı bir borulama sistemiyle gerçekleştirilir. Nozullar aracılığıyla küçük parçacıklar haline getirilen su dolgu üzerinden geçerken, kulenin dört bir yanından iç ortama giren hava ile temas eder ve ısı transferi gerçekleşir. Soğutulmuş su alt havuzda toplanır ve tekrar sisteme pompalanır. Karşıt akışlı kuleler üstten fanlı ve yandan fanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

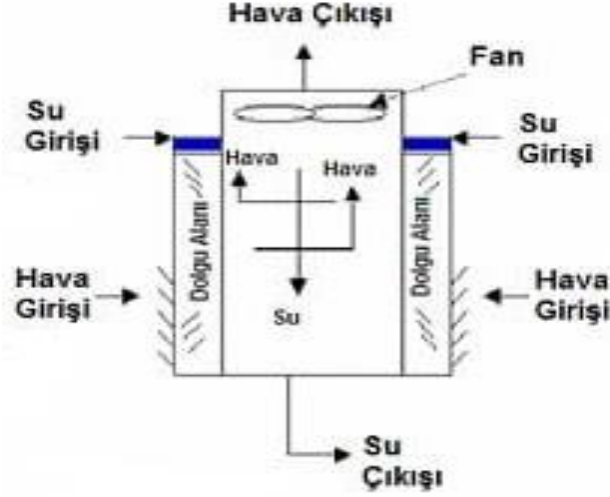


Şekil 1. Bir karşıt akışlı soğutma kulesi (Figure 1. A counterflow cooling tower)

2.1.2. Çapraz Akışlı Hiperbolik Soğutma Kuleleri

Su ve havanın 90 derecelik bir açı oluşturacak şekilde karşılaştığı kulelerdir. Su dağıtım yerçekimi kuvveti sayesinde gerçekleştirilmektedir. Sıcak su dağıtım havuzu üzerine sistematik şekilde konuşlandırılmış olan nozullar aracılığıyla su küçük parçacıklara ayrılır ve dolgu üzerine gönderilir. Hava giriş panjurundan gelen hava ile dolgu yüzeyinde karşılaşılan su arasında ısı transferi gerçekleşir ve alt havuzda toplanan su sisteme pompalanır.

Karşı akışlı soğutma kulelerinde su yukarıdan aşağıya akarken, havada aşağıdan yukarıya hareket ederek su ile temas etmektedir. Çapraz akışlı soğutma kulesi tiplerinde ise, su yine yukarıdan aşağıya akarken, bu kez hava yatay olarak hareket etmektedir.



Şekil 2. Bir çapraz akışlı soğutma kulesi (Figure 2. A crossflow cooling tower)

Karşı ve çapraz akışlı soğutma kulelerinde yıllardan beri süregelen bir rekabet söz konusudur. Hangi prensiple çalışıyor olursa olsun, bir soğutma kulesinden maksimum verimi alabilmek için su özellikleri ve ortam koşulları dikkate alınmalıdır. Yaygın olarak kule tiplerinde, kule üzerinden fiske sistemi ile püskürtülen su, kule üzerinde fanlar ile emilen hava ile karşılaşır ve hava ile su arasında ısı transferi gerçekleşir. Bu sayede soğuyan su kule dibinde toplanır ve sonra sisteme pompalanır.

3. Materyal ve Metot

3.1. Temel Denklemler

Anlık kütle, momentum ve enerji korunumu denklemleri durağan bir çerçevede aşağıdaki gibi yazılabilir:

- Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

- Momentum Denklemleri

$$\text{x-bileşeni: } \rho \frac{Du}{Dt} = \rho g_x + \partial \sigma_{xx} / \partial x + \partial \sigma_{yx} / \partial y + \partial \sigma_{zx} / \partial z$$

$$\text{y-bileşeni: } \rho \frac{Dv}{Dt} = \rho g_y + \partial \sigma_{xy} / \partial x + \partial \sigma_{yy} / \partial y + \partial \sigma_{zy} / \partial z$$

$$\text{z-bileşeni: } \rho \frac{Dw}{Dt} = \rho g_z + \partial \sigma_{xz} / \partial x + \partial \sigma_{yz} / \partial y + \partial \sigma_{zz} / \partial z$$

- Toplam Enerji Denklemi

$$Q_{net,giren} = Q_{giren} - Q_{çıkan}$$

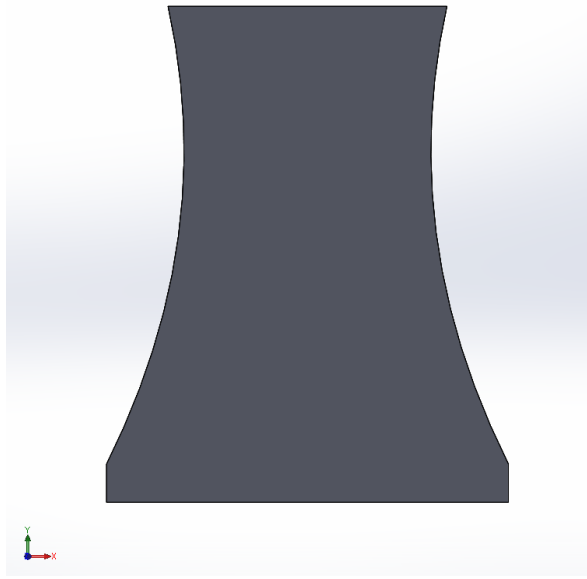
$$W_{net,giren} = W_{giren} - W_{çıkan}$$

$$Q_{net,giren} + W_{net,giren} = \frac{dE_{sistem}}{dt} \text{ veya } Q_{net,giren} + W_{net,giren} = \frac{d}{dt} \int_{Sis} p \, dV$$

3.2. Soğutma Kulesi Modelinin Boyutları

- ❖ Kule Yüksekliği: 130m
- ❖ Hava Girişi Yüksekliği: 10m
- ❖ Depolama Derinliği: 1m
- ❖ Su Girişi Yüksekliği: 10m
- ❖ Su Giriş Debileri: 15 kg/s ve 20 kg/s
- ❖ Su Giriş Sıcaklıkları: 330 K ve 320 K
- ❖ Hava Giriş Debileri: 10 kg/s ve 15 kg/s
- ❖ Hava Giriş Sıcaklığı: 300 K
- ❖ Ortamın Nem Yüzdesi: %55
- ❖ Ortam Basıncı: Atmosfer basıncı yani 101 kpa (1 atm) alınmıştır.

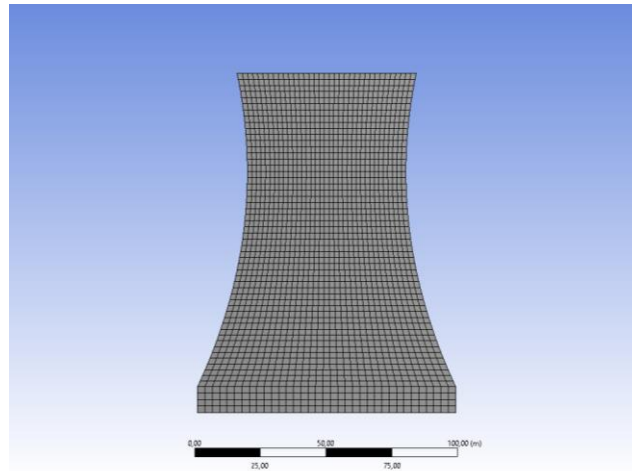
Soğutma kulesi tasarımı, Şekil 3.'de gösterilmiştir.



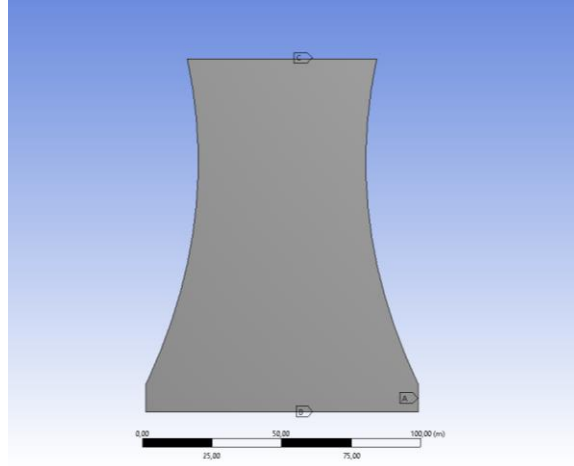
Şekil 3. Tasarlanan hiperbolik soğutma kulesi (Figure 3. Designed hyperbolic cooling tower)

3.3. Ağ Yapısının Oluşturulması

Hiperbolik kule geometrisi tasarlandıktan sonra ağ yapısı oluşturulur. Ağ yapısı oluşturulurken Fluent modülünün mesh kalitesi tavsiyelerine uyulması gereklidir. Ağ yapısında 1960 hücre ve 4144 node bulunmaktadır. Şekil 4.'de ağ yapısı, Şekil 5. 'te hava ve suyun giriş ve çıkış noktaları gösterilmiştir.



Şekil 4. Hiperbolik soğutma kulesi ağ yapısı (Figure 4. Mesh model of hyperbolic cooling tower)



Şekil 5. Soğutma Kulesi Hava ve Su Giriş ve Çıkış Noktaları (Figure 5. Inlet and outlet for air and water flow on tower)

3.4. Hiperbolik Soğutma Kulesi Hücre Bölge Koşulları

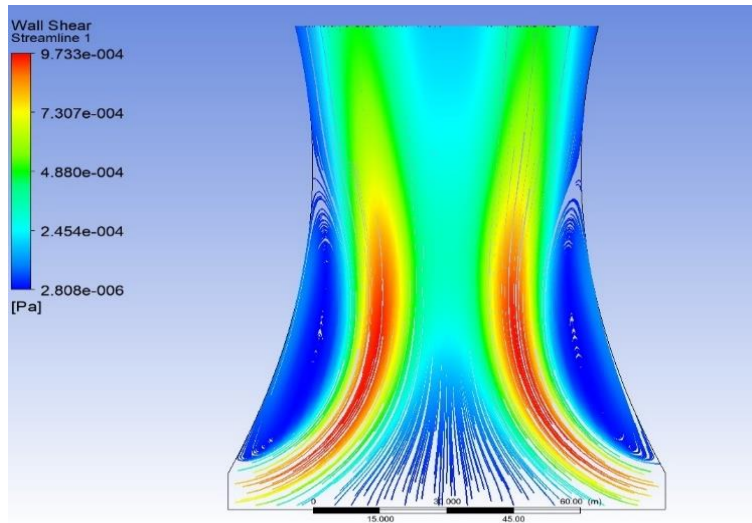
Soğutma kulesi kontrol hacminin sınırları içerisinde bütün yüzeyler akışkan olarak tanımlanmış ve çalışma basıncı 1 atm olarak girilmiştir. Yerçekimi -y yönünde 9.81 m/s^2 olarak tanımlanmıştır. Çalışma sıcaklığı ise 288 K olarak girilmiştir.

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

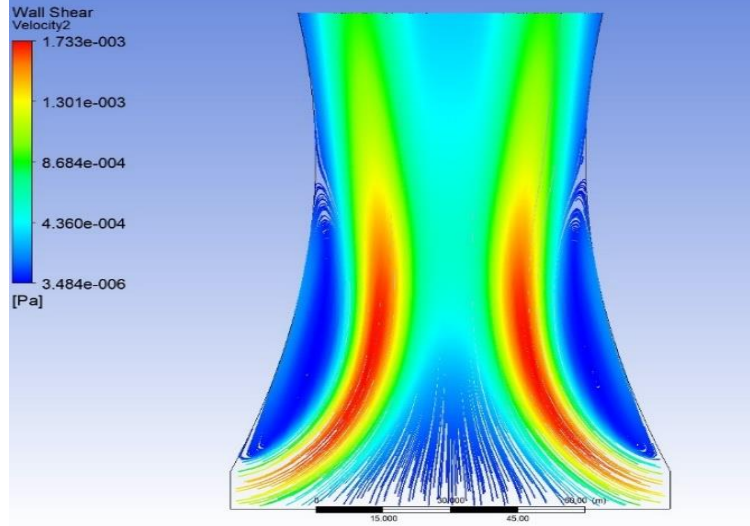
Soğutma kulesi kontrol hacmi sınırlarında iki farklı su ve hava giriş değerleri tanımlandıktan sonra 100 iterasyonla akış analizi yapılmıştır. İlk koşullarda su girişi debisi: 15 kg/s (330K) ve hava girişi debisi: 10 kg/s, daha sonraki adımda girilen ikinci koşullarda; Su girişi debisi: 20 kg/s (320K) ve hava girişi debisi: 15 kg/s olarak tanımlanmıştır. Giriş koşulları tanımlandıktan sonra programın results adımıyla kontürler oluşturulmuştur. Girilen ilk ve ikinci koşullarda hız dağılımı, basınç dağılımı ve kinetik enerji türbülans kontürleri elde edilmiştir.

4.1. Hız Dağılımı

Aşağıdaki şekiller incelendiğinde, soğutma kulesi kontrol hacmi içindeki düşük akış hızlarında hız değerinin, yüksek akış hızlarından daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. İkinci sınır koşulunda kule içindeki hız dağılımının yüksek olduğu ve kulenin merkez eksenine yayıldığı ortaya konmuştur. Bu durumun su giriş konumundan kaynaklandığı ve ayrıca boğaz kısmında hız değerinin maksimum olduğu görülmektedir. Bu durum kulenin hiperbolik geometrisi nedeniyle lüle etkisi sonucu ortaya çıkmaktadır.



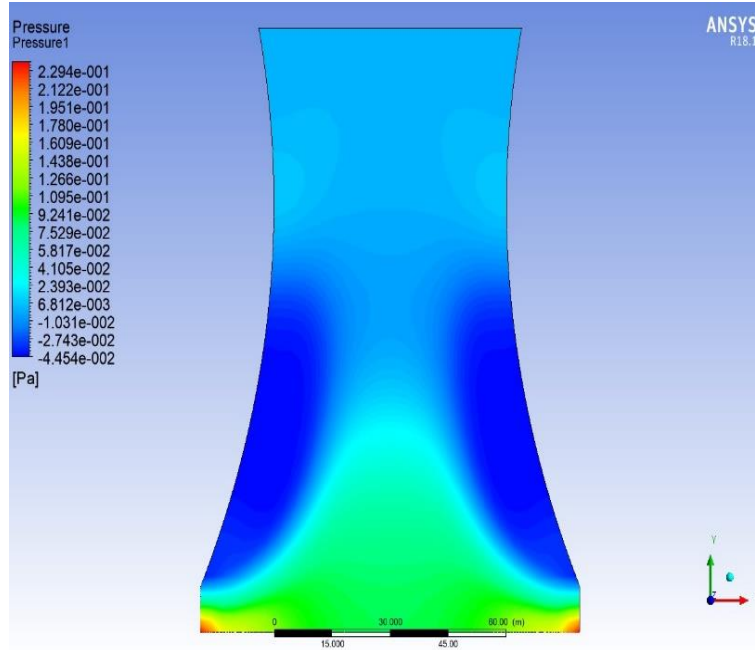
Şekil 6.1. Kule kontrol hacminde hız değişimi (Figure 6.1. Velocity distribution in tower control volume for 1. cond.)



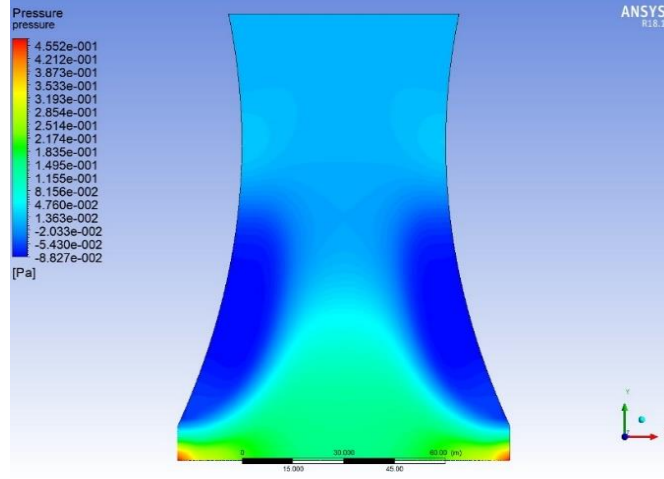
Şekil 6.2. Kule kontrol hacminde hız değişimi (Figure 6.2. Velocity distribution in tower control volume for 2.condt.)

4.2. Basınç Dağılımı

Soğutma kulesi kontrol hacmi içindeki düşük basınç değerlerinde hız değerinin arttığı, yüksek akış hızlarında daha düşük basınç dağılımı olduğu görülmektedir (Şekil 7.1). İkinci sınır koşulunda kule içindeki basınç dağılımının yüksek olduğu ve kulenin merkez eksenine doğru arttığı ve bunun hava giriş konumundan kaynaklandığı ve ayrıca boğaz kısmında basınç değerinin maksimum olduğu görülmektedir (Şekil 7.2). Bu durum kulenin hiperbolik geometrisi nedeniyle lüle etkisi sonucu hızın düştüğü bölgede basıncın artmasıyla açıklanabilir.



Şekil 7.1. Kule kontrol hacminde basınç dağılımı (Figure 7.1. Pressure distribution in tower control volume for 1. cond.)

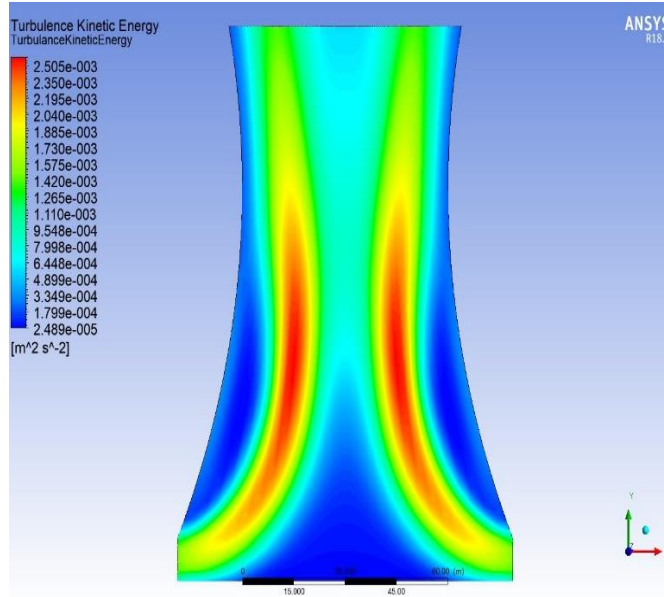


Şekil 7.2. Kule kontrol hacminde basınç dağılımı (Figure 7.2. Pressure distribution in tower control volume for 2. cond.)

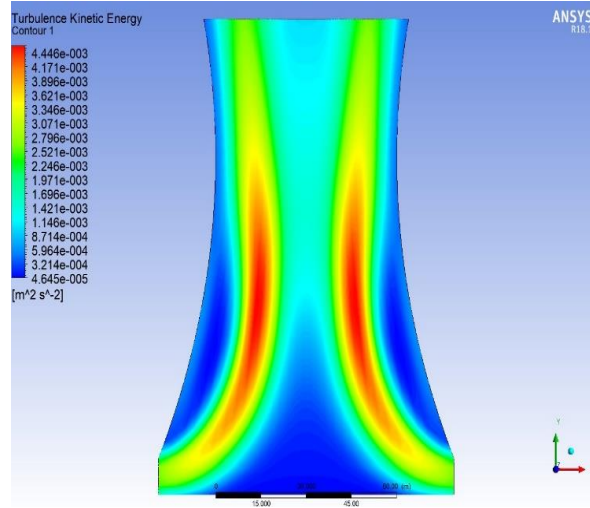
Kontrol hacminin ikinci sınır koşullarında maksimum basıncın su girişinin altında olduğu açıkça görülmektedir. İlk durumda su, ortam sıcaklığındaki hava ile doğrudan temas halinde olduğundan maksimum basınç oluşturma durumu yoktur. Bu da basınç farkına yol açar ve sıcak havanın kuleden daha hızlı çıkmasına neden olur ve maksimum ısı transfer etkisi sağlar.

4.3. Türbülans Kinetik Enerji

Aşağıdaki şekilde soğutma kulesi kontrol hacmi içindeki düşük akış hızlarında kinetik enerji değerinin, yüksek akış hızlarından daha düşük olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 8). İkinci sınır koşulunda kule içindeki kinetik enerji dağılımının yüksek olduğu ve kulenin merkez eksenine yakın maksimum değer aldığı görülmektedir. Bu sonuç kulenin hiperbolik geometrisi nedeniyle lüle etkisi sonucu oluşmaktadır.



Şekil 8.1. Kule kontrol hacminde kinetik enerji dağılımı (Figure 8.1. Kinetic energy distribution in tower control volume for 1. cond.)



Şekil 8.2. Kule kontrol hacminde kinetik enerji dağılımı (Figure 8.2. Kinetic energy distribution in tower control volume for 2. cond.).

Soğutma kulesindeki türbülans kinetik enerjisi, ikinci sınır koşulu türbülans, boğaz bölümünden önceki cidarda oluşturulur. Sıcak havanın soğutma kulesinden geçmesine neden olan boğazda sıcak hava enine kesit boyunca dağılır.

4. Sonuç

Soğutma kuleleri sistemde dolaşan soğutma suyunun sistemden aldığı atık ısıyı çevreye vererek, aynı sisteme tekrar soğutma suyu temin edilmesini sağlar. Soğutma kuleleri kapasite değerlerine göre değişik yüksekliklerde olabilmektedir. 100 metre çapına ve 120 metre yüksekliğe kadar boyutlara sahip hiperbolik soğutma kuleleri mevcuttur. Soğutma kulesini hesaplamalı akışkanlar mekaniği yazılımları kullanarak modellemek ve analiz sonuçlarını değerlendirmek için kontrol hacmi sınırlarında iki farklı su ve hava giriş değerleri tanımlandıktan sonra 100 iterasyonla akış analizi yapılmıştır. İlk koşullarda su girişi debisi: 15 kg/s (330K) ve hava girişi debisi: 10 kg/s, daha sonraki adımda girilen ikinci koşullarda; Su girişi debisi: 20 kg/s (320K) ve hava girişi debisi: 15 kg/s olarak tanımlanmıştır. Giriş koşulları tanımlandıktan sonra programın results adımıyla kontürler oluşturulmuştur. Girilen ilk ve ikinci koşullarda hız dağılımı, basınç dağılımı ve kinetik enerji türbülans kontürleri elde edilmiştir. Sayısal çalışma sonuçlarında sistemdeki ısı transferinin büyük oranda buharlaşma yoluyla kule üst bölgesinde %90 oranında gerçekleştiği, %62.5 oranında da kule alt bölgesinde gerçekleştiği hesaplanmıştır.

Kaynakça

- Benton, D. J., Bowman, C. F., Hydeman, M., (2002). An Improved Cooling Tower Algorithm for the CoolTools™ Simulation Model, ASHRAE Transactions, 108.
- Elovitz, K. M., (1994). Can Your Plant Benefit from Free Cooling?., Plant Engineering, 48(5) pp. 76-78.
- Mulyandasari, V., (2011). Cooling Tower Selection and Sizing (Engineering Design Guideline), KLM Technology Group.
- Stanford, H.W., (2012). HVAC Water Chillers and Cooling Towers: Fundamentals, Application, and Operation., CRC Press.,USA.
- Hill, G.B., Pring, E., and Osborn, P.D., (1990). Cooling Towers: Principles and Practice, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- Merkel, F., (1925). Verdunstungs kühlung, Verein Deutscher Ingenieure Verlag, Düsseldorf, Germany.
- Kloppers, J. C., and Kröger, D., (2005). A Critical Investigation into the Heat and Mass Transfer Analysis of Counterflow Wet-Cooling Towers, International Journal of Heat and Mass Transfer, 48(3), pp. 765-777.
- Baker, D. R., and Shryock, H. A., (1961). A Comprehensive Approach to the Analysis of Cooling Tower Performance, Journal of Heat Transfer, 83(3), pp. 339-349.
- Bourillot, C., (1983). TEFERI: Numerical model for calculating the performance of an evaporative cooling tower, Electricite de France, 78-Chatou. Thermal Transfer and Aerodynamic Dept., Paris.
- Benton, D.J., (1983). A numerical simulation of heat transfer in evaporative cooling towers, Tennessee Valley Authority, WR28-1-900-110. USA.
- Majumdar, A., Singhal, A., and Spalding, D., (1983). Numerical Modeling of Wet Cooling towers—Part 1: Mathematical and Physical Models, Journal of Heat Transfer, 105(4), pp. 728-735.
- Jaber, H., and Webb, R., (1989). Design of Cooling Towers by the Effectiveness-NTU Method, Journal of Heat Transfer, 111(4), pp. 837- 843.
- Bergsten, B., (2009). Evaporative Cooling Tower and Chilled Beams. Design Aspects for Cooling in Office Buildings in Northern Europe. Institutionen För Energi OchMiljö, Installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, pp. 978-991.
- Poppe, M., and Rögener, H., (1991). Berechnung Von Rückkühlwerken, VDI Wärmeatlas, pp. Mj 1 bis Mj 15.
- Kloppers, J., and Kröger, D., (2004). Cooling Tower Perform.: A Critical Evaluation of the Merkel Assump., R&D Journal, 20(1), pp. 24-29.
- Al-Waked, R., and Behnia, M., (2006). CFD Simulation of Wet Cooling Towers," Applied Thermal Engineering, 26(4) pp. 382-395.



Antimikrobiyal Film ve Kaplamaların Kırmızı Et ve Köftelerin Mikrobiyal Kalitesine Etkisi

Aysel İçöz^{1*}, Bülent Eker²

^{1*} Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ/Türkiye (ORCID:0000-0003-1445-2908) aicoz@nku.edu.tr

² Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biosystem Mühendisliği Bölümü Tekirdağ/Türkiye (ORCID: (0000-0002-3542-9531), buekeray@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 15 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi: 10 Ocak 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1104167)

ATIF/REFERENCE: İçöz, A. & Eker, B. (2023). Antimikrobiyal Film ve Kaplamaların Kırmızı Et ve Köftelerin Mikrobiyal Kalitesine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 9-16.

Öz

Güvenli ve sağlıklı gıda maddelerinin üretimi gıda endüstrisinin en önemli hedefidir. Mikrobiyal bozulma ve gıda kaynaklı patojenler gıda sanayisi ve tüketici için endişe kaynağıdır. Tüketicilerin mikrobiyolojik olarak daha güvenli ve daha uzun ürün raf ömrü olan gıdalar talep etmesi endüstriyi yeni gıda işleme ve paketleme teknolojileri kullanmaya zorlamaktadır. Beslenmemizde önemli yeri olan et ve et ürünleri mikrobiyal, biyokimyasal değişiklikler nedeniyle raf ömrü kısa olan ürünlerdir. Gıdaların tazeliğini ve kalitesini korumada ambalajlama kritik aşamalardandır. Tüketicilere daha yüksek kalitede ürünler sunmak amacıyla işlevsel özelliği olan yeni ambalajlama yöntemleri geliştirilmiştir. Antimikrobiyal paketleme sistemleri et ve et ürünlerinde kalite ve güvenliğin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Amaç; mikroorganizmaların gelişimini belirli bir seviyede tutarak, yavaşlatarak veya durdurarak mikroorganizma gelişimini kontrol etmektir. Antimikrobiyal bileşiklerin gıdaya migrasyonu, çeşitli aktif bileşenlerin tek başına veya ambalaj malzemesine ya da ortamına kombinasyon halinde eklenmesiyle sağlanır. Patojen veya bozulma nedeni olan mikroorganizmalar için bir engel mekanizması oluşturulur. Yenilebilir filmler, bariyer görevi görenin yanı sıra çok çeşitli gıda katkı maddeleri için taşıyıcı görevi görebilir. Film ve kaplamalarda kullanılan antimikrobiyal katkı maddeleri gıdanın özelliklerini olumsuz etkilemeyecek düşük konsantrasyonlarda kullanılmalı ve yüksek inhibisyon aktivitesine sahip olmalıdır. Antimikrobiyal paketleme yöntemlerinin et ve et ürünlerinde mikroorganizma gelişimini önleme, tazeliği koruma, raf ömrünü uzatma ve gıda güvenliğini sağlamada etkili olduğu literatürde bildirilmiştir. Yenilebilir film ve kaplamaların gıdalarda uygulamalarıyla ilgili araştırmalar devam etmektedir. Çalışmamızda kırmızı et ve köftelerde antimikrobiyal film ve kaplama uygulamaları ve mikrobiyal kaliteye etkileri tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal film ve kaplamalar, Mikrobiyal kalite, Kırmızı et ve köfte

The Effect of Antimicrobial Films and Coatings on Microbial Quality of Red Meat and Meatballs

Abstract

The production of safe and healthy food components is the most important goal of the food industry. Microbial degradation and foodborne pathogens are a concern for the food industry and the consumer. Consumers' demand for foods that are microbiologically safer and with longer shelf-life forces the industry to use new food processing and packaging technologies. Meat and meat products, which have an important place in our diet, are products with a short shelf-life due to microbial and biochemical changes. Packaging is one of the critical steps in maintaining the freshness and quality of food. New packaging methods with functional features have been developed in order to offer higher quality products to consumers. Antimicrobial packaging systems play an important role in ensuring quality and safety in meat and meat products. The aim is to control the growth of microorganisms by keeping the growth of microorganisms at a certain level, slowing down or stopping them. Migration of antimicrobial compounds into food is facilitated by adding various active ingredients alone or to the packaging material by means of combining. A barrier mechanism is created for pathogens or microorganisms that cause degradation. In addition to acting as barriers, edible films can act as carriers for a wide variety of food additives. Antimicrobial additives used in films and coatings should be used in low concentrations that will adversely affect the properties of the food and should have high inhibitory activity. It has been investigated that the antimicrobial packaging methods are effective in preventing microorganism growth in meat and meat products, preserving freshness, extending shelf-life and ensuring food safety. Research on the application of edible films and coatings in food still continues. In our study, antimicrobial film and coating applications on meat and meatballs and their effects on microbial quality will be discussed.

Keywords: Antimicrobial films and coatings, Microbial quality, Red meat and meatballs

* Sorumlu Yazar: aicoz@nku.edu.tr

1. Giriş

Ambalaj gıda endüstrisinde, üretim, depolanma ve nakliyede önemli bir adımdır (Topuz and Uyar 2020). Ambalaj gıda ile doğrudan temas halindedir ve gıdayı korumak için üretimden tüketiciye teslimine kadar muhafaza etmektedir (Hamann, Puton, Colet, Steffens, Ceni, Cansian and Backes 2021). Mevcut küresel pazarda daha iyi bir yaşam kalitesi için tüketicilerin talebinde bir artış yaşanmıştır. Güvenli gıda ürünleri için yüksek kalite kriterlerini karşılamak ve kimyasal kullanımını azaltmak bu talebe katkıda bulunan faktörlerdendir (Mahalik and Nambiar 2010). Gıdaların çoğu depolama sırasında mikrobiyal bozulmaya karşı koruma gerektirir. İnsan sağlığı üzerinde azaltılmış etkisi, kalite ve güvenlik faydaları sağlama potansiyeli nedeniyle doğal bileşikler, araştırma ve endüstriden büyük ilgi görmektedir. Doğal aktif maddelerin kullanımı, kabul edilen gıda sürdürülebilirliği kriterlerini desteklemektedir (Lucera, Costa, Conte and Del Nobile 2012). Antimikrobiyal paketleme, gıdaları kirleten patojen mikroorganizmaları inhibe etmede veya öldürmede en etkili yöntemlerden biridir (Salleh, Muhamad and Khairuddin 2007). Yenilebilir filmler ve kaplamalarda antimikrobiyallerin kullanımı, gıdanın kalitesini ve güvenliğini arttırmada yardımcı olan yeni bir tekniktir (Arshad and Batool 2017). Yenilebilir filmler ve kaplamalar et ürünlerine renk ve dokuyu stabilize etme, lipid oksidasyonunu azaltma ve raf ömrünü uzatma işlevselliği katarak, etin bileşimini ve besin değerini korumaya, nem kaybını ve uçucu maddelerin iletimini önlemeye yardımcı olabilir (Umaraw, Munekata, Verma, Barba, Singh, Kumar and Lorenzo 2020). Diğer gıdalara kıyasla çok daha hızlı bozuldukları, daha yüksek kontaminasyon potansiyeline sahip oldukları için et ve et ürünlerinde, paketleme önemli rol oynamaktadır (Heinz and Hautzinger 2007). Et endüstrisi, ulusal ekonomilerin önemli bir payını temsil etmektedir (Sánchez-Ortega, García-Almendárez, Santos-López, Amaro-Reyes, Barboza-Corona and Regalado 2014). Hayvansal gıdalar için herhangi bir paketleme sisteminin amacı; görünüm, tat, koku ve dokuda istenmeyen oksidatif ve mikrobiyolojik bozucu değişiklikleri önlemek veya geciktirmek ve ürünün raf ömrünü uzatmaktır (Ščetar, Kurek and Galić 2010). Et ve et ürünleri; kesim, işleme sonrası, dağıtım ve nakliye sırasında farklı koşullara maruz kaldığında kontaminasyon meydana gelebilir. Bu nedenle, bulaşmayı azaltmak için iyi bir ambajlama yapılmalıdır (Sung, Sin, Tee, Bee, Rahmat, Rahman, Tan and Vikhraman 2013). Antimikrobiyal paketleme, paketin yüzeyi ile doğrudan teması yoluyla mikrobiyal büyümeyi önleyerek eti, patojen kontaminasyonundan korumak için umut verici bir araç olabilir (Ye, Neetoo and Chen 2008). Antimikrobiyal film ve kaplamaların kırmızı et ve köftelerin raf ömrü ve kalite özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu derlemede antimikrobiyal film ve kaplamaların kırmızı et ve köftelerde mikrobiyal kaliteye etkileri tartışılacaktır.

2. Kırmızı Et ve Köfte

2.1. Kırmızı Et

Et, “kesilen hayvanların kas dokusu” olarak tanımlanabilir ve değerli hayvansal üründür (Hossain 2021). Et ürünlerinin tüketimi kırsal kesimden ziyade kentlerde daha fazladır (Igene 2009). Et, tarih öncesi çağlardan beri insan beslenmesinin önemli bir parçası olmuştur (Umaraw, Munekata, Verma, Barba, Singh, Kumar and Lorenzo 2020). Ayrıca taze et zengin besin içeriği nedeniyle dünya çapında hayvansal protein kaynağı olarak tüketicinin ilk tercihi haline gelmiştir (Heinz and Hautzinger 2007). Yüksek nem içeriği patojenik ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların büyümesi taze etin ticari ömrünü sınırlamaktadır (Zhou, Xu and Liu 2010). Et doku yapısı ile ayırt edilir, mikroorganizmalarla kontaminasyon riskini arttırabilen farklı işlemlerle muamele edilir. (Mohamed, El-Sakhawy and El-Sakhawy 2020). Mikrobiyal gelişme ve lipid oksidasyonu etin kalitesinin bozulmasına etki eden iki önemli faktördür (Hugas, Garriga, Pascual, Aymerich and Monfort 2002). Antioksidan ve antimikrobiyal bileşiklerin kullanımı ile lipid oksidasyonu ve mikrobiyal gelişme kontrol edildiğinde et kalitesi kalıcı olabilir (Lee, Choi, Choi, Han, Kim, Shim, Chung and Kim 2010). Et ürünlerinde mikrobiyal gelişmenin kontrolü, ürünlerin raf ömrünü uzatmak ve gıda kaynaklı hastalıkları önlemek için çok önemlidir (Longhi, da Silva, Martins, Carciofi, de Aragão and Laurindo 2018); (Jacob, Mathiasen and Powell 2010). Baharat ve bitki özleri, uçucu yağlar, organik asitler, tuzlar, bakteriyosinler gibi doğal antibakteriyel bileşiklerin kullanımı etin raf ömrünü arttırmak için literatürde bildirilmiştir (Jamilah, Abbas and Rahman 2008) (Jaloszinska and Wilczak 2009).

2.2. Köfte

Literatürde köftenin çeşitli tanımları yapılmıştır. Köfte, Asya bölgesindeki bazı ülkeler ve bazı Avrupa ülkeleri arasında oldukça popülerdir. Bu ürünler arasında İtalya'nın Polpette'i, Almanya'nın limonlu ve carperli Koningsberger Klopse veya köftesi, İsveç'in İsveç köftesi, Türkiye'nin Köfte'si, Vietnam'ın Nunh Hoa'sı, Hindistan'ın Curried Köfteri ve Çin'in Çin köftesi sayılabilir (Fulton 1983) (Duong and Kiesel 1991) (Redden and Chen 1995) (Serdaroğlu and Değirmencioğlu 2004) (Purnomo 1990). Köfte, sığır, tavuk, balık ve tavşan gibi çeşitli hayvanların etlerinden yapılabilir. Etin farklılığı köfte türünü belirlemektedir (Ferawati, Kurnia and Purwati 2017). Üretim sırasında kullanılan yöntemler ve içerikler bölgelere bağlı olarak değişir. Türk mutfağında önemli besin maddelerinden birisi olan köfte, Farsça bir kelime olan “küfte”den türemiş olup, temel hammaddesini kıyma oluşturmaktadır. Kıyma içerisine çeşitli katkılar ilave edilerek ve farklı pişirme teknikleri uygulanarak yüzlerce çeşit köfte üretilip tüketilmektedir (Kundakçı ve Ergönül 2009) (Keçeci 2018). Türk Gıda Kodeksi Et ve Et Ürünleri Tebliği'nde köfte; kıyılmış büyükbaş ve küçükbaş hayvanların biri veya birkaçının etlerinin karışımına, istenildiğinde aynı tür hayvanların yağları, lezzet vericiler ile diğer gıda bileşenlerinden biri veya birkaçı ilave edilerek çeşitli şekillerde hazırlanan pişirilmeye hazır kırmızı et karışımını veya pişirilmiş et ürünü olarak tanımlanmaktadır (Anonim 2012) (Korkmaz 2018). Dana eti köftesi, kıyma ile su, un, baharat ve yağ ilave edilerek hazırlanan ve ön pişirme, depolama ve tekrar ısıtma ile işlenerek alınmaya uygun hale getirilen yuvarlak formdadır (Zhang, Zhang, Wang, Xing and Zhang 2020). (Zhang, Zhao, Fan, Xiao, Cheng, and Wang 2020). Asya tipi köfteler yaygın olarak kıymanın bir çeşit nişasta, tuz ve etnik mutfığa özgü bazı otlar ile emülsifiye edilmesiyle üretilir ve son olarak top haline getirilir. Daha sonra mutfığa göre kaynar suda, buharda veya derin yağda kızartılarak pişirilir (Purnomo, 1990). Ürünleri geliştirmek için çeşitli olası stratejiler vardır. Et ürünlerinin yeniden formüle edilmesi bu stratejilerden biridir (Arihara 2006); (Fernández-Ginés, Fernández-López, Sayas-Barberá and Pérez-Alvarez 2005). Son yıllarda köftelerin besin ve depolanma kalitesini arttıran uygulamalara odaklanılmıştır: Sığır eti burgerinin çeşitli limon albedosu türlerinden

etkilenen özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada; albedo kullanımının sığır köftelerinin pişirme özelliklerini geliştirmek için fonksiyonel bir bileşen olarak potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir (Aleson-Carbonell, Fernández-López, Pérez-Alvarez and Kuri 2005); Yapılan bir çalışmada; bileşim veya duyuşal özelliklerde minimum değışikliklerle sığır köftelerinin besin değeri ve sağlık yararlarını arttırmak için keten tohumu unu eklenebileceği bildirilmiştir (Bilek and Turhan 2009); Depolama sırasında kıyılmış domuz etine, etanol kullanılarak ekstrakte edilen kabak yaprağı özlerinin ilavesi, 10 günlük depolama süresince kontrole kıyasla, domuz kıymasında toplam aerobik bakteri sayısı, konjuge dienler (CD), serbest yağ asitleri (FFA) ve tiyobarbitürik reaksiyon maddesi (TBARS) değeri azaltmıştır (Choe, Kim, Choi, Han, Choi, Kim and Kim 2011). Emülsifiye domuz köftesi olan Kung-wan'da pirinç kepeği kullanımı araştırılmıştır (Huang, Shiau, Liu, Chu and Hwang 2005). Soğutulmuş ve dondurulmuş olarak saklanan pişmiş ve yeniden ısıtılmış kıyma köftelerine %5, %10 ve %15 seviyelerinde eklenen yonca ve kır çiçeği ballarının, lipid oksidasyonunu etkili bir şekilde geciktirdiği ve pişme verimini artırdığı belirlenmiştir (Johnston, Sepe, Miano, Brannan and Alderton 2005). Modifiye atmosferde paketlenmiş ve 2 ±1°C'de saklanan sığır köftelerine öğütölmüş biber eklenmesi hem miyoglobinin hem de lipid oksidasyonunu önemli ölçüde geciktirdiği ve ayrıca psikrotrofik bakterilerin büyümesini inhibe ettiği belirtilmiştir (Sánchez-Escalante, Torrescano, Djenane, Beltran and Roncales 2003). Yapılan bir çalışmada ıslak okara'nın daha ucuz ve sağlıklı dana köftesi üretimi için %22,5'e kadar kullanılabileceğini bildirilmiştir (Turhan, Temiz and Sagir 2007).

3. Kırmızı Et ve Köftede Antimikrobiyal Film ve Kaplamalar

Gıda güvenliği; güvenli gıda tüketimini sağlamak için gıdaların üretimi, işlenmesi, depolanması ve dağıtılması sırasında göz önünde bulundurulması gereken koşul ve uygulamaları ifade eder (Noorimotlagh, Mansourian, Nourmoradi, Shafieyan and Banavi 2015) (Shokri, Hashemi, Jorvand, Hajiveisi, Shamsi, Golestani Far and Rezaei 2018). Gıdanın ambalajlanması öncelikle gıda ürünlerini biyolojik, kimyasal veya mekanik zararlar gibi dış etkilere korumak için yapılır (Sarkar and Aparna, 2020). Gıda ambalajının hedefleri; mikroorganizma büyümesini bastırmak, çevresel tehlikelere karşı stabiliteyi korumak, oksidasyona karşı direnç göstermek, lezzeti korurken hoş olmayan kokuları maskeleyerek, besinlerin sürekliliğini, elementlerin filtrelenmesi ve birikmesine yardımcı olmak, bir sensör taşıyıcısı olarak hareket etmektir (Nedovic, Kalusevic, Manojlovic, Levic and Bugarski 2011) (Noruzi 2016) (Topuz and Uyar 2020). Et, mikrobiyolojik bozulmaya karşı çok hassastır (Bolmar, Orlien, Sikes, Aganovic, Bak, Guyon, Stübler, de Lamballerie, Hertel and Brüggemann 2021). Geleneksel gıda paketleri, çevresel kontaminasyonun olumsuz etkilerini geciktirebilen pasif engellerdir (Brody, Bugusu, Han, Sand and McHugh 2008) ve gıda ürünlerinde gıda kaynaklı patojenlerin gelişimini azaltmada daha az etkilidir (Jagtap, Khadabadi, Ghorpade, Banarase and Naphade 2009). İşlenmiş et ürünleri değerlendirilirken dehidrasyon, lipid oksidasyonu, renk bozulması ve aroma kaybı gibi faktörler dikkate alınmalıdır (Mondry 1996). Halihazırda her biri farklı niteliklere ve uygulamalara sahip birçok et paketeleme sistemi mevcuttur. Bu sistemler, kısa süreli soğutulmuş depolama ve/veya perakende teşhir için üstten sarmalı paketelemeden, daha uzun süreli soğutulmuş depolama için çeşitli modifiye atmosfer paketeleme (MAP) sistemlerine, vakumlu paketelemeye kadar çeşitlilik gösterir (Mathew and Jaganathan 2017). Antimikrobiyal ajanlar, mikroorganizmaların gelişimini engellemek ve gıdaları korumak için kullanılan maddeler olarak bilinir (Davidson, Sofos and Branen 2005). Etkili bir antimikrobiyal sistem tasarlamak, birçok özelliğin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir ve çeşitli yaklaşımlarla gerçekleştirilebilir. Antimikrobiyal paketeleme sistemleri, gıdanın doğasında var olan nitelikleri bozulmadan tutarken, mikrobiyal gelişmeyi kontrol etmek için; gıda, iç ambalaj atmosferi, ambalaj malzemesi, antimikrobiyal ajanlar ve paketlenmiş gıdalardaki mikrobiyal büyüme üzerinde tam kontrol gibi beş ana bileşenden oluşan temel esaslara ihtiyaç duyar. Bu beş bileşenin özellikleri birbirleriyle yakından ilişkilidir (Gonçalves and Rocha 2017). Antimikrobiyal kaplamalar veya filmler son yirmi yıldır etlerin korunmasında bir gereklilik olarak kabul edilebilir (Yousefi, Azizi and Ehsani 2018). Bir antimikrobiyal maddenin uzun süre boyunca bir ambalaj filminden gıda yüzeyine kademeli olarak salınması, antimikrobiyalın gıdalara dahil edilmesinden daha avantajlı olabilir (Mauriello, De Luca, La Stora, Villani and Ercolini 2005). Organik asitlerin antimikrobiyal etkisi, bakteri hücre zarına nüfuz edebilen ayrışmamış formun konsantrasyonuna bağlıdır. Hücre içinde bunların ayrışması, zar taşıması ile etkileşime ve proton hareket kuvvetinin bozulmasına yol açar (Cagri, Ustunol, Osburn and Ryser 2003). Uçucu yağlar, genellikle, ana antimikrobiyal bileşenlerinin karışımlarından daha yüksek antibakteriyel aktivite gösterir; bu da küçük bileşenlerin, gelişmiş aktivite için kritik olduğunu düşündürür (Bassolé and Juliani 2012). Antimikrobiyal mekanizma, proton hareket gücünü bozan sitoplazmik zarın bozulmasına bağlanır; hücre içeriğinin aktif taşıması ve pıhtılaşması meydana gelebilir. Nisin gibi bakteriyosinler, spesifik olmayan elektrostatik etkileşimler yoluyla plazma membranlarına bağlanır ve ikili bir etki şekline sahiptir. Antibakteriyel aktivite, bakteriyel plazma zarındaki gözenek oluşumundan kaynaklanır, bu da transmembran potansiyelinin ve hayati çözünen gradyanların dağılmasına yol açar. Gözenek oluşumunun yüksek verimliliği, hücre duvarı öncüsü Lipid II'yi içeren, nisinin zar için afinitesini artıran, nisinin transmembran yönelimini stabilize eden ve nisin gözeneginin ayrılmaz bir parçasını oluşturan ikinci bir mekanizmanın sonucudur. Gözenek yapısı, peptidoglikan biyosentezine müdahale eden dört lipid II ve 8 nisin molekülünden oluşan bir kompleks içerir (Chatterjee, Paul, Xie and Van Der Donk 2005) (Breukink 2006). Sığır etinde kekik uçucu yağları içeren süt proteini bazlı filmin antimikrobiyal ve antioksidan etkilerinin incelendiği çalışmada; kontrol örneklerine göre film uygulanmış etlerde *Pseudomonas* spp ve *E. coli* O157:H7 seviyelerinde sırasıyla 0,95 ve 1.12 log azalma tespit edilmiştir. (Oussalah, Caillet, Salmiéri, Saucier and Lacroix 2004). Nar kabuğu ekstraktı içeren kazein bazlı yenilebilir filmlerin kıymanın mikrobiyal kalitesi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada ise filmlerin antimikrobiyal aktivitesinin çoğunlukla ette bulunan mikroorganizma türlerine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Nar kabuğu ekstresinin antimikrobiyal etkisi, Gram negatif bakterilere (*E.coli*) kıyasla Gram pozitif bakterilere (*S. aureus*) karşı daha belirgin olduğu tespit edilmiştir (Emam-Djomeh, Moghaddam and Yasini Ardakani 2015).

Greyfurt çekirdeği özütü (GFSE) veya yeşil çay özütü (GTE) içeren yenilebilir *Gelidium corneum*-jelatin (GCG) harmanı filmlerin domuz filetolarının depolama kalitesine etkisi incelenmiş. Domuz fileto örnekleri *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile aşılanmış GFSE (%0,08) veya GTE (%2,80) içeren GCG filmi ile paketlenmişlerdir. Numunelerde, 4 günlük depolamadan sonra kontrole kıyasla *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* popölyasyonlarında sırasıyla 0,69 ila 1,11 ve 1,05 ila 1,14 log CFU/g'lık bir düşüş gözlenmiştir. (Hong, Lim and Song 2009).

Farklı koruma tekniklerinin bir araya getirilmesiyle araştırmacılar, bozulabilir ürünlerin mikrobiyal kalitesi, depolama ömrü ile ilgili hedeflere ulaşmada başarılı olmuşlardır (Gutiérrez, Batlle, Andújar, Sánchez and Nerín 2011) (Hecer and Guldas 2011). Kitosanın antimikrobiyal etkisi, kitosan türü, polimerizasyon derecesi ve çevresel koşullardan etkilenir. Kitosan kaplamalar, aerobik bakterilerin büyümesinin inhibisyonuna yol açan oksijen transferine karşı bariyer görevi görür (Siripatrawan and Noipha 2012). *Listeria monocytogenes* ATCC 19115'in kitosan kaplı plastik filmlere dahil edilen çay biyoaktif bileşikleri ile jambon bifteği üzerinde inhibisyonu incelenmiştir: Doğal özütlerin kitosan içine dahil edilmesiyle, *L. monocytogenes* ATCC 19115'in büyümesinin inhibe edildiği belirlenmiştir. Kitosan kaplı plastik filme eklenen çay ekstraktlarının antimikrobiyal etkinliğinin doza bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, %4 yeşil çay özü içeren kitosan kaplı plastik filmlerin en etkili antimikrobiyal film olduğu bildirilmiştir (Vodnar 2012). Farklı konsantrasyonlarda kitosan ile muamele edilmiş sığır etinin mikrobiyolojik kalitesi ve raf ömrünün incelendiği araştırmada; vakumlu paketlenmiş ve 12 gün boyunca 4°C'de depolanmış sığır eti örnekleri üzerine kitosan uygulamasının mikrobiyolojik kaliteyi artırdığı, raf ömrünü genellikle 5-8 gün uzattığı belirlenmiş ve bu uygulamanın kimyasal koruyucu katkı maddelerine alternatif olabileceği bildirilmiştir (Alam, Murshed, Rahman and Oh 2017). Kitosan yenilebilir kaplamaların köftede depolama süresince etkisinin artırıldığı çalışmada kitosan kaplamalar %0,2 sarımsak yağı, %0,1 potasyum sorbat ve 51,000 IU. nisin ile birleştirilmiştir. Tüm kitosan kaplamaların, soğutma sıcaklığında köftede mikrobiyal gelişimi baskıladığı kuvvetli bir şekilde ortaya çıkmıştır (Pranoto and Rakshit 2008). Tüketime hazır sığır köftelerinin yüzeyindeki yenilebilir kitosan kaplamasının, köftelerde mikrobiyal popülasyonları azalttığı ve büyümeyi geciktirerek raf ömrünü uzatabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca kaplanmış köftelerde kitosanın *L. monocytogenes*'in büyümesinde inhibe edici bir etkisi olduğu bildirilmiştir (Antoniadou, Govaris, Ambrosiadis and Sergelidis 2019).

Laurik arginat (LAE), çok çeşitli gıda patojenlerine ve bakteriler, mayalar ve küfler dahil olmak üzere bozulmaya neden olan mikroorganizmalara karşı oldukça aktif olan, gıda sınıfı katyonik bir yüzey aktif maddedir (Terjung, Loeffler, Gibis, Salminen, Hinrichs and Weiss 2014). LAE, hücrelerde herhangi bir bozulma tespit edilmese de, membran potansiyelini bozarak ve yapısal değişikliklere neden olarak hücre canlılığını etkiler (Rodriguez, Seguer, Rocabayera and Manresa 2004). Yenilebilir kalsiyum aljinat kaplamasının, soğutulmuş kuzu etinin mikrobiyal ve kimyasal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Kaplanmış numunelerde toplam mikrobiyal sayımların kontrol numunelerine kıyasla önemli ölçüde düşük olduğu belirlenmiştir. Kuzu etinin mikrobiyal ve kimyasal özelliklerini iyileştirmede ve raf ömrünü uzatmada kalsiyum aljinatın etkinliği doğrulanmıştır (Koushki, Azizi, Koohy-Kamaly and Azizkhani 2015) Bufalo eti köftesine aljinat kaplama uygulamasının köftenin toplam canlı, psikrofilik bakteri, *Staphylococcus* spp., maya ve küf sayımlarını önemli ölçüde düşürdüğü bildirilmiştir (Keshri and Sanyal 2009). Yenilebilir filmler; yenilebilir ve antimikrobiyal bileşen olarak geleneksel gıda paketlenme sistemlerine dahil edilebilir (Vodnar, Pop, Dulf and Socaciu 2015). Yenilebilir filmler ve kaplamalar, özellikle et ürünleri olmak üzere gıda ambalajı için potansiyel faydalara sahiptir (Koushki, Azizi, Koohy-Kamaly and Azizkhani 2015).

Yapılan bir çalışmada; %1, 2 veya 3 kekik veya kekik esansiyel yağları (EO) içeren soya proteinli yenilebilir kaplamaların buzdolabında saklanan taze sığır eti üzerinde *Escherichia coli* O157: H7 (EC), *Listeria monocytogenes* (LM) ve *Staphylococcus aureus* (SA)'a karşı inhibe edici etkileri incelenmiştir: %3 EO eklendiğinde, SA'ya karşı yenilebilir soya kaplamalarının daha fazla antimikrobiyal aktivitesi kanıtlanmıştır. %3 kekik ve kekik EO'lu kaplamalar 14. günde kontrole kıyasla, SA, LM ve EC popülasyonlarında sırasıyla 2.86 ve 2.59, 1.97 ve 1.90 ve 1.87 ve 1.83 log CFU / g düşüşler sergilemiştir (Yemiş and Candoğan 2017). Hindiba esansiyel yağı ile birleştirilmiş *Lepidium perfoliatum* tohum müsülağının yenilebilir kaplama olarak kullanıldığında sığır eti diliminin lipid oksidasyonu ve mikrobiyal büyümesi üzerinde önemli bir inhibitör etki gösterdiği bildirilmiştir (Alizadeh Behbahani, Falah, Vasiee and Tabatabaee Yazdi 2021). Yapılan başka bir çalışmada soğutma koşulları altında manda etinin raf ömrünü iyileştirmede yenilebilir kaplama olarak *Citrus limon* esansiyel yağı (CLEO) içeren *Plantago* ana tohum müsülağının (PMSM) etkisi incelenmiştir: Kaplanmış manda eti örneklerinde kontrol örneklerine göre lipid oksidasyonu ve mikrobiyal büyümenin (toplam canlı sayı, psikrotrofik bakteri, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ve mantarlar) önemli ölçüde azadığı bildirilmiştir. Sonuçlara göre, CLEO açısından zengin *plantago* ana tohum müsülağı (PMSM) yenilebilir kaplamasının, et ürünlerinin lipid oksidasyonuna ve mikrobiyal bozulmaya karşı stabilitesini geliştirmek için yeni ve etkili bir koruyucu olarak uygulanabileceği rapor edilmiştir (Noshad, Alizadeh Behbahani, Jooyandeh, Rahmati-Joneidabad, Hemmati Kaykha and Ghodsi Sheikhjan 2021). Sığır etinin soğuk depolamada raf ömrünün uzatmak amacıyla *Anethum graveolens* esansiyel yağı ve *Plantago* ana tohum müsülağının (PMSM) yenilebilir kaplama olarak kullanıldığı çalışmada: Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında PMSM sığır etinin mikrobiyal raf ömrünü 3 gün uzatırken, PMSM+%0.5D, PMSM+%1D ve PMSM+%1.5D, sığır etinin raf ömrünü sırasıyla 6, 9 ve 9 gün önemli ölçüde uzattığı belirlenmiştir (Behbahani, Shahidi, Yazdi, Mortazavi and Mohebbi 2017). İsveç usulü pişmiş köftelerde biberiye, portakal ve limon ekstraktlarının antioksidan ve antibakteriyel etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar et ürünlerinde biberiye ve narenciye özleri kullanılarak önemli avantajlar elde edildiğini ancak, sadece biberiyenin laktik asit bakterilerini biraz indirmediğini göstermiştir (Fernandez-Lopez, Zhi, Aleson-Carbonell, Pérez-Alvarez and Kuri 2005). Diğer bir çalışmada; biberiye özü ile formüle edilmiş jelatin bazlı aktif yenilebilir kaplamaların uygun şekilde formüle edilerek uygulandığında köftelerin korunması ve raf ömrü için kullanılabilirliği belirlenmiştir (Torusdağ, Gümüş And Boran 2021). Mercanköşk ve kekik uçucu yağlar ile birleştirilmiş yenilebilir soya filmlerinin taze kıyma köftesi üzerindeki antimikrobiyal aktivitesinin incelendiği çalışmada; mercanköşk ve kekik dahil edilen yenilebilir soya filmleri tüm bakterilere karşı inhibisyon bölgesi testinde benzer antibakteriyel aktivite sergilediği belirlenmiştir. *E. coli*, *E. coli* O157:H7 ve *S. aureus*, antimikrobiyal filmler tarafından önemli ölçüde inhibe edilirken, *L. plantarum* ve *P. aeruginosa*'nın daha dirençli olduğu bildirilmiştir. Ayrıca yenilebilir soya filmlerin laktik asit bakterileri ve *Staphylococcus* spp üzerinde önemli etkileri olmazken koliform ve *Pseudomonas* spp'de azalmalar gözlenmiştir (Emiroğlu, Yemiş, Coşkun and Candoğan 2010). Jelatininin köftelerde yenilebilir bir kaplama olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada köftelerinin raf süresini uzatabileceği belirtilmiştir (Wulandari and Yuliatmo 2018).

Et ürünlerine uygulanan antimikrobiyal yenilebilir filmler ve kaplamaların (AEFC) formülasyonuna uçucu yağların doğrudan dahil edilmesinin, bakteri popülasyonunu azaltması beklenir ancak duyuusal özellikler değişebilir (Véronique 2008). Antimikrobiyal ajanlar, mikrobiyal popülasyona karşı çok etkili olmasına, et ve et ürünlerinin kalitesini artırmasına, raf ömrünü uzatmasına rağmen, bazı yan etkilere neden olabildikleri unutulmamalıdır (Chauhan, Negi and Ramteke 2007). Bilimsel literatür, yapay koruyucuların bazı

durumlarda aşırı duyarlılık, astım, nörolojik hasar, hiperaktivite ve kanser gibi ciddi sağlık tehlikelerine neden olabileceğini göstermiştir (Anand and Sati 2013). Beta hidroksil anizol, bütirat hidroksil toluen ve üçüncül bütıl hidrokinon gibi sentetik antioksidanlar, et ve et ürünlerini korumak için yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır (Fasseas, Mountzouris, Tarantilis, Polissiou and Zervas 2008). Bu antioksidanların insan ve hayvanlar üzerinde toksik, mutajenik ve/veya kanserojen etkileri olduğu keşfedildiği için kullanımı şüphelidir (Hayes, Allen, Brunton, O'grady, and Kerry 2011). Sentetik koruyucular devlet kurumları tarafından onaylandığı halde, bu koruyucuların çoğu hala sağlığımızı tehdit etmektedir. Bu nedenle araştırmacılar, antimikrobiyal aktiviteleri için doğal ürünlerin potansiyeline daha fazla önem vermektedir (Dorman and Deans 2000) (Elgayyar, Draughon, Golden and Mount 2001). Bakteriyel antibiyotik direnç ve kimyasal koruyucularla ilgili olumsuz tüketici tutumları, gıda bozulmaları ve tehlikeli patojenlerin kontrolü için doğal antimikrobiyal moleküllerin kullanımına olan ilgiyi artırmıştır (Srey, Jahid and Ha 2013). Performansları üzerine çok sayıda araştırmaya rağmen film ve kaplamaların sanayileşmesi, sorunlarını ele alan etkili tekniklerin tasarlanması için daha fazla araştırmanın dikkatli bir şekilde yapılması gerektiği bildirilmiştir (Musatti, Cavicchioli, Mapelli, Bertoni, Hogenboom, Pellegrino and Rollini 2020).

4. Sonuç

Gıda ambalajı üretici ve tüketicinin ilgi alanıdır ve teknolojik gelişime ve tüketici isteklerine paralel olarak değişime uğramaktadır. Besin değeri yüksek olan gıda tüketimi için et kalitesini korumak önemlidir ancak mikrobiyal gelişme büyüme endişe kaynağıdır. Çok sayıda çalışmada et ve et ürünlerinde besin değerini koruma ve raf ömrünü uzatmaya odaklanılmıştır. Antimikrobiyal film ve kaplamalar et ve köfte kalitesini korumak için alternatif yöntemler olarak sunulmaktadır. Araştırma düzeyinde yapılan çalışmaların endüstriyel ölçekli uygulamalara adapte edilebilmesi için üretim teknolojilerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca kullanılan antimikrobiyal maddelerin sağlık üzerindeki etkileri konusuna odaklanılmalı ve doğal bileşikler tercih edilmelidir. Film ve kaplama materyalleri ile antimikrobiyal bileşiklerin çeşidi, oranı gıdanın özelliklerine ve hedef mikroorganizmalara bağlı olarak seçilmelidir. Gelecekte araştırmacılar farklı işlevsel özelliklere sahip ambalajlama yöntemi geliştirmek için çalışmalarını sürdürerek güvenli et ve et ürünü tüketimine katkı sağlayacaklardır. Et ve et ürünlerinin ticari uygulamalarında ürün güvenliğine katkı sağlayan antimikrobiyal yenilebilir film ve kaplamalara ihtiyaç vardır.

5. Kaynakça

- Alam, J, HM Murshed, SME Rahman, and DH Oh. 2017. "Effect of chitosan on quality and shelf life of beef at refrigerated storage." *Bangladesh Journal of Animal Science* 46(4):230-38.
- Aleson-Carbonell, L, J Fernández-López, JA Pérez-Alvarez, and V Kuri. 2005. "Characteristics of beef burger as influenced by various types of lemon albedo." *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6(2):247-55.
- Alizadeh Behbahani, Behrooz, Feresteh Falah, Alireza Vasice, and Farideh Tabatabaee Yazdi. 2021. "Control of microbial growth and lipid oxidation in beef using a *Lepidium perfoliatum* seed mucilage edible coating incorporated with chicory essential oil." *Food science & nutrition* 9(5):2458-67.
- Anand, S. P., & Sati, N. 2013. Artificial preservatives and their harmful effects: looking toward nature for safer alternatives. *International journal of pharmaceutical sciences and research*, 4(7), 2496.
- Anonim, 2012. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Türk Gıda Kodeksi Et ve Et Ürünleri Tebliği. Tebliği No: 2012/74.
- Antoniadou, D, A Govaris, I Ambrosiadis, and D Sergelidis. 2019. "Effect of chitosan coating on the shelf life of ready-to-eat bovine meatballs and the control of *Listeria monocytogenes* growth on their surface during refrigeration storage." *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society* 70(2):1495-502.
- Arihara, Keizo. 2006. "Strategies for designing novel functional meat products." *Meat science* 74(1):219-29.
- Arnim, Ferawati, and Yetti Marlida. 2012. "The effect of liquid smoke utilization as preservative for meatballs quality." *Pak. J. Nutr* 11(11):1078-80.
- Arshad, Muhammad Sajid, and Syeda Ayesha Batool. 2017. "Natural antimicrobials, their sources and food safety." *Food additives* 87(1).
- Bassolé, Imaël Henri Nestor, and H Rodolfo Juliani. 2012. "Essential oils in combination and their antimicrobial properties." *Molecules* 17(4):3989-4006.
- Behbahani, Behrooz Alizadeh, Fakhri Shahidi, Farideh Tabatabaee Yazdi, Seyed Ali Mortazavi, and Mohebbat Mohebbi. 2017. "Use of *Plantago major* seed mucilage as a novel edible coating incorporated with *Anethum graveolens* essential oil on shelf life extension of beef in refrigerated storage." *International journal of biological macromolecules* 94:515-26.
- Bilek, A Elif, and Sadettin Turhan. 2009. "Enhancement of the nutritional status of beef patties by adding flaxseed flour." *Meat science* 82(4):472-77.
- Bolmar, Tomas, Vibeke Orlien, Anita Sikes, Kemal Aganovic, Kathrine H Bak, Claire Guyon, Anna-Sophie Stübler, Marie de Lamballerie, Christian Hertel, and Dagmar A Brüggemann. 2021. "High-pressure processing of meat: Molecular impacts and industrial applications." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 20(1):332-68.
- Breukink, Eefjan. 2006. "A lesson in efficient killing from two-component lantibiotics." *Molecular Microbiology* 61(2):271-73.
- Brody, Aaron L, Betty Bugusu, Jung H Han, Claire Koelsch Sand, and Tara H McHugh. 2008. "Innovative food packaging solutions." *Journal of food science* 73(8):107-16.
- Cagri, A, Z Ustunol, W Osburn, and ET Ryser. 2003. "Inhibition of *Listeria monocytogenes* on hot dogs using antimicrobial whey protein-based edible casings." *Journal of food science* 68(1):291-99.
- Chatterjee, Champak, Moushumi Paul, Lili Xie, and Wilfred A Van Der Donk. 2005. "Biosynthesis and mode of action of lantibiotics." *Chemical reviews* 105(2):633-84.
- Chauhan, Attar Singh, Pradeep Singh Negi, and Ramesh Shyam Ramteke. 2007. "Antioxidant and antibacterial activities of aqueous extract of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) seeds." *Fitoterapia* 78(7-8):590-92.

- Choe, Ju-Hui, Hack-Youn Kim, Yun-Sang Choi, Doo-Jeong Han, Ji-Hun Choi, Yong-Jae Kim, and Cheon-Jei Kim. 2011. "Effects of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) leaf ethanolic extracts on lipid oxidation and microbial activity in refrigerated raw ground pork." *Food Science of Animal Resources* 31(6):865-71.
- Davidson, P Michael, John N Sofos, and A Larry Branen. 2005. *Antimicrobials in food*: CRC press.
- Diet, WHO. 2003. "nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a joint WHO/FAO expert consultation." WHO Technical report series 916:34-38.
- Dorman, HJ-Deans, and Stanley G Deans. 2000. "Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils." *Journal of applied microbiology* 88(2):308-16.
- Duong, B., & Kiesel, M. 1991. *The Simple Art of Vietnamese Cooking*. Prentice Hall.
- Elgayyar, M, FA Draughon, DA Golden, and JR Mount. 2001. "Antimicrobial activity of essential oils from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms." *Journal of food protection* 64(7):1019-24.
- Emam-Djomeh, Zahra, Arezoo Moghaddam, and Seyed Ali Yasini Ardakani. 2015. "Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract, physical, mechanical, barrier and antimicrobial properties of pomegranate peel extract-incorporated sodium caseinate film and application in packaging for ground beef." *Packaging Technology and Science* 28(10):869-81.
- Emiroğlu, Zehra Karagöz, Gökçe Polat Yemiş, Betül Kodal Coşkun, and Kezban Candoğan. 2010. "Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties." *Meat science* 86(2):283-88.
- Fakhouri, Farayde Matta, Silvia Maria Martelli, Thiago Caon, José Ignacio Velasco, and Lucia Helena Innocentini Mei. 2015. "Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes." *Postharvest Biology and Technology* 109:57-64.
- Fasseas, M. K., Mountzouris, K. C., Tarantilis, P. A., Polissiou, M., & Zervas, G. 2008. Antioxidant activity in meat treated with oregano and sage essential oils. *Food chemistry*, 106(3), 1188-1194.
- Ferawati, HP, YF Kurnia, and E Purwati. 2017. "Microbiological Quality and Safety of Meatball Sold in Payakumbuh City." West Sumatra, Indonesia.
- Fernandez-Lopez, J, N Zhi, L Aleson-Carbonell, JA and Pérez-Alvarez, and V Kuri. 2005. "Antioxidant and antibacterial activities of natural extracts: application in beef meatballs." *Meat science* 69(3):371-80.
- Fernández-Ginés, J. M., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., & Pérez-Alvarez, J. A. 2005. Meat products as functional foods: A review. *Journal of food science*, 70(2), R37-R43.
- Fulton, M. 1983. *Encyclopedia of food and cookery*. Melbourne: Octopus Book Pty.
- Genskowsky, E, LA Puente, JA Pérez-Álvarez, J Fernandez-Lopez, LA Muñoz, and M Viuda-Martos. 2015. "Assessment of antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with maqui berry (*Aristotelia chilensis*)." *LWT-Food Science and Technology* 64(2):1057-62.
- Gonçalves, AA, and MDOC Rocha. 2017. "Safety and quality of antimicrobial packaging applied to seafood." *MOJ Food Processing and Technology* 4(1):00079.
- Gutiérrez, Laura, Ramón Batlle, Sonia Andújar, Cristina Sánchez, and Cristina Nerín. 2011. "Evaluation of antimicrobial active packaging to increase shelf life of gluten-free sliced bread." *Packaging Technology and Science* 24(8):485-94.
- Gyawali, Rabin, and Salam A Ibrahim. 2014. "Natural products as antimicrobial agents." *Food control* 46:412-29.
- Hamann, Daniele, Bruna Maria Saorin Puton, Rosicler Colet, Juliana Steffens, Giovana Cristina Ceni, Rogério Luis Cansian, and Geciane Toniazco Backes. 2021. "Active edible films for application in meat products." *Research, Society and Development* 10(7):e13610716379-e79.
- Hayes, J. E., Allen, P., Brunton, N., O'grady, M. N., & Kerry, J. P. 2011. Phenolic composition and in vitro antioxidant capacity of four commercial phytochemical products: Olive leaf extract (*Olea europaea* L.), lutein, sesamol and ellagic acid. *Food Chemistry*, 126(3), 948-955.
- Hecer, Canan, and METİN Guldaz. 2011. "Effects of lactic acid, fumaric acid and chlorine dioxide on shelf-life of broiler wings during storage." *African Journal of Microbiology Research* 5(23):3880-83.
- Heinz, Gunter, and Peter Hautzinger. 2007. "Meat processing technology for small to medium scale producers."
- Hong, Y-H, G-O Lim, and KB Song. 2009. "Physical properties of Gelidium corneum-gelatin blend films containing grapefruit seed extract or green tea extract and its application in the packaging of pork loins." *Journal of food science* 74(1):C6-C10.
- Hugas, M, M Garriga, M Pascual, MT Aymerich, and JM Monfort. 2002. "Enhancement of sakacin K activity against *Listeria monocytogenes* in fermented sausages with pepper or manganese as ingredients." *Food Microbiology* 19(5):519-28.
- Hossain, S. 2021. Assignment On Meat and Meat products. <https://www.researchgate.net/publication/356218185>
- Igene, JO. 2009. "Traditional African Meat Products for Food Security and Industrialization: Development Challenges." Lambert Academic Publishing, Germany. 250pp.
- Keçeci S 2018. Sığır Eti Köftelerinin Bazı Fizikokimyasal, Tekstürel ve Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Farklı Düzeylerde Dondurarak Kurutulmuş Çeşitli Sebze Turşusu Tozlarının Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Koushki, MR, MH Azizi, P Koohy-Kamaly, and M Azizkhani. 2015. "Effect of calcium alginate edible coatings on microbial and chemical properties of lamb meat during refrigerated storage." *Journal of food quality and hazards control* 2(1):6-10.
- Korkmaz A 2018. Köfte Üretiminde Kurutulmuş Ekmek Kullanımının Heterosiklik Aromatik Amin Oluşumu Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kundakçı, A., & Ergonul, B. 2009. Ege bölgesi geleneksel köfte çeşitleri. II. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 27-29.
- Lee, Mi-Ai, Ji-Hun Choi, Yun-Sang Choi, Doo-Jeong Han, Hack-Youn Kim, So-Yeon Shim, Hae-Kyung Chung, and Cheon-Jei Kim. 2010. "The antioxidative properties of mustard leaf (*Brassica juncea*) kimchi extracts on refrigerated raw ground pork meat against lipid oxidation." *Meat science* 84(3):498-504.

- Longhi, Daniel Angelo, Nathália Buss da Silva, Wiaslan Figueiredo Martins, Bruno Augusto Mattar Carciofi, Gláucia Maria Falcão de Aragão, and Joao Borges Laurindo. 2018. "Optimal experimental design to model spoilage bacteria growth in vacuum-packaged ham." *Journal of Food Engineering* 216:20-26.
- Lucera, A, C Costa, A Conte, and MA Del Nobile. 2012. "Food applications of natural antimicrobial compounds, *Front. Microbiol.* 3 (2012) 1–13."
- Mahalik, Nitaigour P, and Arun N Nambiar. 2010. "Trends in food packaging and manufacturing systems and technology." *Trends in food science & technology* 21(3):117-28.
- Mauriello, GDLE, E De Luca, A La Stora, F Villani, and D Ercolini. 2005. "Antimicrobial activity of a nisin-activated plastic film for food packaging." *Letters in applied microbiology* 41(6):464-69.
- Mathew, R., Jaganathan, D. 2017. *Packaging And Storage Practices Of Meat. G.J.B.A.H.S., Vol.6(1):32-40*
- Mohamed, Salah AA, Mohamed El-Sakhawy, and Mohamed Abdel-Monem El-Sakhawy. 2020. "Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review." *Carbohydrate Polymers* 238:116178.
- Mondry, H. 1996. *Packaging systems for processed meat.* In S. A. Taylor, Raimundo, M. Severini, F. J. M. Smulders (Eds.), *Meat quality and meat packaging Utrecht, Holland: ECCEAMST*, pp. 323-333.
- Musatti, Alida, Daniele Cavicchioli, Chiara Mapelli, Danilo Bertoni, Johannes A Hogenboom, Luisa Pellegrino, and Manuela Rollini. 2020. "From cheese whey permeate to sakacin A: a circular economy approach for the food-grade biotechnological production of an anti-*Listeria bacteriocin.*" *Biomolecules* 10(4):597.
- Nedovic, Viktor, Ana Kalusevic, Verica Manojlovic, Steva Levic, and Branko Bugarski. 2011. "An overview of encapsulation technologies for food applications." *Procedia Food Science* 1:1806-15.
- Noorimotlagh, Z, M Mansourian, H Nourmoradi, Z Shafieyan, and P Banavi. 2015. "Study of knowledge and attitude of among Ilam University of Medical Sciences students regarding to food sanitation and safety."
- Noruzi, Masumeh. 2016. "Electrospun nanofibres in agriculture and the food industry: a review." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96(14):4663-78.
- Noshad, Mohammad, Behrooz Alizadeh Behbahani, Hossein Jooyandeh, Mostafa Rahmati-Joneidabad, Mohsen Ebrahimi Hemmati Kaykha, and Mitra Ghodsi Sheikhjan. 2021. "Utilization of Plantago major seed mucilage containing Citrus limon essential oil as an edible coating to improve shelf-life of buffalo meat under refrigeration conditions." *Food science & nutrition* 9(3):1625-39.
- Oussalah, Mounia, Stephane Caillet, Stéphane Salmiéri, Linda Saucier, and Monique Lacroix. 2004. "Antimicrobial and antioxidant effects of milk protein-based film containing essential oils for the preservation of whole beef muscle." *Journal of agricultural and food chemistry* 52(18):5598-605.
- Pranoto, Yudi, and Sudip Kumar Rakshit. 2008. "Effect of chitosan coating containing active agents on microbial growth, rancidity and moisture loss of meatball during storage." *Agritech* 28(4).
- Purnomo, H. 1990. "Kajian mutu bakso daging, bakso urat, dan bakso aci di daerah Bogor (A study of beef bakso, tendon bakso, and 'aci'bakso in Bogor area)." Bogor: Bogor Agriculture Institute, Bachelor Thesis.
- Redden, V. R., & Chen, T. 1995. *The potential of Chinese meatballs and dried meat as value added PSE pork products.* *Food Australia*, 47(7), 323-326.
- Rodriguez, E, J Seguer, X Rocabayera, and A Manresa. 2004. "Cellular effects of monohydrochloride of l-arginine, N α -lauroyl ethylester (LAE) on exposure to Salmonella typhimurium and Staphylococcus aureus." *Journal of applied microbiology* 96(5):903-12.
- Salleh, E, I Muhamad, and N Khairuddin. 2007. "Preparation, characterization and antimicrobial analysis of antimicrobial starch-based film incorporated with chitosan and lauric acid." *Asian Chitin Journal* 3:55-68.
- Sánchez-Ortega, Irais, Blanca E García-Almendárez, Eva María Santos-López, Aldo Amaro-Reyes, J Eleazar Barboza-Corona, and Carlos Regalado. 2014. "Antimicrobial edible films and coatings for meat and meat products preservation." *The Scientific World Journal* 2014.
- Sánchez-Escalante, Armida, Gaston Torrescano, Djamel Djenane, Jose Antonio Beltran, and Pedro Roncales. 2003. "Stabilisation of colour and odour of beef patties by using lycopene-rich tomato and peppers as a source of antioxidants." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83(3):187-94.
- Sarkar, S., & Aparna, K. 2020. *Food packaging and storage.* *Research Trends in Home Science and Extension AkiNik Pub*, 3, 27-51.
- Ščetar, M, Mia Kurek, and Kata Galić. 2010. "Trends in meat and meat products packaging—a review." *Croatian journal of food science and technology* 2(1):32-48.
- Serdaroğlu, M., & Değirmencioğlu, Ö. 2004. Effects of fat level (5%, 10%, 20%) and corn flour (0%, 2%, 4%) on some properties of Turkish type meatballs (kofte). *Meat Science*, 68(2), 291-296.
- Shokri, Rouhhollah, Majid Hashemi, Reza Jorvand, Hashem Hajiveisi, Atefeh Shamsi, Hafez Golestani Far, and Shima Rezaei. 2018. "A survey on the knowledge and attitudes of Dehloran health network personnel about food safety and health." *Journal of Advances in Environmental Health Research* 6(1):27-33.
- Siripatrawan, Ubonrat, and Suparat Noipha. 2012. "Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages." *Food hydrocolloids* 27(1):102-08.
- Srey, Sokunrotanak, Iqbal Kabir Jahid, and Sang-Do Ha. 2013. "Biofilm formation in food industries: a food safety concern." *Food control* 31(2):572-85.
- Sung, Suet-Yen, Lee Tin Sin, Tiam-Ting Tee, Soo-Tuen Bee, AR Rahmat, WAWA Rahman, Ann-Chen Tan, and M Vikhraman. 2013. "Antimicrobial agents for food packaging applications." *Trends in food science & technology* 33(2):110-23.
- Terjung, Nino, Myriam Loeffler, Monika Gibis, Hanna Salminen, Jörg Hinrichs, and Jochen Weiss. 2014. "Impact of lauric arginate application form on its antimicrobial activity in meat emulsions." *Food Biophysics* 9(1):88-98.
- Topuz, Fuat, and Tamer Uyar. 2020. "Antioxidant, antibacterial and antifungal electrospun nanofibers for food packaging applications." *Food Research International* 130:108927.

- Torusdağ, Gülşen Berat, Sümeyra Gümüş, and Gökhan Boran. 2021. "Effect of gelatin-based active coatings formulated with rosemary extract on quality of cold stored meatballs." *Food Science and Technology*.
- Turhan, Sadettin, Hasan Temiz, and Inci Sagir. 2007. "Utilization of wet okara in low-fat beef patties." *Journal of Muscle Foods* 18(2):226-35.
- Umaraw, Pramila, Paulo ES Munekata, Akhilesh K Verma, Francisco J Barba, VP Singh, Pavan Kumar, and José M Lorenzo. 2020. "Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products." *Trends in food science & technology* 98:10-24.
- Véronique, C.O.M.A. 2008. "Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products." *Meat science* 78(1-2):90-103.
- Vodnar, Dan C. 2012. "Inhibition of *Listeria monocytogenes* ATCC 19115 on ham steak by tea bioactive compounds incorporated into chitosan-coated plastic films." *Chemistry Central Journal* 6(1):1-6.
- Wulandari, D, and R Yuliatmo. 2018. "The effect of coating of edible film from bovine split hide gelatin on beef meatballs properties." *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture* 43(2):177-83.
- Ye, Mu, Huda Neetoo, and Haiqiang Chen. 2008. "Control of *Listeria monocytogenes* on ham steaks by antimicrobials incorporated into chitosan-coated plastic films." *Food Microbiology* 25(2):260-68.
- Yemiş, Gökçe Polat, and Kezban Candoğan. 2017. "Antibacterial activity of soy edible coatings incorporated with thyme and oregano essential oils on beef against pathogenic bacteria." *Food science and biotechnology* 26(4):1113-21.
- Yousefi, Mohammad, Maryam Azizi, and Ali Ehsani. 2018. "Antimicrobial coatings and films on meats: a perspective on the application of antimicrobial edible films or coatings on meats from the past to future." *Bali Medical Journal* 7(1):87-96.
- Zhang, J., Zhang, Y., Wang, Y., Xing, L., & Zhang, W. 2020. Influences of ultrasonic-assisted frying on the flavor characteristics of fried meatballs. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 62, 102365.
- Zhang, N., Zhao, Y., Fan, D., Xiao, J., Cheng, K. W., & Wang, M. 2020. Inhibitory effects of some hydrocolloids on the formation of heterocyclic amines in roast beef. *Food Hydrocolloids*, 108, 106073.
- Zhou, GH, XL Xu, and Yuan Liu. 2010. "Preservation technologies for fresh meat—A review." *Meat science* 86(1):119-28.



Aviyonik Kutuların İmalatında Kullanılan Malzemelerin Soğutma Üzerindeki Etkisi

Melih Ateş^{1*}, Rasim Behçet²

^{1*} Türk Havacılık ve Uzay Sanayii, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0849-1003), melih.ates@tai.com.tr

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6897-3066), rasim.behcet@inonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 26 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1144057)

ATIF/REFERENCE: Ateş, M. & Behçet, R. (2023). Aviyonik Kutuların İmalatında Kullanılan Malzemelerin Soğutma Üzerindeki Etkisi., *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 17-26.

Öz

Havacılık sektöründe kullanılan aviyonik kutular, işlemci, sensör ve kablolama gibi elemanları içerisinde barındıran sistemlerdir. Yüksek mukavemet ve hafiflik gerektiren bu sistemler bakır, alüminyum ve farklı tür kompozit malzemelerden imal edilebilmektedirler. Bu çalışmada, aviyonik kutuların imalatında kullanılan alüminyum ve nanokompozit malzemelerin harici bir soğutma ünitesi kullanılarak termal analizleri yapılmış ve soğutmaya olan etkileri karşılaştırılmıştır. Malzemelerin termal performansları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, kutu içerisinde oluşan ısının homojen olarak dağıldığı durumda iki malzemenin termal performansları hesaplanıp karşılaştırılırken ikinci aşamada ısı yüküne sebep olan enstrümanlar tek bir duvarda toplanarak hesaplamalar yapılmıştır. Analizlerde elde edilen sonuçlar dikkate alındığında homojen ısı dağılımlı koşullarda 75 °C dış ortam sıcaklıkları için alüminyum malzemedeki imal edilen kutuda en yüksek sıcaklık 112,9 °C olurken alüminyum yerine epoksi matrisli VGCF nanokompoziti kullanılması durumunda bu sıcaklık değeri 96,8 °C seviyelerine düşmüştür. İkinci aşama olan ısı yükünün tek duvarda toplandığı koşulda ise yine 75 °C dış ortam sıcaklığı için hesaplamalar yapılmış olup alüminyum kutuda 99,1 °C, nanokompozit kutuda 92,2 °C sıcaklık değeri elde edilmiştir. Bu da yapılan malzeme güncellemesinin homojen ısı dağılımlı koşulda %14,3, homojen olmayan ısı dağılımlı koşulunda ise %7 seviyelerinde iyileştirme olduğunu göstermektedir. Analizlerin tüm aşamalarında 800 W kapasiteli termoelektrik soğutucu kullanılmıştır. Yapılan bir diğer analizde ise alüminyumdan imal edilen kutuda hangi kapasitedeki soğutucu kullanılırsa nanokompozit malzeme ile aynı sonucu edileceği araştırılmıştır. Homojen ısı dağılımlı alüminyum kutuda 112,9 °C yerine 96,8 °C sıcaklık elde etmek için soğutucu kapasitesini 800 W'dan 1100 W seviyelerine çıkarmak gerekmektedir. Tek duvara yoğunlaştırılmış koşulda ise alüminyum kutunun sıcaklığını 99,1 °C'den 92,2 °C'ye düşürmek için 900 W kapasiteli termoelektrik soğutucu kullanmak gerektiği belirlenmiştir. Bu da homojen ısı dağılımlı koşullarında %37,5, homojen olmayan ısı dağılımlı koşulunda ise %12,5 seviyelerinde bir verim elde edildiğini göstermektedir. Dolayısıyla düşük enerji tüketimi ve düşük ağırlık özelliklerinin kritik öneme sahip olduğu havacılık sektöründe aviyonik kutularda alüminyum yerine nanokompozit malzeme kullanımının daha uygun olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Aviyonik kutu, Alüminyum, Nanokompozit, Soğutma, Termal analiz

Cooling Effect of the Materials Used in the Manufacturing of Avionic Boxes

Abstract

Avionic boxes which used in the aviation industry are systems that contain elements such as processor, sensor and cabling. These systems, which require high strength and lightness, can be manufactured from copper, aluminum and different types of composite materials. In this study, thermal analysis of aluminum and nanocomposite materials used in the manufacture of avionic boxes were made using an external cooling unit and their effects on cooling were compared. The thermal performances of the materials were carried out in two stages. In the first stage, when the heat generated in the box is homogeneously distributed, the thermal performances of the two materials are calculated and compared, while in the second stage, the instruments that cause the thermal load are concentrated on a single wall and calculations are made. Considering the results obtained in the analysis, the highest temperature

* Sorumlu Yazar: melih.ates@tai.com.tr

in the box made of aluminum material for 75 °C outer temperatures under homogeneous heat distribution conditions was 112.9 °C, while this temperature value decreased to 96.8 °C when VGCF nanocomposite with epoxy matrix was used instead of aluminum. In the second stage, in the condition that the thermal load is concentrated on a single wall, calculations were made for the outer temperature of 75 °C, and a temperature value of 99.1 °C in the aluminum box and 92.2 °C in the nanocomposite box was obtained. This shows that the material update improved by 14.3% in the homogeneous heat distribution condition and 7% in the non-homogeneous heat distribution condition. A thermoelectric cooler with a capacity of 800 W was used in all stages of the analysis. In another analysis, it was investigated that which capacity of cooler is used in the box made of aluminum will give the same result as the nanocomposite material. In order to obtain a temperature of 96.8 °C instead of 112.9 °C in an aluminum box in homogeneous heat distribution, it is necessary to increase the cooler capacity from 800 W to 1100 W. In the concentrated condition on a single wall, it was determined that a thermoelectric cooler with a capacity of 900 W should be used to reduce the temperature of the aluminum box from 99.1 °C to 92.2 °C. This shows that an efficiency of 37.5% in homogeneous heat distribution conditions and 12.5% in non-homogeneous heat distribution is achieved. Therefore, it can be said that it is more appropriate to use nanocomposite materials instead of aluminum in avionic boxes in the aviation industry, where low energy consumption and low weight features have critical importance.

Keywords: Avionics box, Aluminum, Nanocomposite, Cooling, Thermal Analysis

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte endüstride kullanılan malzeme ve imalat yöntemleri de gelişmektedir. Geçmişte imalat işlemlerinde düşük mukavemetli ve ağır malzemeler kullanılırken günümüzde bu malzemeler yerine daha hafif ve yüksek mukavemetli malzemeler kullanılmaktadır. Hızla gelişen imalat metotları ile birlikte endüstride kullanılan metaller, gün geçtikçe yerini daha kolay imal edilebilen, düşük maliyetli ve daha iyi özelliklere sahip kompozit malzemelere bırakmaktadır. Ambalaj, sağlık, inşaat, ulaşım, savunma, uzay ve havacılık gibi birçok alanda kullanılan yeni tür malzemelerden biride kompozit malzemelerdir. Yeni nesil kompozit malzemeler olarak da isimlendirilen nanokompozit malzemelerin kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Gerek düşük özgül ağırlıkta olmaları gerekse istenilen dayanım özelliklerini gösterebilme açısından kompozit malzemelerin endüstride kullanımı daha sık tercih edilir hâle gelmiştir (White, 2002). Hafif ve yüksek mukavemet özelliklerine sahip kompozit malzemelerin kullanıldığı alanlardan biride havacılık sektöründe kullanılan aviyonik kutulardır. Aviyonik şasilerin imalatında hâlihazırda polimer, bakır ve/veya alüminyum malzemeler kullanılmaktadır. Yüksek irtifada görev yapan sistemlerde kullanılan aviyonik kutuların çevresel sıcaklıklarda korunması için bu kutuların sıcaklığının belirli bir değer aralığında sabit tutulması gereklidir. Alüminyum malzemeden imal edilen elemanların aşırı sıcaklığa karşı korunmaları için soğutma sistemine ihtiyaç vardır. Sistemlerin kullanılmaları esnasında enerji ihtiyacının kritik olduğu durumlarda aviyonik kutuların sıcaklık şartlarını yerine getirebilmesi kullanılacak enerji miktarının düşürülmesi ile mümkündür. Şekil 1.'de bir örneği gösterilen aviyonik kutu, hava araçlarının en kritik elemanlarından biri olup bu kutunun içinde yer alan işlemci, sensör ve kablolama elemanların elektromanyetik dalgalardan, mekanik darbelerden ve çevresel şartlara karşı korunması önem arz etmektedir. Yüksek irtifada görev yapan platformlarda çevre kaynaklı yüksek sıcaklıklara karşı aviyonik kutuların muhafaza edilmesi ve mevcut şartlarda bakır veya alüminyum malzemeden imal edilen sistemlerin soğutulması ne kadar iyi olursa sistemin verimi o oranda artacaktır (Rosero, 2007).



Şekil 1.1 Bir aviyonik kutu örneği (Figure 1.1 An avionics box sample)

Aviyonik kutuların çalışma şartlarının iyileştirilmesi ve bu kutuların görev icrası esnasında yüksek sıcaklıklara sistemin daha düzenli bir şekilde çalışmasına imkân sağlayacaktır. Alüminyum malzemeden imal edilen aviyonik kutuların içerisinde yer alan sensör, kablolama ve işlemci gibi elemanlardan kaynaklanan sıcaklık artışı belirlenen değerlerin üzerine çıkabilmektedir. Ancak aviyonik kutularda bu istenmeyen bir durumdur. Kablolama ve işlemci gibi elemanlar sebebiyle oluşan ısıyı daha yüksek mertebelerde dış ortama iletebilen ve sıcaklık artışını engellemek kullanılabilecek malzemelerden biride nanokatılandırılmış kompozit malzemelerdir. İmalat işlemlerinde kullanılan farklı tür malzeme(metal, kompozit, nanokompozit vb.)'lerin özelliklerini araştırmak, malzemelerin özelliklerini birbirleri ile karşılaştırmak, bu malzemelere alternatif malzemeler üretmek ve malzemelerin avantaj ve dezavantajlarını belirlemek amacıyla literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Konu ile ilgili yapılan çalışmada (Öz, 2021), nanokompozit malzemenin süzülme eşiğini belirlemek amacıyla bir süreklilik modeli sunmuştur. Modelde nanokompozitin hem nanodolgu maddesi hem de polimer matris aşamalarını da hesaba katarak belirlenmiştir. Deneysel veriler ile modelin karşılaştırdığı çalışmada, havacılık uygulamaları için faydalı olan nanokompozitlerin davranışının çalışmadan belirtilen metodoloji ile

modellenebileceğini gösterilmiştir. Baladin ve arkadaşları (2008) tek katmanlı grafinin termal iletkenliğine ilişkin deneysel bir çalışma yapmışlardır. Temassız optik tabanlı bir teknik kullandıkları bu çalışmada, oda sıcaklığında grafinin $5,30 \times 10^3$ W/mK'ye kadar olağanüstü yüksek termal iletkenlik gösterdiği sonucunu elde etmişlerdir. Cheng ve Ting (2002) tarafından yapılan çalışmada, buharla büyütülen karbon fibere (Vapor Grown Carbon Fiber, VGCF) dayalı epoksi kompozitler üretilmiş ve malzemenin oda sıcaklığında termofiziksel özellikleri analiz edilmiştir. Analiz sonucunda polimer matrisli kompozitlerin termal iletkenliği 695 W/mK olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, polimer malzemenin termal genleşme katsayısı VGCF'nin dâhil edilmesiyle azaldığı ve kompozit malzemenin oda sıcaklığındaki ısıl iletkenliğinin 1260 W/m K olduğu tahmin edilmiştir. Afanasov ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada, sıkıştırılmış genişletilmiş grafit(EG)'in termofiziksel ve mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlara göre termal iletkenlik katsayısı ve elastisite modülü için hesaplanan EG'nin kritik yoğunluk değerleri 0.01 ve 0.005 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Ayrıca %58'lik sulu nitrik asit çözeltisi EG'nin daha düşük bir termal iletkenlik katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Gaxiola ve arkadaşları (2009) polipropilen reçineye karbon siyahı, sentetik grafit parçacıkları ve karbon nanotüpler olmak üzere üç farklı madde ekleyerek elde ettikleri kompozit malzemeleri elektrik direnci açısından test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre farklı dolgu kompozit malzemelerin elektrik direncini artırmada istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Yu ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, bir dizi hibrit grafit nano doldurucu hazırlamak için tek yönlü dizilmiş tek duvarlı karbon nanotüplerini (SWNT) ve iki boyutlu dizilmiş grafit nanoplakalarını (GNP) birleştirerek termal performans incelemesi yapmışlardır. Epoksi kompozitlerin termal iletkenliği özelinde, belirli dolgu yüklemelerinde, GNP'ler ve SWNT'ler arasında uyumlu bir etki gözlemlenmiştir. Yapmış oldukları çalışmaların neticesinde hibrit bileşimin, saf GNP veya saf SWNT dolgu maddeleri kullanan kompozitlerden daha iyi performans gösterdiği saptanmıştır. Karbon dolgu malzeme ve grafit özelinde yapılan çalışmalara bir diğer örnek ise Hauser ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan çalışmadır. Çalışmada karbon dolgu maddelerinin (karbon siyahı, sentetik grafit parçacıkları ve karbon fiber) kompozit termal iletkenlik üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuçlara göre, üç malzeme arasında termal iletkenlik açısından en etkili malzeme sentetik grafit olduğu görülmüştür. Bununla beraber, karbon siyahı ve sentetik grafitin bir kompozitte birleştirilmesi ile elde edilen yeni kompozit malzemenin termal iletkenliği, her bir malzemenin tek başına gösterdiği termal iletkenlikten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Choi ve arkadaşları (2005) tarafından VGCF malzemesi kullanılarak yapılan çalışmada ise kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirmek için polimer matrisite olası takviyeler dikkate alınmıştır. Çalışma elde edilen bulgu; kompozitlerin termal analizi sonucunda, VGCF'lerin polikarbonat matrisinin termal ayrışmasını geciktirdiği düşük maliyetli olması özelliğinden dolayı kompozitlerin özelliklerini iyileştirmek için polimerlerde dolgu maddesi olarak da kullanıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, yukarıda verilen bilimsel çalışmalar baz alınarak aviyonik kutuların ısıl kontrolü için farklı elektriksel ve termal özelliklerin ölçüleceği bir adet aday nanokompozit malzemelerin termal analizi gerçekleştirmek ve hâlihazırda kullanılan alüminyum malzemelerin ısıl karakterizasyon özellikleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda aviyonik kutuların imalatında kullanılan alüminyum ve nanokompozit malzemelerin termal analizleri yapılarak soğutma etkileri karşılaştırılacaktır. Söz konusu yeni nesil katkılı polimer malzemelerin aviyonik kutularda kullanımı için model teşkil edecek malzeme karakterizasyonu planlanması mümkün kılınacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada mevcutta alüminyum malzemedan imal edilen şasi ile polimer kompozit malzemedan üretilen aviyonik şasinin ısı iletim değerleri ve sıcaklık çıktıları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) yazılımı olan ABAQUS CAE programından yararlanılmıştır.

a. Deney Tasarımı ve Kabuller

Bu çalışmada yapılan analizde aviyonik sistem muhafazası için hâlihazırda kullanılan 6061 alaşımli alüminyum ve kullanılması öngörülen nanokatlandırılmış kompozit kıyaslanmıştır. İhtiyaç duyulan şasi 20x20x40 cm³ boyutlarında, harici bir soğutma sistemine ihtiyaç duyan bir şasidir.

Bu çalışmada soğutma sistemi olarak termoelektrik soğutuculardan faydalanılmıştır. Termoelektrik soğutucular, buhar sıkıştırırmalı soğutmaya oranla daha az kullanım alanına sahiptir. Termoelektrik soğutucu, diğer soğutma sistemleri ile kıyaslandığında başlıca avantajları, hareketli ekipmanların veya dolaşan soğutucu akışkanın olmaması, çok daha uzun ömür vaatmesi, küçük olan boyutu ve esnek olan yapısıdır. Mekanik soğutucular (fan veya soğutma çevrimi ile çalışan klima benzeri sistemler) yüksek arıza be bakım ihtiyaçlarından ötürü hava araçlarında tercih edilmemektedir. Dolayısıyla yapılan analizde termoelektrik soğutma sistemi tercih edilmiştir.

Analiz koşulları tasarlanırken malzeme değişiminin ısıl performans etkisini kıyaslayabilmek adına iki ayrı adımda analiz yapılmıştır. Bunlar;

1. Homojen ısıl yük dağılımlı kıyaslama,
2. Homojen olmayan ısı dağılımlı kıyaslama,

Şasinin dış ortam sıcaklığı hava aracının farklı konumlarına göre değişkenlik göstereceği için çeşitli olacak şekilde kurgulanmıştır. Bu sıcaklıklar hava aracının maruz kalacağı en yüksek ve en düşük sıcaklıklar arasında tayin edilmiştir. Sıcaklıklar belirlenirken; hava aracının yaz aylarında taksit halinde yüksek dış sıcaklık koşullarına maruz kaldığı koşul ile kış aylarında yüksek irtifalarda maruz kaldığı düşük sıcaklık seviyeleri göz önüne alınmıştır. Analizde aviyonik şasinin maruz kaldığı dış ortam sıcaklıkları için sırasıyla; -25°C, 0°C, 25°C, 50°C ve 75°C için analizler yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Analizde değerlerin gerçeği yansıtması açısından ısı transferinde kararsız hal (transient) kabulü yapılmıştır. Ayrıca şasi içerisindeki ısıl yüke sebep olan elemanların homojen şekilde dağıldığı kabulü üzerine ilerlenmiştir. Dolayısıyla şasinin iç duvarlarının eşit ısı akısına maruz kaldığı kabulü yapılabilir.

Isı transferi simülasyonu yapılacak olan ABAQUS CAE programı termal problemler için aşağıdaki genel denklemi çözerek analizi sonuçlandırmaktadır;

$$\int \delta\theta \left[\rho c \left\{ \frac{\partial\theta}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial \mathbf{x}} \right\} - \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \cdot \left(\mathbf{k} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial \mathbf{x}} \right) - q \right] dV + \int S_q \delta\theta \left[\mathbf{n} \cdot \mathbf{k} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial \mathbf{x}} - q_s \right] dS = 0 \quad (1)$$

Burada, $\theta(x,t)$ bir noktadaki zamana bağlı sıcaklık, $\delta\theta(x,t)$ zamana bağlı herhangi bir değişken alan, $\rho(\theta)$ akışkan yoğunluğu, $c(\theta)$ akışkanın özgül ısı, $\mathbf{k}(\theta)$ akışkanın ısı iletkenliği, q dış kaynaklardan birim hacim başına eklenen ısıdır. q_s sıcaklığın belirtilmediği (S_q) yüzeyi boyunca hacmin maruz kaldığı ısı, \mathbf{n} yüzeyden dışarı yöndeki normal vektörü, \mathbf{x} uzamsal konum ve t zaman, \mathbf{v} akışkanın hızıdır (Abaqus Theory Manual).

Yapılan deneyde akışkan hızı sıfıra çok yakın bir değer olduğu için $\mathbf{v}=0$ kabulü yapılmıştır. Dolayısıyla çözülecek nihai denklem;

$$\int S_q \delta\theta \left[\mathbf{n} \cdot \mathbf{k} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial \mathbf{x}} - q_s \right] dS = 0 \quad (2)$$

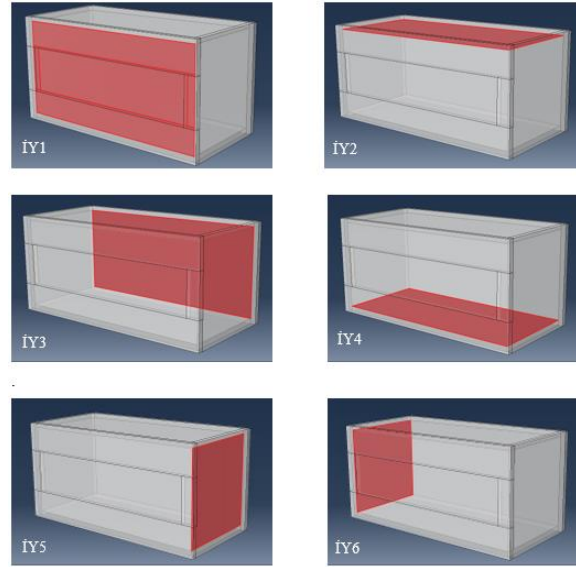
halini almaktadır.

Analizler ısı transferinin kararlı hale (Steady-State) ulaştığı sıcaklıklar için yapılmıştır. Kararlı hal; ısı transferinin neredeyse sıfır olduğu, dolayısıyla zamana bağlı sıcaklık değişiminin sıfır kabul edildiği an olarak nitelendirilebilir. Kararlı hal durumundan sonra sıcaklık değişimi olmayacağı için analizlerde en gerçekçi sonucu elde etmek için analizlerin, kararlı hal durumunu baz alarak yapılması gerekmektedir. Tablo 2.1 elde edilen tüm veriler ışığında analiz yapılacak malzemelerin verilerini göstermektedir.

Tablo 2.1 Analize giren olan malzemelerin termal ve mekanik değerleri (**Table 2.1** Thermal and mechanical values of the analyzed materials)

Malzeme	Alüminyum	VGCF
Yoğunluk (ρ)	2700 kg/m ³	1480 kg/m ³
Isı Transfer Katsayısı (\mathbf{k})	150 W/mK	695 W/mK
Özgül Isı (c_p)	921 J/kgK	700 J/kgK
Isı oluşumu	1000 W	1000 W
Termoelektrik Soğutucu Kapasitesi	800 W	800 W
Boyutlar	200 x 200 x 400 mm ³	200 x 200 x 400 mm ³
Kutu et kalınlığı	10 mm	10 mm

Kurgunun net bir şekilde anlaşılması açısından kutunun yüzeylerine isim vermek gereklidir. Bilindiği üzere dikdörtgen prizma şeklindeki kutunun iç kısımda 6, dış kısımda da 6 adet yüzeyi bulunmaktadır. Bundan sonraki aşamalarda kolaylık olması açısından bu yüzeylerden bahsederken yüzeylere aşağıdaki gibi isim verilecektir;



Şekil 2.1. Analize girecek aviyonik kutunun yüzeylerinin isimlendirilmesi (**Figure 2.1.** Name of avionics box surfaces that will be analyzed)

Şekil 2.1’de belirtilen İY kısaltmaları İç Yüzeyi ifade ederken aynı yüzeyin dış ortama bakan yüzeyini ifade etmek için ise DY (Dış Yüzey) ifadesi kullanılacaktır. Dolayısıyla Şekil 2.1’de belirtilen

- İY1: İç Yüzey 1’i; DY1: İY1’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY2: İç Yüzey 2’i; DY2: İY2’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY3: İç Yüzey 3’i; DY3: İY3’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY4: İç Yüzey 4’i; DY4: İY4’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY5: İç Yüzey 5’i; DY5: İY5’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY6: İç Yüzey 6’i; DY6: İY6’in dış ortama bakan yüzeyi temsil etmektedir.

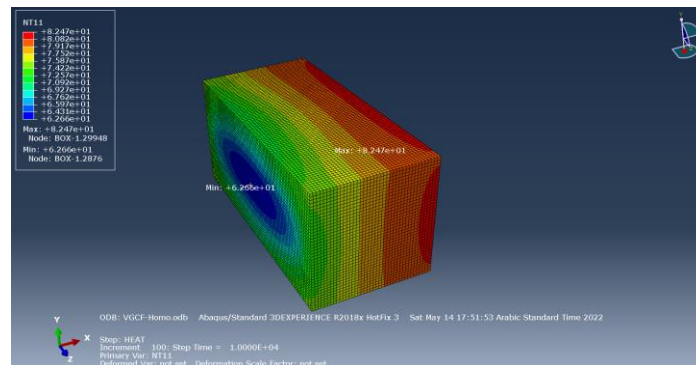
Örnek verecek olursak İY2 kutunun iç kısım tavan yüzeyini ifade ederken DY2 ise kutunun dış kısım üst yüzeyini belirtmek için kullanılacaktır.

3. Analiz Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında Tablo 2.1’de belirtilen veriler doğrultusunda analiz işlemlerine başlanmıştır. Aviyonik şasi gövdesinde içerisinde barındırdığı kablolama, işlemci, anakart vb. elemanlardan kaynaklı 1000 Watt’lık ısı üretimi olmaktadır. Bu ısı oluşumu, kutunun duvarlarından doğal taşınımlı ısı transferi ile ve 800 W kapasiteli termoelektrik soğutucu ile kutunun dışarısına atılmaktadır.

3.1. Homojen Isıl Yük Dağılımlı Kıyaslama

Analizin bu aşamasında 1000 W kapasitesindeki ısı yük İY1, İY2, İY3, İY4, İY5 ve İY6 üzerinde homojen dağıtılmış ve DY1 üzerine harici bir soğutma ünitesi entegre edilmiştir. Bu sayede şasi sıcaklıklarının istenilen seviyelere düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda şasi dış duvarına $8 \times 31 \text{ cm}^2$ yüzey alanına sahip, 800W soğutma kapasiteli bir termoelektrik soğutucu kullanılmıştır. Epoksi matrisli VGCF nanokompoziti için $60 \text{ }^\circ\text{C}$ dış ortam sıcaklığı koşullarında elde edilen analiz sonucu görseli Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



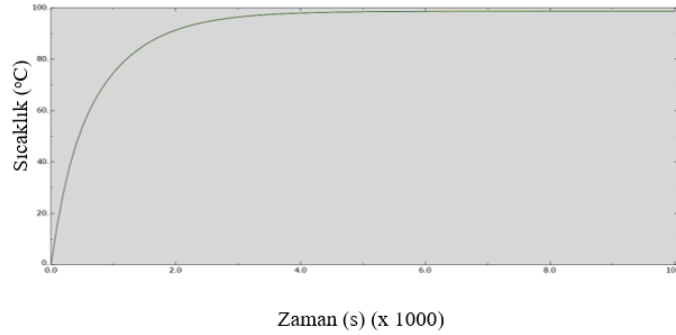
Şekil 3.1 Nanokompozit malzemeden imal edilen aviyonik kutunun $60 \text{ }^\circ\text{C}$ dış ortam koşullarında sıcaklık dağılımı. (**Figure 3.1** Temperature distribution at $60 \text{ }^\circ\text{C}$ outer temperature of the avionics box, which is made of nanocomposite material.)

Sırasıyla -25 °C, 0 °C, 25 °C, 50 °C, 60 °C ve 75 °C dış ortam sıcaklıkları için yapılan sıcaklık ve bu sıcaklığa erişme sürelerini gösteren analizlerin sonuçları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

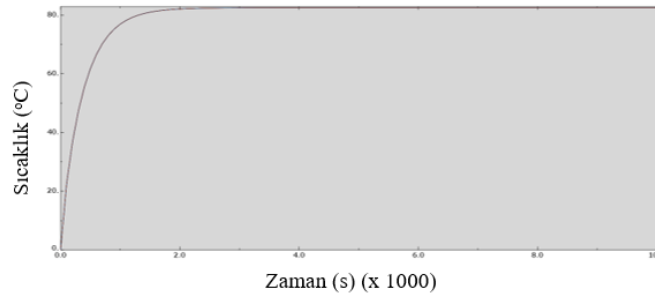
Tablo 3.1. Homojen ısı dağılımlı şartlar altında alüminyum ve nanokompozit materyalden üretilen kutularda oluşan en yüksek sıcaklık ve bu sıcaklığa erişme süreleri (**Table 3.1** The highest temperature and the time to reach this temperature in boxes produced from aluminum and nanocomposite materials under homogeneous heat distribution conditions.)

Dış Ortam Sıcaklığı	Alüminyum		VGCF	
	Kararlı Hal Sıcaklığı (°C)	Kararlı Hal İçin Geçen Süre (s)	Kararlı Hal Sıcaklığı (°C)	Kararlı Hal İçin Geçen Süre (s)
-25 °C	18,8	6000	2,1	2500
0 °C	42,4	5900	25,4	2400
25 °C	65,7	5900	49,1	3000
50 °C	89,3	5600	72,9	2700
60 °C	98,7	5600	82,5	2700
75 °C	112,9	5700	96,8	2800

Tablo incelendiğinde kutunun maruz kaldığı en yüksek sıcaklık olan 75 °C için alüminyum kutu en yüksek 112,9 °C, nanokompozit malzemeden imal edilen kutu en yüksek 96,8 °C sıcaklığa ulaşmıştır. Kararlı hal sıcaklıklarını irdelediğimizde ise yine 75 °C dış ortam sıcaklığı için alüminyumdan imal edilen malzeme kararlı hal sıcaklığına 5700 saniyede erişirken nanokompozit malzemeden üretilen kutu kararlı hale 2800 saniye mertebelerinde ulaşmıştır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de şasinin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.2 60 °C dış ortam sıcaklığı koşulunda Alüminyum malzemenin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği. (**Figure 3.2** Temperature/Time graph of the hottest point of Aluminum material at 60 °C outer temperature condition.)

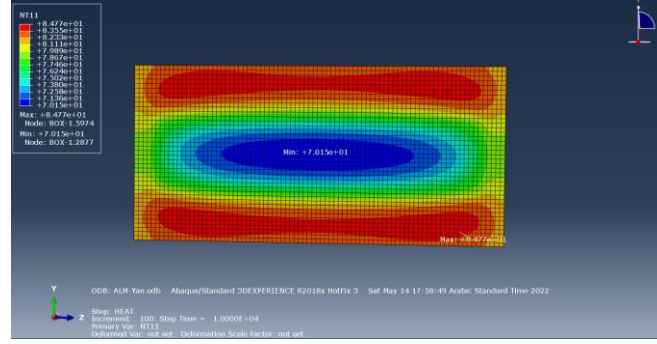


Şekil 3.3 60 °C dış ortam sıcaklığı koşulunda epoksi matrisli VGCF malzemenin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği. (**Figure 3.3** Temperature/Time graph of the hottest point of Epoxy Matrix VGCF material at 60 °C outer temperature condition.)

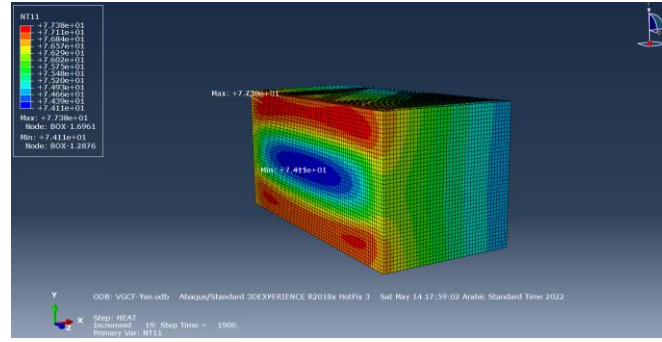
3.2. Homojen Olmayan Isı Dağılımlı Kıyaslama

6061 alaşımlı alüminyum malzeme ile epoksi matrisli VGCF nanokompozitinin kıyaslandığı analizlerin ikinci aşaması ise ısı yük dağılımının tek bir duvarda toplandığı ve harici bir soğutma sisteminin kullanıldığı koşul olmuştur. İlk aşamada kutu iç yüzeylerine homojen olarak dağıtılan 1000 W kapasiteli ısı yükü, yalnızca İY1 üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Ayrıca yine ilk aşamadaki gibi yine 8 x

31 cm² boyutlarında 800W soğutma kapasiteli termoelektrik soğutucu entegrasyonu söz konusudur. Bu doğrultuda 60 °C dış ortam sıcaklığı için yapılan analiz sonuçlarını gösteren görseller alüminyum malzemeden imal edilen kutu için Şekil 3.4’de, nanokompozit malzemeden imal edilen kutu için Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Isıl yükün tek duvara yüklendiği koşullarda alüminyum malzemeden imal edilen aviyonik kutunun 60 °C dış ortam şartlarındaki analiz sonucu. (Figure 3.4 The analysis result of the avionic box made of aluminum material in 60 °C outdoor conditions where the thermal load is loaded on a single wall.)

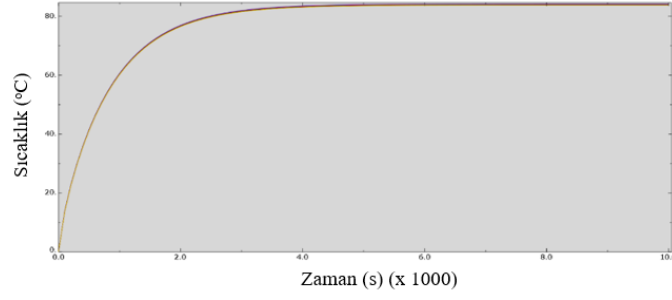


Şekil 3.5 Isıl yükün tek duvara yüklendiği koşullarda nanokompozit malzemeden imal edilen aviyonik kutunun 60 °C dış ortam şartlarındaki analiz sonucu. (Figure 3.5 The analysis result of the avionic box made of nanocomposite material in 60 °C outdoor conditions where the thermal load is loaded on a single wall.)

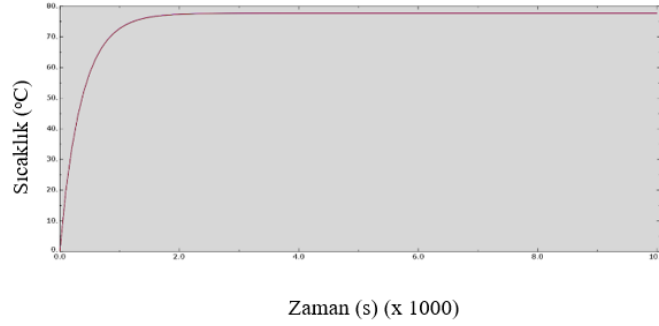
Tablo 3.2. Homojen olmayan ısı dağılımlı şartlar altında alüminyum ve nanokompozit materyalden üretilen kutularda oluşan en yüksek sıcaklık ve bu sıcaklığa erişme süreleri. (Table 3.2 The highest temperature and the time to reach this temperature in boxes produced from aluminum and nanocomposite materials under nonhomogeneous heat distribution conditions.)

Dış Ortam Sıcaklığı	Aluminum		VGCF	
	Kararlı Hal Sıcaklığı (°C)	Kararlı Hal İçin Geçen Süre (s)	Kararlı Hal Sıcaklığı (°C)	Kararlı Hal İçin Geçen Süre (s)
-25 °C	4,5	6200	-3,3	3100
0 °C	27,8	5900	21,3	2700
25 °C	51,3	5800	44,7	2800
50 °C	75,2	5900	68,2	2600
60 °C	84,7	6100	77,8	2300
75 °C	99,1	6900	92,2	2500

60 °C dış ortam sıcaklığı koşullarında yapılan analiz sonucunda alüminyum ve nanokompozit malzemelerin en yüksek sıcaklık değerine sahip nokta için elde edilen Sıcaklık/Zaman grafikleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Isıl yükün tek duvarda toplanması koşulunda 60 °C dış ortam sıcaklığında Alüminyum malzemenin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği. (**Figure 3.6** Temperature/Time graph of the hottest point of Aluminum material at 60 °C outer temperature condition where heat load concentrated on a single wall.)



Şekil 3.7. Isıl yükün tek duvarda toplanması koşulunda 60 oC dış ortam sıcaklığında nanokompozit malzemenin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği. (**Figure 3.7.** Temperature/Time graph of the hottest point of nanocomposite material at 60 oC outer temperature condition where heat load concentrated on a single wall.)

3.3. Termoelektrik Soğutucu Verim Analizi

Analizlerin önceki aşamalarında 6061 alaşımlı alüminyum ve epoksi matrisli VGCF nanokompozitinin 800 W kapasiteli termoelektrik soğutucu kullanılması durumunda sıcaklık değerleri açısından karşılaştırmaları yapılmıştı. Yapılan analizler, nanokompozit malzemenin her koşul için daha düşük sıcaklık çıktılarını sağladığını göstermektedir. Analizin bu aşamasında alüminyum malzemenin, 75 °C dış ortam koşullarında nanokompozit malzemenin sıcaklık sonuçları ile aynı sonucu verebilmesi için kaç W kapasitesinde termoelektrik soğutucu kullanılması gerektiği hesaplanacaktır.

Bilindiği gibi analizler iki ana kıyas üzerine yapılmıştır. Bunlar;

- Homojen ısı yük dağılımlı kıyaslama
- Homojen olmayan (Tek duvara yoğunlaştırılmış) ısı dağılımlı kıyaslama

75 °C dış ortam koşullarında Nanokompozit malzemeden imal edilen kutuda ilk durum için en yüksek 96,8 °C sıcaklığa ulaşıldığı sonucunu elde edildi. Aynı şartlarda alüminyum malzeme 112,9 °C sıcaklık sonunu sağlamıştı. Analizin ilk kısmında alüminyum malzemenin en yüksek 96,8 °C sıcaklık değerine ulaşması için gereken soğutucu kapasitesi hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda 1100 W kapasiteli bir termoelektrik soğutucu gerekliliği belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise ısı yükün tek duvarda yoğunlaştırıldığı durum için analizlere devam edilmiştir. 75 °C dış ortam koşullarında nanokompozit malzemeden imal edilen kutuda ilk durum için en yüksek olan 92,2 °C sıcaklığa ulaşıldığı sonucu elde edildi. Aynı şartlarda alüminyum malzeme 99,1 °C sıcaklık sonunu sağlamıştı. Alüminyum malzemeden imal edilen kutuda sıcaklık değerinin en fazla 92,2 °C olması için kullanılması gereken termoelektrik soğutucu kapasitesi 870 W olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Nanokompozit malzeme ile aynı sıcaklık değerine ulaşmak için alüminyum kutuda kullanılması gereken soğutucu kapasiteleri (**Table 3.5** Cooling capacities that must be used in the aluminum box to reach the same temperature value as the nanocomposite material)

	Ulaşılması istenilen en yüksek sıcaklık	Alüminyum	VGCF
		Soğutucu kapasitesi (W)	Soğutucu kapasitesi (W)
Homojen ısı yük dağılımlı kıyaslama	96,8 °C	1100	800
Tek duvara yoğunlaştırılmış ısı dağılımlı kıyaslama	92,2 °C	870	800

4. Sonuç

Hava araçlarının kritik parçalarından biri olan aviyonik kutuların soğutulmasının ele alındığı bu çalışmada, kutular içerisinde gerçekleşen işlem esnasında kablolama, işlemci, dış ortam sıcaklığı gibi ısı yüklerine maruz kalan aviyonik kutuların üretiminde kullanılan malzemeleri termal karakterizasyonu incelenmiştir. Farklı aşamalar için 75 °C dış ortam şartlarında yapılan incelemede elde edilen sonuçlar dikkate alındığında;

- Kutu içerisindeki ısının homojen olarak dağıldığı durumda alüminyum kutuda en yüksek sıcaklık 112,9 °C iken nanokompozit malzemede bu değer 96,8 °C olmuştur. Ayrıca bu sıcaklıklara erişmek için geçen süreyi kıyasladığımızda alüminyum 5700 saniyede kararlı hal sıcaklığına ulaşırken VGCF nanokompoziti kararlı hal sıcaklığına 2800 saniyede ulaşmıştır.
- Kutu içerisindeki ısı dağılımının tek duvarda yoğunlaştırıldığı koşulda ise alüminyum kutuda en yüksek sıcaklık 99,1 °C seviyelerinde iken bu değer nanokompozit malzemede 92,2 °C seviyelerine düşmektedir. Yine bu iki malzemenin kararlı hal sıcaklıklarına ulaşma sürelerini incelediğimizde alüminyum malzeme 6900 saniyede 99,1 °C sıcaklığa erişirken nanokompozit malzeme 2500 saniyede 92,2 °C sıcaklığa erişmiştir.
- Analizin son aşamasında alüminyum malzemenin sıcaklık değerlerinin nanokompozit malzeme ile aynı seviyede olması için kullanılması gereken termoelektrik soğutucu kapasiteleri irdelenmiştir. Homojen ısı dağılımlı durumda alüminyum malzemenin imal edilen kutunun üzerinde en yüksek 96,8 °C sıcaklık değerini elde etmek için 800 W kapasitesindeki soğutucu yerine 1100 W kapasitesindeki soğutucu kullanılması gerektiği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak ısı dağılımının homojen olmadığı durumda ise alüminyumdan imal edilen kutudaki en yüksek sıcaklığın 92,2 °C olması için 800 W kapasiteli soğutucu 900 W kapasitesindeki soğutucu ile değiştirilmesi gerekir.

Bu sonuçlar doğrultusunda aviyonik kutuların imalatında yalnızca malzeme değişimi ile sıcaklıktaki azalma miktarı yaklaşık olarak 14°C olduğu ve %14,3 oranında bir iyileştirme sağlandığı görülmüştür. Ayrıca alüminyum yerine nanokompozit malzeme tercih edilmesinin %12,5 seviyelerinde bir enerji verimliliğini beraberinde getirebileceği belirlenmiştir. Böylece aviyonik kutuların imalatında nanokompozit malzemenin kullanılması daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür

Analiz çalışmalarında gerekli verileri sunan ve analizleri çalıştırma ortamını sağlayan Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.'ye ve Sn. Dr. Öğr. Üyesi Yahya ÖZ'e teşekkür ederim.

Kaynakça

- White S. R., Mather P. T., and Smith M. J., Polym. Characterization of the cure-state of DGEBA-DDS epoxy using ultrasonic, dynamic mechanical, and thermal probes, Eng. Sci. 42 (2002) 51-67.
- Rosero J. A., Ortega J. Aldabas A., E. and Romeral L., Moving towards a more electrical aircraft, IEEE A&E Systems Magazine, pp. 3-9, 2007.
- ATR Chassis For Conduction-Cooled VME Boards (<https://www.readkong.com/>)
- Öz Y., Journal of Physics: A Mathematical Model for the Description of the Electrical Conductivity of Graphene/Polymer Nanocomposites, Conference Series 1730 (2021): 012112
- e-ISSN: 2148-2683

- Balandin A. A., Ghosh S., Bao W., Calizo I., Teweldebrhan D., Miao F., and Lau C. N., Superior Thermal Conductivity of Single-Layer Graphene, *Nano Lett.* 8 (2008) 902-907.
- Chen Y. M., and Ting J. M., Ultra High Thermal Conductivity Polymer Composites *Carbon* 40 (2002): 359-362
- Afanasov I. M., Savchenko D. V., Ionov S. G., Rusakov D. A., Seleznev A. N., and Avdeev V. V., Thermal Conductivity and Mechanical Properties of Expanded Graphite, *Inorganic Materials* 45 (2009) 486-490.
- Gaxiola D. L., Keith J. M., King J. A., and Johnson B. A., Electrical conductivity of carbon-filled polypropylene-based resins, *J. Appl. Polym. Sci.* 114 (2009) 3261-3267.
- Yu A., Ramesh P., Sun X., Bekyarova E., Itkis M. E., and Haddon R. C., Enhanced Thermal Conductivity in a Hybrid Graphite Nanoplatelet – Carbon Nanotube Filler for Epoxy Composites, *Advanced Materials* 20 (2008) 4740-4744.
- Hauser R. A., King J. A., Pagel R. M., and Keith, J. M. Effects of carbon fillers on the thermal conductivity of highly filled liquid-crystal polymer based resins, *J. Appl. Polym. Sci.* 109 (2008) 2145-2155.
- Choi Y. K., Sugimoto K. I., Song S. M., Endo M., Mechanical and Thermal Properties of Vapor-Grown Carbon Nanofiber and Polycarbonate Composite Sheets, *Materials Letters* 59 (2005) 3514 – 3520
- ABAQUS Theory Manual
(<https://classes.engineering.wustl.edu>)
- Pradhan N. R., Duan H., Liang J. and Iannacchio G. S., The Specific Heat and Effective Thermal Conductivity of Composites Containing Single-Wall and Multi-Wall Carbon Nanotubes, *Nanotechnology* 20 (2009): 245705
- Aviyonik ve Seyrüsefer Sistemler,
ASELSAN(<https://www.aselsan.com.tr/>)
ThermoTEC 170 Series 5500 BTU Thermoelectric Air Conditioning, EIC Solutions (www.eicsolutions.com)
- Riahi M. & Nazari, H. Analysis of transient temperature and residual thermal stresses in friction stir welding of aluminum alloy 6061-T6 via numerical simulation, Springer-Verlag London Limited, 2010.
- Öz Y., Yilmaz B., and Evis Z., A Review on Nanocomposites with Graphene Based Fillers in Poly(ether ether ketone), *Polymer Science, Series A* 64 (2022)
- Chung D. D. L.. *Materials for Thermal Conduction. Applied Thermal Engineering.* 21(16):1593-1605, November 2001.
- Ma A., Chen W., Hou Y., and Zhang G., The Preparation and Cure Kinetics Researches of Thermal Conductivity Epoxy/AlN Composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 49 (2010): 354-358.
- Gaska K., Rybak A., Kapusta C., Sekula R., and Siwek A., Enhanced Thermal Conductivity of Epoxy–Matrix Composites with Hybrid Fillers *Polymer Advanced Technologies* 26 (2015) 26-31.
- Tibbetts G.G., Gorkiewicz D.W., Hammond D.C. Jr. , Apparatus for Forming Carbon Fibers. U.S.patent, No. 5 024 (1991) 818.
- Koyama T., Formation of Carbon Fibers from Benzene, *Carbon* 10 (1972) 757– 758.
- Koyama T., Endo M., Structure and Growth Processes of Vapor-Grown Carbon Fibers, *Ohyo Butsuri* 42 (1973) 690.
- Tibbetts G.G., Endo M., Beetz C.P. Jr. , Carbon Fibres Grown from the Vapor Phase: a Novel Material, *SAMPLE Journal*, 1986 September/- October, pp. 30– 35.
- Tibbetts G.G., Growing Carbon Fibers with a Linearly Increasing Temperature Sweep: Experiments and Modeling, *Carbon* 30 (1992) 399– 406.
- Beck S., How to Apply Advanced Composites Technology, *Proceedings of the Fourth Annual Conference on Advanced Composites*, ASM International Congress, Dearborn, MI, USA, 1988, pp. 463–473.



Ti6Al4V Alaşımının Ultrasonik Yüksek Hızlı Mikro Frezelenmesinde Talaşların İncelenmesi

Aybars Mahmat^{1*}, Nihat Tosun², Salih Agar³

¹ Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9261-0620), aybarsmahmat@munzur.edu.tr

² Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6211-5044), ntosun@firat.edu.tr

³ Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1608-597X), salihagar@munzur.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 23 Ağustos 2022 ve Kabul Tarihi 25 Ocak 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1165463)

ATIF/REFERENCE: Mahmat, A., Tosun, N. & Agar, S. (2023). Ti6Al4V Alaşımının Ultrasonik Yüksek Hızlı Mikro Frezelenmesinde Talaşların İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 27-36.

Öz

Ti6Al4V alaşımının işlenebilirliği, ultrasonik ve geleneksel mikro frezeleme ile işlem parametreleri ve farklı soğutma/yağlama yöntemlerinin talaş kalınlık oranı ve talaş formuna etkileri bu çalışmada deneysel olarak araştırıldı. Bu araştırma yapılırken deneysel çalışmalarda 0.02 mm sabit talaş derinliği, 0.66 mm/s sabit ilerleme ve 20.000, 40.000 ve 60.000 dev/dak devir sayısı işleme şartlarında kuru işleme, nano Al₂O₃ partikül katkılı boraks-etilen glikol karışımı ve zeytinyağı- boraks-etilen glikol karışımı 50-100 mikro metre boyutlu Al₂O₃ içeren nano kesme sıvılı minimum miktarda yağlama (MMY) yöntemi, karbür ve TiSiN kaplamalı karbür kesici takımlar kullandı. Ultrasonik mikro frezelemede, sabit genlikte iki farklı titreşim frekansı (20 ve 30 kHz) kesici takıma uygulandı. Deneysel çalışmaların tümünde süreksiz talaş formu elde edildi. Talaş formuna soğutma yönteminin ve kesici takımının bir etkisi olmadığı belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik işleme, Yüksek Hızlı Mikro frezeleme, Minimum Miktarla Yağlama (MMY) Yöntemi

Investigation of Chips in Ultrasonic High Speed Micro Milling of Ti6Al4V Alloy

Abstract

The machinability of Ti6Al4V alloy, the processing parameters with ultrasonic and conventional micro milling, and the effects of different cooling/lubrication methods on the chip thickness ratio and chip form were investigated experimentally in this study. While this research was being carried out, in experimental studies, dry machining under 0.02 mm constant depth of cut, 0.66 mm/s constant feed and 20,000, 40,000 and 60,000 rpm speed processing conditions, nano Al₂O₃ particle added borax-ethylene glycol mixture and olive oil-borax-ethylene glycol mixture The minimal amount of lubrication (MMY) method with nano-cutting fluid containing 50-100 micrometer size Al₂O₃ used carbide and TiSiN coated carbide cutting tools. In ultrasonic micro milling, two different vibration frequencies (20 and 30 kHz) of constant amplitude were applied to the cutting tool. Discontinuous chip form was obtained in all experimental studies. It was determined that the cooling method and the cutting tool had no effect on the chip form.

Keywords: Ultrasonic Machining, High Speed Micro Milling, Minimum Quantity Lubrication (MQL)

1. Giriş

10 µm'den daha küçük boyutlarda olan minyatür parçaların üretiminde kullanılan bir imalat yöntemi olan mikro mekanik işlemlerde çoğunlukla 100-999 µm çapında mikro parmak frezeler kullanılmaktadır. Mikro mekanik işlemlerde takım ömrünün az olmasının nedenlerinden biri şaft üzerindeki değişken streslerdir. Dinamik kuvvet değişimlerine önlem alınmaz ise kesici takım bir müddet sonra kırılacaktır. Mikro frezelemede, diş başına düşen ilerleme ve kesme derinliği kesici takım kenar yarıçapına oranı genellikle büyüktür. Bu durum, talaş kaldırma esnasında kararsızlıklara neden olmaktadır(Ucun, Aslantas ve Bedir 2013).

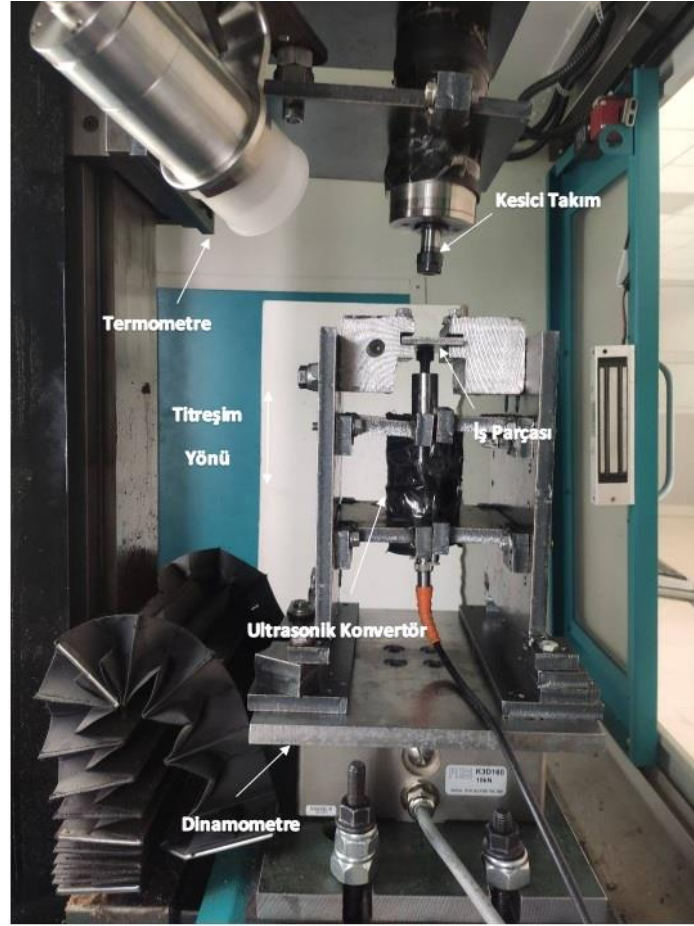
Ultrasonik işlemede yüksek frekanslı elektrik enerjisi bir dönüştürücü yardımıyla takıma ya da iş parçasına iletilen mekanik titreşime dönüştürülür (Behera 2011). Ultrasonik destekli işleme, genellikle yüksek frekansta ve düşük genliklerde üretilen ultrasonik ses dalgalarının bir dönüştürücü aracılığıyla mekanik bir harekete dönüştürüldüğü veya doğrudan kesici takıma veya iş parçasına uygulandığı bir karma işleme sürecidir (Maurotto ve Wickramarachchi, 2016). Yüksek frekansta ve düşük genlik değerlerinde çalışan bu sistem, geleneksel işleme yöntemlerinde doğru bir şekilde uygulandığı takdirde işleme çıktılarında kayda değer gelişmeler elde etmek mümkündür. Ultrasonik işleme, genellikle geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor olan çok sert ve kırılğan malzemelerin (örn. Cam, elmas, seramik, karbür vb.) işlenmesinde uygulanır. Ultrasonik frezeleme, kesici takıma takılan ve üretim sürecinde büyük iz değişikliklerine katkıda bulunan bir titreşim alt montajına sahiptir. Bu yöntem, işlenmiş yüzeyde iyi yüzey pürüzlülüğü hassasiyeti sağlar (Brehl ve Dow 2008).

Talaşlı imalat işlemlerinde işleme performanslarının iyileştirilmesi amacıyla kesme sıvılarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kesme sıvıları iyi bir soğutucu olmanın yanı sıra iyi yağlama özelliklerine sahip olmalıdır. Ayrıca plastik deformasyon esnasında kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltması gerekmektedir. Kesme sıvısı kullanımını azaltmanın bir çözümü olarak Minimum Miktarda Yağlama (MMY, MQL=Minimum Quantity Lubrication) yöntemi kullanılmakta ve geliştirilmektedir. MMY yöntemi vasıtasıyla kesme sıvısının kesme bölgesine iletilmesine yönelik yapılan deneylerde daha uzun takım ömrü, daha düşük kesme kuvveti ve sıcaklığı ve daha pürüzsüz yüzeyler elde edilmiştir (Khan vd., 2009). MMY tekniği az miktarda yağ veya kayganlaştırıcı kullanır. Bir sis veya aerosol oluşturmak için basınçlı hava ile karıştırılır ve bu partiküller yağlama sağlar ayrıca basınçlı hava işleme sırasında ısının düşürülmesine yardımcı olur (Astakhov, 2008). Ni ve Zhu (2020), yaptıkları çalışmada TC4 alaşımının ultrasonik işleme yöntemi ve minimum miktarda yağlama yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla yüzey pürüzlülüğü yaklaşık % 30-50 iyileştirdiği kesme kuvvetini yaklaşık % 10-40 iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Herhangi bir süreçten bir talaşın şekli ve boyutları, malzeme hakkında birçok bilgiyi ortaya çıkarabileceğinden, talaş oluşumunun analizi çok önemlidir. Talaşlı imalatta oluşan talaş biçimleri; tabakanın ayrılma şekli, malzemenin özelliğine ve tezgâh koşullarına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Talaş kalınlığının artarak uzunluğunun azalması sonucunda oluşan deformasyon derecesi talaş kalınlık oranıdır. Bu oran talaşlı imalattaki performans karakteristikleri (kesme sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü) üzerinde büyük rol oynamaktadır(Jin vd., 2020).

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, sabit talaş derinliği ve ilerlemede farklı kesme hızları, soğutma yöntemi ve kesici takım türünün oluşturmuş olduğu talaş formasyonları incelendi. Çalışmada iş parçası olarak havacılık, nükleer, kimya, sağlık gibi endüstri alanlarında kullanılan yüksek mekanik özelliklere sahip Ti6Al4V alaşımı (%90Ti, %5,86Al, %4,08V ve %0,6Zn-S) ticari alınarak kullanıldı. Ti6Al4V alaşımı 955 MPa çekme gerilmesine, 878 MPa akma gerilmesine, % 13,5 uzamaya, 450 HV sertlik ve 1660°C ergime sıcaklığına sahiptir. Çalışmada, ticari amaçla kullanılan, 1mm çapında, 2 kesici ağızlı TiSiN kaplı ve kaplamasız karbür mikro takımlar kullanıldı. Yüksek hızlı işleme için 1 kW güç ve 60000 rpm devir sayısına sahip JETCO JMD-3 marka frezede su soğutmalı spindle motor CNC freze tezgâhına montajı yapıldı. Ultrasonik sistemde kullanılan titreşim dönüştürücülerin, iş parçasının sabitlendiği numune tutucu ve kesici takımın bağlandığı spindle motorun bağlandığı parçalardan oluşan deney düzeneği Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Deney Düzenegi (Figure 1. Experimental Setup)

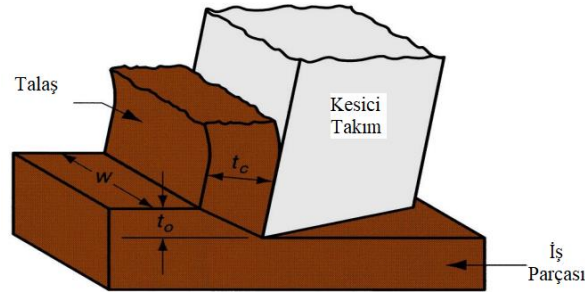
Bu çalışmada soğutma sistemi olarak kuru işleme ve iki farklı MQL yöntemi kullanıldı. Birinci MQL yönteminde soğutucu akışkan olarak nano Al₂O₃ partikül-boraks-etilen glikol karışımı kullanıldı. İkinci MQL yönteminde ise soğutucu akışkan olarak zeytinyağı-boraks-etilen glikol karışımı kullanıldı. Kesme sıvısı hazırlama işlemlerinde birinci MQL yönteminde 1/20 oranında boraks-etilen glikol karışımı içerisine hacimce % 1 oranında nano boyutlu Al₂O₃ partikül eklendi. Karışımdaki Al₂O₃ nano partiküller 50-100 nm boyutlarındadır. İkinci MQL yönteminde ise, 1/20 oranında boraks-etilen glikol karışımı içerisine %1 oranında zeytinyağı karışımına eklendi. Karışım ultrasonik homojenizatörde çökelti olmayacak şekilde hazırlandı. MQL yönteminde soğutma sıvısını kesme bölgesine püskürtmek amacıyla 4-6 bar çalışma aralığına sahip Werte/STN40 marka MQL ünitesi kullanıldı. Ultrasonik mikro frezeleme deneylerinde, iş parçasına radyal doğrultuda titreşim uygulamak için 20 ve 30 kHz'lik iki tip dönüştürücü elaman kullanıldı. Tablo 1'de tüm süreç parametreleri görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen talaşlar çok küçük boyutta olması nedeniyle çıplak gözle incelenmesi ve değerlendirmesi mümkün olmamıştır. Bu nedenle taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla deneyler sonucunda elde edilen talaşların formasyonları incelendi ve talaş kalınlıkları ölçüldü. Talaş kalınlık oranı (r) Denklem 1' de görüldüğü gibi sabit talaş derinliğinin deney sonucunda elde edilen talaşların kalınlık değerine bölünmesi sonucunda elde edilir (Şekil 2).

$$r = t_o / t_c$$

(1)

Burada: t_o sabit talaş derinliğini, t_c deneyler sonunda ölçülen talaş kalınlıklarını ifade etmektedir.



Şekil 2. Talaş kalınlık oranının belirlenmesi (Figure 2. Determination of chip thickness ratio)

Tablo 1. Deneylerde kullanılan süreç parametreleri (Table 1. Process parameters used in experiments)

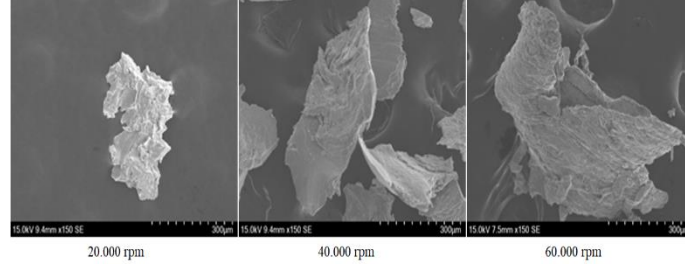
İşlem Parametreleri	Değerleri
Devir sayısı (rpm)	20000, 40000, 60000
İşleme yöntemi	Geleneksel, Ultrasonik
Soğutma yöntemi	Kuru, MQL
Soğutma sıvısı	MMY-1: Nano partikül Al_2O_3 - boraks-etilen glikol karışımı, MMY-2: Zeytinyağı- boraks-etilen glikol karışımı
Titreşim frekansı (kHz)	20, 30
Kesici takım	Kaplamasız karbür, TiSiN kaplamalı karbür
İlerleme (mm/s)	0.66
Kesme derinliği (mm)	0.02
Takım çapı (mm)	1

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Talaş Formasyonunun İncelenmesi

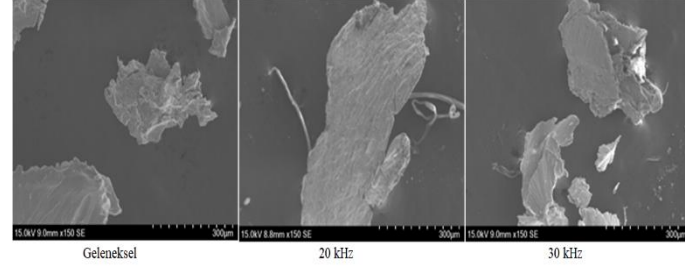
Sabit talaş derinliği ve ilerlemede farklı kesme hızları, soğutma yöntemi ve kesici takım türünün oluşturmuş olduğu talaş formasyonları incelendi. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen talaşlar çok küçük boyutta olması nedeniyle çıplak gözle incelenmesi ve değerlendirmesi mümkün olmamıştır. Bu nedenle her bir deney sonucunda elde edilen talaşlar taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelendi. Farklı devir sayılarında yapılan deneyler sonucunda oluşan talaşlar Şekil 3’de, geleneksel, 20 ve 30 kHz titreşim frekansı ile mikro frezeleme gibi farklı işleme yöntemlerinde oluşan talaşlar Şekil 4’de, kuru ve MMY gibi farklı soğutma yöntemleriyle mikro frezelemede oluşan talaşlar Şekil 5’de, hızında, TiSiN kaplamalı ve kaplamasız karbür gibi farklı kesici takımlarla mikro frezelemede oluşan talaş formları ise Şekil 6’da görülmektedir.

Şekil 3’de, kuru işleme yöntemi ve TiSiN kaplamalı karbür kesici takım ile geleneksel mikro frezelemede, farklı devir sayılarında yapılan deneyler sonucunda oluşan talaş formlarının mikro görüntüleri verilmiştir. Talaş biçimleri incelendiğinde tüm işleme şartları altında genel olarak tüm işleme koşullarında kesintili talaş oluşumu gözlenmiştir. Titanyum alaşımları yüksek mukavemet ve düşük termal iletkenliği nedeniyle işlenmesi zor malzemelerdir. Bu nedenle titanyum alaşımlarının işlenmesi sırasında oluşan termoplastik kararsızlık ve talaşın dış yüzeyinden çatlakların başlaması ve yayılması kesintili talaş oluşumuna sebep olmaktadır (Barry vd., 2001). Devir sayısı arttıkça talaş kalınlıkları arttığı Şekil 3’de görülmektedir.



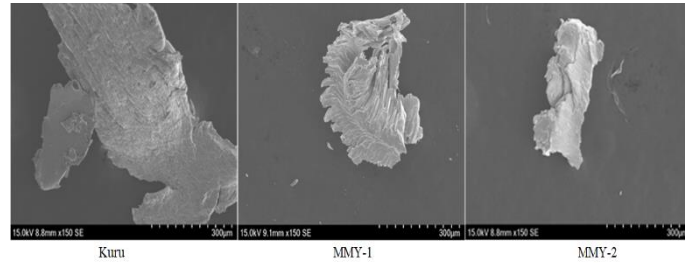
Şekil 3. Farklı kesme hızlarında oluşan talaşlar (TiSiN kaplamalı kesici takım, kuru işleme ve geleneksel mikro frezeleme) (Figure 3. Chips formed at different cutting speeds (TiSiN coated cutting tool, dry machining and conventional micro milling))

MMY-1 soğutma yöntemi, TiSiN kaplamalı kesici takım ve 40.000 dev/dak devir sayısı ile geleneksel, 20 ve 30 kHz titreşim frekansı uygulanarak yapılan ultrasonik mikro frezelemede oluşan talaş formlarının mikro görüntüleri Şekil 4'de verilmiştir. 40.000 dev/dak devir sayısında tüm işleme şartlarında talaş formları incelendiğinde süreksiz talaş oluştu. Süreksiz talaş oluşmasının nedeni talaşın dış yüzeyindeki çatlakların büyümesi ve yüzey üzerinde termal yumuşamanın baskınlığından kaynaklanan sınırlandırılmış kayma deformasyonunun neden olduğu adyabatik kesme bandı oluşmasındandır (Vyas ve Shaw 1999). Ultrasonik mikro frezelemede oluşan talaş uzunluklarının geleneksel mikro frezelemeye göre düşük olmasının sebebi titreşim sonucunda dinamik kuvvetlerin oluşmasıdır (Jung vd., . 2020). Ayrıca Şekil 4'deki mikro görüntülere göre en yüksek kesit değişimleri titreşimden dolayı ultrasonik mikro frezelemede meydana geldi.



Şekil 4. Farklı frezeleme yöntemlerinde oluşan talaşlar (MMY-1 soğutma yöntemi, TiSiN kaplamalı kesici takım ve 40.000 dev/dak devir sayısı) (Figure 4. Chips formed in different milling methods (MMY-1 cooling method, TiSiN coated cutting tool and 40,000 rpm speed))

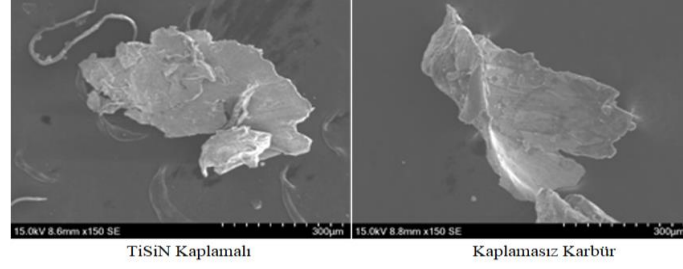
20 kHz titreşim frekansı ile ultrasonik mikro frezeleme, kaplamasız karbür kesici takım ve 40.000 dev/dak devir sayısında, kuru ve MMY gibi farklı soğutma yöntemleri ile yapılan frezelemede oluşan talaş formları Şekil 5'de verilmiştir. 40.000 dev/dak devir sayısında tüm işleme şartlarında talaş formları incelendiğinde kesintili talaş oluşmuştur. MMY soğutma yöntemiyle kesme bölgesindeki yağlanmayı artırarak, sürtünme ve sıcaklık oluşumunu azaltması ve yapışmayı engellemesinden dolayı elde edilen talaş boyutları kuru işleme göre daha düşüktür (Okafor ve Nwoguh 2020).



Şekil 5. Farklı soğutma yöntemlerinde oluşan talaşlar (20 kHz frekanslı ultrasonik mikro frezeleme, karbür kesici takım ve 40.000 dev/dak devir sayısı) (Figure 5. Chips formed in different cooling methods (20 kHz frequency ultrasonic micro milling, carbide cutting tool and 40,000 rpm speed))

30 kHz titreşim frekansı ile ultrasonik mikro frezeleme, MMY-1 soğutma yöntemi ve 40.000 dev/dak devir sayısında, TiSiN kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici takımlar kullanılarak yapılan mikro frezelemede oluşan talaş formları Şekil 6'da verilmiştir. 40.000 dev/dak devir sayısında tüm işleme şartlarında talaş formları incelendiğinde kesintili talaş oluştu. Bunun nedeni titanyum

alaşımının yüksek mukavemet ve düşük termal iletkenliğe sahip olmasından dolayı kesici takım ve iş parçası arasında titreşimin meydana gelmesidir (Liu vd., 2005).

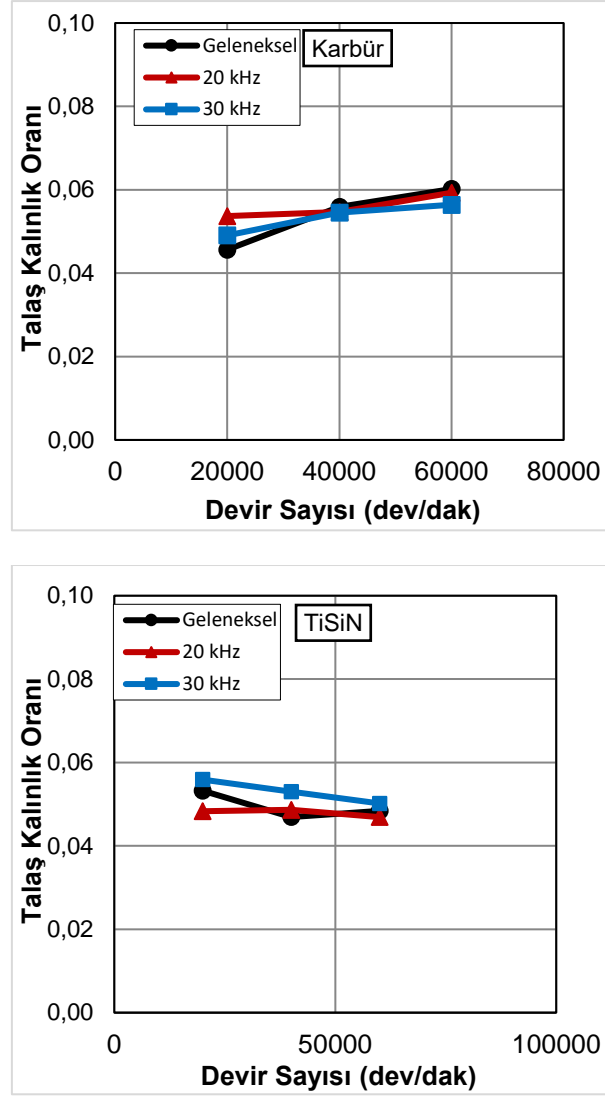


Şekil 6. Farklı kesici takım kullanımında oluşan talaşlar (30 kHz frekanslı ultrasonik mikro frezeleme, MMY-1 soğutma yöntemi ve 40.000 dev/dak devir sayısı) (Figure 6. Chips formed in the use of different cutting tools (30 kHz frequency ultrasonic micro milling, MMY-1 cooling method and 40,000 rpm speed))

3.2. Talaş Kalınlık Oranının İncelenmesi

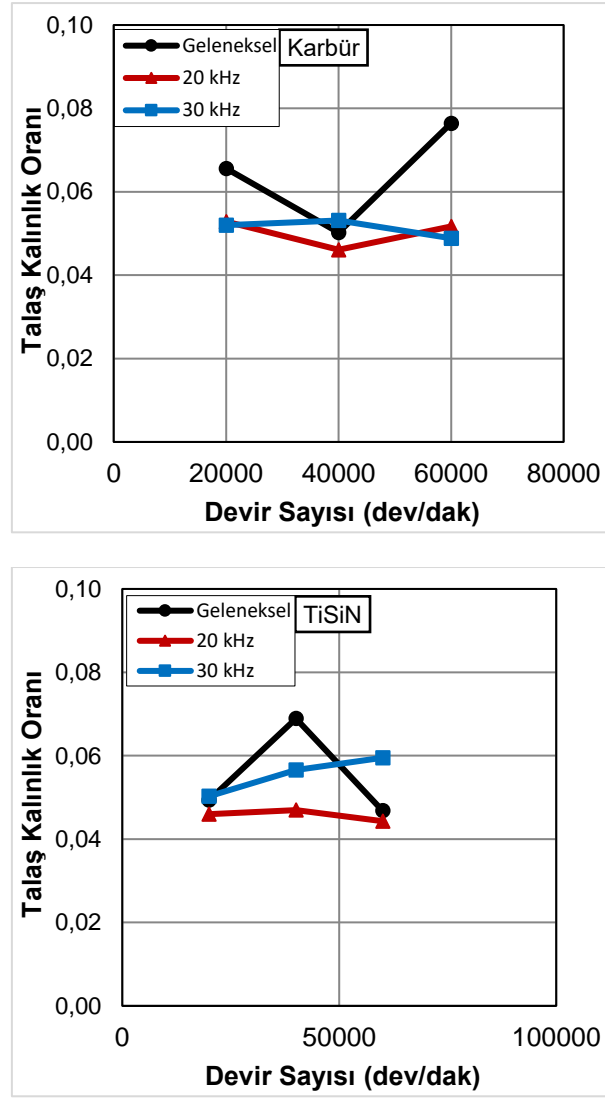
Talaş kalınlığının artarak uzunluğun azalması sonucunda oluşan deformasyon derecesi talaş kalınlık oranıdır. Bu oran talaşlı imalattaki performans karakteristikleri (kesme sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü) üzerinde büyük rol oynamaktadır (Jin vd., 2020). Deneyler sonucunda toplanan talaşlar optik mikroskopta görüntülenerek talaş kalınlıkları belirlendi. Deneysel çalışmalarda kullanılan sabit talaş derinliğinin deney sonucunda elde edilen talaşların kalınlık değerine bölünmesi sonucunda talaş kalınlık oranı (r) elde edildi. Kuru soğutma yöntemi kullanılarak geleneksel ve ultrasonik yüksek hızlı mikro frezelemede, devir sayısının talaş kalınlık oranı üzerindeki etkisi Şekil 7’de, nano Al₂O₃ partikül-boraks-etilen glikol karışımı ile minimum miktarda yağlama yöntemindeki (MMY-1) etkisi Şekil 8’de ve zeytinyağı-boraks-etilen glikol karışımı ile minimum miktarda yağlama yöntemindeki (MMY-2) etkisi Şekil 9’da görülmektedir.

Şekil 7’de görüldüğü gibi, kuru işleme yöntemi ve kaplamaşız karbür kesici takım kullanılarak yapılan mikro frezelemede, devir sayısı arttıkça elde edilen talaş kalınlık oranları da arttı. 40.000 ve 60.000 dev/dak devir sayısında üç işleme yönteminde birbirine yakın talaş kalınlık oranları elde edildi. TiSiN kaplamalı kesici takım ile yapılan deneylerde ise, devir sayısının artmasıyla talaş kalınlık oranının azaldığı görüldü. Artan devir sayısının talaş kalınlığını artırması nedeniyle talaş kalınlık oranı azalma eğilimi göstermektedir (Mamedov ve Lazoglu 2016). Ultrasonik mikro frezelemede artan titreşim frekansı birim zamanda uygulanan titreşim miktarının artırılmasıyla talaş kalınlığı arttı. Denklem 1’de görüldüğü gibi talaş kalınlığı arttıkça talaş kalınlık oranı azaldığı için talaş kalınlık oranı azaldı.



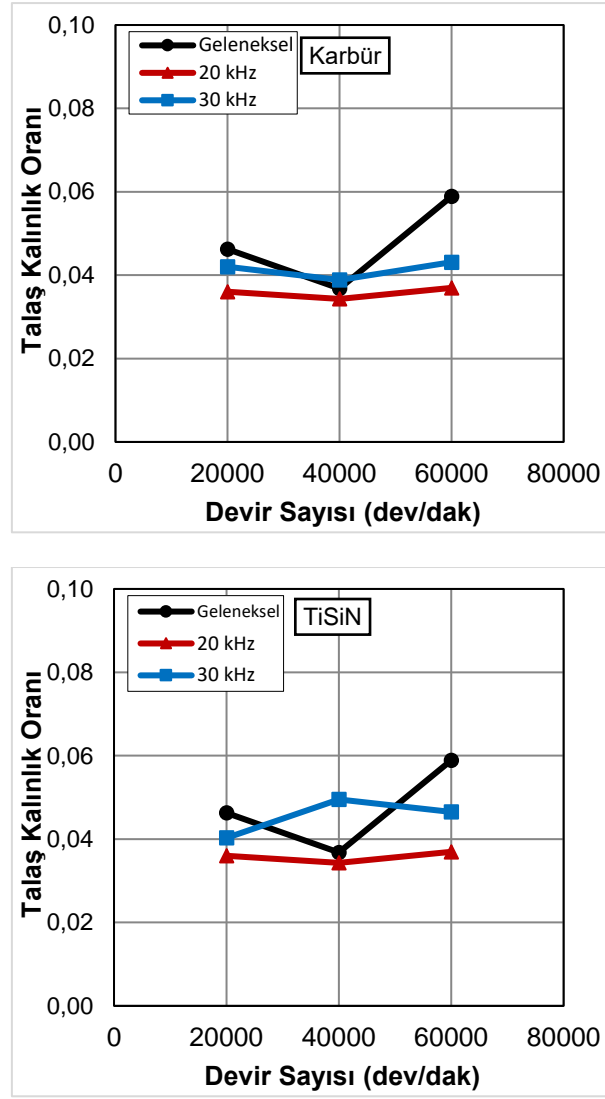
Şekil 7. Kuru soğutma yöntemi ile mikro frezelemede talaş kalınlık oranının değişimi (Figure 7. Change of chip thickness ratio in micro milling with dry cooling method)

Şekil 8'deki Al₂O₃ partikül-boraks-etilen glikol karşılıklı MMY yöntemi (MMY-1) ve kaplamasız karbür kesici takım kullanılarak yapılan mikro frezelemede, devir sayısının artması sonucunda geleneksel mikro frezelemede oluşan talaş kalınlık oranı önce azalır daha sonra artar. Fakat ultrasonik mikro frezelemede her iki frekansta meydana gelen talaş kalınlık oranı genel olarak azalma eğilimi gösterdi. TiSiN kaplamalı kesici takım kullanılarak yapılan deneylerde ise 20.000 ve 60.000 dev/dak devir sayılarında geleneksel ve 20 kHz işleme yöntemlerinde benzer sonuçlar elde edildi. Ancak 30 kHz frekanslı ultrasonik mikro frezelemede ve 40.000 dev/dak devir sayısındaki geleneksel mikro frezelemede talaş kalınlık oranlarının en yüksek olduğu Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. MMY-1 soğutma yöntemi ile mikro frezelemede talaş kalınlık oranının değişimi (Figure 8. Change of chip thickness ratio in micro milling with MQL-1 cooling method)

Şekil 9'daki zeytinyağı-boraks-etilen glikol karışımı soğutma sıvısı ile MMY yöntemi (MMY-2) ve kaplamasız karbür kesici takım kullanılarak yapılan mikro frezelemede, devir sayısının artması sonucunda geleneksel mikro frezelemede oluşan talaş kalınlık oranı önce azalır daha sonra artar. TiSiN kaplamalı kesici takım ile yapılan deneylerde ise, 20 kHz ultrasonik titreşimli işlemede talaş kalınlık oranında kayda değer bir değişiklik meydana gelmedi. Geleneksel ve 30 kHz'lik mikro frezeleme ile işlemede önce azalış ve daha sonra artış gösterdi.



Şekil 9. MMY-2 soğutma yöntemi ile mikro frezelemede talaş kalınlık oranının değişimi (Figure 9. Change of chip thickness ratio in micro milling with MQL-2 cooling method)

4. Sonuç

Geleneksel mikro frezelemede elde edilen talaş kalınlık oranı ultrasonik mikro frezelemeye göre daha yüksektir. TiSiN kaplamalı kesici takım ile yapılan deneylerde kaplamasız kesici takıma göre daha düşük talaş kalınlık oranı elde edildi. MMY yönteminin kuru işleme göre talaş kalınlık oranını arttırdığı görüldü. Deneysel çalışmaların tümünde süresiz talaş formu elde edildi. Soğutma yönteminin ve kesici takım tiplerinin talaş formuna etkisinin bulunmadığı belirlendi. En düşük talaş kalınlık oranı, TiSiN kaplamalı kesici takım ve MMY-2 soğutma yöntemi kullanılarak, 40.000 dev/dak devir sayısında ve geleneksel mikro frezelemede elde edilirken, en yüksek talaş kalınlık oranı ise kaplamasız karbür kesici takım kullanılarak 60.000 dev/dak devir sayısında MMY-1 soğutma yöntemi kullanılarak yapılan 30 kHz frekans altında yapılan ultrasonik mikro frezelemede elde edildi

5. Teşekkür

Yapılan bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından Proje Numarası: MF.20.35 ile desteklenmiştir. Çalışmanın yazarları Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne desteklerinden ötürü teşekkür etmektedir.

Kaynakça

- Astakhov, V. P. 2008. Ecological machining: near-dry machining. In *Machining* (pp. 195-223). Springer, London.
- Barry, J., G. Byrne, and D. Lennon. 2001. "Observations on Chip Formation and Acoustic Emission in Machining Ti-6Al-4V Alloy." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 41(7):1055-70. doi: 10.1016/S0890-6955(00)00096-1.
- Behara, Bikash Chandra. 2011. "Development and Experimental Study of Machining Parameters in Ultrasonic Vibration-Assisted Turning." National Institute of Technology.

- Brehl, D. E., and T. A. Dow. 2008. "Review of Vibration-Assisted Machining." *Precision Engineering* 32(3):153–72. doi: 10.1016/j.precisioneng.2007.08.003.
- Jin, Yuan, Yanshen Wang, Xiaocheng Zhang, and Bo Wang. 2020. "Micro-Milling of Fused Silica Based on Instantaneous Chip Thickness." *Journal of Materials Processing Technology* 285:116786. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2020.116786.
- Jung, Hongjin, Takehiro Hayasaka, Eiji Shamoto, and Liangji Xu. 2020. "Suppression of Forced Vibration Due to Chip Segmentation in Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting of Titanium Alloy Ti–6Al–4V." *Precision Engineering* 64:98–107. doi: 10.1016/j.precisioneng.2020.03.017.
- Khan, M. M. A., M. A. H. Mithu, and N. R. Dhar. 2009. "Effects of Minimum Quantity Lubrication on Turning AISI 9310 Alloy Steel Using Vegetable Oil-Based Cutting Fluid." *Journal of Materials Processing Technology* 209(15–16):5573–83. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2009.05.014.
- Liu, Junyan, Rongdi Han, and Yongfeng Sun. 2005. "Research on Experiments and Action Mechanism with Water Vapor as Coolant and Lubricant in Green Cutting." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 45(6):687–94. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2004.09.022.
- Mamedov, Ali, and Ismail Lazoglu. 2016. "An Evaluation of Micro Milling Chip Thickness Models for the Process Mechanics." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 87(5–8):1843–49. doi: 10.1007/s00170-016-8584-6.
- Maurotto, A., Wickramarachchi, C. T. 2016. Experimental investigations on effects of frequency in ultrasonically-assisted end-milling of AISI 316L: a feasibility study. *Ultrasonics*, 65, 113-120.
- Ni, C., Zhu, L. 2020. Investigation on machining characteristics of TC4 alloy by simultaneous application of ultrasonic vibration assisted milling (UVAM) and economical-environmental MQL technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 278, 116518.
- Okafor, Anthony Chukwujekwu, and Theodore Obumselu Nwoguh. 2020. "Comparative Evaluation of Soybean Oil–Based MQL Flow Rates and Emulsion Flood Cooling Strategy in High-Speed Face Milling of Inconel 718." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 107(9–10):3779–93. doi: 10.1007/s00170-020-05248-3.
- Ucun, İrfan, Kubilay Aslantas, and Fevzi Bedir. 2013. "An Experimental Investigation of the Effect of Coating Material on Tool Wear in Micro Milling of Inconel 718 Super Alloy." *Wear* 300(1–2):8–19. doi: 10.1016/j.wear.2013.01.103.
- Vyas, A., and M. C. Shaw. 1999. "Mechanics of Saw-Tooth Chip Formation in Metal Cutting." *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 121(2):163–72. doi: 10.1115/1.2831200.



Forecasting of Monkeypox Cases in the World Using the ARIMA Model

Pınar Cihan^{1*}

^{1*} Tekirdağ Namık Kemal Universitesi, Çorlu Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Tekirdağ, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7958-7251), pkaya@nku.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 October 2022 ve Kabul Tarihi 22 December 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1190981)

ATIF/REFERENCE: Cihan, P. (2023). Forecasting of Monkeypox Cases in the World Using the ARIMA Model. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 37-45.

Abstract

While the Covid-19 epidemic was not over in the world, the monkeypox epidemic started. The monkeypox virus has spread to more than 100 countries. Computer-aided forecasting models are needed to effectively control this spread. It has been seen in previous outbreaks that time series models are effective in estimating the impact of the epidemic and taking the necessary precautions. In this study, different Automatic Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) models were developed to successfully estimate the number of monkeypox cases in the world. Data on daily confirmed cases of monkeypox between 07 May-10 November 2022 were used in the study. 07 May-31 October 2022 data were used in the training of ARIMA models. The prediction performances of the models were tested with data from 01 November-10 November 2022. According to the test results, the ARIMA (5,2,3) model with the lowest RMSE=57, MAE=41, and MAPE=0.05 was determined as the most successful model. It has been determined that the determined ARIMA model is in good agreement with the real values with an error value of less than 1%. The number of monkeypox cases for the next 7 days was estimated using the ARIMA (5,2,3) model. While this model estimates the number of monkeypox cases as 80435 for 17 November 2022, the actual number of cases is 80223, which proves the success of the ARIMA model.

Keywords: Monkeypox, Time-series, ARIMA, Forecasting.

ARIMA Modeli Kullanılarak Dünyadaki Maymun Çiçeği Vakalarının Tahmini

Öz

Dünyada Covid-19 salgını henüz bitmemişken maymun çiçeği salgını başladı. Maymun çiçeği virüsü 100'den fazla ülkeye yayıldı. Bu yayılmayı etkin bir şekilde kontrol etmek için bilgisayar destekli tahmin modellerine ihtiyaç vardır. Zaman serisi modellerinin salgının etkisinin tahmin edilmesinde ve gerekli önlemlerin alınmasında etkili olduğu daha önceki salgınlarda görülmüştür. Bu çalışmada, dünyadaki maymun çiçeği vaka sayısını başarılı bir şekilde tahmin etmek için farklı Otomatik Regresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modelleri geliştirilmiştir. Çalışmada 07 Mayıs-10 Kasım 2022 tarihleri arasında teyit edilen günlük maymun çiçeği vakaları verileri kullanılmıştır. ARIMA modellerinin eğitiminde 07 Mayıs-31 Ekim 2022 verileri kullanılmıştır. Modellerin tahmin performansları 01 Kasım-10 Kasım 2022 verileri ile test edilmiştir. Test sonuçlarına göre en düşük RMSE=57, MAE=41 ve MAPE=0.05 değerine sahip ARIMA (5,2,3) modeli en başarılı model olarak belirlenmiştir. Belirlenen ARIMA modelinin %1'den düşük hata değeri ile gerçek değerlerle iyi bir uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. İleriki 7 gün için maymun çiçeği vakalarının sayısı ARIMA (5,2,3) modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu model, 17 Kasım 2022 için maymun çiçeği vakalarının sayısını 80435 olarak tahmin ederken, gerçek vaka sayısının 80223 olması ARIMA modelinin başarısını kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Maymun çiçeği, Zaman serisi, ARIMA, Tahmin.

* Sorumlu Yazar: pkaya@nku.edu.tr

1. Introduction

The Covid-19 pandemic has shown the world that countries are unprepared for epidemics. Nearly 500 million people have been infected with the coronavirus since March 2020. While the Covid-19 pandemic is not over yet and new variants are still threatening, the world has faced a new epidemic. Monkeypox virus (MPV) originating from Africa (Marennikova et al., 1972), outside monkeypox-endemic Africa zones began to be seen (Petersen et al., 2019; Zumla et al., 2022). Since the first case detection, the virus has been seen in 110 countries, with a total of 71276 confirmed monkeypox cases reported worldwide (10 November 2022). The countries where the virus was seen and the number of confirmed monkeypox cases in these countries (10 Nov 2022) are given in Figure 1. When the world map in Figure 1 is examined, the countries with the highest case density are the United States, Brazil, Spain, France, and the UK. The spread of the virus in many countries indicates human-to-human transmission (Angelo et al., 2019). Epidemiological studies have reported that the cases are an important travel link to monkeypox regions in Africa and that the virus will continue to spread, with new cases emerging in countries where no cases have yet been reported (Zumla et al., 2022; Heymann et al., 1998; Bunge et al., 2022). Symptoms of the disease include skin lesions, lymphadenopathy, fever, chills, and body aches. The MPV is known to be transmitted from animals to humans. Animals harboring the virus include rodents (rats, dormice, and squirrels) and various species of monkeys (Okuy et al., 2022).

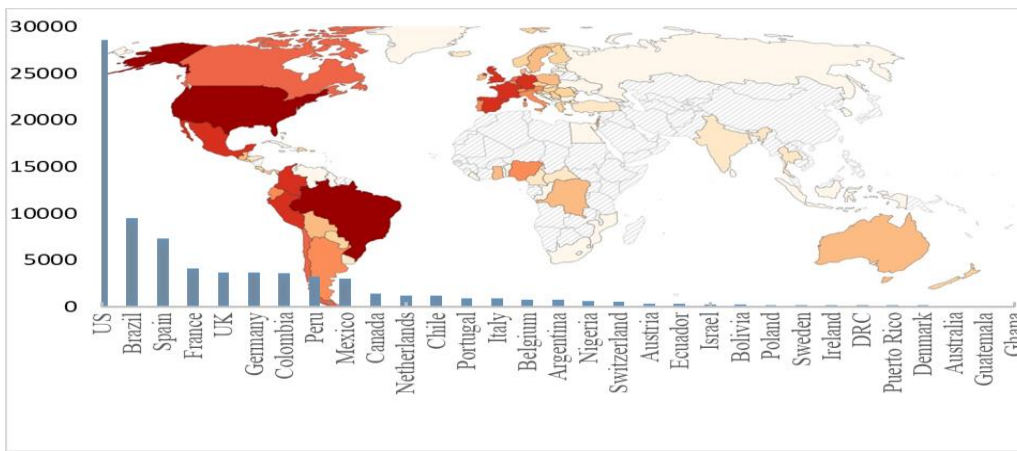


Figure 1. Cumulative confirmed monkeypox cases and case density by country

Currently, there is no vaccine or treatment for MPV infections. JYNNEOS and Smallpox vaccines protect against the MPV, but many young people are not vaccinated against smallpox since smallpox was eradicated in 1980 (Gao & Gao et al., 2022). It is stated that MPV may become an important public health problem worldwide (Arita et al., 1985). While the Covid-19 pandemic is not over yet, it is necessary to control the outspread of the monkeypox virus and to plan the health infrastructure and services effectively. The addition of monkeypox cases to the increase in the number of Covid-19 cases, especially in winter, may cause the health system to collapse. Successful forecasting of monkeypox cases is critical to managing health systems, planning for additional medical supplies and resources, and tackling the epidemic. Mathematical and statistical modeling tools are needed to make short-term and long-term forecasts.

In epidemics, different statistical methods have been used to predict the number of infected patients. Methods such as simulation models, backpropagation neural networks, multivariate linear regression, and gray forecasting models are deficient to analyze the randomness of outbreaks. ARIMA is one of the most used time-series models. It has been frequently used especially in the Covid-19 pandemic due to its abilities such as making successful predictions, fast applicability, simple structure, and explaining the dataset. In Figure 2, the intensity of use of frequently used artificial intelligence methods (blue circles) in different diseases is visualized. Web of Science database was used for this. Studies in which 7 different methods (ARIMA, LSTM, Holt-Winters, ANN, MLP, SVM, GRNN) were used in 15 different diseases were questioned in the WOS database. The resulting study numbers are visualized as edge densities in Figure 2. As the number of studies increases, the line color goes black. In the WOS database, the number of studies using the ARIMA method for Covid-19 disease was determined as 352. It was seen that the most used method was ARIMA and the most studied disease was Covid-19. After the ARIMA method, the most used method is LSTM. The frequent use of both time series methods in Covid-19 disease shows that studies with prospective estimates are more intense.

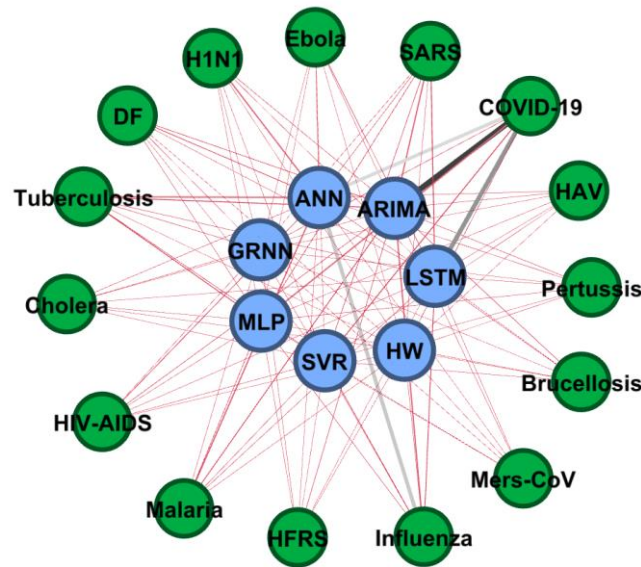


Figure 2. The intensity of the use of artificial intelligence methods in diseases

In the graphic presented in Figure 2, when the Covid-19 pandemic is compared with previous pandemics, it is seen that computer-assisted prediction and diagnosis studies have increased with the development of technology. During the Covid-19 epidemic, many studies have been carried out using artificial intelligence methods. The main ones are estimating the number of Covid-19 deaths and cases (Cihan, 2021; Gökler, 2022; Cihan, 2022) estimating the vaccination rate (Cihan, 2021b), estimating Covid-19 from lung tomography (Carvalho et al., 2021), determining the epitopes that can be used in vaccine development (Cihan & Ozger, 2022; Ozger & Cihan, 2022). Briefly, a lot of studies have been done and continue to be done to prevent the outspread of Covid-19. Especially in winter, if the number of Covid-19 cases increases again and the monkeypox virus continues to spread, health systems will be overloaded. It is therefore important to analyze the status of the monkeypox outbreak and to estimate the prevalence trend.

This study, it was aimed to forecast the number of confirmed monkeypox cases in the world for the next 7-days. This is the first study to date to forecast the number of monkeypox cases in the World. The dataset used in this study includes the number of cumulative confirmed monkeypox cases between 07 May 2022 and 10 Nov 2022. ARIMA models will be developed for the data set created within the scope of the study and the most successful ARIMA model will be determined in estimating the number of monkeypox cases.

2. Material and Method

The daily cumulative confirmed monkeypox cases data were retrieved from the Our World in Data website (Mathieu et al., 2022). In this study, the number of monkeypox cases for the future days will be estimated using the cumulative number of monkeypox cases in the World. Confirmed case data from 07 May to 10 Nov 2022 were used in the study. Box et al. (Box et al., 2015) reported that at least 30 days of data should be used to create a stable and effective ARIMA model. The ARIMA model was trained with the first 178 days of the 188-day time-series dataset used in the study, and the most successful model was selected by evaluating the model prediction performance with the remaining 10 days. With the determined ARIMA model, the number of monkeypox cases was forecasted for the next 7 days. In Figure 3, it is seen that the number of cumulative confirmed monkeypox cases is increasing exponentially day by day.

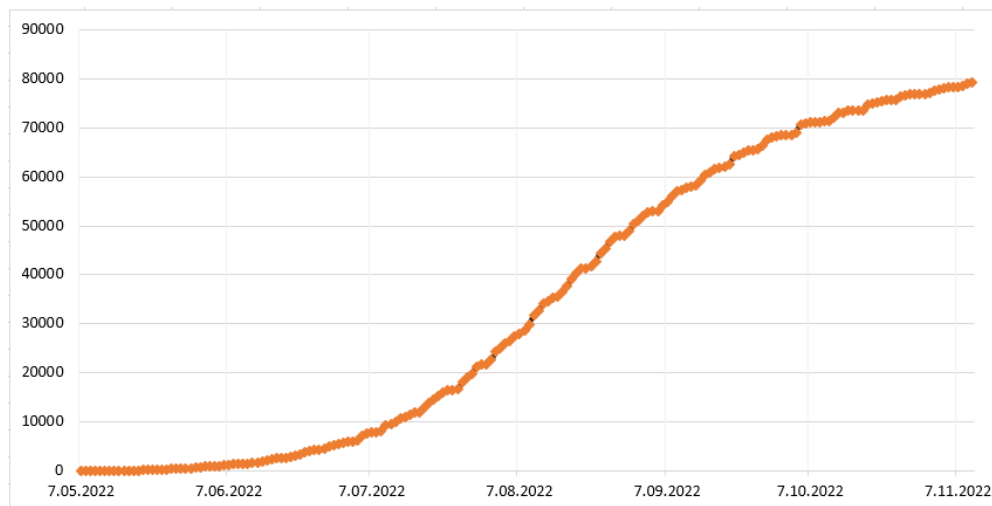


Figure 3. Cumulative confirmed monkeypox cases in the World

2.1. Box-Jenkins ARIMA Model

Box-Jenkins's method, also known as ARIMA models, is a very common method in the analysis of time-series. The main reasons for its widespread use can be listed as making successful predictions and being fast and easy to understand (Ceylan, 2020). The ARIMA method is used in the forward estimation of univariate time series. It is an important assumption for the ARIMA method that the observation data obtained at equal time intervals are discrete and stationary. The ARIMA method includes an experimental process with suitable parameters and suitable model options. This process consists of i) model identification, ii) model parameter estimation, iii) diagnostic checking, and iv) forecasting (Cihan, 2021b). Examining each stage of the ARIMA model and choosing the appropriate parameters to provide more accurate estimations.

The ARIMA model has three components: Autoregression (AR), Integration (I), and Moving Average (MA). AR derives the regression relationship between a variable that changes based on its previous values. Integration (I), refer to modeling the differences between observations so that the time series can be considered stationary. The MA, the moving average component in the Model, contains the relationship between an observation and a residual error from the moving average model applied to previous (or lagging) observations (Tanışman et al., 2021; Karcioğlu et al., 2021). Generally, the series is not stationary in the epidemic time series. The main reason for this is the trend effect. This trend factor disrupts the stationarity of the series. Modeling non-stationary time series primarily depends on making the series stationary. If the observed values in the time series do not add up around the mean of the series, the series is rendered stationary by differencing. Differentiation is symbolized by 'd'. In practice, the series is made stationary by taking the difference of 1 or 2 times. The models applied to the series are made stationary by the difference-taking process, the integrated model or the non-stationary stochastic models are called ARIMA models. The autoregression parameter of these models is expressed as p, the moving average parameter is q, the difference coefficient is d, and the model is written as ARIMA (p, d, q) (Brockwell & Davis, 2002). The general expression of the ARIMA model can be expressed representing as follows.

$$W_t = \phi_1 w_{t-1} + \phi_2 w_{t-2} + \dots + \phi_p w_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

w_t : differenced series

If the first-order difference (d=1) makes the series stationary:

$$\nabla x_t = w_t = x_t - x_{t-1}$$

∇ : It is the difference operator.

2.2. Model Performance Evaluation

The predictive accuracy of a ARIMA model can be measured by how close the predicted and the real/actual value are to each other. RMSE, MAE, and MAPE statistical criteria were used to test the prediction error of ARIMA models. Smaller values of these metrics indicate better model performance. RMSE, MAE, and MAPE can be calculated by using Equations (1), (2), (3), respectively (Hyndman & Koehler, 2006; Cihan, 2022b).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |e_t| \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{N} \sum_{t=1}^N \frac{e_t}{y_t} \quad (3)$$

In the equations the number of time points is indicated by N, the actual value at time t is indicated by y_t , and the difference between the predicted and actual value is e_t .

3. Results and Discussion

There are four steps to follow to create an ARIMA model and make future predictions. In the first step, the stationarity and seasonality of the series are checked. As with many time series techniques, ARIMA assumes that the data is stationary. Stationarity is important and makes it easy to get accurate estimates (Elevli et al., 2016). Time-series, ACF, and PACF graphs were created to check for stationarity and seasonality. ACF plot determines whether the previous value in the series is related to the next value, and the PACF plot determines partial correlations between the series and their own delays. By looking at these three graphs, it can be understood that a series is non-stationary or stationary. However, Augmented Dickey-Fuller (ADF) test can be used to confirm the stationarity statistically. The null hypothesis of the ADF test is the existence of a unit root, that is, the series is not stationary Cheung & Lai, 1995. When the ADF statistical value is lower than the critical value, the null hypothesis is rejected, and it is concluded that the series is stationary.

To determine the ARIMA model that best predicts the number of monkeypox cases in the world, the stationarity of the series was checked first. The original time series, ACF, and PACF plots are given in Figure 4.

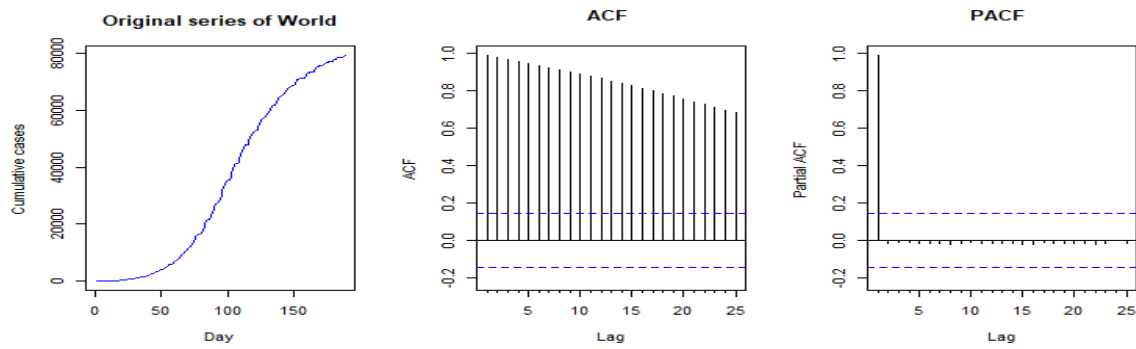


Figure 4. Time series, ACF and PACF graphs of the original data

When the original time series graph is examined, it is seen that the series is not stationary as it shows an upward trend throughout the period. This means that it can be concluded that the mean of the number of cases varies over time and thus the variance of the number of cases is not constant over time. The correlogram graph confirms the analysis that we obtained from the case number time series observation, that is, the series is not stationary. Autocorrelation coefficients are very high, especially for the first 5 lags. ADF unit test was used to check the stationarity of the original series and the results are dedicated in Table 1.

Tablo 1. Xxxxx (Table 1. ADF results of the original series)

Data	ADF Statistic	Significance	Critical Values		Conclusion
Original series	-2.8067	0.0573	-3.47	1%	Not Stationary
			-2.88	5%	Not Stationary
			-2.57	10%	Not Stationary

When the ADF test result is examined, the p-value obtained is greater than the significance level of 0.05. Also, the ADF statistic is higher than any critical value. This shows that the original series is not-stationary. For this reason, the stationarity of the series was checked by taking the first difference, and the Correlogram at the first difference is presented in Figure 5.

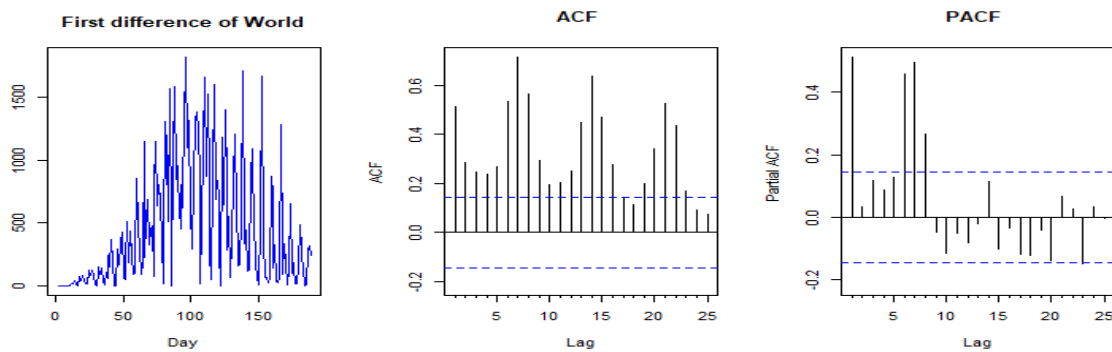


Figure 5. Time series, ACF and PACF graphs of the first differenced data

Table 2. ADF results of the first differenced series

Data	ADF Statistic	Significance	Critical Values		Conclusion
First difference	-1.2213	0.6643	-3.47	1%	Not Stationary
			-2.88	5%	Not Stationary
			-2.57	10%	Not Stationary

When the ADF test results in Table 2 are examined, it can be said that the series is not stationary since the p-value is greater than the significance level of 0.05 and the ADF statistic is higher than the critical value. For this reason, the second difference of the series was taken, and its stationarity was tested. ACF and PACF plots of the second differenced series are presented in Figure 6.

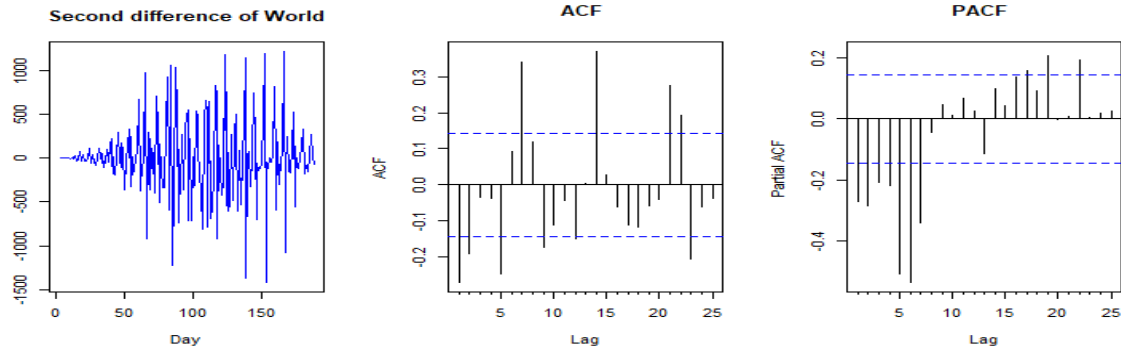


Figure 6. Time series, ACF, and PACF graphs of the second differenced series

When the time-series graph in Figure 6 is examined, it is seen that there is no upward trend, and the data is concentrated around zero. In the ACF and PACF plots, it is seen that the delays are between the levels of significance. ADF test was applied to verify the stationarity of the time series. The results obtained are given in Table 3.

Table 3. ADF unit test results of the second difference series

Data	ADF Statistic	Significance	Critical Values		Conclusion
Second difference	-15.092	0.0000	-3.47	1%	Stationary
			-2.88	5%	Stationary
			-2.57	10%	Stationary

When the ADF test results in Table 3 were examined, the series became stationary because the p-value was less than the significance level of 0.05 and the ADF statistic was lower than the critical values. The modeling phase can be started for the stationary series. Different models were created to determine the ARIMA model, which estimates the number of monkeypox cases in the world closest to the truth, and model performances were compared with various statistical metrics. The actual numbers of monkeypox test cases and the values estimated by the models are given in Table 4.

Table 4. Actual test values and predicted values with different ARIMA models

Date	Test	ARIMA (0,2,0)	ARIMA (0,2,1)	ARIMA (1,2,0)	ARIMA (1,2,2)	ARIMA (2,2,1)	ARIMA (3,2,1)	ARIMA (4,2,2)	ARIMA (5,2,1)	ARIMA (5,2,3)
01.11.2022	77119	76988	77077	76988	77155	77184	77200	77214	77353	77254
02.11.2022	77603	77088	77386	77008	77383	77443	77489	77503	77670	77614
03.11.2022	77909	77028	77595	77028	77604	77665	77741	77759	77936	77904
04.11.2022	78144	77048	77804	77048	77826	77870	77934	77957	78162	78110
05.11.2022	78297	77068	78013	77069	78047	78079	78115	78055	78311	78235
06.11.2022	78297	77088	78222	77089	78269	78294	78313	78118	78356	78280
07.11.2022	78307	77108	78431	77109	78491	78508	78529	78224	78528	78367
08.11.2022	78592	77128	78640	77129	78713	78722	78745	78398	78789	78598
09.11.2022	78902	77148	78849	77149	78935	78935	78955	78626	79064	78921
10.11.2022	79151	77168	79058	77170	79157	79148	79160	78859	79323	79222

ARIMA models were trained with the monkeypox case between 07 May-31 Oct 2022, and the case between 01 Nov-10 Nov 2022 was tested with the learned models. The prediction performances of different ARIMA models were compared according to different statistical metrics and the results are given in Table 5.

Table 5. Statistical comparison of prediction results of models

ARIMA Model	RMSE	MAE	MAPE
ARIMA(0,2,0)	1262	1154	1.47
ARIMA(0,2,1)	194	161	0.20
ARIMA(1,2,0)	1260	1153	1.46
ARIMA(1,2,2)	188	149	0.19
ARIMA(2,2,1)	164	132	0.16
ARIMA(3,2,1)	141	120	0.15
ARIMA(4,2,2)	193	179	0.22
ARIMA(5,2,1)	143	116	0.14
ARIMA(5,2,3)	57	41	0.05

When the estimation performances of the ARIMA models were compared, the ARIMA (5,2,3) model with a minimum value of RMSE=57, MAE=41, and MAPE=0.05 was chosen as the most successful model. It is seen that the determined model makes very close estimations to the real values (Table 4 and Table 5). With this most successful ARIMA (5,2,3) model identified, the number of monkeypox cases for the next 7 days was estimated with an 80% - 95% confidence interval (CI) and the results are given in Table 6 and Figure 7.

Table 6. Estimation of total monkeypox cases for the next 7 days with 80% and 95% CI according to the ARIMA (5,2,3) model

Date	Forecast	80% CI		95% CI		Actual
		Lower	Upper	Lower	Upper	
11.11.2022	79413	79062	79763	78877	79948	79332
12.11.2022	79559	79072	80046	78814	80304	79355
13.11.2022	79576	79001	80151	78696	80455	79429
14.11.2022	79640	78971	80308	78617	80662	79429
15.11.2022	79857	79088	80626	78681	81033	79642
16.11.2022	80149	79302	80996	78853	81444	80014
17.11.2022	80435	79479	81391	78972	81898	80223

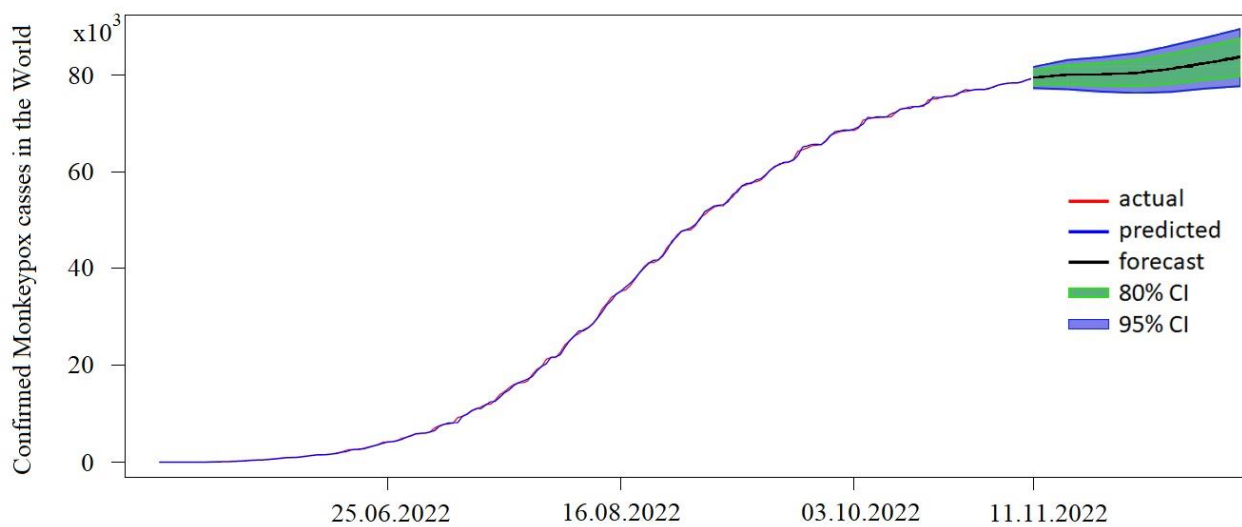


Figure 7. Time-series plots for the ARIMA (5,2,3) model

4. Conclusion

The monkeypox virus spread to more than 100 countries and infected more than 70M patients. Countries are implementing various strategies to control and prevent the spread of epidemics. One of these strategies is to predict the trend of the epidemic using computer-assisted forecasting methods. Thus, the allocation of medical resources, the regulation of health systems, and production activities can be ensured. Predicting the number of cases with computer-aided forecasting models will also positively affect the economic development of countries. For this reason, it is important to establish a successful, reliable, and suitable estimation method that can be a reference in supporting the strategies of the countries.

ARIMA model has been one of the most widely used time-series methods, especially in the Covid-19 pandemic, with its simplicity, acceptable estimation performance, and systematic structure. In this study, the prevalence of the monkeypox epidemic in the world was presented and a short-term prediction was made with the ARIMA model. This study is the first study to forecast the number of monkeypox cases with the ARIMA model. While the model predicts the number of monkeypox cases to be 80223 on 17 November 2022, the actual number of monkeypox cases is 80435 proving the model's success.

5. Acknowledge

All raw data collected within this study are available on <https://ourworldindata.org/monkeypox>.

References

- Angelo, K. M., Petersen, B. W., Hamer, D. H., Schwartz, E., & Brunette, G. (2019). Monkeypox transmission among international travellers—serious monkey business?. *Journal of travel medicine*, 26(5), taz002. <https://doi.org/10.1093/jtm/taz002>
- Arita, I., Jezek, Z., Khodakevich, L., & Ruti, K. (1985). Human monkeypox: a newly emerged orthopoxvirus zoonosis in the tropical rain forests of Africa. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 34(4), 781-789. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1985.34.781>
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (Eds.). (2002). *Introduction to time series and forecasting*. New York, NY: Springer New York.
- Bunge, E. M., Hoet, B., Chen, L., Lienert, F., Weidenthaler, H., Baer, L. R., & Steffen, R. (2022). The changing epidemiology of human monkeypox—A potential threat? A systematic review. *PLoS neglected tropical diseases*, 16(2), e0010141. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010141>
- Carvalho, A. R. S., Guimarães, A., Garcia, T. D. S. O., Madeira Werberich, G., Ceotto, V. F., Bozza, F. A., ... & França, M. (2021). Estimating COVID-19 pneumonia extent and severity from chest computed tomography. *Frontiers in Physiology*, 12, 617657. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.617657>
- Ceylan, Z. (2020). Estimation of COVID-19 prevalence in Italy, Spain, and France. *Science of The Total Environment*, 729, 138817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138817>
- Cheung, Y. W., & Lai, K. S. (1995). Lag order and critical values of the augmented Dickey–Fuller test. *Journal of Business & Economic Statistics*, 13(3), 277-280.
- Cihan, P. (2021). ARIMA-based forecasting of total COVID-19 cases in the USA and India. In *2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIU53274.2021.9477773>
- Cihan, P. (2021b). Forecasting fully vaccinated people against COVID-19 and examining future vaccination rate for herd immunity in the US, Asia, Europe, Africa, South America, and the World. *Applied Soft Computing*, 111, 107708. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107708>
- Cihan, P. (2022). The machine learning approach for predicting the number of intensive care, intubated patients and death: The COVID-19 pandemic in Turkey. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 40(1), 85-94. <https://doi.org/10.14744/sigma.2022.00007>
- Cihan, P. (2022b). Impact of the COVID-19 lockdowns on electricity and natural gas consumption in the different industrial zones and forecasting consumption amounts: Turkey case study. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 134, 107369. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107369>
- Cihan, P., & Ozger, Z. B. (2022). A new approach for determining SARS-CoV-2 epitopes using machine learning-based in silico methods. *Computational Biology and Chemistry*, 98, 107688. <https://doi.org/10.1016/j.combiolchem.2022.107688>
- Elevli, S., Uzgören, N., Bingöl, D., & Elevli, B. (2016). Drinking water quality control: control charts for turbidity and pH. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 6(4), 511-518. <https://doi.org/10.2166/washdev.2016.016>
- Gao, A., & Gao, S. (2022). In Silico Identification of Non-cross-reactive Epitopes for Monkeypox Cell Surface-Binding Protein. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1693979/v1>
- Gökler, S. H. Prediction of the Number of COVID-19 confirmed cases using the hybrid FUCOM-Pareto analysis-random forest method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 1000(1000), 0-0.
- Heymann, D. L., Szczeniowski, M., & Esteves, K. (1998). Re-emergence of monkeypox in Africa: a review of the past six years. *British medical bulletin*, 54(3), 693-702.
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International journal of forecasting*, 22(4), 679-688.

- Karcioğlu, A. A., Tanışman, S., & Bulut, H. (2021). Türkiye'de COVID-19 Bulaşısının ARIMA Modeli ve LSTM Ağı Kullanılarak Zaman Serisi Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 288-297.
- Marennikova, S. S., Őeluhina, E. M., Mal'Ceva, N. N., Ćimiřkjan, K. L., & Maceviĉ, G. R. (1972). Isolation and properties of the causal agent of a new variola-like disease (monkeypox) in man. *Bulletin of the World Health Organization*, 46(5), 599.
- Mathieu, E., Spooner, F., Dattani, S., Ritchie, H., & Roser, M. (2022). Monkeypox. *Our World in Data*.
- Okyay, R. A., Bayrak, E., Kaya, E., Şahin, A. R., Koĉyiđit, B. F., Taşdoğan, A. M., ... & Sũmbũl, H. E. (2022). Another Epidemic in the Shadow of Covid 19 Pandemic: A Review of Monkeypox. *proteins*, 7, 10. <https://doi.org/10.14744/ejmo.2022.2022>
- Ozger, Z. B., & Cihan, P. (2022). A novel ensemble fuzzy classification model in SARS-CoV-2 B-cell epitope identification for development of protein-based vaccine. *Applied soft computing*, 116, 108280. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108280>
- Petersen, E., Abubakar, I., Ihekweazu, C., Heymann, D., Ntoumi, F., Blumberg, L., ... & Zumla, A. (2019). Monkeypox—Enhancing public health preparedness for an emerging lethal human zoonotic epidemic threat in the wake of the smallpox post-eradication era. *International journal of infectious diseases*, 78, 78-84. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2018.11.008>
- Tanişman, S., Karcioğlu, A. A., Aybars, U. G. U. R., & Bulut, H. (2021). LSTM Sinir Ağı ve ARIMA Zaman Serisi Modelleri Kullanılarak Bitcoin Fiyatının Tahminlenmesi ve Yöntemlerin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 514-520.
- Zumla, A., Valdeiros, S. R., Haider, N., Asogun, D., Ntoumi, F., Petersen, E., & Kock, R. (2022). Monkeypox outbreaks outside endemic regions: scientific and social priorities. *The Lancet. Infectious Diseases*. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(22\)00354-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(22)00354-1)



Kinect Tabanlı Akıllı Ayna Uygulaması

Yahya Dinvar¹, Burakhan Çubukçu^{2*}, Uğur Yüzgeç³

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4474-6640), yahyadinvar42@gmail.com

^{2*} Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0480-1254), burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr

³ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5364-6265), ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 11 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.953274)

ATIF/REFERENCE: Dinvar, Y., Çubukçu, B. & Yüzgeç, U. (2023). Kinect Tabanlı Akıllı Ayna Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 46-53.

Öz

Bu çalışma kapsamında önerilen sistem ile hem ayna karşısında geçirilen vaktin daha zevkli bir hale getirilmesi, hem de kullanıcılar hazırlanırken ihtiyaç duydukları hava durumu, saat, haberler gibi bilgilere erişebilmesi hedeflenmektedir. Çalışmada Kinect sensörü kullanılarak bir akıllı ayna prototipi geliştirilmiştir. Önerilen akıllı ayna sisteminde temel olarak güncel haberleri, hava durumunu, döviz kurlarını, saat, tarih gibi bilgiler gösterilmektedir. Sistemin bir ayna görünümü alması için Kinect sensörünün RGB görüntü alma özelliği kullanılmıştır. RGB görüntüsü üzerine internette alınan güncel verilerin görüntülenebilmesi için yapılan tasarım geliştirilerek aynanın arayüz görünümü tamamlanmıştır. Bu tasarım içerisinde sekmeli olarak haberler, hava durumu ve döviz kurları olmak üzere üç sayfa yerleştirilmiştir. Ayrıca önerilen sistemde Kinect sensörünün eklem noktalarını tespit etme özelliği sayesinde kullanılan sayfalar arasında belirlenen el hareketleri ile geçiş yapabilmeye yeteneği kazandırılmıştır. Aynı zamanda Kinect sensörü kullanılarak aynaya imleç özelliği de eklenmiş ve kullanıcının el hareketleriyle bu imleci fare olarak kullanması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kinect, Akıllı ayna, IoT.

Kinect Based Smart Mirror Application

Abstract

With the system proposed within the scope of the study, it is aimed not only to make the time spent in front of the mirror more enjoyable, but also to enable users to access the information they need while getting ready, such as the weather, time and news. In this study, a smart mirror prototype was developed using the Kinect sensor. The proposed smart mirror system basically displays information such as current news, weather conditions, exchange rates, time and date. The RGB image acquisition feature of the Kinect sensor is used to make the system look like a mirror. The interface view of the mirror has been completed by developing the design for displaying the current data obtained from the internet on the RGB image. Three pages, tabbed news, weather and exchange rates, are placed in this design. In addition, thanks to the feature of detecting the joint points of the Kinect sensor in the proposed system, the ability to switch between the pages used with the determined hand movements has been gained. At the same time, the cursor feature was added to the mirror by using the Kinect sensor, and the user was able to use this cursor as a mouse with hand movements.

Keywords: Kinect, Smart mirror, IoT.

* Sorumlu Yazar: burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr

1. Giriş

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things: IoT) için dünya kullanıcı topluluğu tarafından kabul edilebilecek benzersiz bir tanım olmamakla birlikte IoT teknolojisi her nesnenin bir şekilde internete erişip, diğer cihazlarla etkileşim halinde olarak veri paylaşması durumu olarak ifade edilebilir (Beshara vd., 2016; <https://www.muhendisbeyinler.net/nesnelerin-interneti-iot-nedir/>, 2021). Tarım, ulaşım, üretim, enerji, spor, günlük yaşantı gibi birçok alanda kullanılan bu teknoloji insanların yaşantısını kolaylaştırmayı hedeflemektedir. Günlük yaşamda tek tuşla kahvenin uzaktan yapılmasından, toplu ulaşım aracının nerede olduğu bilgisinin telefondan öğrenilmesine, hatta ne zaman bulunulan durağa geleceğini gösteren cihazlara kadar birçok örnek gösterilebilir. Ev içerisinde kullanılan birçok elektronik cihazlar içlerindeki ağ modülleri yardımıyla artık doğrudan kablosuz ağa bağlanabilmektedirler. Bu akıllı ev sistemleri sayesinde elektronik cihazlar daha kolay kontrol edilebilmektedir. Bu cihazlar daha önceden manuel olarak kontrol edilmelerine karşın teknolojinin gelişmesiyle birlikte, artık birbirleriyle konuşan cihazlara haline gelerek otomatik kontrol edilmeleri sağlanmıştır. Bu şekilde günümüzde akıllı teknolojiler hayatımızın her alanında yerini almaya hızla devam etmektedir.

Telefonların, bilgisayarların, televizyonların dışında artık akıllı saatler, akıllı bileklikler, akıllı şapkalar gibi birçok eşya hayatımızı kolaylaştıracak birer teknolojik cihaz haline gelmeye başlamıştır. Bu akıllı eşyaların sayısı da yakın gelecekte artarak hızla hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline gelecektir. Bu çalışmada da günlük yaşantımızda birçok kez karşısına geçtiğimiz aynaların akıllı hale getirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen akıllı ayna sisteminin geliştirilmesinde Xbox One Kinect sensörü (Kinect V2) kullanılmıştır. Geliştirilen uygulama kapsamında akıllı ayna karşısında ihtiyaç duyulan zamanlarda günlük yapılan diş fırçalama, saç tarama, el yıkama gibi birçok aktivitenin daha eğlenceli hale getirilmesi amaçlanmıştır. Hayatın her alanında teknolojiden uzak kalmamak ve sadece bilgisayar başında ya da telefonlardan bilgiye ulaşmak değil bu iki cihazdan uzakta olunan zamanlarda da teknolojiden faydalanabilme düşüncesi de çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Aynı zamanda ayna karşısında vakit geçirilirken gündemdeki haberler, günlük hava durumu veya döviz kurları gibi bilgilere ekstra bir zamana ihtiyaç duymadan ayna karşısında günlük yapılan işlerin yanında ulaşarak zamandan da tasarruf edilmesi düşüncesi ile akıllı aynanın geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. Xbox One Kinect Sensörü (Kinect V2)

Kinect'in 2 modeli vardır: 2010'da piyasaya sürülen Kinect 360 (Kinect V1) ve 2014'te piyasaya sürülen Kinect V2 (Şekil 1). Bilgisayarlar için Kinect V2'nin üretimi durdurulmuştur. Ancak, X-Box için üretilen Kinect V2 sürümü bilgisayara ayrı bir adaptörle bağlanabilmektedir (Amon & Fuhrmann, 2014; Çubukçu vd., 2018).

Kinect V1 ve Kinect V2 sahip olduğu iskelet izleme özellikleri sayesinde birçok farklı alanda ve çalışmada insan iskeletini gözlemek için kullanılmıştır (Çubukçu vd., 2021; Çubukçu & Çetin, 2016; Çubukçu & Yüzgeç, 2017; Dinvar vd., 2017; Shaughnessy vd., 2006; Tino & Hillis, 2010). Kinect V2'nin insan iskeletini izlemedeki geçerlilik ve güvenilirliği üzerine farklı çalışmalar yapılmış ve geçerli ve güvenilir bir metot ve yöntem olduğu gösterilmiştir (Clark vd., 2015; Çubukçu vd., 2020; Dubois & Bresciani, 2018; Kösesoy vd., 2015).

Geçerliliği ve güvenilirliği gösterilmiş Kinect V2 hastalık tespiti (Seifallahi vd., 2022), rehabilitasyon oyunları (Garip vd., 2019), kimlik tanıma (Mousavi & Ilanloo, 2022) gibi birçok farklı uygulama alanında kullanılmaktadır. Birçok kullanım alanı olan Kinect V2'nin performansını arttırmak için literatürde birden fazla Kinect'in aynı anda kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur (Nguyen vd., 2022).

Şekil 1'de gösterilen Kinect V2, Microsoft tarafından geliştirilen derinlik ve hareket algılama özelliklerine sahip özel bir kamera sistemidir (<http://www.acikbilim.com/>, 2021). İçerisinde kızılötesi sensör, renkli (RGB) kamera, derinlik algılayıcı kamera ve mikrofonlar bulunmaktadır. Kızılötesi sensörler kameranın görüş alanına kızılötesi ışınlar yaymakta ve derinlik algılayıcı kamera ise yansıyan kızılötesi ışınları yakalamaktadır (<https://www.lib.ncsu.edu/devices/kinect-v2-3d-sensor>, 2021). Kızılötesi sensörün yaydığı ışık renkli kamerada görünmemesine karşın kızılötesi kamera ile tespit edilebilmektedir. Kinect V2'nin üzerinde mikrofon dizisinden oluşan ses algılama sistemi de yer almaktadır.



Şekil 1. Xbox One Kinect Sensörü (Figure 1. Xbox One Kinect Sensor)

Şekil 2 ve Tablo 1’de gösterildiği gibi Kinect V2 içerdiği kamera, kızılötesi sensör ve derinlik algılayıcısı ile öncelikle görüntüleri analiz edip, kafa, gövde, dirsek, diz gibi insan vücudunun 25 farklı eklem noktasını tanımlamaya çalışır. 3 boyutlu derinlik sensörü ile görüş açısına sürekli kızılötesi ışını gönderir ve ışığın yansıma hızını hesaplayarak derinlik görüntüsüne ulaşmaktadır. Bu görüntüde yakaladığı en basit insan şekline ise içerisinde bulundurduğu görüntü işleme algoritmasıyla bir iskelet sistemi yerleştirmektedir (<https://medium.com>).

Tablo 1. Kinect v2 iskelet üzerinde izlediği noktalar. (Table 1. The points that the Kinect v2 monitors on the skeleton.)

0. Omurga tabanı	9. Sağ dirsek	17. Sağ diz
1. Omurga ortası	10. Sağ bilek	18. Sağ ayak bileği
2. Boyun	11. Sağ el	19. Sağ ayak
3. Kafa	12. Sol kalça	20. Omurga omuz
4. Sol omuz	13. Sol diz	21. Sol el ucu
5. Sol dirsek	14. Sol ayak bileği	22. Sol başparmak
6. Sol bilek	15. Sol ayak	23. Sağ el ucu
7. Sol el	16. Sağ kalça	24. Sağ başparmak
8. Sağ omuz		

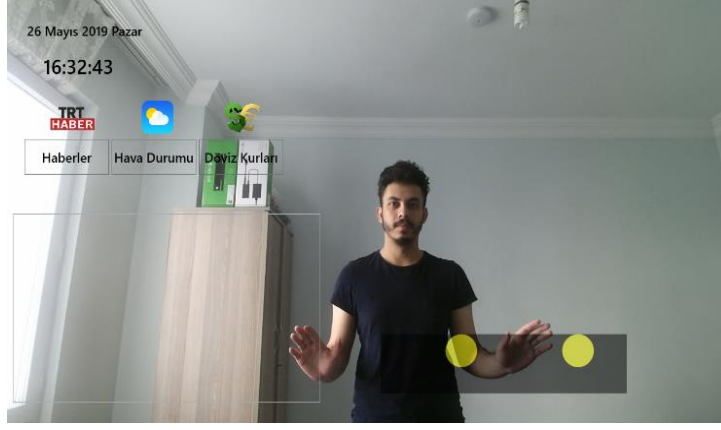


Şekil 2. Kinect 2 ile algılanan eklemler (Figure 2. Joints detected with Kinect 2)

3. Kinect V2 ile Akıllı Ayna Uygulaması

Bu bölümde çalışma kapsamında geliştirilen Kinect V2 temelli akıllı ayna uygulaması anlatılmıştır. Uygulamada akıllı ayna olarak 23 inç led ekran kullanılmıştır. Kullanılan akıllı aynanın üstüne yerleştirilen Kinect V2 sayesinde kullanıcı görüntüleri alınarak ekrana yansıtılmıştır. Kullanıcı görüntülerini alan Kinect V2'nin iskelet noktalarını izleyebilme özelliği sayesinde kullanıcıların eklem noktaları gözlemlenebilmektedir. Kinect'in koordinatlarını tespit ettiği 25 farklı eklem noktasından el, dirsek ve omuz eklemleri üzerinde bulunan toplam 12 nokta uygulamayı geliştirmek için kullanılmıştır.

Bu noktalar kullanılarak geliştirilen uygulamaya ait bir ekran görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir. Uygulama temel olarak sol ve sağ elin x ve y koordinatları ile ilgilenmektedir. El noktalarının anlık koordinatları, Şekil 3'den de görüleceği gibi ekranda sarı renkte birer daire ile gösterilerek kullanıcının hareketlerini izleyebilmesi sağlanmaktadır. Kinect V2 ile kullanıcının hangi eli ilk olarak algılanırsa o eli temsil eden daire yeşil olmaktadır. Benzer şekilde sağ eli temsilen ekranda el ikonu şeklinde bir imleç gösterilmektedir. Bu imleç sayesinde sağ el bir fare gibi kullanılabilir.



Şekil 3. Kinect V2 tabanlı Akıllı Ayna Uygulaması (Figure 3. Kinect V2-based Smart Mirror Application)

Ayna ilk açıldığında karşısında bir kullanıcı (iskelet) görmüyorsa sadece RGB görüntüsü ile aynanın tasarlanmış hali görülmektedir. Ancak Şekil 4'de görüldüğü gibi ayna açıldıktan sonra karşısına bir kullanıcı gelirse "merhaba" yazısı ile kullanıcı karşılanmaktadır. Burada Kinect V2'nin iskelet izleme özelliği kullanılarak kameranın karşısında bir kullanıcı olup olmadığı tespit edilmiştir. Ekranda gösterilen merhaba yazısı 3 saniye ayna üzerinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Bu uyarıyla birlikte aynanın sayfa geçişine uygun olup olmadığını ifade eden el figürü de ekranda gösterilmeye başlanmaktadır.



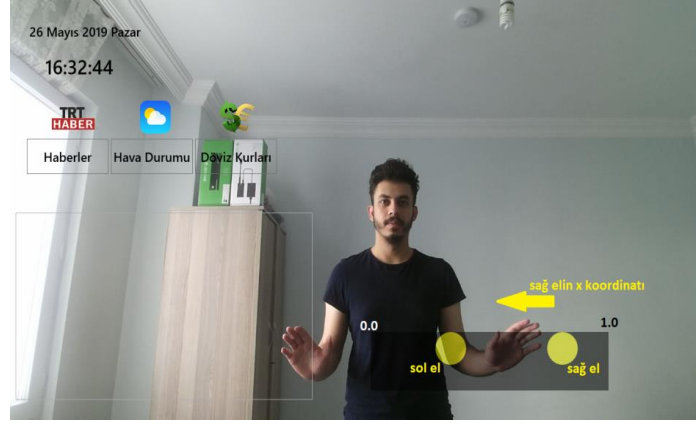
Şekil 4. Akıllı ayna kullanıcıyı karşılama (Figure 4. Smart mirror welcomes the user)

Ekranda gösterilecek veriler; haberlerin ana konu başlıkları, hava durumu ve döviz kurları olarak belirlenmiştir. Konu başlıkları belirlenen haberler, hava durumu ve döviz kurları için XML formatında güncel verilerini paylaşan web sayfaları bulunmuştur. Haberler TRT web sayfasından, hava durumu Meteoroloji Genel Müdürlüğü web sayfasından ve döviz kurları bilgisi ise Merkez Bankası web sayfasından çekilmiştir. Bu web sayfalarının güncel verileri, XML formatında tutulan web adreslerinden XML işlemleri kullanılarak akıllı ayna uygulamasına entegre edilmiştir. Bu belirlenen sayfalar arasında kullanıcının el hareketi ile kaydırma yaparak geçmesinin yanında aynı zamanda imleç özelliğinin kullanılması düşüncesi ile tasarıma üç adet de buton eklenmiştir. Tasarımı tamamlanan ve belirlenen konu başlıklarındaki verilerin buton yardımı ile internetten çekilmesinden sonra uygulamaya ayna görünümü verebilmek için Kinect V2'nin RGB kamerası kullanılmıştır. Kinect V2'den alınan RGB görüntüsü ile kişinin imlece komut verebilmesi için gerekli olan kodlar birleştirilerek ana projede de tanımlanmıştır. Ayna görünümü üzerinde kullanıcının hareketleri ile işlemler yapılabilmesi için tüm özellikler aynı projede birleştirilmiştir. RGB görüntünün gözükmesi için ana projenin kendi penceresi ve üzerinde bulunan her element şeffaf olarak tasarlanmıştır. Böylece kullanıcının kendini ekranın her yerinde rahatlıkla görebilmesi ve aynı zamanda ekranda görülen bilgilerden rahatsız olmadan okuyabilmesi hedeflenmiştir.

Ayna görünümü elde edilen ekranda el hareketleri ile verilerin çekildiği sayfalar arasında geçiş yapılabilmesi sağlanmıştır. Bu geçiş işlemi sağ elin eklem noktalarının koordinatları kullanarak gerçekleştirilmiştir. Sağ elin eklem noktasının x koordinat değerleri bir dizide tutularak, x eksen koordinatlarının alınan örnekleri küçükten büyüğe sıralanmıştır. Tutulan son yirmi x koordinat değerinin en büyük ve en küçük değerleri arasındaki fark alınmış ve hesaplanan bu değer önceden belirlenen eşik değerinden fazla ise sayfanın değişmesi sağlanmıştır. Böylece kullanıcı elini yatay ekseninde kaydırırken içerik sayfaları arasında geçiş yapılabilmesi gerçekleştirilmiştir.

Ancak yapılan uygulama sırasında algılanan her sağ el geçiş işaretinde sayfalar arası kaydırma yapılmasının, kullanıcının ayna karşısında rahat hareket edebilmesini kısıtladığı gözlemlenmiştir. Bu sebepten aynaya verilecek komutların belirli bir koşul altında yapılabilmesine karar verilmiştir. Kullanıcının ayna karşısında özgürce hareket ederken aynı zamanda uygulamalar arasında geçiş yapılabilmesi için Kinect V2'nin iskelet izleme özelliği kullanılmıştır. Bu iskelet izleme özelliği sayesinde vücuttaki 25 eklem noktasının koordinatları elde edilerek akıllı ayna uygulamasına bazı kısıtlamalar ilave edilmiştir. Böylece sayfa kaydırma işleminin belirli koşullarda yapılması sağlanarak, kullanıcının ayna karşısında hareket ederken istem dışı sayfaların değişmesi engellenmiştir. En az

kısıtlama ile en etkin çözümü bulabilmek için deneme-yanılma yöntemi ile farklı kısıtlamalar denenmiştir. En etkin kısıtlama, Şekil 5’de gösterildiği gibi, sağ el eklem noktasının yüksekliğinin, omurga eklemi orta noktasının yüksekliği ile kafa eklem noktasının yüksekliği arasında olması olarak tespit edilmiştir. Uygulama yazılımında, kullanıcının bu kısıtlamaları sağladığında sayfalar arasında geçiş yapabilme yeteneği kazandırılmıştır. Böylece kullanıcının doğal hareketleri sırasında sayfa geçişleri engellenirken, kullanıcının istediği anda kolay bir şekilde sayfa geçişi yapılabilmesi sağlanmıştır.



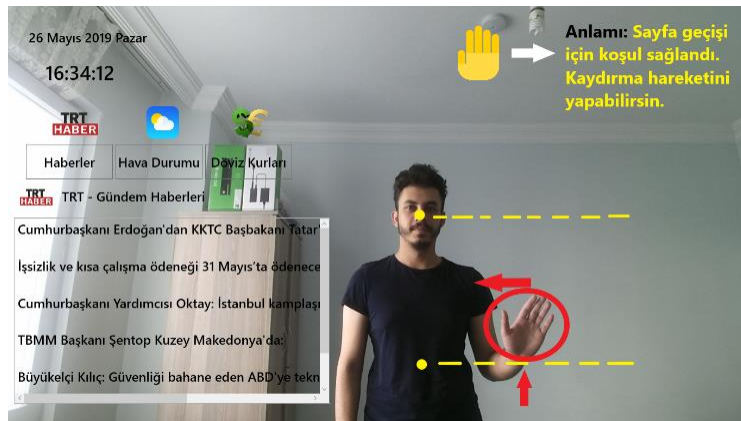
Şekil 5. Akıllı aynada sağ el kaydırma hareketinin algılanması (Figure 5. Detection of right hand swipe gesture)

Şekil 6’da görülen siyah renkteki el figürü ayna ekranında gözükünceye kadar kaydırma hareketi yapılamamaktadır. Bu siyah el figürü ayna ilk açıldıktan iki saniye sonra gözükmetedir. Aynı zamanda kullanıcının her kaydırma hareketi ile sayfa geçişi komutu vermesinden sonra da el figürü iki saniye sonunda kaybolmaktadır. Bu sayede geçişler arasında kullanıcı kısa bir süre bekletilerek sistemin sürekli sayfalar arasında geçiş yapması engellenmektedir. El figürünün siyah renkte olması, kullanıcının kaydırma işlemi için gerekli koşulları sağlayamadığını ifade etmektedir.

Şekil 7’de gösterildiği gibi sağ el eklem noktası kaydırma hareketi ile sayfa geçişi yapabilmek için önceden belirlenen koşul aralığına getirildiğinde siyah el figürü sarı renge dönüşmektedir. Bu sarı renkteki el figürü kullanıcının geçiş koşullarını sağladığını ve kaydırma hareketi yaptığında sayfanın değiştirileceğini ifade etmektedir.



Şekil 6. Sayfa geçiş koşulunun sağlanmadığı durum (Figure 6. The situation where the page transition condition is not met)



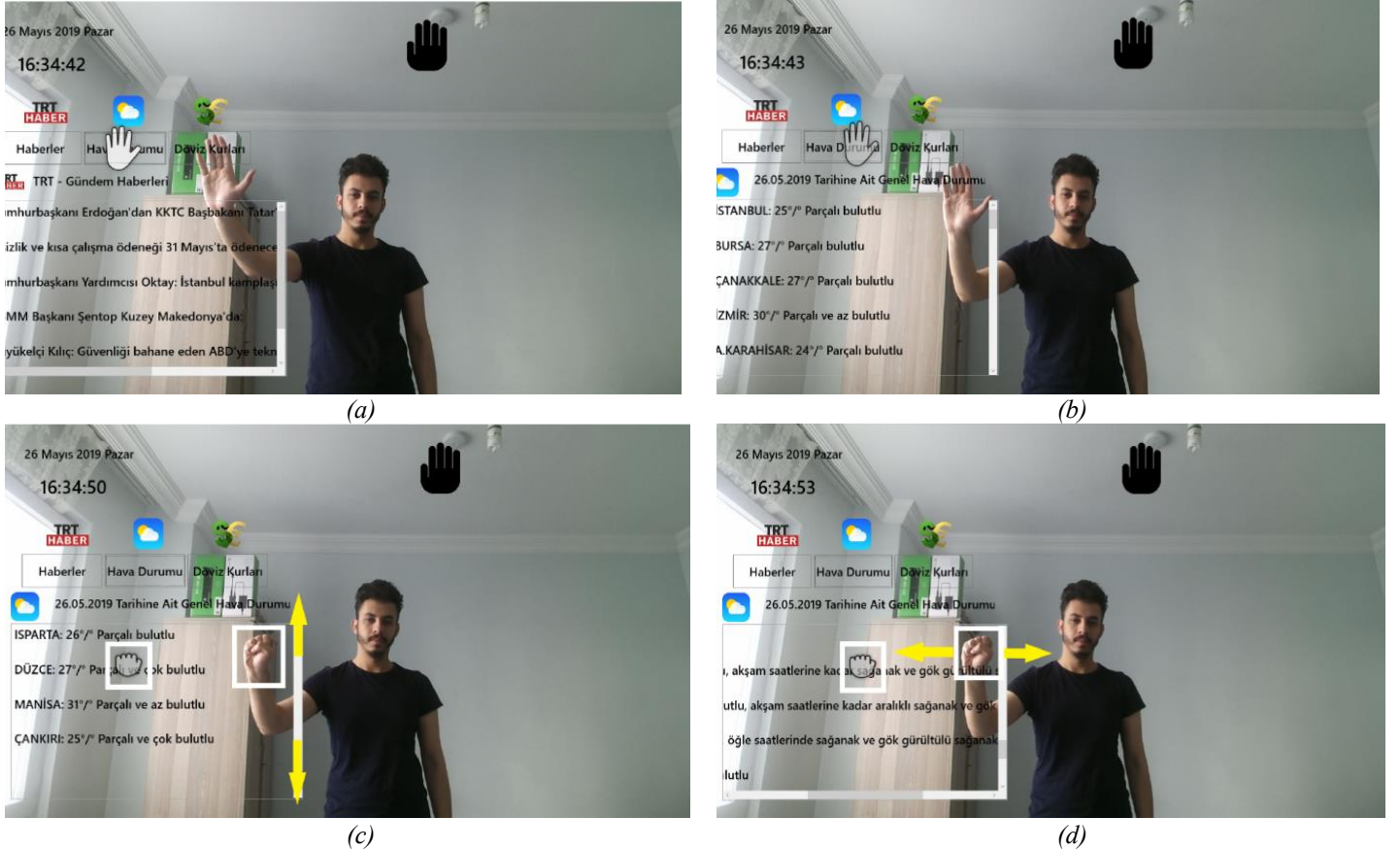
Şekil 7. Sayfa geçiş koşulunun sağlandığı durum (Figure 7. The situation where the page transition condition is met)

Şekil 8’de ise sayfa geçişi için gerekli koşullandırma aralığında bulunan sağ el eklem noktasının yatay eksende kaydırma hareketi yapması ile sayfa geçişinin sağlanması gösterilmektedir. Sayfalar arasında ekranda görünen sırada geçiş (haber, hava durumu ve döviz kurları) yapılmaktadır.



Şekil 8. Sağ el kaydırma hareketi ile sayfa değişimi (Figure 8. Page change with right hand swipe gesture)

Çalışma kapsamında geliştirilen akıllı ayna uygulamasına ait ekran görüntüleri Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekil 9.a ve Şekil 9.b imleç özelliği ile sol veya sağ el fark etmeksizin elleri bir fare gibi kullanarak bu sayfalara butonlar yardımı ile geçişi göstermektedir. Haberler, hava durumu ve döviz bilgileri sayfaları içinde XML şeklinde çekilen verilerin uzun olabildiği ya da aynada belirlenen alana sığmadığı durumlar olmaktadır. Şekil 9.c ve Şekil 9.d’den de görüldüğü gibi sayfa içinde gezinebilmek, aşağı-yukarı, sola-sağa imleci kaydırma işlemleri de elin yumruk şeklini aldığı durumlarda yapılabilmektedir.



Şekil 9. Kinect tabanlı akıllı ayna uygulaması ekran görüntüleri (Figure 9. Kinect-based smart mirror application screenshots)

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada Kinect V2 kullanılarak bir akıllı ayna uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen akıllı ayna uygulamasının sol üst köşesinde tarih ve saat bilgisi yer almaktadır. Haberler, hava durumu ve döviz kurları olmak üzere üç farklı sayfa uygulama içinde yer almaktadır. Bu sayfalar arasında kullanıcının gezinebilmesi için geliştirilen aynaya el hareketi ile bir kaydırma yeteneği kazandırılmıştır. Uygulamada geliştirilen bu özellik sağ el ile kontrol edilebilecek şekilde ayarlanmıştır. Bu özellik sayesinde kullanıcı belirlenen koşullarda, en az düzeyde kısıt altında, sağ eli ile kaydırma hareketi yapması sonucunda farklı sayfalara geçiş yapabilmektedir.

Geliştirilen sistem ile insanların ayna karşısında geçirdikleri zamanlarda gündelik bilgilere de ulaşabilmesi hedeflenmiştir. Özellikle insanlar kıyafet seçimleri için hava durumuna, geç kalmamak için tarih bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Aynı zamanda insanların genel bir alışkanlık olarak sabah gündelik haberlere ve para piyasalarına göz atma istekleri gözlemlenmiştir. Önerilen sistemin bu istek ve ihtiyaçlara cevap vermesi amaçlanırken aynı zamanda insanların ayrı bir zaman harcanmadan ayna karşısında hazırlanırken bu ihtiyaçlarına eş zamanlı karşılık bulması hedeflenmiştir. Bu sebepler ile geliştirilen sistemin ayna karşısında geçirilen zamanı daha eğlenceli hale getirmesi de beklenmektedir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında akıllı ayna, başta insanlara egzersiz yaptırarak daha sağlıklı bir yaşam sağlamak (Besserer vd., 2016; Park vd., 2021), müzisyenlere yardımcı olmak, ev içinde aktiviteleri izlemek gibi geniş bir yelpazede yardımcı unsur olarak kullanılmaktadır (Jeet Kaur vd., 2017; Salgian vd., 2017). Bu çalışmada ise akıllı ayna, ayna başında geçirilen zamanın daha eğlenceli hale getirilmesinde ve kullanıcıların genellikle sabah kontrol etmek isteyecekleri bilgilere erişebilmesi amacıyla kullanılmıştır. Literatürdeki örneklerle kıyaslandığında bu çalışma insanların kişisel gelişimlerinden ziyade zaman kazanmaları ve güne daha pozitif enerjiyle başlamaları üzerine odaklanmıştır.

Gelecek çalışmalarda geliştirilen sistemin grafik ara yüzünün kullanıcılardan gelen geri dönüşlere göre güncellenmesi ve ses komutlarının uygulamaya dahil edilmesi planlanmaktadır. Ayrıca Kinect V2'nin uygun maliyetli bir kamera olmasına karşın sistemin çok daha ucuz bir web kamerası ile geliştirilerek maliyetinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

Kaynakça

- Amon, C., & Fuhrmann, F. (2014). Evaluation of the Spatial Resolution Accuracy of the Face Tracking System for Kinect for Windows V1 and V2. *6th Congress of Alps-Adria Acoustics Association, October, 9-12.*
- Beshara, P., Chen, J., Lagadec, P., & Walsh, W. R. (2016). *Internet of Things Technologies for HealthCare. 187*(October). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51234-1>
- Besserer, D., Bäurle, J., Nikic, A., Honold, F., Schüssel, F., & Weber, M. (2016). FitMirror: A smart mirror for positive affect in everyday user morning routines. *MA3HMI 2016 - Proceedings of the Workshop on Multimodal Analyses Enabling Artificial Agents in Human-Machine Interaction*, 48-55. <https://doi.org/10.1145/3011263.3011265>
- Clark, R. A., Pua, Y. H., Oliveira, C. C., Bower, K. J., Thilarajah, S., McGaw, R., Hasanki, K., & Mentiplay, B. F. (2015). Reliability and concurrent validity of the Microsoft Xbox One Kinect for assessment of standing balance and postural control. *Gait and Posture*, 42(2), 210-213. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.03.005>
- Çubukçu, B., & Çetin, A. (2016). Ms Kinect Applications And Opportunities For People. *International Multidisciplinary Conference*, 459-465.
- Çubukçu, B., & Yüzgeç, U. (2017). A Physiotherapy Application with MS Kinect for Patients with Shoulder Joint , Muscle and Tendon Damage. *The 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN 2017)*, 225-228. <https://doi.org/10.1109/CICN.2017.49>
- Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R., & Zileli, A. (2018). A Kinect 2 Based Telerehabilitation Method for Shoulder Rehabilitation Exercises. *International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES'18)*, 53-56.
- Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R., & Zileli, A. (2020). Reliability and validity analyzes of Kinect V2 based measurement system for shoulder motions. *Medical Engineering and Physics*, 76, 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2019.10.017>
- Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, A., & Zileli, R. (2021). Kinect-based integrated physiotherapy mentor application for shoulder damage. *Future Generation Computer Systems*, 122, 105-116. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.04.003>
- Dinvar, Y., Çubukçu, B., & Yüzgeç, U. (2017). MS Kinect Based Tracking Application for Knee Anterior Cruciate Ligament Physical Therapy. *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*.
- Dubois, A., & Bresciani, J.-P. (2018). Validation of an ambient system for the measurement of gait parameters. *Journal of Biomechanics*, 69, 175-180. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.01.024>
- Garip, B., Cubukcu, B., Serin, Z., & Yuzgec, U. (2019). Kinect based Office Exercises: BreakOut. *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, ISMSIT 2019- Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2019.8932796> <https://medium.com/@lisajamhourly/understanding-kinect-v2-joints-and-coordinate-system-4f4b90b9df16> (erişim: 2021). <https://www.lib.ncsu.edu/devices/kinect-v2-3d-sensor> (erişim: 2021). <https://www.muhsendisbeyinler.net/nesnelerin-interneti-iot-nedir/> (erişim: 2021). <http://www.acikbilim.com/> (erişim: 2021).
- Jeet Kaur, M., Maheshwari, P., Jeet Kaur Assistant Professor, M., & Anand, S. (2017). Smart Mirror: A Reflective Interface to Maximize Productivity. *Article in International Journal of Computer Applications*, 166(9), 975-8887. <https://doi.org/10.5120/ijca2017914114>
- Kösesoy, İ., Öz, C., Aslan, F., Köroğlu, F., Yiğilitaş, M., Mishra, A. K., Skubic, M., Abbott, C., Huber, M. E., Seitz, A. L., Leeser, M., Sternad, D., Clark, R. A., Pua, Y. H., Oliveira, C. C., Bower, K. J., Thilarajah, S., McGaw, R., Hasanki, K., ... Schmitz-Hübsch, T. (2015). Validity and reliability of Kinect skeleton for measuring shoulder joint angles: A feasibility study. *Proceedings of the Annual*

- International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, 48(4), 389-393. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.03.008>
- Mousavi, S. M. H., & Ilanloo, A. (2022). Seven Staged Identity Recognition System Using Kinect V.2 Sensor. *2022 9th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, CFIS 2022*. <https://doi.org/10.1109/CFIS54774.2022.9756435>
- Nguyen, M. H., Hsiao, C. C., Cheng, W. H., & Huang, C. C. (2022). Practical 3D human skeleton tracking based on multi-view and multi-Kinect fusion. *Multimedia Systems*, 28(2), 529-552. <https://doi.org/10.1007/S00530-021-00846-X/FIGURES/19>
- Park, H. S., Lee, G. A., Seo, B. K., & Billinghamurst, M. (2021). User experience design for a smart-mirror-based personalized training system. *Multimedia Tools and Applications*, 80(20), 31159-31181. <https://doi.org/10.1007/S11042-020-10148-5/FIGURES/13>
- Salgian, A., Vickerman, D., & Vassallo, D. (2017). A smart mirror for music conducting exercises. *Thematic Workshops 2017 - Proceedings of the Thematic Workshops of ACM Multimedia 2017, Co-Located with MM 2017*, 544-549. <https://doi.org/10.1145/3126686.3129333>
- Seifollahi, M., Mehraban, A. H., Galvin, J. E., & Ghoraani, B. (2022). Alzheimer's Disease Detection Using Comprehensive Analysis of Timed Up and Go Test via Kinect V.2 Camera and Machine Learning. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 30, 1589-1600. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2022.3181252>
- Shaughnessy, M., Resnick, B. M., & Macko, R. F. (2006). Testing a model of post-stroke exercise behavior. *Rehabilitation Nursing*, 31(1), 15-21. <https://doi.org/10.1002/j.2048-7940.2006.tb00005.x>
- Tino, D., & Hillis, C. (2010). The full can exercise as the recommended exercise for strengthening the supraspinatus while minimizing impingement. *Strength and Conditioning Journal*, 32(5), 33-35. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181d54721>



(4+1)-Boyutlu Fokas Denkleminin Etkili Bir İntegrasyon Tekniği ile Tek Dalga Çözümleri

Pınar Albayrak*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7973-3500), pkandar@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 30 October 2022 ve Kabul Tarihi 25 January 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1196618)

ATIF/REFERENCE: Albayrak, P. (2023). Solitary Wave Solutions of the (4+1)-Dimensional Fokas Equation Via an Efficient Integration Technique. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 54-63.

Öz

Bu çalışmada yüksek boyutlu problemler içerisinde kendine özgü bir öneme sahip olan integrallenebilir nonlineer (4+1)-boyutlu Fokas denkleminin soliton çözümleri son zamanlarda literature kazandırılmış olan yeni Kudryashov metodu ile incelenmektedir. Yapılan inceleme çerçevesinde (4+1)-boyutlu Fokas denkleminin temel soliton çözümlerinin elde edilmesine ek olarak, yöntemin yüksek boyutlu problemler için de etkin olarak kolaylıkla kullanılabileceği, aynı zamanda güvenilir olduğu da gösterilmektedir. Çalışmada elde edilen soliton çözümlerine ait grafiklerin 3D, 2D ve contour sunumları yapılarak ayrıca gerekli açıklamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: (4+1)-Fokas denklemi, Yeni Kudryashov yöntemi, Parlak soliton, Soliton çözümü.

Solitary Wave Solutions of the (4+1)-Dimensional Fokas Equation Via an Efficient Integration Technique

Abstract

In this study, the soliton solutions of the integrable nonlinear (4+1)-dimensional Fokas equation, which has a unique importance in high-dimensional problems, are examined by the new Kudryashov method, which has recently been introduced into literature. In addition to obtaining the basic soliton solutions of the (4+1)-dimensional Fokas equation, it is showed that the method can be easily used effectively for high-dimensional problems and is also reliable. 3D, 2D and contour presentations of the graphs of the soliton solutions obtained in the study were made and the necessary explanations were also made.

Keywords: (4+1)-Fokas equation, The new Kudryashov Method, Bright soliton, Soliton solution.

* Sorumlu Yazar: pkandar@yildiz.edu.tr

1. Introduction

Nonlinear partial differential equations (NLPDEs) are widely used predominantly in the field of engineering to model many physical phenomena. Considering that there are very common branches of engineering today, this field of use covers many areas such as physics, biology, chemistry, genetics, statistics, earth science, medicine, meteorology, hydrodynamics, solid physics, quantum mechanics, wave dynamics, nonlinear optics [1-10]. Especially in the last 50 years, technological developments in the field of electronics and computers have brought about many advances in the software sector, some symbolic calculation tools (such as mathematica, matlab, maple, etc.) have been developed for both numerical and symbolic programming and thus great progress has been made in solving many non-linear problems waiting to be solved before. Many researchers started to work in this field and developed new equations (for example, Kadomtsev Petviashvili (KP) and its variants, Kdv forms, Boussinesq forms, Maccari systems, Kawahara equation, Vakhnenko-Parkes equation, Caudrey-Dodd-Gibbon-KP equation, Bogoyavlenskii-KP equation, KP-Joseph-Egri equation, Zoomeron equation and its variants, Kudryashov equation, Schrödinger equation and its more variants, Hirota equation, Schrödinger-Hirota equation, Hirota-Satsuma equation, Boussinesq-Peregrine equation, Davey Stewartson (DS), Fokas-Lenells, Ginzburg Landau, Landau-Lifschitz-Gilbert, Calogero-Bogoyavlenskii Schiff equation and its variants, Pochhammer-Chree, Newell-Whitehead, Fitzhugh-Nagumo, Fisher equation, Phi Four equation, Kolmogorov-Petrovskii-Piskunov equation, Drinfeld-Sokolov system, Drinfeld-Sokolov-Satsuma-Hirota system, Mikhailov-Novikov-Wang equation, Krichever-Novikov equation, Jaulent-Miodek evolution equation, Burgers-Huxley equation, Chen-Lee-Liu equation, Eckhaus-Kundu, Radhakrishnan-Kundu-Lakshmanan, Gerdjikov-Ivanov, Lakshmanan-Porsezian-Daniel, Zakharov-Kuznetsov, Benjamin-Bona-Mahony, Gardner-Ostrovsky, Bogoyavlensky Konopelchenko, Whitham-Broer-Kaup, Ablowitz-Ramani-Segur equation, Biswas-Milovic equation, Biswas-Arshed equation, Triki-Biswas model, Fornberg-Whitham equation, Camassa-Holm equation and its variants, Degasperis-Procesi equation, Van der Pol type Rayleigh wave equation, Sharma-Tasso-Olver equation and many more) [11-20]. The equations listed above reflect only a fraction of the equations developed in this field and studied by many researchers. Because, considering the different dimensions (1+1, 2+1, 3+1, 4+1), nonlinearity laws (Kerr, power, parabolic, dual power, log, polynomial, cubic, anti-cubic, quadratic-cubic, septic, sextic etc.), perturbation, and higher order forms [21-30] of these equations, it is better understood how current and important the studies on this field are. Obtaining integrable high-dimensional forms of some equations within these problems is both important in itself and also physically important. In this context, although the Kdv and Davey-Stewartson equations are the origin, one of these equations is the Fokas equation.

The (4+1)-dimensional Fokas equation (FE) reads [31]:

$$4 \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x \partial t} - \frac{\partial^4 \Theta}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^4 \Theta}{\partial x \partial y^3} + 12 \left(\frac{\partial \Theta}{\partial x} \frac{\partial \Theta}{\partial y} + \Theta \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x \partial y} \right) - 6 \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \omega \partial z} = 0, \quad (1.1)$$

$$\Theta(x, y, z, \omega, t) = \Theta(\eta) \quad , \quad \eta = \lambda_1 x + \lambda_2 y + \lambda_3 z + k \omega + ct \quad . \quad (1.2)$$

This equation was obtained by Fokas as an extension of the integrable KP and DS equations to some high-order nonlinear wave equations using the Lax pair method [31]. As it is known, KP and DS equations are important wave models describing surface and interior waves in throats and channels of varying width and depth, as well as being used for three-dimensional models on finite depth water waves. In Eq.(1.2), $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, k$ and c are real constants. To date, different studies have been conducted on Eq.(1.1) and examined with different methods. For example the the extended simplest equation and modified simple equation methods [32], improved F-expansion and generalized $\exp(-\phi(\xi))$ -expansion methods [33], the Hirota's bilinear and the KP hierarchy reduction methods [34], Jacobian-function method, He's semi-inverse variational technique and sine-cosine or triangle function approach the Padés type transformation [35], generalized exponential rational function [36], modified $\exp(-\Omega(\xi))$ -expansion function [37], improved tanh-coth [38], extended version of $\exp(-\psi(\kappa))$ -expansion [39].

The manuscript has the following body: Section 2 is devoted to the introduction of the method, Section 3 to the application of the method, Section 4 to the results and discussion obtained in the article, and Section 5 to the conclusions.

2. Presentation of the new Kudryashov method

Step 1: Taken into account the Eq.(2) and Eq.(3):

$$Z(\Theta, \Theta_x, \Theta_y, \Theta_z, \Theta_\omega, \Theta_t, \Theta_{xx}, \dots, \Theta_{tt}, \Theta_{xy}, \dots, \Theta_{\omega t}, \dots) = 0, \quad (2)$$

$$\Theta(x, y, z, t) = \kappa(\eta), \quad \eta = \rho(x + y + z - \sigma t). \quad (3)$$

In Eq.(2), Z is a polynomial in Θ , ρ and σ are arbitrary constants ($\rho, \sigma \neq 0$). Plugging Eq.(3) into Eq.(2), we obtain the following nonlinear ordinary differential equation (NLODE):

$$P(\kappa(\eta), \kappa'(\eta), \kappa''(\eta), \dots) = 0. \quad (4)$$

where P is a polynomial in $\kappa(\eta)$, $\kappa'(\eta) = d\kappa(\eta)/d\eta$, $\kappa''(\eta) = d^2\kappa(\eta)/d\eta^2$.

Step 2: The new Kudryashov scheme offers that the Eq.(5) is the solution of Eq.(4).

$$\Theta(\eta) = \sum_{i=0}^r \phi_i \kappa^i(\eta) \quad , \quad \phi_r \neq 0. \tag{5}$$

In Eq.(5), ϕ_0, \dots, ϕ_r are real values to be found. We obtain positive integer r which is the balancing term by balancing the highest derivative term and the highest power nonlinear term in Eq.(4). Furthermore, the function $\kappa(\eta)$ satisfies the following auxiliary equation [40]:

$$\left[\frac{d\kappa(\eta)}{d\eta} \right]^2 = \kappa^2(\eta) [1 - \lambda \kappa^2(\eta)] \tag{6}$$

$$\kappa(\eta) = \mp \frac{4L}{4L^2 e^\eta + \lambda e^{-\eta}} \tag{7}$$

In Eq.(6) and Eq.(7), λ and L are arbitrary real constants to be determined.

Step 3: Plugging the Eq.(5) and its derivatives into Eq.(4) produces a polynomial form of $\kappa(\eta)$. Collecting the coefficients of $\kappa(\eta)$ with the same power and equating each coefficients to zero, we derive a algebraic equations for $\phi_{-r}, \dots, \phi_0, \dots, \phi_r, \rho, \sigma$ and k.

Step 4: Solution of Step 3, serves the various sets. Combining the appropriate sets with Eq.(7), Eq.(3) and Eq.(5) the solutions of Eq.(1.1) are obtained.

3. Application of the new Kudryashov method

Applying the wave transformation in Eq.(1.2) to NLPDE equation in Eq.(1.1) we reduce to Eq.(1.1) to following NLODE form.

$$(4c\lambda_1 - 6k\lambda_3)\Theta + 6\Theta^2\lambda_1\lambda_2 + \lambda_1\lambda_2(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)\frac{d^2\Theta}{d\eta^2} = 0 \tag{8}$$

where $\Theta = \Theta(\eta)$. Balancing Θ'' and Θ^2 , gives $r = 2$. According to Eq.(5), this offers a truncated series as the form of :

$$\Theta(\eta) = a_0 + a_1\kappa(\eta) + a_2\kappa^2(\eta) \quad , \quad a_2 \neq 0 \tag{9}$$

Substituting Eq.(9) and Eq.(6) into Eq.(8) and equating the coefficient of each power of $\kappa(\eta)$ to zero, we obtain following equations:

$$\begin{aligned} \kappa(\eta)^0 : 6\lambda_1\lambda_2a_0^2 + 4a_0c\lambda_1 - 6a_0k\lambda_3 &= 0, \\ \kappa(\eta)^1 : (-\lambda_1^3\lambda_2 + (\lambda_2^3 + 12a_0\lambda_2 + 4c)\lambda_1 - 6k\lambda_3)a_1 &= 0, \\ \kappa(\eta)^2 : -4a_2\lambda_1^3\lambda_2 + ((4\lambda_2^3 + 12a_0\lambda_2 + 4c)a_2 + 6a_1^2\lambda_2)\lambda_1 - 6ka_2\lambda_3 &= 0, \\ \kappa(\eta)^3 : 2\lambda_2a_1((\lambda_1^2 - \lambda_2^2)\lambda + 6a_2)\lambda_1 &= 0, \\ \kappa(\eta)^4 : 6\lambda_1a_2\lambda_2((\lambda_1^2 - \lambda_2^2)\lambda + a_2) &= 0, \end{aligned} \tag{10}$$

Solving the system by suitable method we obtain the following solution sets:

$$\begin{aligned} Kset^{1,1} &= \left\{ \lambda_3 = \frac{(-2\lambda_1^2\lambda_2 + 2\lambda_2^3 + 2c)\lambda_1}{3k}, a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = -\lambda\lambda_1^2 + \lambda\lambda_2^2 \right\}, \\ Kset^{1,2} &= \left\{ \lambda_3 = \frac{(2\lambda_1^2\lambda_2 - 2\lambda_2^3 + 2c)\lambda_1}{3k}, a_0 = -\frac{2\lambda_2^2}{3} + \frac{2\lambda_1^2}{3}, a_1 = 0, a_2 = -\lambda\lambda_1^2 + \lambda\lambda_2^2 \right\}, \\ Kset^{1,3} &= \left\{ k = \frac{(-2\lambda_1^2\lambda_2 + 2\lambda_2^3 + 2c)\lambda_1}{3\lambda_3}, a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = -\lambda\lambda_1^2 + \lambda\lambda_2^2 \right\}, \\ Kset^{1,4} &= \left\{ k = \frac{(2\lambda_1^2\lambda_2 - 2\lambda_2^3 + 2c)\lambda_1}{3\lambda_3}, a_0 = -\frac{2\lambda_2^2}{3} + \frac{2\lambda_1^2}{3}, a_1 = 0, a_2 = -\lambda\lambda_1^2 + \lambda\lambda_2^2 \right\}, \\ Kset^{1,5} &= \left\{ c = \frac{2\lambda_1^3\lambda_2 - 2\lambda_1\lambda_2^3 + 3k\lambda_3}{2\lambda_1}, a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = -\lambda\lambda_1^2 + \lambda\lambda_2^2 \right\}, \\ Kset^{1,6} &= \left\{ c = \frac{-2\lambda_1^3\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_2^3 + 3k\lambda_3}{2\lambda_1}, a_0 = -\frac{2\lambda_2^2}{3} + \frac{2\lambda_1^2}{3}, a_1 = 0, a_2 = -\lambda\lambda_1^2 + \lambda\lambda_2^2 \right\}. \end{aligned} \tag{11}$$

According to Eq.(11) we construct the following solution functions for Eq.(1.1). (All functions satisfy Eq.(1.1))

$$\Theta_{1,1}(x, y, z, \omega, t) = \frac{16\lambda(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)L^2}{(4L^2e^{\chi_1} + \lambda e^{-\chi_1})^2} \tag{12}$$

$$\Theta_{1,2}(x, y, z, \omega, t) = -\frac{2\lambda_2^2}{3} + \frac{2\lambda_1^2}{3} + \frac{16\lambda(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)L^2}{(4L^2e^{\chi_2} + \lambda e^{-\chi_2})^2} \tag{13}$$

$$\Theta_{1,3}(x, y, z, \omega, t) = \frac{16\lambda(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)L^2}{(4L^2e^{\chi_3} + \lambda e^{-\chi_3})^2} \tag{14}$$

$$\Theta_{1,4}(x, y, z, \omega, t) = -\frac{2\lambda_2^2}{3} + \frac{2\lambda_1^2}{3} + \frac{16\lambda(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)L^2}{(4L^2e^{\chi_4} + \lambda e^{-\chi_4})^2} \tag{15}$$

$$\Theta_{1,5}(x, y, z, \omega, t) = \frac{16\lambda(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)L^2}{(4L^2e^{\chi_5} + \lambda e^{-\chi_5})^2} \tag{16}$$

$$\Theta_{1,6}(x, y, z, \omega, t) = -\frac{2\lambda_2^2}{3} + \frac{2\lambda_1^2}{3} + \frac{16\lambda(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)L^2}{(4L^2e^{\chi_6} + \lambda e^{-\chi_6})^2} \tag{17}$$

where

$$\chi_1 = ct + k\omega + \lambda_1x + \lambda_2y + 2\frac{(-\lambda_1^2\lambda_2 + \lambda_2^3 + c)\lambda_1z}{3k},$$

$$\chi_2 = ct + k\omega + \lambda_1x + \lambda_2y + 2\frac{(\lambda_1^2\lambda_2 - \lambda_2^3 + c)\lambda_1z}{3k},$$

$$\chi_3 = ct + 2\frac{(-\lambda_1^2\lambda_2 + \lambda_2^3 + c)\lambda_1\omega}{3\lambda_3} + \lambda_1x + \lambda_2y + \lambda_3z,$$

$$\chi_4 = ct + 2\frac{(\lambda_1^2\lambda_2 - \lambda_2^3 + c)\lambda_1\omega}{3\lambda_3} + \lambda_1x + \lambda_2y + \lambda_3z,$$

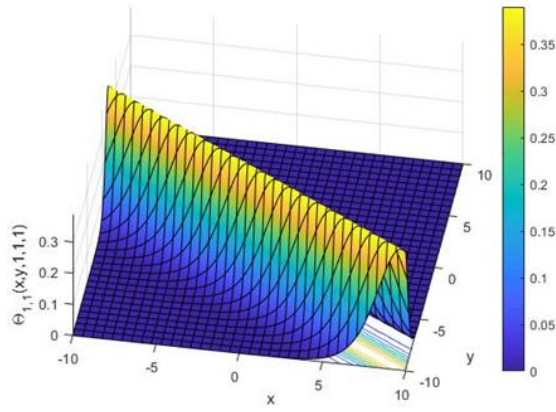
$$\chi_5 = \frac{(2\lambda_1^3\lambda_2 - 2\lambda_1\lambda_2^3 + 3k\lambda_3)t}{2\lambda_1} + k\omega + \lambda_1x + \lambda_2y + \lambda_3z,$$

$$\chi_6 = \frac{(-2\lambda_1^3\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_2^3 + 3k\lambda_3)t}{2\lambda_1} + k\omega + \lambda_1x + \lambda_2y + \lambda_3z.$$

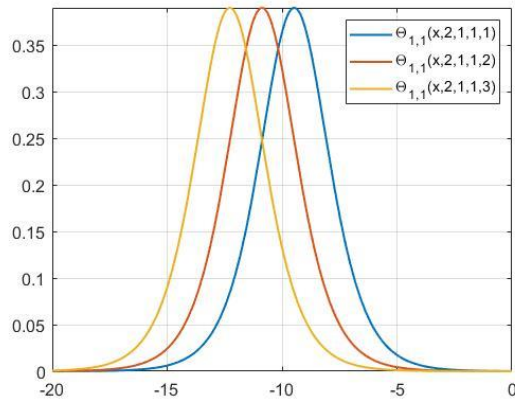
4. Results and Discussion

In this section, graphic presentations are made about the soliton solutions obtained in the article.

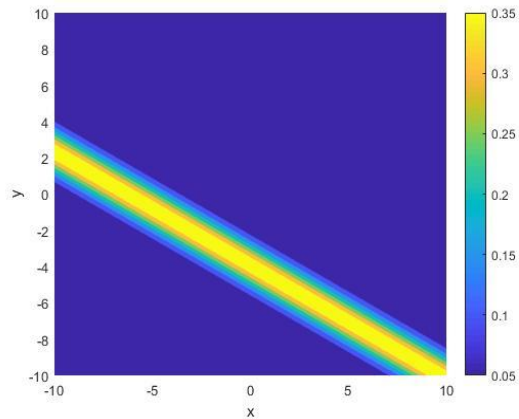
Fig. 1 belongs to $\Theta_{1,1}(x, y, z, \omega, t)$ given by Eq. (12), and its 3D, 2D, contour figures are given in (a), (b), (c) respectively. For this, the KSet¹¹ given by Eq. (11) and the parameter values $\lambda = 1, L = 1.5, \lambda_1 = 0.5, \lambda_2 = 0.8, k = 1, c = 0.7, z = \omega = t = 1$ are chosen. Fig.1a represents the bright soliton, one of the basic soliton types, and Fig.1b shows the state of the wave at $t=1,2,3$ time values and $y = 2$. The wave has the character of a walking wave. Fig.1c reflects the contour graph of the projection of the wave on the xy plane and reinforces the bright soliton character of the wave.



(a) 3D profile



(b) 2D projection

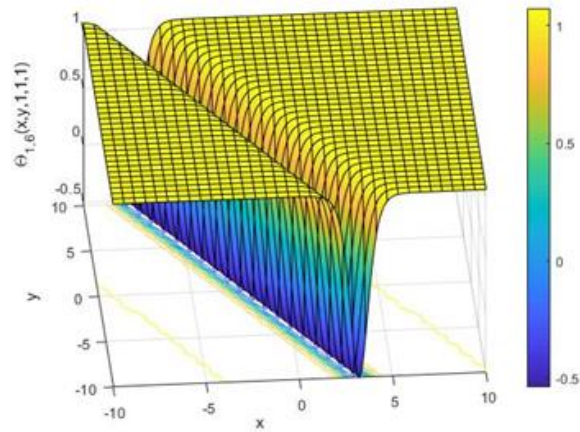


(c) Contour view

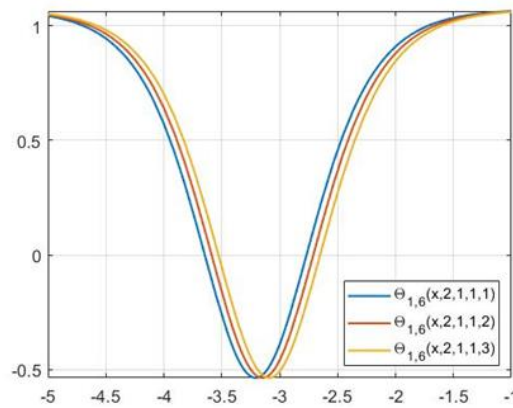
Fig. 1 The some illustrations of $\Theta_{l,l}(x, y, z, \omega, t)$ in Eq.(12) with $KSet^{l,1}$ in Eq.(11)

$$\text{and } \lambda = 1, L = 1.5, \lambda_1 = 0.5, \lambda_2 = 0.8, c = 0.7, k = z = \omega = t = 1$$

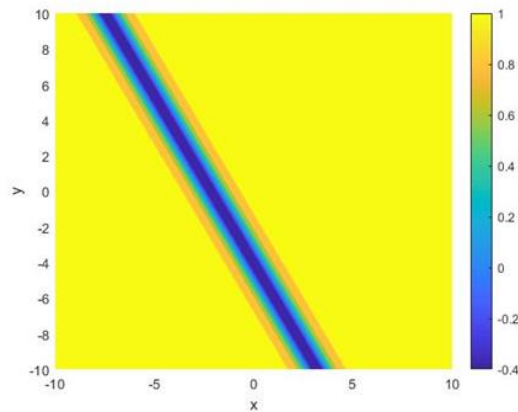
Fig. 2 belongs to $\Theta_{l,6}(x, y, z, \omega, t)$ in Eq.(17), and its 3D, 2D, contour figures are given in (a), (b), (c) respectively. For this, the $KSet^{l,6}$ given by Eq. (11) and the parameter values $\lambda = 1, L = 1.5, \lambda_1 = 1.5, \lambda_2 = 0.8, \lambda_3 = 1.2, k = 1, z = \omega = t = 1$ are chosen. Fig.2a represents the dark soliton, one of the basic soliton types, and Fig.2b illustrates the state of the wave at $t=1,2,3$ values and $y = 2$. The wave has the character of a traveling wave. Fig. 2c reflects the contour graph of the projection of the wave on the xy plane and reinforces the dark soliton character of the wave.



(a) 3D profile



(b) 2D projection

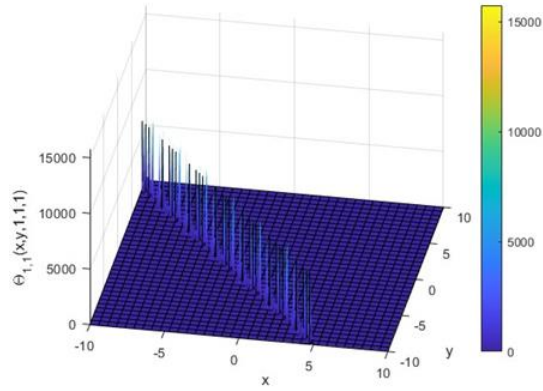


(c) Contour view

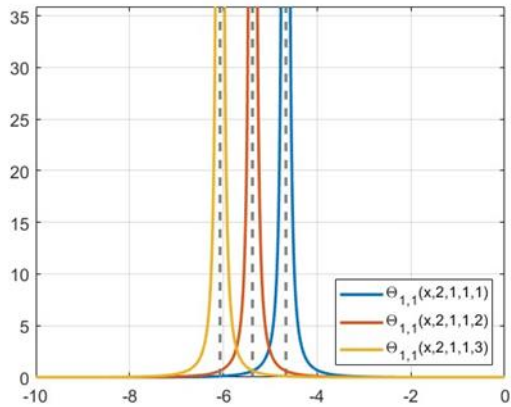
Fig. 2 The some depictions of $\Theta_{l,6}(x, y, z, \omega, t)$ in Eq.(17) with $\text{KSet}^{1,6}$ in Eq.(11)

and $\lambda = 1, L = 1.5, \lambda_1 = 1.5, \lambda_2 = 0.8, \lambda_3 = 1.2, k = z = \omega = t = 1$

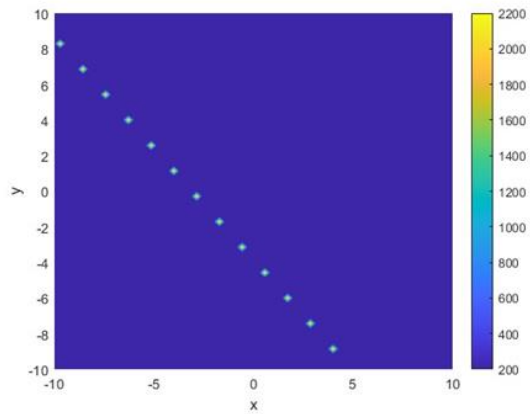
Fig. 3 belongs to $\Theta_{l,l}(x, y, z, \omega, t)$ in Eq. (12), and its 3D, 2D, contour figures are given in (a), (b), (c) respectively. For this, the $\text{KSet}^{1,l}$ given by Eq. (11) and the parameter values $\lambda = -1, L = 1.5, \lambda_1 = 1, \lambda_2 = 0.8, k = 1, c = 0.7, z = \omega = t = 1$ are chosen. Fig.3a represents the singular solution (bright-singular), one of the basic solution types, and Fig.3b shows the state of the wave at $t=1,2,3$ values and $y = 2$. Fig. 3c depicts the contour view of the projection of the wave on the xy plane and reinforces the singular solution of the wave.



(a) 3D profile



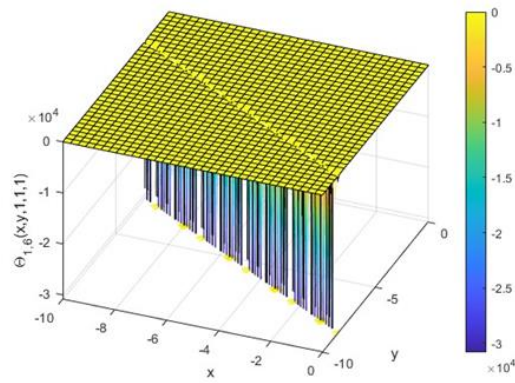
(b) 2D projection



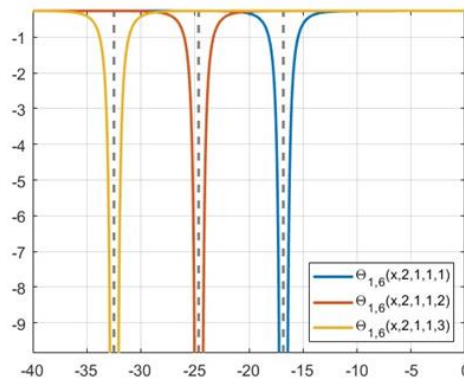
(c) Contour view

Fig. 3 The some illustrations of $\Theta_{1,i}(x, y, z, \omega, t)$ in Eq.(12) with $KSet^{1,1}$ in Eq.(11) and $\lambda = -1, L = 1.5, \lambda_1 = 1, \lambda_2 = 0.8, c = 0.7, k = z = \omega = t = 1$

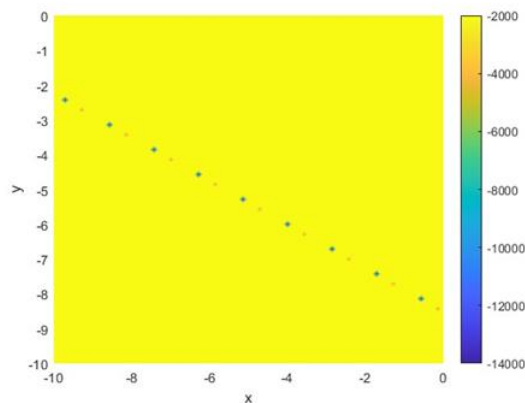
Fig. 4 is the portrait of the $\Theta_{1,6}(x, y, z, \omega, t)$ given by Eq.(17), and its 3D, 2D, contour figures are given in (a), (b), (c) respectively. For this, the $KSet^{1,6}$ given by Eq. (11) and the parameter values $\lambda = -0.25, L = 0.5, \lambda_1 = 0.5, \lambda_2 = 0.8, \lambda_3 = 1.2, z = \omega = t = k = 1$ are chosen. Fig.4a represents the singular solution (dark-singular), one of the basic solution types, and Fig.4b shows the state of the wave at $t=1,2,3$ values and $y = 2$. Fig. 4c projects the contour view of the projection of the wave on the xy plane and reinforces the singular solution of the wave.



(a) 3D profile



(b) 2D projection



(c) Contour view

Fig. 4 The some depictions of $\Theta_{l,6}(x, y, z, \omega, t)$ in Eq.(17) with $KSet^{1,6}$ in Eq.(11)

$$\text{and } \lambda = -0.25, L = 0.5, \lambda_1 = 0.5, \lambda_2 = 0.8, \lambda_3 = 1.2, k = z = \omega = t = 1$$

5. Conclusions

In this study, a study was conducted to examine the limited number of high-dimensional nonlinear equations in the literature. The soliton solutions of the (4+1)-dimensional Fokas equation, which has an important place in terms of wave dynamics, were solved by the new Kudryashov method, which has recently entered the literature and has become widely used. Bright, dark and singular soliton solutions of the examined problem were obtained and graphic presentations were made of them. The examined method was applied for the first time on the problem and soliton solutions and graphical representations of the basic soliton types were successfully made. Apart from showing that the (4+1)-dimensional Fokas equation is a model that produces the basic soliton types, the study also shows the new Kudryashov method is a method that can be used effectively in solving high-dimensional problems. The next target studies include different solution techniques for the solution of such high-dimensional problems, expanding the physical interpretations of these equations, researching other possible soliton wave types and their interactions. We believe that both the study methodology and the results of the study will contribute to those who conduct research in this field.

References

- [1] Birzu, G., Hallatschek, O., Korolev, K., (2018), Fluctuations uncover a distinct class of traveling waves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115. 201715737. 10.1073/pnas.1715737115.
- [2] Cruywagen, G., Maini, P., Murray, J., (1994), Travelling waves in a tissue interaction mode for skin pattern formation. *Journal of mathematical biology*, 33. 193-210. 10.1007/BF00160179.
- [3] Wang, X., Akram, G., Sadaf, M., et al., (2022), Soliton Solution of the Peyrard–Bishop–Dauxois Model of DNA Dynamics with M-Truncated and β -Fractional Derivatives Using Kudryashov’s R Function Method. *Fractal and Fractional*, 6(10):616, <https://doi.org/10.3390/fractalfract6100616>.
- [4] Syrenova, T.E., Beletsky, A.B., Ratovsky, K.G., et al., (2022), Morphology of Traveling Wave Disturbances Recorded in Eastern Siberia in 630 nm Atomic Oxygen Emission. *Atmosphere*, 13(2):198, <https://doi.org/10.3390/atmos13020198>.
- [5] Bakhoun, E., Toma, C., (2010), Mathematical Transform of Traveling-Wave Equations and Phase Aspects of Quantum Interaction, *Mathematical Problems in Engineering*, 10.1155/2010/695208.
- [6] Rafiq, M.N., Majeed, A., Inc, M., Kamran, M., (2022), New traveling wave solutions for space-time fractional modified equal width equation with beta derivative, *Physics Letters A*, Volume 446, 128281, ISSN0375-9601, <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2022.128281>.
- [7] Ozisik, M., (2022), On the optical soliton solution of the (1+1)-dimensional perturbed NLSE in optical nano-fibers, *Optik*, Volume 250, Part 1, 168233, ISSN 0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.168233>.
- [8] Ozisik, M., (2022), Novel (2+1) and (3+1) forms of the Biswas–Milovic equation and optical soliton solutions via two efficient techniques, *Optik*, Volume 269, 169798, ISSN 0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169798>.
- [9] Secer, A., (2022), Stochastic optical solitons with multiplicative white noise via Itô calculus, *Optik*, Volume 268, 169831, ISSN0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169831>.
- [10] Ozisik, M., Secer, A., Bayram, M., (2022), On the examination of optical soliton pulses of Manakov system with auxiliary equation technique, *Optik*, Volume 268, 169800, ISSN0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169800>.
- [11] Ozisik, M., Secer, A., Bayram, M., et al., (2022), On the analytical optical soliton solutions of perturbed Radhakrishnan–Kundu–Lakshmanan model with Kerr law nonlinearity, *Opt Quant Electron* 54, 371, <https://doi.org/10.1007/s11082-022-03795-5>.
- [12] Kudryashov, N., (2021), Optical solitons of the Chen–Lee–Liu equation with arbitrary refractive index. *Optik*. 247. 167935. 10.1016/j.ijleo.2021.167935.
- [13] Arnous, A., (2021). Optical solitons with Biswas–Milovic equation in magneto-optic waveguide having Kudryashov’s law of refractive index, *Optik*, 247. 167987. 10.1016/j.ijleo.2021.167987.
- [14] Ozisik, M., Secer, A., Bayram, M., (2022), Dispersive optical solitons of Biswas–Arshed equation with a couple of novel approaches, *Optik*, Volume 265, 169547, ISSN 0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169547>.
- [15] Onder, I., Ozisik, M., Secer, A., Bayram, M., (2022), On the optical soliton solutions of Kundu–Mukherjee–Naskar equation via two different analytical methods, *Optik*, Volume 257, 168761, ISSN 0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.168761>.
- [16] Triki, H., Jovanoski, Z., Biswas, A., (2014), Solitary Waves, Shock Waves and Singular Solitons of the Generalized Ostrovsky–Benjamin–Bona–Mahoney Equation. *Applied Mathematics & Information Sciences*. 8. 113-116. 10.12785/amis/080113.
- [17] Biswas, A., Zerrad, E., (2008), Soliton Perturbation Theory for the Gardner Equation, *Advanced Studies in Theoretical Physics*, 2.
- [18] Zayed, E.M.E., Alngar, M.E.M., Shohib, R.M.A., et al. (2022), Cubic–quartic optical solitons in birefringent fibers with Sasa–Satsuma equation, *Optik*, Volume 261, 169230, ISSN 0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169230>.
- [19] Zayed, E.M.E., Shohib, R.M.A., Alngar, M.E.M., et al., (2022), Dispersive optical solitons with Schrödinger–Hirota model having multiplicative white noise via Itô Calculus, *Physics Letters A*, Volume 445, 128268, ISSN 0375-9601, <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2022.128268>.
- [20] Biswas, A., Yildirim, Y., Yasar, E., et al., (2018), Dispersive optical solitons with Schrödinger–Hirota model by trial equation method, *Optik*, Volume 162, Pages 35-41, ISSN0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.02.058>.
- [21] Biswas, A., (2004), Theory of non-Kerr law solitons. *Applied Mathematics and Computation*, 153. 369-385. 10.1016/S0096-3003(03)00638-6.
- [22] Biswas, A., Ekici, M., Sonmezoglu, A., et al., (2018), Optical solitons in parabolic law medium with weak non-local nonlinearity by extended trial function method, *Optik*, Volume 163, Pages56-61, ISSN0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.02.103>.
- [23] Khater, M., Chu, Y., Attia, R., et al., (2020). Equation with Power-Law Nonlinearity. *Advances in Mathematical Physics*. 2020. 10.1155/2020/5809289.
- [24] Ozisik, M., Cinar, M., Secer, A., et al., (2022), Optical solitons with Kudryashov’s sextic power-law nonlinearity, *Optik*, Volume 261, 169202, ISSN 0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169202>.
- [25] Yildirim, Y., Biswas, A., Aneliya, D.M., et al., (2021), Cubic-quartic optical solitons having quadratic-cubic nonlinearity by sine-Gordon equation approach, *Ukrainian Journal of Physical Optics*, 22. 255-269. 10.3116/16091833/22/4/255/2021.
- [26] Radhakrishnan, R., Kundu, A., Lakshmanan, M., (1999), Coupled nonlinear Schrödinger equations with cubic-quintic nonlinearity: Integrability and soliton interaction in non-Kerr media, *Physical review. E, Statistical physics, plasmas, fluids, and related interdisciplinary topics*, 60. 3314-23. 10.1103/PhysRevE.60.3314.
- [27] Ullah, N., Rehman, H., Asjad, M., et al., (2020), Highly dispersive optical solitons with cubic law and cubic-quintic-septic law nonlinearities, *Results in Physics*, 17. 10.1016/j.rinp.2020.103021.
- [28] Triki, H., Kara, A.H., Biswas, A., et al., (2016), Optical solitons and conservation laws with anti-cubic nonlinearity, *Optik*, Volume 127, Issue 24, Pages 12056-12062, ISSN 0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.09.122>.
- [29] Zayed, E.M.E., Shohib, R.M.A., Alngar, M.E.M., et al., (2020), Solitons in magneto–optic waveguides with dual–power law nonlinearity, *Physics Letters A*, Volume 384, Issue 27, 126697, ISSN0375-9601, <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2020.126697>.

- [30] Ekici, M., Sonmezoglu, A., Biswas, A., (2021), Stationary optical solitons with Kudryashov's laws of refractive index, *Chaos, Solitons & Fractals*, 151. 111226. [10.1016/j.chaos.2021.111226](https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111226).
- [31] Fokas, A.S., (2006), Integrable nonlinear evolution partial differential equations in 4+2 and 3 + 1 dimensions, *Phys. Rev. Lett.* 96 (19) Article ID 190201.
- [32] Al-Amr, M.O., El-Ganaini, S.,(2017), New exact traveling wave solutions of the (4+1)-dimensional Fokas equation, *Computers & Mathematics with Applications*, Volume 74, Issue 6, Pages 1274-1287, ISSN 0898-1221, <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2017.06.020>.
- [33] Shahzad, S., (2021), New soliton wave structures of nonlinear (4 + 1)-dimensional Fokas dynamical model by using different methods, *Alexandria Engineering Journal*, Volume 60, Issue 1, Pages 795-803, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.10.009>.
- [34] Yulei, C., Jingsong, H., Yi C., et al., (2020), Reductions of the (4 + 1)-dimensional Fokas equation and their solutions. *Nonlinear Dynamics*, [10.1007/s11071-020-05485-x](https://doi.org/10.1007/s11071-020-05485-x).
- [35] Khatri, H., Gautam, M.S., Anand, M., (2019), A Localized and complex soliton solutions to the integrable (4+1)-dimensional Fokas equation. *SN Appl. Sci.* 1, 1070, <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1094-z>.
- [36] Kumar, S., Niwas, M., Osman, M., et al., (2021). Abundant different types of exact-soliton solutions to the (4+1)-dimensional Fokas and (2+1)-dimensional Breaking soliton equations, *Communications in Theoretical Physics*, 73. 105007. [10.1088/1572-9494/ac11ee](https://doi.org/10.1088/1572-9494/ac11ee).
- [37] Demiray, S.T., Bulut, H., (2018), A New Method for (4+1) Dimensional Fokas Equation, *ITM Web of Conferences*, 22. 01065. [10.1051/itmconf/20182201065](https://doi.org/10.1051/itmconf/20182201065).
- [38] Gomez, C.A., Hernan, G.G., Juan, C.H.R., (2017), On exact solutions for (4+1)-dimensional Fokas equation with variable coefficients, *Advanced Studies in Theoretical Physics*, Vol. 11, no. 12, 765-771, <https://doi.org/10.12988/astp.2017.71260>.
- [39] Verma, P., Kaur, L., (2021), New Exact Solutions of the (4+1)-Dimensional Fokas Equation Via Extended Version of $\exp(-\psi(\kappa))$ -Expansion Method. *Int. J. Appl. Comput. Math.*, 7, 104, <https://doi.org/10.1007/s40819-021-01051-0>
- [40] Ozisik, M., Secer, A., Bayram, M., et al., (2022), An encyclopedia of Kudryashov's integrability approaches applicable to optoelectronic devices, *Optik*, Volume 265, 169499, ISSN 0030-4026, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169499>.



Structure of Al/Organometallic Complex/p-Si Investigation of Electrical Properties

Hülya Doğan

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Electrical- Electronic Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5501-2194),
hdogan@cumhuriyet.edu.tr

(First received 31 October 2022 and in final form 17 December 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1196948)

ATIF/REFERENCE: Doğan, H. (2023). Structure of Al/Organometallic Complex/p-Si Investigation of Electrical Properties. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 64-73.

Abstract

Spin coating was used to deposit the interfacial layer of the organometallic complex (OM complex) as a thin film on p-Si. Al/OM complex/p-Si Schottky diode structure was achieved at room temperature after the required procedures. Current-Voltage (I-V) and Capacitance-Voltage (C-V) measurements of an interface-layered Schottky diode were used to compute the diode's characteristic parameters. Among the I-V readings, the barrier height (Φ_{b0}) and ideality factor (n) were computed, and the results were 0.797 eV and 1.615, respectively. The series resistance (R_s) was found and compared with the Cheung and Norde functions. Additionally, doping density (N_a) values and barrier height were found out from C-V measurements in the frequency range of 10 kHz to 1 MHz, and the Φ_{b0} values from I-V and C-V observations were compared. The difference in the barrier height values obtained from I-V and C-V was attributed to the inhomogeneity of the barrier height, the presence of the interfacial layer, the thickness of the interface layer and the series resistance effect, as well as the different nature of both methods.

Keywords: Organometallic complex, Schottky diode, Barrier height.

Al/Organometalik Kompleks/p-Si Yapısının Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

Özet

Organometalik kompleksi (OMcomplex) arayüzey tabakası olarak p-Si üzerinde ince bir film olarak biriktirmek için döndürmeli kaplama kullanıldı. Al/OMcomplex/p-Si Schottky diyot yapısı gerekli işlemlerden sonra oda sıcaklığında elde edilmiştir. Arayüz katmanlı Schottky diyotun Akım-Gerilim (I-V) ve Kapasitans-Gerilim (C-V) ölçümleri diyotun karakteristik parametrelerini hesaplamak için kullanıldı. I-V okumalarından bariyer yüksekliği (Φ_{b0}) ve idealite faktörü (n) hesaplandı ve sonuçlar sırasıyla 0.797 eV ve 1.615 oldu. Seri direnç (R_s), Cheung ve Norde fonksiyonları ile bulunarak karşılaştırıldı. Ayrıca 10 kHz ile 1 MHz frekans aralığında yapılan C-V ölçümlerinden doping yoğunluğu (N_a) değerleri ve engel yüksekliği bulunmuş ve I-V ve C-V gözlemlerinden ulaşılan Φ_{b0} değerleri karşılaştırılmıştır. I-V ve C-V den elde edilen engel yüksekliği değerlerinin farklılığı, engel yüksekliğinin homojen olmayışı, arayüzey tabakasının varlığı, arayüzey tabakasının kalınlığı ve seri direnç etkilerinin yanı sıra her iki yöntemin farklı tabiatına atfedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Organometalik kompleks, Schottky diyot, Bariyer yüksekliği.

1. Introduction

A metal/semiconductor (MS) contact can be either ohmic or a rectifier. The rectifier MS contact is called a Schottky barrier diode (SBD) and is a device based on majority carriers [1]. Schottky barrier diodes (SBDs) are basically formed by contacting metal and semiconductor with each other in high temperature, low-pressure environment with the least possible resistance. Electronic and optoelectronic devices like light-emitting diodes, solar cells, field effect transistors, electroluminescent devices, and sensors frequently make use of organic materials [2]. Organic materials are preferred because of their attractive properties such as easy synthesis and ease of processing, environmental stability, compatibility with flexible substrates, and low material consumption for molecular ultrathin films. In addition to these features, they offer the hope of cheaper photovoltaic power generation [3,4]. A thin organic layer placed between a metal-semiconductor (MS) structure and its components can change its electrical properties. According to earlier research, adding an organic thin interlayer between the metal and semiconductor can change the MS diode's barrier height [5-9].

Organometallic complex (OMC) compounds have received increased attention in recent investigations on electrical and optoelectronic devices. Numerous investigations have been made into the properties of ruthenium (II) complexes' thermal stability, photochemistry, photophysics, and electrochemistry [10]. Because it is known that the oxidation states of transition metals can be greatly altered by enhancing the electron transfer processes, research on molecular electronics involving transition metal complexes has generated a lot of interest [11]. The chemistry of organometallic complexes, which are used as valuable interlayers in charge transfer processes in metal-semiconductor (MS) diodes, is very important [12]. These characteristics have influenced the creation of various ruthenium (II) complex applications (e.g. artificial photosynthetic frameworks [13], sensors [14], and catalysis [15]). Dye-sensitized solar cells (DSCs) have garnered a lot of interest among these applications as a potential substitute for conventional silicon photovoltaic systems [16,17]. In particular, O'Regan and Gratzel [18] developed a dye-sensitized solar cell that uses a Ru (II) complex that is low cost and high in efficiency. Phthalocyanine complexes have been used to create several Schottky diodes and solar cells [19,20]. Schottky diode generation by a newly created, synthetic Mn hexamine (MnHA) organometallic complex (OMC) has been demonstrated by Ocak et al. [21]. Therefore, there is considerable interest in both the development of new organometallic compounds and the use of those compounds in the manufacture of devices.

Metal complexes are used in electronic applications due to their essential electrical and optical characteristics. Ru (II) complexes are crucial components because of their electronic, optical, and chemical characteristics. Using the drop-casting method, Tataroglu et al. [22] investigated the creation of an Au/Ruthenium (II) complex/n-Si photodiode. They [22] analyzed the electrical and photo response properties of Photodiode-based Ruthenium (II) complex dye with capacitance and conductivity measurements over a wide range of luminous intensity and frequency. By using the spin coating approach, Soyulu et al. [23] created a Ruthenium (II) complex with polydentate pyridine on the surface of a Si substrate. They [23] used illumination-dependent I-V measurements to demonstrate these photovoltaic characteristics. Doğan et al. [24] coated tris (2,2'-bipyridine) Ruthenium (II)-a complex by spin coating method as a thin layer on p-type crystalline silicon by rotating at 500 rpm for one minute in order to form Al/Ru(II)/p-Si photodiode. They [24] calculated the solar cell characteristics of this structure and also calculated the Schottky barrier height, ideality factor and series resistance value from the I-V characteristics in a dark environment.

In this study, Al/OM complex/p-Si diodes were formed using organometallic complex. Because it is a substance rich in π -bonds, the OM complex molecule with the closed formula (C₃₀H₂₄F₁₂N₆P₂Ru) (see figure 1) was selected as the interfacial layer in the metal/semiconductor structure. Certain diode parameters were obtained and compared by using capacitance-voltage (C-V), electrical current-voltage (I-V), and reverse bias C⁻²-V characteristics at room temperature.

2. Material and Method

2.1. Experimental Details

The p-type silicon semiconductor used in this study has a thickness of 525 nm, an orientation of (100), and a specific resistance that ranges from 1 to 10 cm. Chemical cleaning of the p-Si wafer was done using the RCA cleaning method [25]. After cleaning, a 100 nm layer of aluminium metal was produced using the thermal evaporation (deposition) method on the matter surface in preparation for the ohmic contact procedure. The sample was annealed for three minutes in an oven that had been warmed to 450 C under nitrogen gas to complete the ohmic contact treatment. Following the ohmic contact approach, a tris (2,2'- bipyridine) ruthenium (II) organometallic complex from Sigma Aldrich was used as an intermediary layer. Ethanol was used to create a Ru (II) (0.01 M) solution for this technique. the p-Si substrate's front surface was covered with 5 mL of an alcohol-based 0.001 M Ru (II) solution. After being spun onto the Si substrate for 30 seconds at 2000 revolutions per minute, to remove the solvent, the solution was then dried for 60 minutes at room temperature. A mask with a diameter of 1 mm was applied to the Ru (II) complex after it had formed, and aluminium metal was formed with a thickness of 100 nm by the thermal evaporation method. As a result, the Al/OM complex/p-Si/Al structure (figure 1) was obtained. All evaporation procedures were accomplished at 4×10^{-6} Torr pressure and under vacuum. The samples were measured for current-voltage (I-V) and capacitance-voltage (C-V) using a Keithley 4200 SCS.

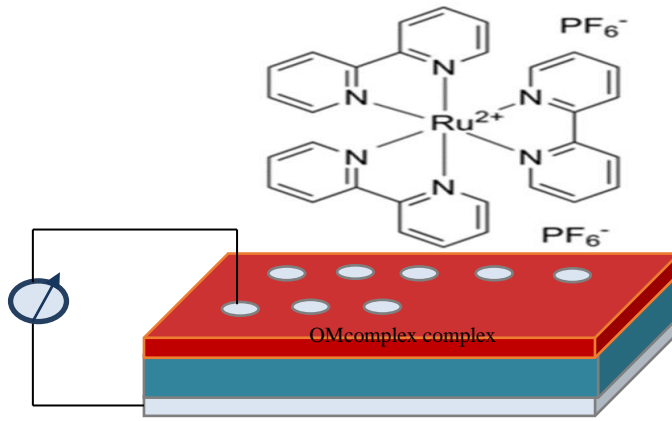


Figure 1. Chemical structure of the organometallic (OM) complex and device structure of Al/OM complex/p-Si/Al [24].

3. Results and Discussion

To determine the diode features of the Al/OMcomplex/p-Si diode, forward and reverse I-V measurements were taken in the ± 2 V range and their graphs are shown in Figure 2 (a) and (b). As can be observed from the sample's I-V characteristic, there is a potential barrier at the interface, and it exhibits a rectifying property [26]. Due to the diode's series resistance to the high values of the applied voltage, a bend has occurred in the graph. This limited the diode current (Fig. 2a).

Thermionic emission theory claims that the relationship between the current flowing through a Schottky barrier and the voltage applied to the contact is also taken into account by the series resistance (R_s) effect. Given as (1):

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

The ideality factor here is "n" and its value is unity for an ideal diode. For $V > 3kT/q$, the value of 1 in parentheses can be neglected in the equation. In the expression the Boltzmann constant is k, T is the ambient temperature in Kelvin, and I_0 is the extrapolated saturation current value.

Here, I_0 is given as follows.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp \left(-\frac{q\Phi_{b0}}{kT} \right) \quad (2)$$

q represents the electronic charge ($=1,6 \times 10^{-19} \text{C}$), V is for the applied voltage, A represents the effective diode area ($=7,85 \times 10^{-3} \text{cm}^2$), Φ_{b0} is the apparent barrier height with zero bias (BH), A^* is the p-type silicon's effective Richardson constant, which is $32 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$. Equation (1) is used to determine the diodes' ideality factors. You can get the following expression by using (1).

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (3)$$

In this expression, the value of the term $dV/d(\ln I)$ is obtained from the slope of the linear part on the right-feed side of the $\ln I$ -V graph (Fig. 2b). If Equation 2 is rearranged, the following expression is obtained for the zero-bias barrier height.

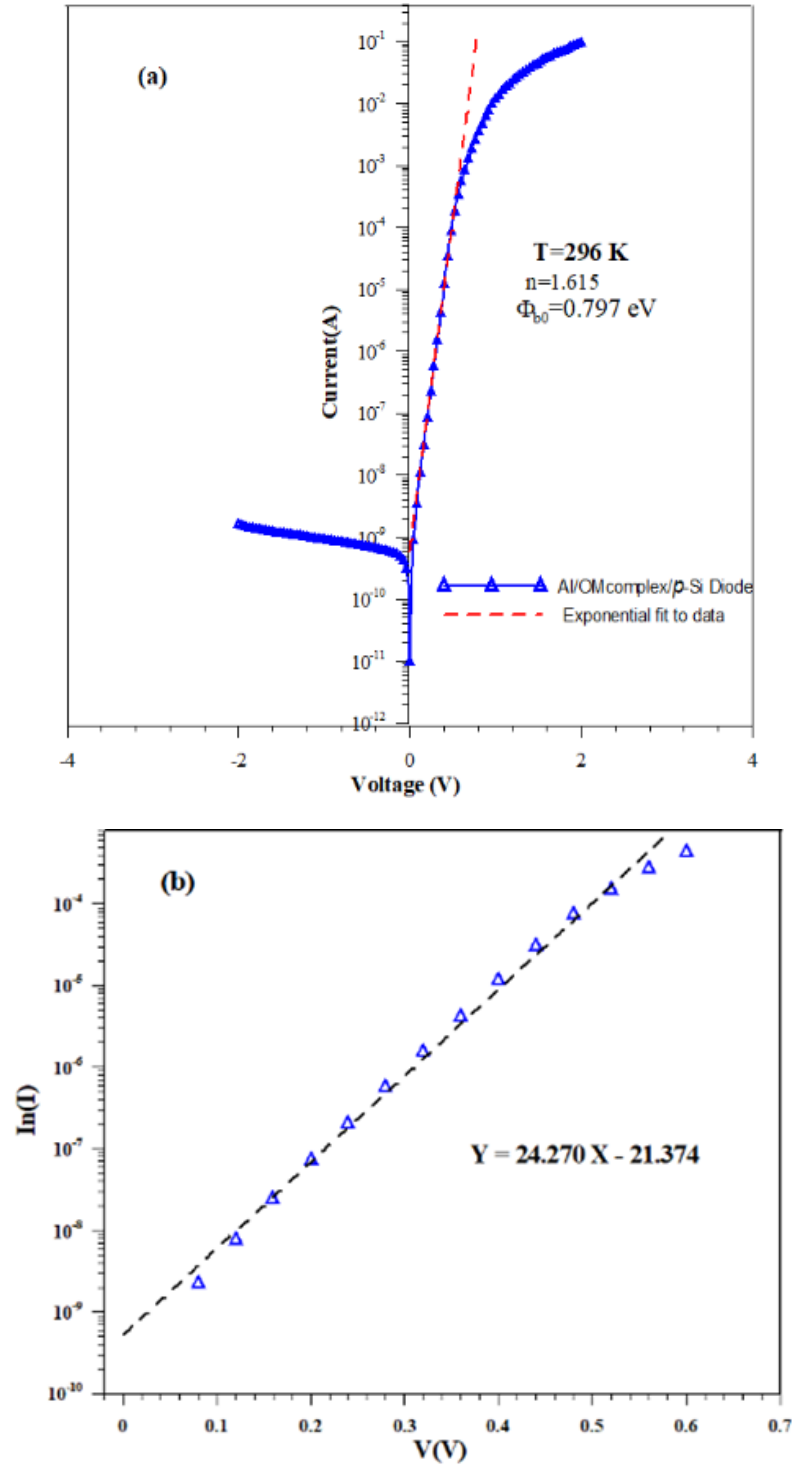


Figure 2. (a): Forward and reverse bias I – V plots of the Al/OMcomplex/p-Si Schottky contacts at 296 K. **(b)** ln (I)-V characteristic of Al/OMcomplex/p-Si Schottky diode in the range of 0.04V-0.60V

$$q\Phi_{b0} = kT \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (4)$$

A linear fit has been applied to the $\ln I$ -V graph, as seen in Figure 2b, using the so-called traditional I-V method. With the help of equations (2), (3) and (4), diode parameters n , Φ_{b0} and I_0 are obtained. These parameters are found as 1.615, 0.797 eV and 6.008×10^{-10} A respectively. The existence of barrier inhomogeneities, interfacial states between metal and semiconductor, and series resistance can be used to explain why this is the case [27-28].

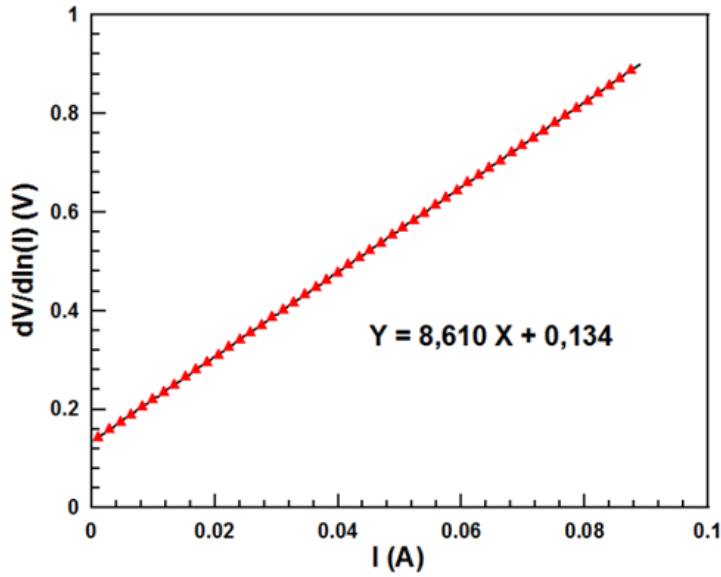


Figure 3. Experimental $dV/d\ln(I)$ vs. I plots of Al/OMcomplex/ p -Si at room temperature

The series resistance effect is one of the factors that contribute to the ideality factor being greater than 1. The series resistance effect is what causes the forward bias current-voltage curves to bend at high voltages. Equations (5) and (6) are called Cheung functions in the literature [29]. In accordance with Eq. 5, the slopes of the $dV/d(\ln I)$ - I plot were used to determine the values of R_s . As seen in Figure 3, the value of R_s was found to be 8,610 ohms and the ideality factor (n) to be 5,248.

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (5)$$

$$H(I) = V - \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (6a)$$

$$H(I) = n\Phi_b + IR_s \quad (6b)$$

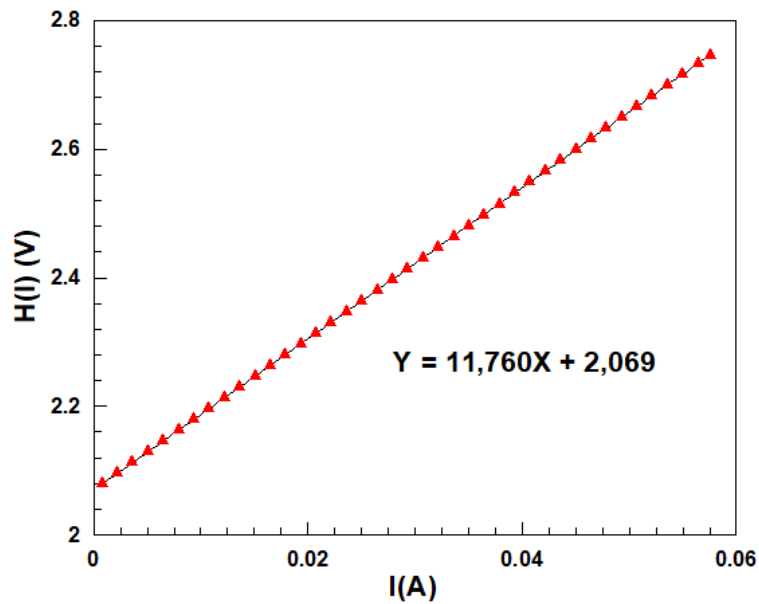


Figure 4. Experimental $H(I)$ vs. I plots of Al/OMcomplex/ p -Si at room temperature.

Considering the Cheung function in Equation (6a), the $H(I)$ - I graph of the diode is drawn. A linear fit was applied to the $H(I)$ - I graph in Figure 4 and Φ_b and R_s values were obtained with the help of Equation (6b). The barrier height value was calculated as 0.394 eV and the series resistance value was calculated as 11,760 ohm (see Table 1).

The ideality factor is more than one due to the Organometallic complex (Ru(II)) at the interface and the natural thin oxide layer on the p-Si. The presence of the OM complex as an interfacial layer changes the characteristic parameters of organic-inorganic structures, since it affects the series resistivity and bulk resistivity.

The Norde [30] approach is another technique used to figure out the Schottky diode's series resistance. The Norde method is not suitable for finding contact parameters in non-ideal ($n > 1$) situations, as it assumes that the contact between metal and semiconductor is ideal. For this reason, Bohlin [31] modified this method for non-ideal cases. Bohlin's generalized method makes it possible to calculate Φ_b and R_s values from a single I-V measurement taken at a constant temperature. This method defines the modified Norde function as follows.

$$F(V; \alpha) = \frac{V}{\alpha} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (7)$$

Here α is an arbitrary constant greater than the ideality factor. The Schottky diode parameters barrier height (Φ_b) and series resistance (R_s) are provided in equations 8 and 9, respectively, using the Norde function.

$$\Phi_b = F_{min}(V, \alpha) + \left(\frac{\alpha - n}{n} \right) \left(\frac{V_{min}}{\alpha} - \frac{kT}{q} \right) \quad (8)$$

$$R_s = \frac{kT(\alpha - n)}{qI_{min}} \quad (9)$$

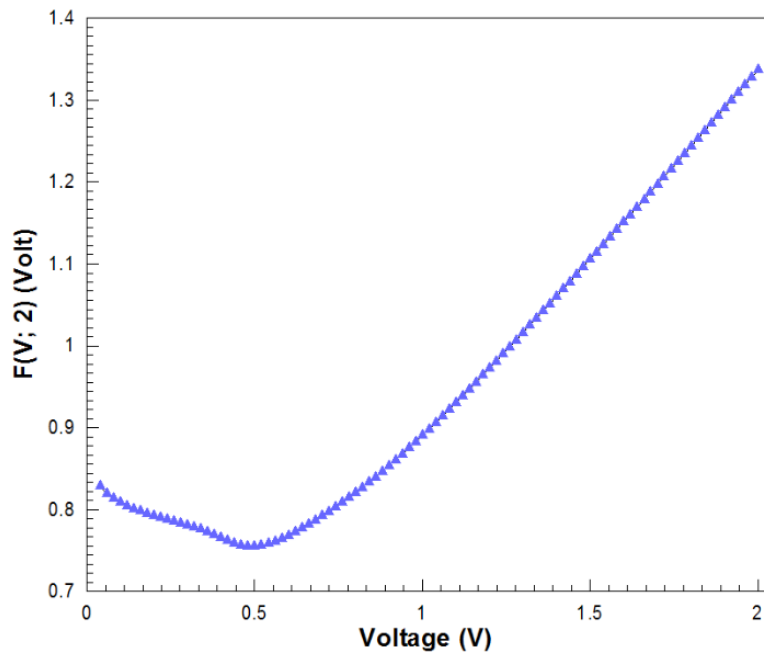


Figure 5. $F(V;2)$ - V curve obtained from I-V data of Al/OMcomplex/p-Si Schottky diode at room temperature.

Φ_b parameters, the $n=1.615$ value obtained from the traditional method was used. As seen in Table 1, the $R_s=78,003\Omega$ value obtained from this method is different from that obtained from the Cheung functions. Plots of auxiliary functions are used in Norde and Cheung's approach to evaluate the diode parameters more precisely. Despite this, the techniques also have flaws of their own. The n is thought to be quite close to unity in Norde's functions. For a real Schottky contact, this is not typically the case.

Table 1. Comparison of diode parameters obtained from different methods

Method		n	Φ_b (eV)	R_s (Ω)
Traditional	<i>I-V</i>	1,615	0,797	
Cheung	<i>dV/dlnI-I</i>	5,248		8,610
	<i>H(I)-I</i>		0,397	11,760
Norde	<i>F(V)-V</i>		0,850	78,003

Only a single point of Norde's function graph is used to calculate Φ_b . These are Norde's functions' main problems. As may be observed from the R_s values, we determined using both approaches above, these problems often result in an overestimation of the series resistor value compared to the values determined by the Cheung method (see Table 1).

In Figure 6, the capacitance-voltage (*C-V*) characteristic of the Al/OM complex /*p*-Si Schottky diode is drawn. There is a peak in the *C-V* features. With rising frequency, capacitance's peak value falls. As the frequency decreases, the capacitance begins to increase. It is a sign that the distribution of interface states is continuous. At low frequencies, the capacitance is equal to the product of the interface capacitance and the space charge capacitance, however at higher frequencies, the space charge capacitance accounts for the majority of the total capacitance [32-35]. At low frequencies, interface states are capable of following the AC signal. High frequencies, though, are impossible for it to follow ($f \geq 1$ MHz).

The *C-V* measuring method is another technique for calculating the barrier height. Figure 7 displays the C^{-2} -*V* graphs of the Al/OM complex/*p*-Si structure at 500 kHz, room temperature, and in the dark. A metal/space semiconductor's charge region's capacitance contains crucial details on the creation of the interface. Calculations of the carrier concentration in the semiconductor, the Fermi energy level, the diffusion potential, and the barrier height of the rectifier contact may all be made using capacitance measurements based on reverse bias voltage [36].

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_d + V)}{A^2 \epsilon_s \epsilon_0 e N_a} \tag{10}$$

ϵ_s denotes the semiconductor dielectric constant (for Si, $\epsilon_s=11.8$), ϵ_0 define the vacuum permittivity (8.85×10^{-14} F/cm), e denotes the electronic charge (1.6×10^{-19} C), V_0 denotes the diffusion potential, k denotes the Boltzmann constant, N_a denotes the concentration of ionized acceptors, T define the ambient temperature in Kelvin (K), and A denote the effective area of the diode.

The barrier height can be determined using the relationship shown below.

$$\Phi_{b0} = \frac{V_d}{n} + V_p \tag{11}$$

Here, V_p is the difference between the top of the valence band and the fermi level of the neutral part of *p*-type Silicon and is expressed as follows:

$$V_p = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_v}{N_a} \tag{12}$$

Here, N_v is used to represent the effective density of silicon's valence band, and $1.04 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-3}$ is used as the value.

According to Equation (10), when $C^{-2}=0$ in the C^{-2} -*V* graph, the diffusion potential was determined with the help of the V_0 shear potential, which is the point where the horizontal axis (voltage axis) and the line cross. Therefore, it is found as diffusion potential ($V_d=0.481$ V). The barrier height was found ($\Phi_{b0}=0.816$ eV) using Equations (11) and (12). In the dark, the barrier height determined by *C-V* measurements is greater than the barrier height determined by *I-V* observations ($\Phi_{b0}=0.81$ eV).

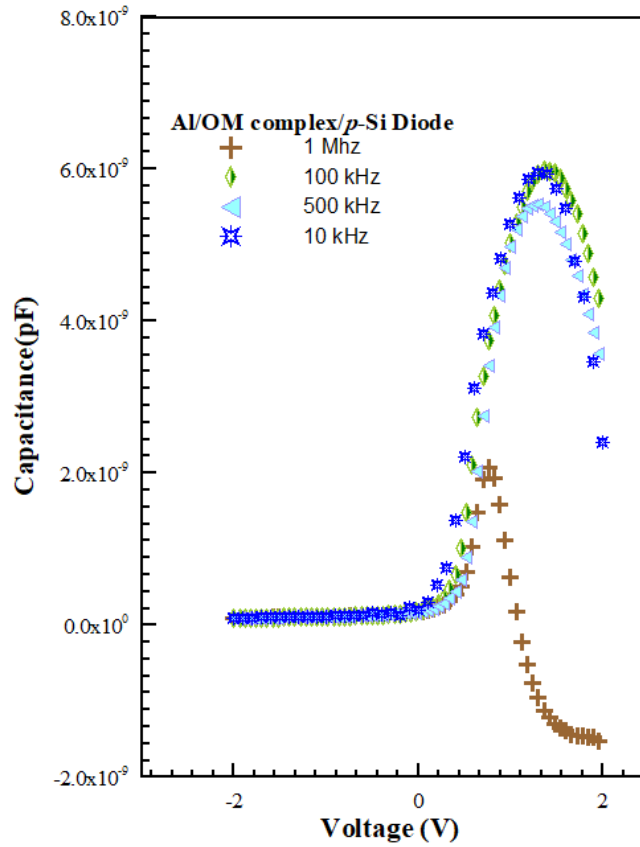


Figure 6. C-V curves of Al/OMcomplex/p-Si Schottky diode at different frequencies at room temperature.

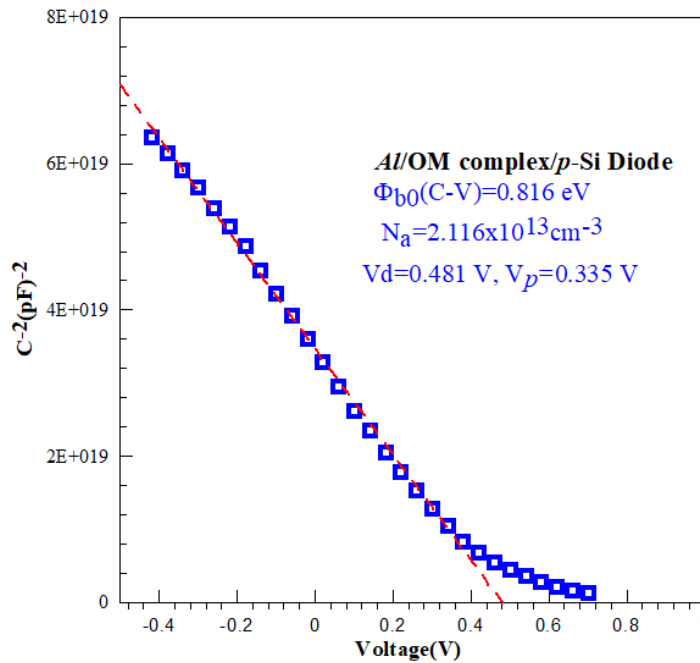


Figure 7. C^{-2} -V characteristic of Al/OM complex/p-Si diode at 500 kHz frequency.

Because of the barrier inhomogeneities in the interfacial layer thickness and interfacial charge distributions, the $\Phi_{b0}(C-V)$ value generated is larger than the $\Phi_{b0}(I-V)$ value. In previous studies on Ru (II) complex/p-Si, barrier heights were reported as 0.84eV [24].

4. Conclusion

By using the spin coating method and thermal evaporation, an Al/OMcomplex/p-Si Schottky diode is created. *I-V* and *C-V* measurements were made for the electrical characterisation of this structure in the dark and at room temperature. Cheung functions were also utilized to determine the barrier height and ideality factor values, which were determined from the *I-V* characteristics, to control their consistency. The ideality factor and barrier height were calculated using the appropriate feeding *I-V* characteristics, and they were determined to be 1.61 and 0.797 eV, respectively. From the Cheung functions, the ideality value was determined as 5.248; R_s as 8,610 ohms and 11,760 ohms; barrier height value as 0.397 eV. The value of $R_s=78.003$ ohms obtained from the Norde method was considerably larger than that obtained from the Cheung functions. It was discovered that 0.850 eV was the barrier height value determined by the Norde method. Additionally, it was seen that the diode capacitance reduced as the frequency increased when the *C-V* characteristics were looked at because the interface states were unable to follow the AC signal. The barrier height of 0.816 eV was determined using the *C²-V* characteristics at 500 kHz. Among these characteristics, the diffusion potential was determined as 0.481 V, the receiver density as $2.116 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, and the Fermi energy level as 0.335 V.

References

- [1] Türüt, A. (2020). On current-voltage and capacitance-voltage characteristics of metal-semiconductor contacts. *Turkish Journal of Physics*, 44(4), 302-347.
- [2] Shirota, Y. (2000). Organic materials for electronic and optoelectronic devices Basis of a presentation given at Materials Chemistry Discussion No. 2, 13–15 September 1999, University of Nottingham, UK. *Journal of Materials Chemistry*, 10(1), 1-25.
- [3] Gupta, R. K., Ghosh, K., & Kahol, P. K. (2009). Fabrication and electrical characterization of Schottky diode based on 2-amino-4, 5-imidazoledicarbonitrile (AIDCN). *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 41(10), 1832-1834.
- [4] Rajesh, K. R., & Menon, C. S. (2007). Study on the device characteristics of FePc and FePcCl organic thin film Schottky diodes: Influence of oxygen and post deposition annealing. *Journal of non-crystalline solids*, 353(4), 398-404.
- [5] Güllü, Ö., & Türüt, A. (2008). Photovoltaic and electronic properties of quercetin/p-InP solar cells. *Solar Energy materials and Solar cells*, 92(10), 1205-1210.
- [6] Temirci, C., Gülcan, M., Goksen, K., & Sönmez, M. (2011). Metal/semiconductor contact properties of Al/Co (II) complex compounds. *Microelectronic engineering*, 88(1), 41-45.
- [7] Gunduz, B., Yahia, I. S., & Yakuphanoglu, F. (2012). Electrical and photoconductivity properties of p-Si/P3HT/Al and p-Si/P3HT: MEH-PPV/Al organic devices: Comparison study. *Microelectronic Engineering*, 98, 41-57.
- [8] Antohe, S., Tomozeiu, N., & Gogonea, S. (1991). Properties of the Organic-on-Inorganic Semiconductor Barrier Contact Diodes In/PTCDI/p-Si and Ag/CuPc/p-Si. *physica status solidi (a)*, 125(1), 397-408.
- [9] Rajesh, K. R., & Menon, C. S. (2007). Study on the device characteristics of FePc and FePcCl organic thin film Schottky diodes: Influence of oxygen and post deposition annealing. *Journal of non-crystalline solids*, 353(4), 398-404.
- [10] Ashford, D. L., Brennaman, M. K., Brown, R. J., Keinan, S., Concepcion, J. J., Papanikolas, J. M., ... & Meyer, T. J. (2015). Varying the electronic structure of surface-bound ruthenium (II) polypyridyl complexes. *Inorganic Chemistry*, 54(2), 460-469.
- [11] Ilhan, S. (2008). Preparation and characterization of binuclear CuII complexes derived from diamines and dialdehydes. *Journal of Coordination Chemistry*, 61(18), 2884-2895.
- [12] Sánchez-Vergara, M. E., González-Aranzábal, S. A., Saucedo-Arriaga, M. A., Ortiz, A., Alvarez, J. R., & García-Montalvo, V. (2010). Electrical and optical properties of (PPh₄)₂ [Fe (CN) 5NO] non-crystalline thin films prepared with the vacuum thermal evaporation technique. *Journal of non-crystalline solids*, 356(4-5), 244-249.
- [13] MK, C., & Iha, H., (2009). NY Templeton JL Meyer TJ Acc. *Chem. Res*, 42, 1954-1965.
- [14] Beer, P. D., & Cadman, J. (2000). Electrochemical and optical sensing of anions by transition metal based receptors. *Coordination Chemistry Reviews*, 205(1), 131-155.
- [15] Argazzi, R., Iha, N. Y. M., Zabri, H., Odobel, F., & Bignozzi, C. A. (2004). Design of molecular dyes for application in photoelectrochemical and electrochromic devices based on nanocrystalline metal oxide semiconductors. *Coordination Chemistry Reviews*, 248(13-14), 1299-1316.
- [16] Kapilashrami, M., Zhang, Y., Liu, Y. S., Hagfeldt, A., & Guo, J. (2014). Probing the optical property and electronic structure of TiO₂ nanomaterials for renewable energy applications. *Chemical reviews*, 114(19), 9662-9707.
- [17] Fakhruddin, A., Jose, R., Brown, T. M., Fabregat-Santiago, F., & Bisquert, J. (2014). A perspective on the production of dye-sensitized solar modules. *Energy & Environmental Science*, 7(12), 3952-3981. [18] B. O'Regan, M. Gratzel, Nature 353 (1991) 737.
- [19] R.Koeppel, N.S.Sariciftci, P.A.Troshin, R.N.L.Yubovskaya, Applied Physics Letters 87 (2005) 244102.
- [20] Yakuphanoglu, F. (2007). Electronic and photovoltaic properties of Al/p-Si/copper phthalocyanine photodiode junction barrier. *Solar energy materials and solar cells*, 91(13), 1182-1186.
- [21] Ocak, Y. S., Ebeoğlu, M. A., Topal, G., & Kılıçog, T. (2010). Temperature dependent electrical characteristics of an organic-inorganic heterojunction obtained from a novel organometal Mn complex. *Physica B: Condensed Matter*, 405(9), 2329-2333.
- [22] Tataroğlu, A. D. E. M., Dayan, O., Özdemir, N., Serbetci, Z., Al-Ghamdi, A. A., Dere, A., ... & Yakuphanoglu, F. (2016). Single crystal ruthenium (II) complex dye based photodiode. *Dyes and Pigments*, 132, 64-71.
- [23] Soylu, M., Orak, I., Dayan, O., & Serbetci, Z. (2015). A novel photodiode based on Ruthenium (II) complex containing polydentate pyridine as photocatalyst. *Microelectronics Reliability*, 55(12), 2685-2688. Mol. Cryst. Liq. Cryst. Sci. Technol. Sect. A, 380 (2002), p. 45

- [24] Doğan, H., İkrım, O., & Yıldırım, N. (2017). Photovoltaic and Electrical Properties of Al/Ruthenium (II)-complex/p-Si Photodiode. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 38(2), 329-341.
- [25] Kern, W. (2018). Overview and evolution of silicon wafer cleaning technology. In *Handbook of silicon wafer cleaning technology* (pp. 3-85). William Andrew Publishing.
- [26] Tataroğlu, A. (2013). Comparative study of the electrical properties of Au/n-Si (MS) and Au/Si₃N₄/n-Si (MIS) Schottky diodes. *Chinese Physics B*, 22(6), 068402.
- [27] Wu, X., Schmidt, M. T., & Yang, E. S. (1989). Control of the Schottky barrier using an ultrathin interface metal layer. *Applied physics letters*, 54(3), 268-270.
- [28] Nicollian, E. H. (1982). JR Brews in MOS Physics and Technology.
- [29] Cheung, S. K., & Cheung, N. W. (1986). Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Applied physics letters*, 49(2), 85-87.
- [30] Norde, H. (1979). A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. *Journal of applied physics*, 50(7), 5052-5053.
- [31] Bohlin, K. E. (1986). Generalized Norde plot including determination of the ideality factor. *Journal of Applied Physics*, 60(3), 1223-1224.
- [32] Güçlü, Ç. Ş., Özdemir, A. F., & Aldemir, D. A. (2019). Mo/n-Si Schottky Diyotların Akım-Voltaj ve Kapasite-Voltaj Karakteristiklerinin Analizi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 2142-2155.
- [33] A. Chelkowski, *Dielectric Physics*, Elsevier, Amsterdam, 1980, pp. 97-105.
- [34] Ho, P. S., Yang, E. S., Evans, H. L., & Wu, X. (1986). Electronic states at silicide-silicon interfaces. *Physical review letters*, 56(2), 177..
- [35] Wu, X., Schmidt, M. T., & Yang, E. S. (1989). Control of the Schottky barrier using an ultrathin interface metal layer. *Applied physics letters*, 54(3), 268-270.
- [36] Wilmsen, C. W., 1985. *Physics and Chemistry of III-V Compound Semiconductor Interfaces*. Plenum Press, New York



Andız (*Juniperus drupacea*) Pekmezinin Üretimi, Çeşitli Fizikokimyasal ve Biyoaktif Özellikleri

Kübra Özkan^{1*}, Güliz Türkmenoğlu², Hüseyin Fakir³, Osman Sağdıç⁴

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0580-5804), kubraozkan1907@gmail.com

² Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Akseki Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Antalya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3049-3216), guliz.turkmenoglu@alanya.edu.tr

³ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6606-8011), huseyinfakir@isparta.edu.tr

⁴ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2063-1462), osagdic@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 7 Kasım 2022 ve Kabul Tarihi 24 Aralık 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1200090)

ATIF/REFERENCE: Özkan, K., Türkmenoğlu, G., Fakir, H. & Sağdıç, O. (2023). Andız (*Juniperus drupacea*) Pekmezinin Üretimi, Çeşitli Fizikokimyasal ve Biyoaktif Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 74-81.

Öz

Pekmez, ülkemizde yüzyıllardır yaygın olarak ve severek tüketilen geleneksel bir gıdadır. Son yıllarda modernize üretim yöntemlerinin geliştirilmesiyle pekmez tüketim miktarı artmıştır. Pekmezin üretim teknolojisi gelişmesine karşın, fizikokimyasal ve biyoaktif özellikleri elde edildiği hammaddeye göre değişmektedir. Genellikle üzüm, dut, armut, elma gibi diğer bazı meyveler pekmez üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, Toros dağlarında doğal olarak yetişen yabancı bir ağaç olan andız (*Juniperus drupacea*)'ın meyveleri de bölge halkı tarafından pekmez üretiminde kullanılmaktadır. Sınırlı bir üretimde olan andız pekmezinin sahip olduğu bazı fonksiyonel özellikteki bileşenler sebebiyle bir gıda maddesinden ziyade tedavi amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Bu derlemede, andız meyvesi ve pekmezinin çeşitli özellikleri, pekmezin geleneksel üretimi ve insan sağlığına etkisi üzerine mevcut bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Andız, pekmez, geleneksel gıda, sağlık, beslenme.

Production of Andız (*Juniperus drupacea*) Molasses, Its Various Physicochemical and Bioactive Properties

Abstract

Molasses is one of the traditional foods widely produced and consumed in Turkey from the past to the present. With the development of production technologies and the increasing interest in nutrient-rich natural products, it has come to a significant position today. Despite the development of production technology, Molasses' physicochemical and bioactive properties change according to the raw material from which it is obtained. Generally, grapes, mulberry, pear, and apple are used as raw materials in molasses production. Moreover, andız (*Juniperus drupacea*) is a tree that grows naturally in the Taurus Mountains in Turkey, and molasses is made from its fruits by local farmers. This review aims to give information about the contribution of andız fruit and molasses to our country's economy, its traditional production, and its effects on health.

Keywords: Andız, molasses, traditional foods, health, nutrition.

* Sorumlu Yazar: kubraozkan1907@gmail.com

1. Giriş

Ormanlar, yenilenebilir ve sürdürülebilir nitelikteki doğal kaynaklardır. Orman ürünleri, sosyal, ekonomik ve kültürel hizmetlerinin yansira koruyucu-çevresel işlevlere de sahiptirler. Bu yüzden ülkelerin sürdürülebilir kalkınmasında; ormanların korunması ve toplumdaki her bireyin optimum olarak sağlayabileceği şekilde planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir (Akıncı ve Budak, 2020). Türkiye'deki ormanların %42,3'ü ekonomik fonksiyon, %48,5'i ekolojik fonksiyon, %9,2'si ise sosyokültürel fonksiyon ile dağılım göstermektedir. Ormanlık alanın %32'sini yapraklı ormanlar (kızılağaç, kestane, gürgen kayın, meşe gibi), %48'ini ibreli ormanlar (karaçam, kızılçam, sarıçam, göknar, ladin, sedir gibi), %20'sini ise ibreli+ yapraklı karışık ormanlar kaplamaktadır. Ormanlık alanlarda en fazla yayılış gösteren ağaç türü meşe (%29,42) olmakla birlikte, onu sırasıyla; kızılçam (%22,74), karaçam (%18,31), kayın (%8,19), ardıç (%6,42), sarıçam (%6,15), göknar (%2,23), sedir, ladin, fıstıkçami, kızılağaç, kestane, gürgen, sahilçami, kavak, fındık, defne ve dişbudak ağaç türleri takip etmektedir (OGM, 2020).

Juniperus drupacea (Labill) Antoine ve Kotschy (Andız), *Cupressaceae* familyasının *Arceuthos* cinsinin tek üyesidir. Bu türün ilk tanımlaması, Pierre Belon'un Toros Dağları'ndaki gezisi sırasında gerçekleşmiştir (Akıncı vd., 2004). Andız bir cinsli olmakla birlikte, erkek ve dişi çiçekleri farklı ağaçlarda yer almaktadır. Bazı botanikçiler tarafından andız, ardıçların (*Juniperus*) üyesi olarak kabul edilirler. Fakat kozalak yapısı ve pullarla örtülü tomurcuklara sahip olması ve tohumların serbest olmayışı sebebiyle ardıçlardan farklıdır. Andız, cinsinde yaşayan tek türdür (Çapa, 2017). Aynı zamanda ardıç türlerinin görsel açıdan etkileyici gövde formlarına sahip olması peyzaj alanında tercih edilmesine olanak sağlamaktadır. Odonları oldukça değerli ve bitkinin çeşitli organlarının içerdiği uçucu bileşenler (limonen, α -pinen, β -mirsen, steroller, lignanlar, monoterpenler, *p*-benzokinon vb.) sayesinde birçok alanda (tıp, gıda, kozmetik vb.) kullanılmaktadır (Çizgen vd., 2020).

Dünyada yalnızca Doğu Akdeniz (Lübnan, Suriye) ve Güney Ege bölgelerinde (Türkiye ve Yunanistan) yayılış gösteren bu tür (*J. drupacea*) zengin içeriği ve kendine has duyuşal özelliklerine rağmen yeterli düzeyde değerlendirilememektedir (Yavuz ve Yılmaz, 2017). *J. drupacea*'nın Türkiye'deki muhafazası da ardıç türlerini ormanın korunan unsurları olarak içeren orman mevzuatı kapsamındadır. *J. drupacea* türü Avrupa ve Lübnan'daki popülasyonlarında tehdit altında iken, Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde kurulmuş 11 milli parkta da koruma altındadır (Walas vd., 2019). **Şekil 1**'de *J. drupacea*'nın coğrafi referanslı veriler temelinde coğrafi dağılımı verilmiştir.

Andızda dişi ve erkek organlar tepe tacının bütününe yayılmakta ve bu tahta çok fazla miktarda kozalak meydana gelmektedir. Nisan-Mayıs aylarında andız çiçeklerinin tozlaşması gerçekleşmektedir. Mayıs ayından itibaren tozlaşmış dişi çiçekler hızlı bir büyüme sürecine girmektedir. Kozalak ve tohum, tozlaşma ve döllenmeden sonraki ikinci yılda olgunlaşmaktadır. Andız tohumları, coğrafi yayılış alanına bağlı olmakla birlikte genelde en erken dönem olan ekim ayında, 17-18 ayda olgunlaşmaktadır (Gültekin vd., 2004).

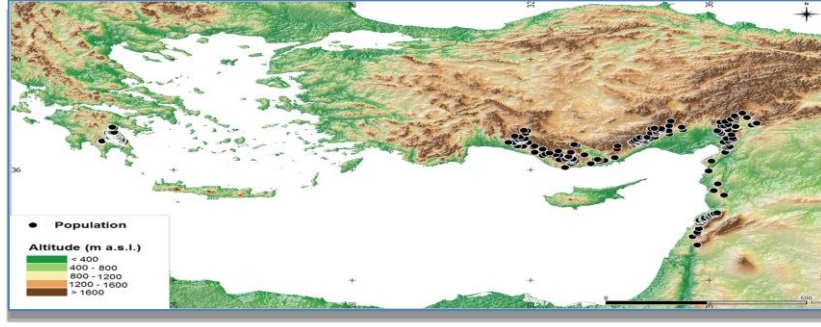
Juniperus Türkiye'nin hemen hemen tüm bölgelerinde doğal olarak yaygın yayılış gösterir ve önemli ekonomik ve genetik kaynaklardır. Ülkemizde doğal yayılış gösteren 8 türü bulunmaktadır. Bunlar; *Juniperus communis*, *J. oxycedrus*, *J. drupacea*, *J. excelsa*, *J. phoenicea*, *J. foetidissima*, *J. sabina* ve *J. oblonga* (Güvendiren, 2015). Akdeniz Bölgesine özgü olan *J. drupacea*, yüksekliği 10 ile 20 m arasında olan bir ağaçtır. Yaprakları iğneye benzer, her biri 15-25 mm uzunluğunda 3 tur halindedir. **Şekil 2**'de görüldüğü gibi, meyveleri küre şeklinde oval, başlangıçta yeşilimsi ve olgunlaştığında mavi-mor ile kahverengidir (Akıncı vd., 2004).

Yapılan tarihi araştırmalar ve kazı çalışmaları Uygurların 9. asırda Türkistan'da üzüm yetiştirdiğini ortaya koymaktadır. Bu meyveden üretilen pekmez ve şarabın her ikisi de Bor adı altında ifade edilmektedir. Türkler, pekmez geleneğini Orta Asya'dan Anadolu'ya getirmiş ve bunu yerleşmiş kültürle birleştirerek bir yaşam şekli ortaya koymuştur (Altıntaş, 1999; İncemehmetoğlu, 2021).

15. ile 17. yüzyıllardaki Osmanlı sarayında, üzüm pekmezinin haricinde Edirne'den gelen gül pekmezi de tüketilmekteydi. Osmanlı yıllığında (1890) Zile pekmezinin üretildiği ve "gayet nefis ve meşhurdu" diye söz edilmekteydi (Yaylacı ve Mertol, 2021). Pekmez ile ilgili Türkçe yazılı kaynak ancak 1940'lı yıllarda yazılmaya başlanmıştır. Bu tarihte geleneksel pekmez üretim yöntemleri belirtilerek, değişik bölgelerden sağlanmış olan pekmez çeşitlerinin içerikleri araştırılmıştır. 1940'lı yıllardan sonra şeker pancarı, şeker darısı, üzüm ve karpuz pekmezleri üzerine yapılmış bazı araştırmalara rastlanmıştır (Dönmez, 2015). İlk olarak 1961 yılında basılan Anadolu yemek kültürü derlemelerindeki helva tariflerinde bazen sadece pekmezin, bazen de hem pekmezin hem de şekerin (bazen de sadece şekerin) adı geçmektedir (Kara, 2019).

Şekerden önce pekmez ile bal, Türk tatlılarının esasını oluşturuyordu. Bundan dolayı, geleneksel beslenme kültürümüzün binlerce yıldır en önemli tatlı besinlerinden biri pekmez olmuştur. Gıdaların daha uzun ömürlü olması için geliştirilen pekmez; hem üzüm ve üzüm şirasının dayanıklı hale getirilmesini sağlamakta, hem de şeker ve tatlı ihtiyacının karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Eski dönemlerde insanların temel besin kaynaklarından biri olan pekmez değişen dünya düzeninde daha az üretilen bir gıda haline gelmiştir. Tarımın dışı açılmadığı dönemlerde kırsal alanda, kent kültürünün tam olarak gelişmediği ortamlarda aile halkı üzüm ve üzüm ürünleri ihtiyacını karşılamak amacıyla küçükte olsa bir kağıt yetiştirmekteydi. Buna ek olarak, kırsal alanda yaşayanların yaşam standartlarının değişmesi, çok sayıda köy yerleşim birimlerinden büyük şehirlere göç etmesi ve şeker talebin artması gibi faktörler pekmez üretimini azaltmıştır.

İnsanoğlu yaşadıkları çevre koşullarına bağlı olarak çok çeşitli besin ve bunlara ait saklama ve kullanım metotlarını geliştirmiştir. Türkiye halk kültürü ürünleri bakımından çok zengin bir kültür hazinesine sahiptir. Böylece, ülkemizin iklim ve diğer koşullarına bağlı olarak her bölgesinde pekmeze işlenen bir meyve bulunmaktadır. Andız, Akdeniz Bölgesi'nde Toros Dağları'nda (Antalya-Akseki 1500 m; Mersin-Silifke-Gökbelen Yaylası 1050 m; Konya'da Karaman-Ermenek arasında) bol miktarda bulunan bir ağaç türü olup bölge halkı tarafından meyveleri pekmeze işlenmektedir (**Şekil 2**).



Şekil 1. *J. drupacea*'nın coğrafik dağılımı (Figure 1. Geographical distribution of *J. drupacea*) (Walas vd., 2019)

Sert bir çekirdek, andız ağacı (*J. drupacea*) meyvelerinin içerisinde bulunmakta ve bu çekirdeklerden andız tespihi, andız kozalaklarının dış kabuklarından ise andız pekmezi yapılmaktadır. Diğer bir deyişle, andızın odunundan andız katranı, tohumlarından andız tespihi, "andız giliği" denilen meyvelerinden/kozalaklarından ise pekmez yapılmaktadır. Genç kozalakların su ile kaynatılması sonucu geleneksel andız pekmezi veya Enek pekmezi elde edilmektedir. Zahmetli bir yapıyı olduğundan üretimi sınırlı miktarda yapılmaktadır (Özdemir ve Bal, 2014; Alçay vd., 2018). Andız pekmezi Antalya, Mersin, Hatay, Osmaniye ve Kahramanmaraş illerinde daha çok tüketilmektedir. Ayrıca, yapısında bulunan polifenollerden dolayı andız pekmezi buruk bir tada sahiptir. Andız meyvesinden üretilen pekmezin yıllık üretim miktarına dair literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu makalede andız meyvesi ve pekmezi hakkında genel bilgiler verilmiş; ülkemiz ekonomisine katkısı, yöre halkı tarafından geleneksel üretimi, çeşitli özellikleri, sağlık açısından ve beslenmemizdeki öneminden bahsedilmiştir.



Şekil 2. Andız meyvesi ve pekmezi (Figure 2. Andız fruit and molasses)

2. Pekmez Üretim Yöntemleri

2.1. Geleneksel Yöntem ile Pekmez Üretimi

Pekmez üretimi günümüzde, genellikle geleneksel metotlarla, bireysel üreticiler ve küçük işletmeler tarafından yapılmakta ve dolayısıyla yeterince endüstrileşme sağlanamamaktadır. Uzun süre açık kazanlarda kaynatılarak yapılan pekmezlerde zararlı bileşiklerin oluşması ve bazı besin değerlerin kaybolması geleneksel pekmez üretimindeki en büyük problemlerdendir. Geleneksel yöntemde pekmez üretiminde kabuksuz ve taze meyveler kullanılacaksa yıkama işlemi sonrası, beton veya tahta teknelere alınan meyveler, suyun/şıranın çıkarılması amacıyla işçiler tarafından ezilip parçalanmakta veya çuvallara konularak temel bir pres sisteminden geçirilmektedir (Erbil, 2020). Bundan dolayı çeşitli şekillerde çıkarılan şıra, pekmez toprağı eklenmesinden sonra ısıtılmakta ve süzülerek kazanlarda açık ateş üzerinde koyulaştırılana dek pişirilmektedir. Pişirmenin başlangıcında şıra yüzeyinde oluşan ve kef adı verilen köpüklerin yayvan kepeçlerle ortamdan alınmasıyla berrak bir pekmez görünümü sağlanmaktadır. Kaynama ilerledikçe şıra içten içe kızarır ve kendine has pekmez kokusu yayılmaktadır (Yılmaz ve Uçar, 2017).

2.2. Modern Yöntem ile Pekmez Üretimi

Geleneksel ve modern yöntemlerin her ikisinde de kurutulmuş meyvelerden veya sert/kabuklu meyvelerden (andız gibi) pekmez yapılacaksa meyveler parçalandıktan sonra suda belirli süre bekletilerek presleme öncesi kısmi bir ekstraksiyon işlemine tabi tutulmaktadır (Erbil, 2020). Endüstriyel işletmeye gelen meyveler yıkanır, ayıklanır ve tane meyveler gerekli değirmende parçalandıktan sonra prese gelerek şırası çıkarılır. Şıra santrifüjlenerek, kaba tortusundan ayrılır. Dinlenme kazanlarına alınan şıraya pekmez toprağı eklenerek bekletilir. Şıraya durultma işlemi yapılarak vakum kazanına alınır. İstenilen kuru madde miktarı elde edilince ambalajlanma işlemine geçilir. Böyle üretilen pekmezler 60-70°C'yi geçmediğinden karamelleşme meydana gelmez. Pekmezin rengi güzel olduğu gibi yanık tat ve koku da hissedilmemektedir (Yılmaz ve Uçar, 2017). Modern yöntemle pekmez üretim aşamaları özetle; (a) meyve, ayıklanma ve yıkama, (b) parçalama ve mayşe eldesi, (c) ekstraksiyon/şıra eldesi, (d) kaba filtrasyon, (e) asit giderme (pekmez toprağı ilavesi), (f) durultma (g) filtrasyon, (h) berraklaştırma, (i) konsantrasyon ve ambalajlama şeklindedir (Dönmez, 2015).

2.3. Geleneksel Yöntemle Andız Pekmezinin Üretimi

Andız pekmezi için Türk Gıda Kodeksi ve Türk Standartlarında herhangi bir tebliğ/standart bulunmamaktadır. Ancak andız pekmezi, Türk Gıda Kodeksi Üzüm Pekmezi Tebliği'nde verilen pH değerine göre değerlendirilirse tatlı pekmez sınıfına girmektedir. Fakat diğer pekmezlerden farklı olarak andız pekmezi daha buruk bir tada sahiptir. Bu buruk tadın meyvenin ekstraksiyonu boyunca ekstrakta geçen polifenollerden kaynaklandığı bilinmektedir (Turhan vd., 2007). Akdeniz Bölgesi'nde Toros Dağları'nda yetişen iğneli andız ağacının olgunlaşmış meyveleri (kozalakları) sonbahar ayında toplanmakta ve başta maddi güçlük çeken işsizler olmak üzere yöre halkı tarafından doğrudan toplanan bu meyveler (kozalaklar) ev ekonomisine katkı sağlamaktadırlar.

Pekmez üretiminde kullanılan kozalakların olgunlaşma kalitesi pekmezin beslenme kalitesine katkı sağlamaktadır. Tür farklılığı, yetiştirilme şartları, olgunlaşma evresi gibi parametrelerden andız meyvesindeki birçok biyoaktif bileşen oldukça etkilenmekte ve bu parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedirler. Başlangıçta yeşilimsi renge sahip olan meyve olgunlaşma (1-2 yıl) ile birlikte mavi-menekşe renginden kahverengine dönüşmektedir (Akinci vd., 2004; Güvendiren, 2015; Ereli, 2021).

Kozalaklar dört yöntemle toplanabilmektedir. (1) Ekim-Kasım aylarında, ağaçlardan elle tek tek toplanması. (2) Ekim-Kasım aylarında, bir branda ağaçların altına serilip ağaçların sopayla çırpılması. (3) Kasım sonu ve aralık aylarında silkme yöntemi kullanılarak toplanması (böylece olgun kozalaklar kolayca dökülürken bir yaşlı kozalaklar silkme daha az dökülür). (4) Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında kozalakların doğal olarak dökülmesinin beklenmesi ve ağaç diplerinden toplanması (Andız kozalağının toplanmasında en ekonomik yöntem budur) (Gültekin, 2014). Ağaçtan ve yerden toplanan meyveler çuvalara doldurularak pekmez yapılacak olan yere getirilir. Andızın pekmez aşamasına gelmesi en az dört gün sürmektedir. 10 kg pekmez üretmek için ortalama 100 kg andız suyu kullanılmaktadır. Toplanan kozalaklar, andız kozalağı kırma makinesinden geçirilmekte ve bu şekilde kırılıp un haline getirilmektedir. Kırılan bu materyal 2 gün toplamda 48 saat boyunca suda bekletilmektedir. Suda bekletildikten sonra elek ile süzülüp kaynatılmaktadır. Kaynatma işlemi, pekmezde arzu edilen kıvam elde edilinceye kadar devam etmekte ve kaynatma anında sıvı yüzeyinde oluşan köpükler delikli kevgir ile uzaklaştırılmaktadır. Kaynatma suretiyle kazan içindeki suyun önemli bir bölümünün buharlaşmasıyla pekmez oluşur (İzgi, 2011; Alçay vd., 2018). Türkiye'de geleneksel andız pekmez üretim yöntemi **Şekil 3**'te özetlenmiştir.

Genel olarak andız pekmezi üretiminde, olgunlaşmış ve etli kozalaklar seçilmektedir. Yöresel farklılıklar gözlenirse de keçiboynuzu pekmezi yapımına benzer olarak andız pekmezi üretimi 9 aşamadan oluşmaktadır: (1) kozalakların/meyvenin yıkanması, (2) kabuk kırma/taneleme, (3) suda bekletme, (4) ezme, (5) presleme, (6) durultma, (7) asitlik giderme, (8) buharlaştırma ve (9) ambalajlama (Erbil, 2020).

3. Andız Pekmezinin Beslenmemizdeki Önemi

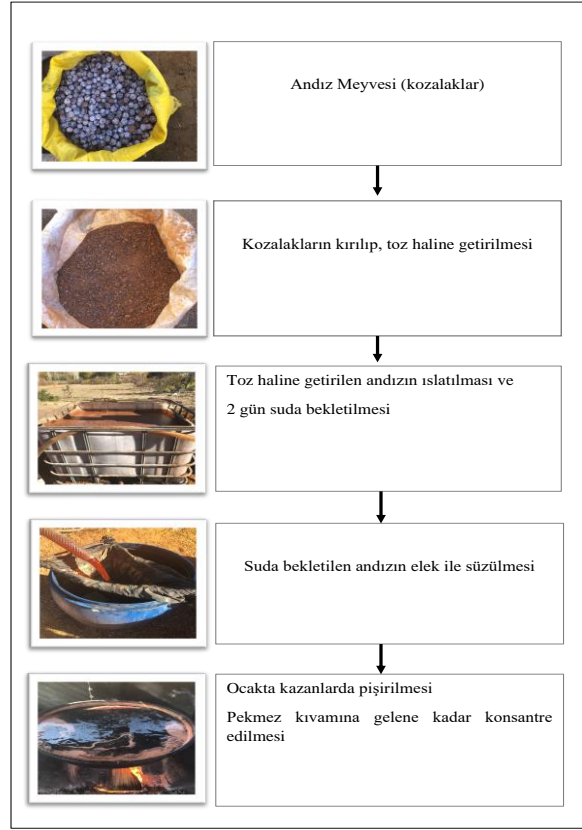
Pekmez eski yıllardan beri insanların temel besin kaynaklarından biri olmasına rağmen, değişen dünya düzeni karşısında daha az tüketilir hale gelmiştir. Fakat pekmez içeriğinin, gelişen analiz teknikleriyle belirlenmesi sonucunda önemli bir besin kaynağı olduğu daha çok anlaşılmıştır. Pekmez, geleneksel yöntemlerle taze meyvelerin işlenerek, şeker oranının %18-20'den %60-75'e yükseltmesiyle dayanıklı hale dönüştürülmesi esasına dayanarak hazırlanmaktadır. Beslenme bakımından önemi daha çok içerdiği şekerlerden kaynaklanmaktadır. Pekmezdeki toplam şekerin %80-100 gibi önemli bir bölümü monosakkaritlerden oluşmakta ve tüm pekmez çeşitleri sindirim sisteminde kolaylıkla emilebilmektedir. Böylece pekmez çeşitleri hızla kana karışabilecek özellikle olduğundan, acil enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir gıdadır (Tüzün vd., 2020). **Tablo 1** ve **Tablo 2**'de önceki çalışmalarda belirlenen andız pekmezinin bazı fizikokimyasal özellikler ve mineral madde içerikleri verilmiştir.

Tablo 1. Andız pekmezine ait bazı fizikokimyasal analizler (Some physicochemical analyzes of Andız molasses)

Yöntem	pH	Briks	Asitlik	Kuru madde	HMF	Toplam Şeker	Protein	Kaynakça
			%	%	%	%	%	
G	5,31	72,85	-	72,91	-	34,97	0,72	Akinci vd. (2004)
G, V	5,51-5,68	68,11-68,58	0,75-0,83	68,47-68,83	1,10-1,94	32,44-33,34	0,52	Özdemir vd. (2004)
G	5,21	75,2	0,13	79,2	0,0008	37,1	0,61	Akbulut vd. (2008)
V	5,07-5,11	66,25-68,70	-	-	-	-	-	Karaca (2009)
G	4,87-5,35	56,5-72	0,59-1,16	61,52-79,20	0-0,008	41,55-54,72	-	İzgi (2011)
G, V	4,80-5,40	69,05-78,15	-	-	0-0,015	35,47-55,98	0,32-1,68	Erbil (2020)

G; geleneksel üretim, V; vakum üretim

Türkiye'de *J. drupacea* geleneksel tıpta yaygın uygulamalara sahiptir. Örneğin, *J. drupacea* kozalaklarının yakılması ile elde edilen katranı dahilen; hap şekline getirilmekteydi ve ülser, solunum yolu, basur ve idrar yolları hastalıklarına karşı, katran haricen; hayvanlarda deri hastalıklarına karşı, katrandan elde edilen dumanı (tütsü) ise; arı kovanlarında mantara karşı dezenfeksiyon için kullanılmaktaydı (Baytop, 1984). Örneğin, bu meyvenin ezilmesi ve kaynatılmasıyla (dekoksasyon) elde edilen öz, mide ağrısını, idrar iltihabı, gut ve karın ağrısını tedavi etmek için kullanılmaktadır (Miceli vd., 2011). Pekmezin genel olarak anemi, bronşit ve kalp damar hastalıkları başta olmak üzere 48 farklı semptom ve hastalığın tedavisinde tamamen doğal beslenme ile iyileştirici etkisi olduğu bilinmektedir (Satıl ve Selvi, 2022). Türkiye'de özellikle andız pekmezi, yöre halkı tarafından geleneksel olarak üretilmekte ve astım, bronşit, hemoroid gibi hastalıkların tedavisinde kullanılmakta ayrıca antioksidan ve antibakteriyel özellikleri sayesinde andız pekmezinin mide bulantısı, sarılık, hemoroit, öksürük, astım, egzama, kaşıntı, ishale karşı uzun zamandır kullanıldığı da bilinmektedir (Turhan vd., 2007).



Şekil 3. Geleneksel yöntemle elde edilen andız pekmezi üretim akış şeması (Figure 3. Production flow chart of andız molasses obtained by the traditional method)

Tablo 2. Andız pekmezine ait mineral madde içerikleri (mg/kg) (Mineral content of Andız molasses)

K	Ca	Mg	P	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	Kaynakça
18840	1499	843,8	1445	35,5	6,91	3,73	10,71	12,79	Akinci vd. (2004)
18500	1428	685,8	1342	199,9	5,13	1,48	7,03	26,2	Özdemir vd. (2004)
18309	1583	799,8	1262	214,4	6,28	1,82	8,04	31,3	
17400	1881,8	746,9	1248,2	467,6	12,7	3,65	8,77	12,5	Akbulut vd. (2008)
430	27,4	14,3	-	74,6	13,60	2,80	0,34	2,94	Karaca (2009)
385	33,8	11,4	-	47,6	2,92	2,38	0,30	3,68	

Diğer bir çalışmada ise, Kahramanmaraş ve Karaman'da andız pekmezinin basur için kullanıldığı, kuşpalazı olan çocuklara yedirilerek hastalığın hafif atlatılmasını sağladığı, yine pekmez veya peltesi nişasta ve irmikle hamur yapılarak çıbanların üzerine sarılmakta ve bu karışım yaradaki iltihabı çekerek, hastanın iyileştirilmesini kolaylaştırdığı, kemoterapi tedavilerinde kullanıldığı rapor edilmiştir (Özdemir ve Bal, 2014).

4. Andız Pekmezi ile İlgili Yapılan Araştırmalar

Andız pekmezi özellikle kış aylarında tüketilen enerji ihtiyacı yüksek kişiler için önemli bir gıda maddesidir (Deliorman-Orhan vd., 2019; Odabaş-Serin ve Bakır, 2019). *J. drupacea* kozalaklarında birkaç çeşit uçucu yağ olduğu ve bu nedenle *J. drupacea* kozalaklarının bazı hastalıkları tedavi edici özellikte olduğu rapor edilmiştir. *J. drupacea* 'da bulunan yenilebilir yağlar arasında yaklaşık %40 oranında eterli uçucu yağlar, sabit yağlar, triterpenler ve acı maddeler bulunduğu ve andız meyve ve yapraklarının tedavi amaçlı çok geniş bir kullanım alanına sahip olduğu bildirilmiştir (Karacabey, 2017). Uçucu bileşenlerle ilgili diğer bir çalışmada, *J. drupacea* dişi kozalaklarından elde edilen uçucu yağlar GC-MS ve GC-FID ile belirlenmiştir. Limonenin (%27) en bol bulunan terpen olduğu ve bunu takip eden diğer uçucu bileşenler sırasıyla, α -pinen (26.1) ve germacrene D (%7,1) olduğu bildirilmiştir (Koutsaviti vd., 2017). Bir çalışmada, *J. drupacea*'nın meyvelerinden, yapraklarından ve dallarından; su, etil asetat ve metanol ekstraktları hazırlandı. Bu ekstraktların anti-diabetik (α -amilaz ve α -glukozidaz inhibitör etkileri) ve antioksidan aktiviteleri saptandı. Tüm ekstraktlar, α -glukozidaz enzimi üzerine iyi inhibitör etki gösterdiği ve meyve (%99,92) ve yaprak (%99,44) metanol ekstraktlarının, 1 mg/ml konsantrasyondaki standart olarak kullanılan Akarboz'dan (%98,88) daha etkili olduğu rapor edildi (Deliorman-Orhan vd., 2019).

Sağında (2014)'nin yaptığı bir çalışmada, halkın dilinden Silifke Bölgesinde kullanılan halk ilaçlarına örnek olarak andız pekmezi verilmiştir. Pekmezin, öksürük giderici, kolesterol düşürücü, mide ülseri tedavisinde kullanıldığı ve ayrıca, damar açıcı (andız kökünün suyu kalp ve beyin damarlarını açar) olarak kullanıldığı bildirilmiştir. Mineral içeriği yönünden zengin olan andız pekmezinin kalsiyum, potasyum, fosfor, sodyum ve magnezyum içeriği; üzüm, incir ve harnup pekmezlerine göre oldukça yüksek bulunmuştur. Bir çalışmada, Anamur yöresinde geleneksel metotlar ile üretilmiş 12 farklı andız pekmezi kullanılmış ve bu pekmezlerin toplam fenolik madde miktarı, antioksidan kapasiteleri ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Pekmez örneklerinin örneklerin fenolik madde miktarları ortalama 1756 mg/kg olarak saptanmıştır. Ayrıca pekmezlerin toplam şeker miktarı %41,5 ile 54,72 aralığında değişim gösterdiği rapor edilmiştir (İzgi, 2011). Karaca (2009)'nin yaptığı bir çalışmada, ticari olarak üretilmiş 2 andız pekmezi örneğinin vitamin içerikleri μ g/L olarak; 27-64 (B3 vitamini), 43-86 (B5 vitamini), 6-20 (B6 vitamini), 56-150 (C vitamini) aralığında saptandığı, A ve E vitaminlerinin tespit edilemediği rapor edilmiştir. Özdemir vd. (2004) tarafından yapılan çalışmada, farklı durultma (fiziksel ve kimyasal) ve pişirme (vakum ve açık) yöntemleri uygulanarak üretilen andız pekmezleri ve geleneksel yöntemle üretilen andız pekmezi ile karşılaştırılmış ve toplam fenolik madde miktarı (TFM) belirlenmiştir. Araştırmada üretilen pekmez örneklerinin TFM miktarını 160-207 mg/100g arasında bulunmuştur. Geleneksel yöntemle üretilen andız pekmezinin TFM miktarı ise 113,3 mg/100g olarak tespit edilmiştir. Ayrıca yazarlar pekmez üretiminde, durultma ve pişirme yönteminin polifenolik içeriğine önemli etkisi bulunduğunu, kül suyu uygulamasının herhangi bir etkisinin bulunmadığını rapor etmişlerdir. Erbil (2020) tarafından yapılan çalışmada, ticari olarak üretilmiş geleneksel andız pekmezlerinin elektrik iletkenlik değerinin 6,01 mS/cm ile 6,97 mS/cm aralığında değiştiği, ticari olarak üretilmiş endüstriyel andız pekmezlerinin iletkenlik değeri ise 1,80 mS/cm ile 6,93 mS/cm aralığında değiştiği rapor edilmiştir.

Akbulut vd. (2008)'nin yaptığı çalışmada, andız pekmezinin reolojik davranışı saptanmıştır. Toplam çözünür kuru madde %75,2, 72,0, 68,9 ve 62,8 ve sıcaklıkları 10, 20, 30, 40 ve 50°C olan andız pekmez örneklerinin reolojik davranışları viskozimetre kullanılarak incelenmiştir. Toplam çözünür kuru maddesi 75,2 olan andız pekmezinin Newtonian olmayan davranış sergilediği bulunmuştur. Aynı yazarlar, akma gerilimi (σ), akış davranışı indeksi (n) ve tutarlılık indeksinin (k) anlamlı olarak sıcaklıktan etkilendiğini ve pekmezin viskozitesinin beklendiği gibi artan sıcaklıkla azaldığı bildirilmiştir.

Çelik vd. (2009)'nin yaptığı çalışmada, %2, %4, %6 ve %8 oranında andız pekmezi ilavesiyle set tipi pekmezli yoğurtların bazı fizikokimyasal özellikleri saptanmıştır. Sütün fermantasyon süresinin andız pekmezi eklenmesinin artışına paralel olarak uzadığı ve depolama periyodu boyunca, kontrol grubuna oranla pekmezli yoğurtlarda pH değerinin yüksek, serum ayrılması ile viskozite değerlerinin ise düşük olduğu bildirilmiştir. Yüzde dört oranında andız pekmezinin meyveli set tipi yoğurt üretiminde kullanılabileceği ve bu orandan fazla andız pekmezi ilavesinde buruk tadın algılandığı rapor edilmiştir. Başka bir çalışmada, andız pekmezi ilaveli kekler (%25, %50 ve %100 oranlarında pekmez ile kristal şeker ile yer değiştirilmiş) hazırlanmış ve depolama süresi boyunca sertlik değerleri saptanmıştır. Yirmi birinci günün sonunda %100 andız pekmeziyle hazırlanan kekin sertlik değerinin 84 N/cm² ye yükseldiği rapor edilmiş ve bu değer kontrol, %100 üzüm ve %100 andız pekmez katkılı keklerin sertlik değerlerinin sırasıyla, 2, 2,9 ve 1,95 katı olduğu bildirilmiştir (Ertaş ve Çoklar, 2008).

Orhan (2013)'ün yaptığı çalışmada, andız pekmezi üretiminde ekstraksiyon aşaması Cevap Yüzey Metodu 'nun Box-Behnken dizaynı kullanılarak optimize edilmiştir. Aynı yazarlar, meyve: su oranı (w/v), ekstraksiyon sıcaklığı (°C) ve ekstraksiyon süresi (dk.) olmak üzere üç farklı değişkenin elde edilen ekstraktların briks içerikleri üzerine etkilerini rapor etmiştir. Optimizasyon sonucunda en yüksek suda çözünür kuru madde değeri (9,2 °Brix) olarak belirlenmiş, ekstraksiyon sıcaklığı 90 °C, meyve: su oranı 1:4 ve süre 180 dakika olarak rapor edilmiştir. Ayrıca elde edilen pekmez ekstraktlarının toplam fenolik madde içerikleri 892,57 – 3968,37 mg/L aralığında saptanmıştır.

Bir çalışmada, sıçanlarda deneysel safra tıkanıklığı sonucu, goji berry (*Lycium barbarum*) ve andız (*J. drupacea*) pekmezinin karaciğer hasarı üzerine etkileri belirlenmiştir. Bu çalışmada *in vivo* koşullarda, beslenme şekillerine göre 4 farklı grup oluşturulmuştur. Bunlar, Sham grubu, kontrol grubu, andız pekmezi grubu ve Goji berry grubu. Bu doğrultuda, alınan doku örneklerinde biyokimyasal olarak lipid peroksit ürünü; Malondialdehit düzeyleri, katalaz, süperoksit dismutaz, glutatyon-S-transferaz enzim aktiviteleri ve redüktge glutatyon düzeyi ölçülmüştür. Sonuç olarak andız pekmezi ve goji berry ile beslenen sıçanların tıkanma sarılığına neden olan oksidatif strese yanıt oluşturarak karaciğer doku hasarını da azalttığı rapor edilmiştir (Kabakçı, 2013). Dönmez (2015)'in yaptığı çalışmada; farklı pekmez çeşitlerinin etanol ve metanol ekstraksiyonları hazırlanmış ve TFM ve antioksidan kapasiteleri saptanmıştır. Andız pekmezinin TFM miktarları metanol ekstraktı için 2165.3 \pm 5.18 (mg GAE/kg pekmez) iken, etanol ekstraktı için 1095.03 \pm 5.67 (mg/kg) değerleri hesaplanmıştır.

Ereli (2021)'in yaptığı çalışmada, *J. drupacea* meyvesinden elde edilen ekstrakt (şıra) ve üç farklı üretim tekniği ile üretilmiş (vakum evaporasyon, geleneksel yöntem ve piyasadan alınmış) pekmez örneklerinin fenolik bileşikleri, antioksidan etkileri, hidroksimetil furfural (HMF) içeriği, karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Yazarlar, toplamda 22 adet fenolik bileşik saptamıştır. Belirlenen bileşiklerden; amentoflavon bileşiğinin piyasadan alınan örnekte, izoramnetin-hekzosidin vakum evaporasyon yöntemi ile üretilen örnekte, gallik asidin açık kazan yöntemi ile laboratuvarında üretilen örnekte ve izoramnetin-hekzosit ile vanilik asidin ise şıra örneğinde baskın olduğunu rapor etmişlerdir. Antioksidan analiz sonucunda piyasadan alınan pekmezin daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, en düşük HMF değerine ve en yüksek protein içeriğine sahip olan andız pekmezinin vakum evaporasyon yöntemi ile üretilende olduğu bildirilmiştir.

Özkan vd. (2021)'nin yaptığı bir çalışmada, *J. drupacea* 'nın kozalak ve pekmezindeki TFM, toplam flavonoid içeriği (TFC), in vitro antioksidan kapasiteleri ve bireysel fenolik bileşikleri belirlendi. Ayrıca, pekmez, meyvenin tek yenilebilir formu olduğundan, ilk kez fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliği ve pekmezin antioksidan kapasitesi, simüle edilmiş gastrointestinal koşullara maruz bırakıldıktan sonra da değerlendirildi. Andız kozalağı ve pekmezinin TFM değerleri sırasıyla 2,50 ve 4,06 mg gallik asit/g kuru madde (km) iken, TFC değerleri sırasıyla 0,85 ve 2,05 mg kateşin/g km olarak bulundu. Kozalak ve pekmezde belirlenen bireysel fenolik bileşikler benzer iken, andız pekmezi özellikle protokateşik asit bakımından zengin olarak saptandı. Genel olarak, simüle edilmiş mide koşullarının oral yoldan bağırsak aşamasına kadar fenolik seviyelerinin düştüğü, ilk aşamada protokateşik asit ana fenolik bileşik olmasına rağmen, en yüksek biyoerişilebilirlik indeksinin kateşin ve *p*-hidroksibenzoik asitte olduğu rapor edilmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Pekmez, Türkiye'nin her yerinde farklı bitkilerden ve farklı yöntemlerle üretilen ve içerdiği zengin mineral ve vitaminler nedeniyle yaygın olarak tüketilen en önemli gıda ürünlerinden biridir. Önceki çalışmalarda andız meyvesi ve pekmezi ile ilgili kimyasal, besinsel içerikler belirlenmiştir. Ayrıca pekmezin polifenolik bileşikleri ve antioksidan aktiviteleri ve *in vitro* biyoerişilebilirlik değerleri hakkında bilimsel araştırmalar da mevcuttur. Andız pekmezi, üzüm, dut, keçiboynuzu gibi meyvelerden yapılan pekmezlerle göre hem daha zahmetli bir üretim sürecine sahip hem de diğer meyveler gibi andız meyvesi (kozalak) çiğ tüketilememektedir. Bu yüzden andız meyvesindeki tüm besin maddelerinin alımı, meyvenin (kozalak) suda bekletilip, kaynatılması ve şırasının konsantre edilerek pekmez haline getirilmesi ve ancak bu şekilde tüketilmesiyle mümkün olacaktır. Böylece, pekmez beslenme açısından son derece önemli bir gıda maddesi olduğundan halkımızın doğru ve bilinçli tüketimi konusunda bilgilendirilmesi, yine andız pekmez üretimi için gerekli teknolojik alt yapısının kurulması ve endüstriyel ölçekte yaygınlaştırılması önem arz etmektedir. Andız pekmezinin antimikrobiyal, antiviral, antiastım, antitümör, antihepatit aktivite tayinleri, protein inhibisyonu ve lipid peroksidasyonu üzerine etkileri daha çok araştırılarak, bu konudaki literatür eksikliği giderilebilir. Andız pekmezinin sağlık üzerine etkisiyle ilgili *in vivo* çalışmalara daha çok yer verilerek desteklenebilir. Ayrıca bu derlemede yer alan bazı literatür bulguları ışığında, ülkemizde yetişen *J. drupacea* kozalaklarından üretilen andız pekmezi üzerinde araştırmalara devam edilebilir ve andız pekmez tadı buruk olduğundan farklı gıda ürünlerine ilave edilerek veya yeni ürünler geliştirilerek tüketimi yaygınlaştırılabilir ve böylece ülke ekonomisine katkısı (ticari olarak dış piyasada da payının artırılarak daha çok tüketiciye ulaşması) sağlanabilir.

6. Teşekkür

Geleneksel andız pekmezi üretimi hakkında anlatımlarından dolayı Antalya, Akseki İlçesinin Kuyucak Köyü'nde yaşayan yöre halkına teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Akbulut, M., Çoklar, H., & Özen, G. (2008). Rheological characteristics of *Juniperus drupacea* fruit juice (pekmez) concentrated by boiling. *Food Science and Technology International*, 14(4), 321-328.
- Akıncı, S., & Budak, D. B. (2020). Use of forest products who lives in mountain areas of Mersin province. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(1), 220-225.
- Akıncı, I., Ozdemir, F., Topuz, A., Kabas, O., & Canakci, M. (2004). Some physical and nutritional properties of *Juniperus drupacea* fruits. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 325-331.
- Alçay, A. Ü., Akgül, C., Badayman, M., & Dinçel, E. (2018). Ardıç meyve ve yağının kullanım alanları. *Aydın Gastronomy*, 2(2), 45-60.
- Altıntaş, Ö. (1999). Çal yöresinde üretilen üzüm çeşitleri ve yörede üretilen pekmezlerin bazı özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Baytop, T. (1984). Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi (geçmişte ve bugün). Sanal Matbaacılık, İstanbul, 520.
- Çapa, M. (2017). *Hippophae rhamnoides* (çalı gagası) ve *Juniperus drupacea* (andız) bitkilerinin çeşitli ekstrelerinin antioksidan aktivitelerinin araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çelik, Ş., Durmaz, H., & Şenocak, G. (2009). Andız pekmezi içeren set tipi yoğurtların bazı fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri. *Gıda*, 34(4), 213-218.
- Çizgen, S., Tuttu, G., & Ursavaş, S. (2020). Ardıç Kozalağının Türkiye'deki Hasat Miktarları ve Etnobotanik Kullanımı. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 91-98.
- Deliorman Orhan, D., N., & Gökbulut, A. (2019). In vitro enzyme inhibitory properties, antioxidant activities, and phytochemical studies on *Juniperus drupacea*. *Journal of Research in Pharmacy*, 23(1), 83-92.

- Dönmez, K. (2015). Çeşitli meyvelerden yapılmış pekmezlerden hazırlanan ekstraktların antioksidan kapasitelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Erbil, D. (2020). Endüstriyel ve geleneksel yöntemlerle üretilmiş farklı pekmez çeşitlerinin bazı fizikokimyasal ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erel, E. (2021). Farklı Andız Pekmezi Üretim Yöntemlerinin Fenolik Bileşikler ve Bazı Kalite Parametreleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ertaş, N., & Çoklar, H. (2008). Farklı Pekmez Çeşitlerinin Doğal Şeker Kaynağı Olarak Kek Hamuru ve Kek Özelliklerine Etkisi. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 22(46), 51-54.
- Gültekin, H. C., Gültekin, Ü. G., & Divrik, A. (2004). Andız (*Arceuthos drupacea* (Labill.) ant. et. kotschy.) tohumlarının çimlenmesi, diğer tohum ve fidan özelliklerine ilişkin bazı tespit ve öneriler. *Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, (1-2), 48-54.
- Gültekin, H.C. (2014). Önemli Orman Ağaçlarının Fidan Üretim Teknikleri. (Kozalaklılar, Yapraklı Ağaçlar: Doğal Yayılışları, Kullanım Alanları, Çiçeklenme Zamanları, Meyve veya Kozalak Toplama Zamanı, Tohum Toplama ve Çıkarma Yöntemleri, Tohum Özellikleri, Tohum Uygulanacak Ön İşlemler, Fidanlık Tekniği). T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü, Çeşitli Yayınlar Serisi No: 26, İzmit.
- Güvendiren, A. D. (2015). Molecular phylogenetic analyses of *Juniperus* L. species in Turkey and their relations with other junipers based on cpDNA. Doctor of Philosophy in Department of Biological Sciences, Middle East Technical University, Ankara.
- İncemehmetoğlu, E. (2021). Geleneksel çam kozalağı pekmezinin fizikokimyasal, biyoaktif ve fonksiyonel özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- İzgi, N. (2011). Ev yapımı andız pekmezinin bileşimi, reolojik özellikleri, antioksidan ve antimikrobiyel aktivitelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Kabakçı, B. (2013). Deneysel tıkanma sarılığı modelinde karaciğer hasarı üzerine andız (*Juniperus drupacea*) pekmezi ve goji berry (*Lycium barbarum*)nin etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kara, Ç. (2019). Pekmez, bal ve şeker: helvaya statü veren tatlandırıcılar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(47), 74-88.
- Karaca, İ. (2009). Pekmez örneklerinde vitamin ve mineral tayini. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Karacabey, B. (2017). *Juniperus* ssp. forests at Konya. I. International Congress on Medicinal and Aromatic Plants: "Natural and Healthy Life" Proceedings Book. May. 10-12.
- Koutsaviti, A., Tzakou, O., Galati, E. M., Certo, G., & Germanò, M. P. (2017). Chemical composition of *Juniperus phoenicea* and *J. drupacea* essential oils and their biological effects in the choriollantoic membrane (CAM) assay. *Natural Product Communications*, 12(3), 1934578X1701200336.
- Miceli, N., Trovato, A., Marino, A., Bellinghieri, V., Melchini, A., Dugo, P., ... & Taviano, M. F. (2011). Phenolic composition and biological activities of *Juniperus drupacea* Labill. berries from Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 49(10), 2600-2608.
- Odabaş-Serin, Z., & Bakir, O. (2019). Some chemical, nutritional and mineral properties of dried juniper (*Juniperus drupacea* L.) berries growing in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(4), 8171-8178.
- OGM. (2020). Orman Genel Müdürlüğü, "Orman İstatistikleri 2020", Türkiye Orman Varlığı -2020. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara. <https://www.ogm.gov.tr/ormanlarimizsitesi/TurkiyeOrmanVarligi/Yayinlar/2020%20T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varligi%20B1%20C4%9F%20C4%B1.pdf>
- Özdemir, F. ve Bal, B.C. (2014). Andırın yöresine ait andız pekmezinin üretimi ve halk sağlığındaki yeri. III. Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu, 8-10 Mayıs, 375-382.
- Özdemir, F., Topuz, A., Şahin, H., & Gölükçü, M. (2004). Andız pekmezinin fenolik madde içeriği ve fonksiyonel gıda olarak önemi. *Geleneksel Gıdalar Sempozyumu*, 144, 149.
- Özkan, K., Karadağ, A., & Sağdıç, O. (2021). Determination of the in vitro bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant capacity of juniper berry (*Juniperus drupacea* Labill.) pekmez. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(3), 290-300.
- Sağında, A. (2014). Silifke Bölgesindeki Bitkisel Halk İlaçlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Satıl, F., & Selvi, S. (2022). Traditional molasses production from different plants in Anatolia and its ethnobotanical features. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 15(1), 62-72.
- Turhan, İ., Tetik, N., ve Karhan M. (2007). Andız pekmezi üretimi ve bileşimi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2), 65-69.
- Tüzün, S., İsa, B. A. Ş., Karakavuk, E., Sanyürek, N. K., & Benzer, F. (2020). Çeşitli pekmez türlerinde farklı yöntemlerle tespit edilen antioksidan aktivitelerin karşılaştırılması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(2), 323-330.
- Walas, L., Sobierajska, K., Ok, T., Dönmez, A. A., Kanoğlu, S. S., Dagher-Kharrat, M. B., ... & Boratynski, A. (2019). Past, present, and future geographic range of an oro-Mediterranean Tertiary relict: The *Juniperus drupacea* case study. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1507-1520.
- Yavuz, Z., & Yılmaz, M. (2017). Seed dormancy and cone and seed morphology of Syrian juniper (*Juniperus drupacea* Labill.) in the eastern Mediterranean region of Turkey. *Sumarski list*, 141(5-6), 262-262.
- Yaylacı, S., & Mertol, H. (2021). Coğrafi işaretli ürünler ve gastronomik lezzetler: Tokat örneği. *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 313-334.
- Yılmaz, Ş.G., & Uçar, A. (2017). 1st International Congress on Medicinal and Aromatic Plants "Natural and Healthy Life" (IMAPCON'17), 9 -12 Mayıs 2017.
- Yüksel, E. (2013). Andız pekmezi üretiminde ekstraksiyon aşamasının cevap yüzey metodu kullanılarak optimize edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.



Bazı Yeni Potansiyel Biyolojik Aktif 2-Etoksi-6-(3-substitue-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il-azometin)-fenil Fenilasetat Türevlerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antioksidan Özellikleri

Haydar Yüksek¹, Faruk Kardaş², Sevda Manap^{1*}

¹Kafkas Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kars, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1289-1800), hhigh61@gmail.com

²Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Erzincan, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0900-7503) fkardas2400@gmail.com

^{1*}Kafkas Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kars, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5025-9622), manapsevda@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 16 Kasım 2022 ve Kabul Tarihi 17 Aralık 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1205579)

ATIF/REFERENCE: Yüksek, H., Kardaş, F., & Manap, S. (2023). Bazı Yeni Potansiyel Biyolojik Aktif 2-Etoksi-6-(3-substitue-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il-azometin)-fenil Fenilasetat Türevlerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antioksidan Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 82-89.

Öz

1,2,4-Triazololler ve türevleri, tıbbi ve ilaç kimyası ve benzeri bir çok alanda ayrı bir yere sahiptir. Bunlar, çeşitli biyolojik aktivitelere sahip olan ve çok önemli roller oynayan çok sayıda heterosiklik bileşiğin sentezi için öncü bileşikler olarak da kullanılmaktadır. Bu çalışmada, trietilaminli ortamda yeni bir benzaldehid türevi olan 2-fenilasetoksi-3-etoksibenzaldehid bileşiğinin elde edilmesi için fenilasetil klorür ile 3-etoksi-2-hidroksibenzaldehidin reaksiyonu gerçekleştirilmiş olup sonrasında bu benzaldehid türevi ile literatürde mevcut olan dokuz tane amino bileşiğinin reaksiyonları sonucu heterohalkalı bileşiklerden 2-etoksi-6-(3-substitue-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il-azometin)-fenil fenilasetat bileşiğinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın devamında sentezlenen bazı 3 tipi bileşiklerin N-asetillendirme reaksiyonları da incelenmiş ve karşın olan 6 adet 2-etoksi-6-(1-asetil-3-substitue-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il-azometin)-fenil fenilasetat bileşiklerinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Bileşiklerin yapıları UV spektral verileri, ¹H-NMR, ¹³C-NMR spektrumları ve IR verileri kullanılarak karakterize edildi. Bunun yanında 3c, 3f, 3i ve 4e bileşikleri için elementel analiz sonuçlarında alınmıştır. Son olarak üç farklı yöntemle sentezlenen bileşiklerin in vitro potansiyel antioksidan aktiviteleri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan, Asetil, Sentez, 1,2,4-Triazol-5-on, Schiff bazı.

Synthesis Characterization and Antioxidant Properties of Some New Potential Biologically Active 2-Ethoxy-6-(3-substitue-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one-4-yl-azomethine)-phenyl Phenylacetate Derivatives

Abstract

1,2,4-Triazoles and their derivatives have a special place in many fields such as medicinal and pharmaceutical chemistry and so on. They are also used as vanguards for the synthesis of numerous heterocyclic compounds that have various biological activities and play very important roles. In this study, the reaction of phenylacetyl chloride and 3-ethoxy-2-hydroxybenzaldehyde was carried out to obtain 2-phenylacetoxo-3-ethoxybenzaldehyde, a new benzaldehyde derivative, in the presence of triethylamine. Synthesis of 2-ethoxy-6-(3-substitue-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one-4-yl-azomethine)-phenyl phenylacetate compounds were carried out. In the

* Sorumlu Yazar: manapsevda@gmail.com

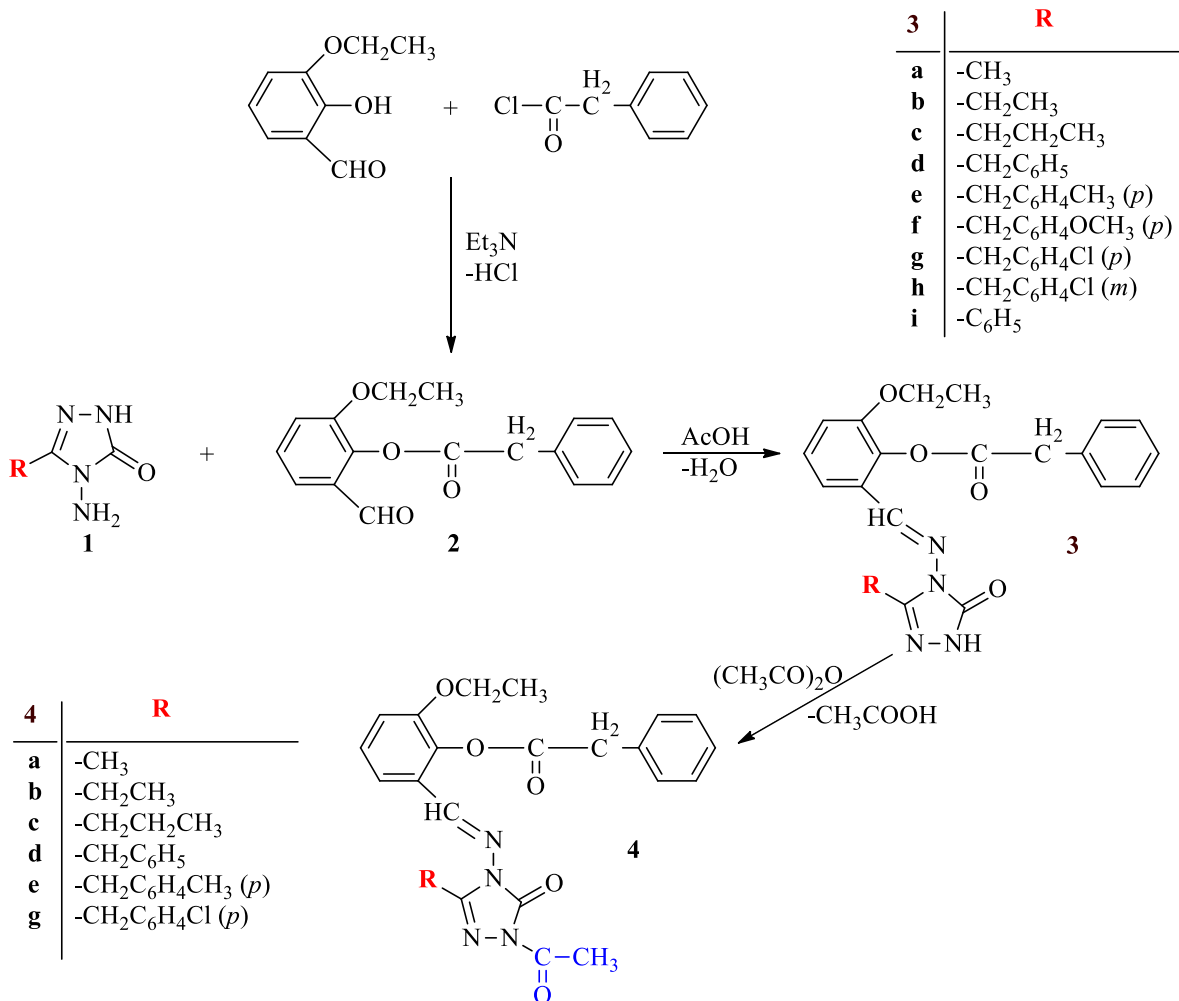
continuation of the study, the *N*-acetylation reactions of some 3-type matters synthesized were also examined and the synthesis of six 2-ethoxy-6-(1-acetyl-3-substitue-4,5-dihydro-1*H*-1,2,4-triazol-5-one-4-yl-azomethine)-phenyl phenylacetate compounds was performed. The structures of the compounds were characterized using UV spectral data, ¹H-NMR, ¹³C-NMR and IR data. In addition, elemental analysis results were obtained for 3c, 3f, 3i and 4e compounds. Finally, in vitro potential antioxidant activities of compounds synthesized by three different methods were analyzed.

Keywords: Antioxidant, Acetyl, Syntheses, 1,2,4-Triazol-5-one, Schiff base.

1. Giriş

Triazololler ve bunların substitue türevleri olmak üzere beş üyeli *N*-heterohalkalı bileşiklerinin kimyasında önemli ve sürekli bir çalışma vardır. Beş üyeli azot içeren bu heterohalkalı bileşikler önemli gruplardır ve biyolojik olarak oldukça aktif bileşiklerdir(Hassan & Younus, 2012; Khudair & Adnan, 2020). Aynı zamanda korozyon inhibitörleri, pestisitler, boyalar, asit-baz indikatörü ve diğer endüstriyel kimyasallar olarak da kabul edilirler (Shneine & Alaraji, 2016). 1,2,4-Triazol ve türevleri, çevresel (Kavaklı vd., 2014), endüstriyel (Murtaza vd., 2017), tarımsal ve antimikrobiyal (Manap, 2022), antifungal, antibakteriyel, antitüberküler, antikanser, antioksidan, anti-inflamatuar, antiviral ve antikonvülsan olmak üzere biyolojik aktivitelere sahip oldukça yaygın olan bir bileşik türüdür (Shneine & Alaraji, 2016). Triazol halkasını içeren bileşiklerin zayıf asidik özellik gösterdiğide bilinmektedir (Demirbaş vd., 2002; Manap & Yüksek, 2021). Bazı triazol türleri, ışık yayan diyotlar (elektrolüminesan cihazlar) olarak kullanılmıştır (Dobbs vd., 2014). 2-merkaptio-1,2,4-triazol-2,4-dinitrobenzamid gibi soğutma sıvılarının (yağlayıcı yağ) verimliliğini artırmak için birçok triazol türü kullanılmıştır (Hassan & Younus, 2012). Ayrıca, günlük hayatta kullanılan ve 1,2,4-triazol halkası taşıyan bir çok ilaçta bilinmektedir (Maddila vd., 2013). Tüm bu durumlar, araştırmacıları yeni triazol türevlerinin keşfi üzerinde çalışmaya yönlendirir ve teşvik eder.

Bu makale içerisinde, trietilaminli ortamda fenilasetil klorür ile 3-etoksi-2-hidroksibenzaldehitin reaksiyonu sonucu bir benzaldehid türevi olan. 2-fenilasetoksi-3-etoksibenzaldehit (**2**) bileşiğinin sentezi gerçekleştirilmiş olup ve devamında **1** numaralı **1a-1i** bileşikleri ile **2** bileşiğinin reaksiyonundan dokuz tane 2-etoksi-6-(3-substitue-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on-4-il-azometin)-fenil fenilasetat (**3**) bileşiğinin sentezi yapılmış ve sentezlenen **3** numaralı **3a-3e** ve **3g** bileşiklerinin *N*-asetillendirme reaksiyonları sonucu **4** tipi altı adet heterohalkalı bileşikler olan **4a-4e** ve **4g** maddelerinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizi gerçekleştirilmiş ve bu on beş maddenin antioksidan özellikleri incelenmiştir.



2. Materyal ve Metot

Çalışma için kullanılan kimyasal maddeler Aldrich, Merck ve Fluka firmalarından alınmıştır. IR spektrumları Alpha-P Bruker FT-IR marka cihazdan alınmıştır. ¹H ve ¹³C NMR spektrumları, Varian Mercury marka 400 MHz'lik özellikte bir NMR cihazından alınmıştır. ODTÜ Merkez Araştırma Elementel Analiz Laboratuvarında, çalışma için sentezlenen bazı bileşiklerin mikroanalizleri Leco 932 Elemental Combustion System CHNS-O cihazlarından alınmıştır. Shimadzu-1201 UV-Visible spektrofotometresinde UV absorpsiyon spektrumları (%95'lik) etil alkolde yaklaşık 10⁻⁵ M'lik çözeltileri halinde hazırlanarak alınmıştır. Maddelerin erime noktaları tayininde ise WRS-2A Microprocessor Melting Point Apparatus marka cihaz kullanılarak alınmıştır.

2.1. Genel Yöntem

1,2,4-triazol-5-on türevi bileşiklerinin sentezi. 3-Etoksi-2-hidroksibenzaldehitin (0,01 mol) 100 mL etil asetatteki çözeltisi içine fenil asetil klorür (0,01 mol) buz banyosu içinde karıştırılarak ilave edildi. Sonrasında bu çözeltiye karıştırarak trietilaminin (0,01 mol) 20 mL etil asetatteki çözeltisi 0-5 °C de yavaş yavaş ilave edilerek 30 dakika süre ile karıştırdıktan sonra 1 saat daha oda sıcaklığında karıştırma işlemine devam edildi. Devamında 3 saat geri soğutucu altında magnetik karıştırıcıda kaynatma işlemi uygulandı. Çöken tuz karışım soğutulduktan sonra süzülerek ayrıldı. Süzüntü düşük basınç altında buharlaştırıldı, geriye kalan kalıntı su ile yıkanarak, kurutuldu ve etanolden kristallendirildi. E.n. 137 °C; Verim: % 92,57. IR: 2886 ve 2749(CHO), 1764, 1695(CO), 1247(COO) cm⁻¹. UV [Etanol, λ_{max}, nm (ε, L.mol⁻¹.cm⁻¹): 294(14,587), 260(12,143), 230(19,261). Sonrasında, 1 numaralı bileşik olan 3-alkil(aril)-4-amino-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on (0,01 mol) maddeleri 2-fenilasetoksi-3-etoksibenzaldehidin (2) (0,01 mol) 2 saat süre ile geri soğutucu altında 30 mL asetik asitteki çözeltisi içinde kaynatıldı. Soğutulan çözelti, sonrasında saf su ilavesi ile çöktürülmüş ve çöken sentez ürünü süzülüş, soğuk su ile yıkama işlemi yapılarak, desikatör içinde kurutulmuştur. Bu işlemden sonra asetik asid-su ile kristallendirildi. Ele geçen maddeler aynı karışımdan iki kez daha kristallendirilip vakumda kurutulularak saflaştırılma işlemi tamamlanmıştır.

3a: Verim 97,4%, e.n. 180 °C. IR (KBr) cm⁻¹: 3170 (NH); 1705 (CO); 1610 (CN); 1250 (COO); 781 ve 689 (monosubstitue arom. halka). ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.23 (3H, t, *J* 6.96 Hz, OCH₂CH₃), 2.35 (3H, s, CH₃), 3.95 (2H, q, *J* 7.00 Hz, OCH₂), 3.98 (2H, s, COCH₂Ph), 7.03 (1H, d, *J* 7.80 Hz, H_{arom.}), 7.20 (1H, t, *J* 8.08 Hz, H_{arom.}), 7.25-7.36 (3H, m, H_{arom.}), 7.44 (2H, d, *J* 7.36 Hz, H_{arom.}), 7.55 (1H, t, *J* 7.96 Hz, H_{arom.}), 9.93 (1H, s, N=CH), 10.69 (1H, s, NH). ¹³C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 11.50 (CH₃), 14.58 (OCH₂CH₃), 40.82 (CH₂Ph), 66.55 (OCH₂CH₃), [115.59, 117.64, 126.56, 127.23, 127.47, 128.61 (2C), 129.62 (2C), 133.46, 140.34, 150.96] (C_{arom.}), 145.68 (Triazol C₃), 149.62 (N=CH), 152.16 (Triazol C₅), 169.37 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max}, nm (ε, L.mol⁻¹.cm⁻¹): 260 (12.140), 230 (19.260), 294 (14.590).

3b: Verim 99,4%, e.n. 154 °C. IR (KBr) cm⁻¹: 3169 (NH); 1770, 1703 (CO); 1575 (CN); 1273 (COO); 771 ve 695 (monosubstitue arom. halka). ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.24 (3H, t, *J* 6.95 Hz, OCH₂CH₃), 1.32 (3H, t, *J* 7.68 Hz, CH₃), 2.76 (2H, q, *J* 7.68 Hz, CH₂), 3.98 (2H, q, *J* 7.32 Hz, OCH₂), 3.99 (2H, s, COCH₂Ph), 7.00 (1H, d, *J* 8.05 Hz, H_{arom.}), 7.20-7.37 (4H, m, H_{arom.}), 7.45 (2H, d, *J* 7.24 Hz, H_{arom.}), 7.55-7.57 (1H, m, H_{arom.}), 9.93 (1H, s, N=CH), 10.20 (1H, s, NH). ¹³C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 10.44 (CH₂CH₃), 14.78 (OCH₂CH₃), 19.41 (CH₂CH₃), 41.05 (CH₂Ph), 64.75 (OCH₂CH₃), [115.74, 117.75, 126.77 (2C), 127.45, 128.83 (2C), 129.82 (2C), 133.63, 140.56, 151.16] (C_{arom.}), 149.68 (Triazol C₃), 149.68 (N=CH), 152.42 (Triazol C₅), 169.57 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max}, nm (ε, L.mol⁻¹.cm⁻¹): 232 (20.780), 222 (19.170), 296 (18.115).

3c: Verim 97,1%, e.n. 142 °C. IR (KBr) cm⁻¹: 3169 (NH); 1770, 1704 (CO); 1574 (CN); 1273 (COO); 770 ve 694 (monosubstitue arom. halka). ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.24 (3H, t, *J* 6.95 Hz, OCH₂CH₃), 1.02 (3H, t, *J* 7.32 Hz, CH₃), 1.79 (2H, sext, *J* 7.32 Hz, CH₂), 2.71 (2H, t, *J* 7.68 Hz, CH₂), 3.98 (2H, q, *J* 6.95 Hz, OCH₂), 3.99 (2H, s, COCH₂Ph), 7.00 (1H, d, *J* 8.05 Hz, H_{arom.}), 7.20-7.30 (3H, m, H_{arom.}), 7.34-7.37 (1H, m, H_{arom.}), 7.45 (2H, d, *J* 7.28 Hz, H_{arom.}), 7.55 (1H, d, *J* 8.05 Hz, H_{arom.}), 9.93 (2H, s, N=CH+NH). ¹³C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 13.73 (CH₂CH₂CH₃), 14.58 (OCH₂CH₃), 19.45 (CH₂CH₂CH₃), 27.41 (CH₂CH₂CH₃), 40.85 (CH₂Ph), 64.57 (OCH₂CH₃), [115.57, 117.51, 126.57, 127.24, 127.54, 128.63 (2C), 129.62 (2C), 133.43, 140.41, 149.47] (C_{arom.}), 147.50 (Triazol C₃), 148.62 (N=CH), 150.97 (Triazol C₅), 169.35 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max}, nm (ε, L.mol⁻¹.cm⁻¹): 296 (12.090), 228 (21.470), 222 (18.600). *Elementel analiz* C₂₂H₂₄N₄O₄ (408.46) için Hesap: C, 64.69; H, 5.92; N, 13.72. Bulunan: C, 63.96; H, 6.02; N, 13.98.

3d: Verim 97,1%, e.n. 170 °C. IR (KBr) cm⁻¹: 3164 (NH); 1771, 1706 (C=O); 1576 (C=N); 1273 (COO); 769 ve 697 (monosubstitue arom. halka). ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.24 (3H, t, *J* 6.96 Hz, OCH₂CH₃), 3.94-3.99 (4H, m, OCH₂CH₃+COCH₂Ph), 4.07 (2H, s, CH₂), 6.99 (1H, d, *J* 8.24 Hz, H_{arom.}), 7.19-7.35 (9H, m, H_{arom.}), 7.42 (2H, d, *J* 7.24 Hz, H_{arom.}), 7.49 (1H, d, *J* 8.00 Hz, H_{arom.}), 9.87 (1H, s, N=CH), 10.16 (1H, s, NH). ¹³C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 14.58 (OCH₂CH₃), 31.86 (CH₂Ph), 40.83 (COCH₂Ph), 64.57 (OCH₂CH₃), [115.62, 117.46, 126.60, 127.18, 127.24, 127.45, 128.63 (2C), 128.71, 128.92 (2C), 129.06 (2C), 129.61, 133.40, 135.00, 140.46, 150.95] (C_{arom.}), 147.65 (Triazol C₃), 149.56 (N=CH), 152.02 (Triazol C₅), 169.33 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max}, nm (ε, L.mol⁻¹.cm⁻¹): 296 (11.230), 264 (10.125), 226 (20.875), 214 (20.125), 198 (08.040).

3e: Verim 93,2%, e.n. 164 °C. IR (KBr) cm⁻¹: 3182 (NH); 1763, 1713 (CO); 1575 (CN); 1270 (COO); 821 (1,4-disubstitue arom. halka); 771 ve 695 (monosubstitue arom. halka). ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.23-1.26 (3H, m, OCH₂CH₃), 2.29 (3H, s, CH₃), 3.96 (4H, m, OCH₂CH₃+COCH₂Ph), 4.02 (s, 2H, CH₂), 6.97-6.99 (1H, m, H_{arom.}), 7.09-7.11 (2H, m, H_{arom.}), 7.21-7.42 (8H, m, H_{arom.}), 7.51-7.53 (1H, m, H_{arom.}), 9.87 (1H, s, N=CH), 10.27 (1H, s, NH). ¹³C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 14.60 (OCH₂CH₃), 21.11 (PhCH₃), 31.45 (CH₂Ph), 40.85 (COCH₂Ph), 64.58 (OCH₂CH₃), [115.61, 117.50, 126.59, 127.24, 127.52, 128.64 (2C), 128.98 (2C), 129.41 (2C), 129.64 (2C), 131.90, 133.45, 136.78, 140.48, 150.95] (C_{arom.}), 147.83 (Triazol C₃), 149.49 (N=CH), 152.13 (Triazol C₅), 169.34 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max}, nm (ε, L.mol⁻¹.cm⁻¹): 296 (12.990), 264 (12.290), 230 (18.906), 218 (17.480).

3f: Verim 96,2%, e.n. 154 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 3178 (NH); 1767, 1713 (CO); 1575 (CN); 1270 (COO); 821 (1,4-disubstitue arom. halka); 772 ve 695 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.24 (3H, t, *J* 6.96 Hz, OCH_2CH_3), 3.75 (3H, s, CH_3), 3.94-3.99 (2H, m, OCH_2), 3.96 (2H, s, COCH_2Ph), 4.00 (2H, s, CH_2), 6.84 (2H, d, *J* 8.60 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 6.99 (1H, d, *J* 7.60 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.20-7.27 (4H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.31-7.34 (2H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.42 (2H, d, *J* 7.28 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.54 (1H, d, *J* 7.72 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.87 (1H, s, N=CH), 10.27 (1H, s, NH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 14.59 (OCH_2CH_3), 31.01 (CH_2Ph), 40.84 (COCH_2Ph), 55.28 (OCH_3), 64.57 (OCH_2CH_3), [114.14 (2C), 115.61, 117.48, 126.60, 126.95, 127.23, 127.50, 128.63 (2C), 129.62 (2C), 130.14 (2C), 133.42, 140.46, 150.97, 158.72] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 147.94 (Triazol C_3), 149.52 (N=CH), 152.01 (Triazol C_5), 169.33 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$): 284 (12.090), 230 (25.680). *Elementel analiz* $\text{C}_{27}\text{H}_{26}\text{N}_4\text{O}_5$ (486.53) için Hesap.: C, 66.66; H, 5.39; N, 11,52. Bulunan: C, 66.02; H, 5.41; N, 11,45.

3g: Verim 97,0%, e.n. 189 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 3187 (NH); 1765, 1715 (CO); 1592 (CN); 1271 (COO); 817 (1,4-disubstitue arom. halka); 767 ve 709 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.24 (3H, t, *J* 6.76 Hz, OCH_2CH_3), 3.96-4.00 (2H, m, OCH_2), 3.96 (2H, s, COCH_2Ph), 4.02 (2H, s, CH_2), 7.00 (1H, d, *J* 7.96 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.19-7.34 (8H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.41 (2H, d, *J* 7.28 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.46 (1H, d, *J* 7.84 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.87 (1H, s, N=CH), 10.52 (1H, s, NH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 14.59 (OCH_2CH_3), 31.21 (CH_2Ph), 40.82 (COCH_2Ph), 64.59 (OCH_2CH_3), [115.73, 117.34, 126.64, 127.26, 127.35, 128.64 (2C), 128.86 (2C), 129.61 (2C), 130.43 (2C), 133.12, 133.38, 133.44, 140.51, 151.00] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 147.13 (Triazol C_3), 149.80 (N=CH), 152.10 (Triazol C_5), 169.34 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$): 296 (13.120), 268 (12.050), 230 (23.670), 216 (21.800).

3h: Verim 98,3%, e.n. 178 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 3171 (NH); 1772, 1713 (CO); 1576 (CN); 1276 (COO); 884 ve 772 (1,3-disubstitue arom. halka); 777 ve 691 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.24 (3H, t, *J* 6.96 Hz, OCH_2CH_3), 3.94-3.99 (2H, m, OCH_2), 3.96 (2H, s, COCH_2Ph), 4.03 (2H, s, CH_2), 6.98-7.04 (2H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.21-7.47 (10H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.87 (1H, s, N=CH), 10.40 (1H, s, NH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 14.58 (OCH_2CH_3), 31.57 (CH_2Ph), 40.82 (COCH_2Ph), 64.58 (OCH_2CH_3), [115.72, 117.39, 126.67, 127.20, 127.26, 127.34, 128.63 (2C), 128.95, 129.37, 129.60 (2C), 129.93, 133.37, 134.43, 136.93, 140.50, 150.95] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 148.63 (Triazol C_3), 149.70 (N=CH), 152.03 (Triazol C_5), 169.34 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$): 294 (6.120), 214 (15.850).

3i: Verim 96,6%, e.n. 141 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 3154 (NH); 1771, 1701 (CO); 1606 (CN); 1276 (COO); 766 ve 609 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.24 (3H, m, OCH_2CH_3), 3.87-3.98 (4H, m, $\text{OCH}_2\text{CH}_3+\text{CH}_2\text{Ph}$), 7.00-7.02 (1H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.21-7.47 (10H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.93 (2H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.88 (1H, s, N=CH), 10.71 (1H, s, NH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 14.60 (OCH_2CH_3), 40.79 (COCH_2Ph), 64.61 (OCH_2CH_3), [115.84, 118.43, 126.49, 126.69, 127.22, 127.31, 128.25, 128.48 (2C), 128.62 (3C), 129.59 (2C), 130.37, 133.47, 140.33, 151.82] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 146.30 (Triazol C_3), 151.07 (N=CH), 152.35 (Triazol C_5), 169.38 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$): 266 (15.470), 218 (22.110). *Elementel analiz* $\text{C}_{25}\text{H}_{22}\text{N}_4\text{O}_4$ (442.47) için Hesap.: C, 67.86; H, 5.01; N, 12,66. Bulunan: C, 66.43; H, 5.09; N, 12,84.

2.1.1. Genel Yöntem

4 tipi 1,2,4-triazol-5-on türevi bileşiklerin sentezi. Yuvarlak dipli balon içerisinde 3 bileşiği (3a-3e ve 3g) (0,01 mol) 20 mL asetik anhidrit ile geri soğutucu beraberinde 30 dakika süre ile kaynatma işlemi uygulandı. Süre sonunda mutlak etanol (100 mL) ilave edilerek 30 dakika daha kaynatma işlemine devam edildi. Nihai ürün yaklaşık olarak 45 °C civarında ve düşük bir basınç uygulanarak buharlaştırıldı ve oluşan solid ürün etanol kullanılarak kristallendirildi. Bu işlem ele geçen kristallere birkaç kez daha uygulandı ve vakumda kurutularak saflaştırıldı.

4a: Verim 53,0%, e.n. 134 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 1768, 1715 (CO); 1574 (CN); 1268 (COO); 772 ve 607 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.21-126 (3H, m, OCH_2CH_3), 2.40 (3H, s, CH_3), 2.63 (3H, s, COCH_3), 3.96-4.00 (2H, m, OCH_2), 3.96 (2H, s, COCH_2Ph), 7.00-7.03 (1H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.19-7.29 (2H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.33-7.37 (2H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.43 (2H, d, *J* 7.48 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.53-7.55 (1H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.81 (1H, s, N=CH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 11.63 (CH_3), 14.55 (OCH_2CH_3), 23.58 (COCH_3), 40.83 (CH_2Ph), 64.59 (OCH_2CH_3), [115.99, 117.43, 126.68, 126.96, 127.28, 128.65 (2C), 129.54 (2C), 133.29, 140.54, 150.50] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 147.49 (Triazol C_3), 148.37 (N=CH), 150.98 (Triazol C_5), 166.45 (COCH_3), 169.19 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$): 296 (17.830), 226 (16.540), 232 (23.440).

4b: Verim 85,5%, e.n. 134 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 1769, 1715 (C=O); 1574 (C=N); 1270 (COO); 775 ve 700 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.25 (3H, t, *J* 6.92 Hz, OCH_2CH_3), 1.34 (3H, t, *J* 7.52 Hz, CH_3), 2.64 (3H, s, COCH_3), 2.79 (2H, q, *J* 7.48 Hz, CH_2), 3.95-4.00 (2H, m, OCH_2), 3.97 (s, 2H, COCH_2Ph), 7.02 (1H, d, *J* 8.04 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.20-7.37 (4H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.43 (2H, d, *J* 7.48 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.55-7.56 (1H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.83 (1H, s, N=CH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 10.07 (CH_2CH_3), 14.55 (OCH_2CH_3), 19.35 (CH_2CH_3), 23.60 (COCH_3), 40.82 (CH_2Ph), 64.59 (OCH_2CH_3), [115.95, 117.35, 126.68, 127.04, 127.28, 128.65 (2C), 129.55 (2C), 133.30, 140.57, 150.99] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 148.55 (Triazol C_3), 150.38 (N=CH), 151.18 (Triazol C_5), 166.66 (COCH_3), 169.22 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$): 290 (10.695), 256 (09.870), 228 (19.830), 198 (08.390).

4c: Verim 55,8%, e.n. 95 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 1768, 1755 (CO); 1573 (CN); 1270 (COO); 776 ve 700 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.02 (3H, t, *J* 7.32, CH_3), Hz 1.23 (3H, t, *J* 6.95 Hz, OCH_2CH_3), 1.79 (2H, sext, *J* 6.95 Hz, CH_2), 2.62 (3H, s, COCH_3), 2.73 (2H, t, *J* 7.68 Hz, CH_2), 3.96-4.01 (4H, m, $\text{OCH}_2\text{CH}_3+\text{COCH}_2\text{Ph}$), 7.01 (1H, d, *J* 8.05 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.20-7.36 (4H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.43 (2H, d, *J* 6.95 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.53 (1H, d, *J* 7.68 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.83 (1H, s, N=CH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 13.97 ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 14.76 (OCH_2CH_3), 19.55 ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 23.85 (COCH_3), 27.67 ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 41.03 (CH_2Ph), 64.78 (OCH_2CH_3), [116.12, 117.47, 126.92 (2C), 127.49 (2C), 128.87 (2C), 129.76 (2C), 133.50, 140.76, 150.48] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 148.73 (Triazol C_3), 150.35 (N=CH), 151.17 (Triazol C_5), 166.88 (COCH_3), 169.44 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$): 292 (11.540), 256 (11.230), 232 (18.950).

4d: Verim 95,5%, e.n. 123 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 1770, 1715 (CO); 1574 (CN); 1270 (COO); 774 ve 707 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.24 (3H, t, *J* 6.92 Hz, OCH_2CH_3), 2.64 (3H, s, COCH_3), 3.93 (2H, s, COCH_2Ph), 3.97 (2H, q, *J* 7.00 Hz, OCH_2), 4.11 (2H, s, CH_2), 7.01 (1H, d, *J* 8.00 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.21-7.41 (11H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.46 (1H, d, *J* 7.64 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.75 (1H, s, N=CH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 14.57 (OCH_2CH_3), 23.67 (COCH_3), 31.90 (CH_2Ph), 40.82 (COCH_2Ph), 64.60 (OCH_2CH_3), [115.99, 117.26, 126.72, 126.99, 127.27, 127.45, 128.65 (2C), 128.81 (2C), 129.01 (2C), 129.55 (2C), 133.28, 134.14, 140.64, 150.40] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 148.43 (Triazol C₃), 149.08 (N=CH), 150.98 (Triazol C₅), 166.60 (COCH_3), 169.16 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$): 292 (11.035), 258 (10.610), 228 (19.625).

4e: Verim 69,0%, e.n. 143 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 1769, 1717 (CO); 1574 (CN); 1271 (COO); 817 (1,4-disubstitue arom. halka), 776 ve 700 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.24 (3H, t, *J* 6.96 Hz, OCH_2CH_3), 2.29 (3H, s, CH_3), 2.63 (3H, s, COCH_3), 3.93 (2H, s, COCH_2Ph), 3.97 (2H, q, *J* 7.00 Hz, OCH_2), 4.08 (2H, s, CH_2), 7.02 (1H, d, *J* 8.16 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.10 (2H, d, *J* 7.84 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.21-7.34 (6H, s, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.40 (2H, d, *J* 7.16 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.49 (1H, d, *J* 7.96 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.74 (1H, s, N=CH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 14.57 (OCH_2CH_3), 21.08 (PhCH_3), 23.66 (COCH_3), 31.48 (CH_2Ph), 40.82 (COCH_2Ph), 64.60 (OCH_2CH_3), [115.96, 117.28, 126.71, 127.03, 127.26, 128.65 (2C), 128.94 (2C), 129.48 (2C), 129.55 (2C), 131.03, 133.28, 137.13, 140.65, 150.34] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 148.45 (Triazol C₃), 149.27 (N=CH), 150.98 (Triazol C₅), 166.61 (COCH_3), 169.14 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$): 290 (13.510), 230 (24.640). *Elementel analiz* C₂₉H₂₈N₄O₅ (512.57) için Hesap.: C, 67.96; H, 5.51; N, 10.93. Bulunan: C, 67.58; H, 5.87; N, 10.73.

4g: Verim 69,0%, e.n. 138 °C. IR (KBr) cm^{-1} : 1769, 1717 (CO); 1574 (CN); 1271 (COO); 816 (1,4-disubstitue arom. halka), 776 ve 700 (monosubstitue arom. halka). ^1H NMR (400 MHz, DMSO-*d*6): δ 1.25 (3H, t, *J* 6.88 Hz, OCH_2CH_3), 2.64 (3H, s, COCH_3), 3.94 (2H, s, COCH_2Ph), 3.99 (2H, q, *J* 6.96 Hz, OCH_2), 4.07 (2H, s, CH_2), 7.03 (1H, d, *J* 8.24 Hz, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.22-7.35 (8H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 7.40-7.45 (3H, m, $\text{H}_{\text{arom.}}$), 9.75 (1H, s, N=CH). ^{13}C NMR (400Mz, DMSO-*d*6): δ 14.55 (OCH_2CH_3), 23.65 (COCH_3), 31.29 (CH_2Ph), 40.82 (COCH_2Ph), 64.62 (OCH_2CH_3), [116.09, 117.15, 126.76, 126.88, 127.28, 128.65 (2C), 128.97 (2C), 129.54 (2C), 130.39, 130.41, 132.53, 133.24, 133.44, 140.68, 150.68] ($\text{C}_{\text{arom.}}$), 148.63 (Triazol C₃), 150.43 (N=CH), 151.03 (Triazol C₅), 166.61 (COCH_3), 169.15 (COO). UV [Etil Alkol, λ_{max} , nm (ϵ , $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$): 292 (10.890), 224 (19.195).

2.2. Antioksidan aktivitesi

Sentezi gerçekleştirilen on beş bileşiğin 3a-i ve 4a-4e ve 4g'nin antioksidan aktiviteleri belirlendi. Antioksidan özelliklerini tanımlamak için kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır:

2.2.1 İndirgeme Gücü

Sentezlenen maddelerin indirgeme gücü Oyaizu yöntemi doğrultusunda belirlendi (Oyaizu, 1986). DMSO (1 mL) içindeki numunelerin farklı konsantrasyonları (100, 250 ve 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$) potasyum ferrisiyanür (2.5 mL, %1) ve fosfat tamponu (pH = 6,6, 0.2 M, 2,5 mL) ile karıştırıldı. Karışım 20 dakika 50 °C'de bekletilmiş, daha sonra karışıma (2.5 mL) trikloroasetik asit (%10) ilave edilerek 10 dakika santrifüjlendi. Solüsyonun üst tabakası (2,5 mL) damıtılmış su (2,5 mL), FeCl₃ (0,5 mL, %0,1) ile birlikte karıştırıldı ve ardından absorbans değeri 700 nm'de spektrofometrede ölçüldü.

2.2.2 Serbest Radikal Giderme Aktivitesi

Bileşikler için bu yöntem, Blois yöntemi kullanılarak DPPH ile ölçülmüştür (Blois, 1955). Kısaca, 0,1 mM DPPH çözeltisi. etanolde hazırlandı ve 1 mL'lik bu çözelti DMSO (3 mL) içindeki değişik konsantrasyon ölçülerinde (50-150 $\mu\text{g}/\text{mL}$) numune çözeltilerine ilave edildi. Karışım kuvvetlice çalkalandı ve oda sıcaklığında 30 dakika beklemeye bırakıldı. Daha sonra absorbansı, spektrofotometrede 517 nm'de ölçüldü.

2.2.3 Metal Şelatlama Aktivitesi

Sentezlenen bileşikler ve standartlar tarafından demir iyonlarının şelatlanması, Dinis ve arkadaşlarının (Dinis vd., 1994) yöntemi ile tahmin edildi. Kısaca, sentezlenen bileşikler (50-150 $\mu\text{g}/\text{mL}$), 2 mM'lik bir FeCl₂ (50 μL) çözeltisine ilave edildi. Reaksiyon, 5 mM ferrozin (200 μL) ilave edilerek başlatıldı ve karışım kuvvetlice çalkalandı. Oda sıcaklığında 10 dakika bekletildi. Karışım dengeye ulaştıktan sonra, çözeltinin absorbansı spektrofotometrede 562 nm'de ölçüldü.

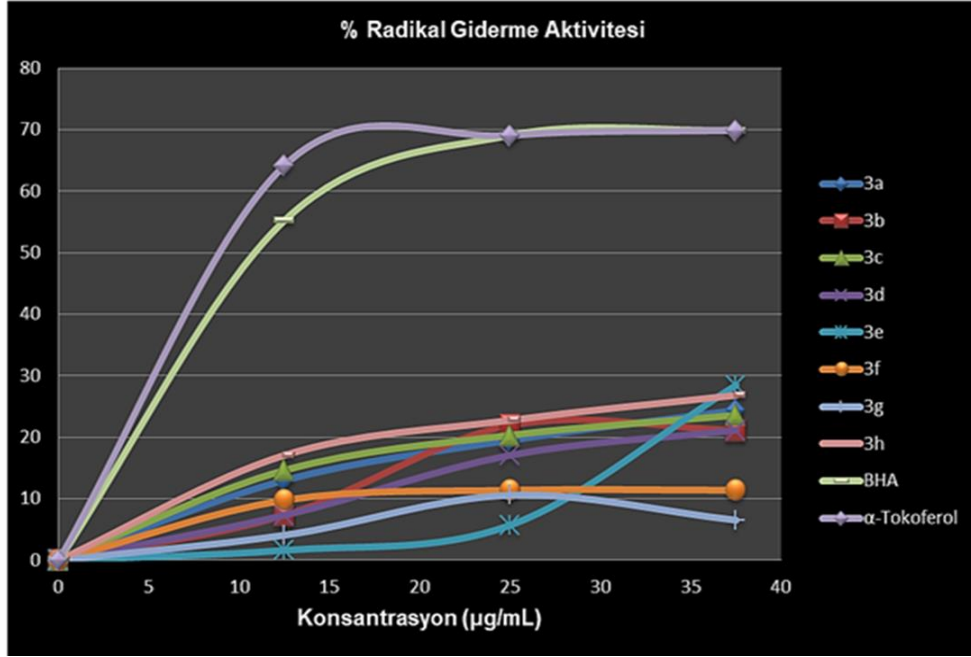
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bileşiklerin sentezi. Sentezi gerçekleştirilen maddelerin yapısal analizleri IR, ^1H -NMR, ^{13}C -NMR ve UV spektrum değerleri kullanılarak incelenmiş ve değerlendirme sonuçları sentezi gerçekleştirilen bileşiklerin yapıları ve literatür verileri ile karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmüştür.

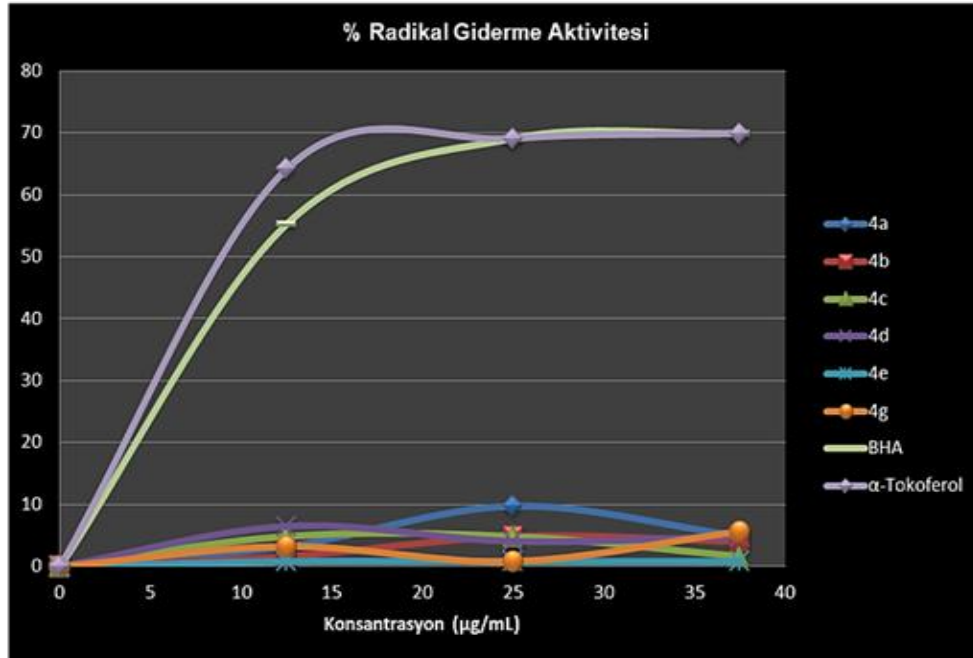
Antioksidan aktivitesi. İndirgeme gücü testlerinde, bileşiklerin absorbanslarının 700 nm'de alınan sonuçlarla standartlar karşılaştırıldığında oldukça düşük çıkması sebebiyle indirgeyici özelliklerinin olmadığı görülmüştür.

Sentezlenen bileşiklerin, serbest radikal giderme aktivite testleri doğrultusunda **3i** bileşiği hariç ele geçen verilerin grafiği çizilmiştir ve **Şekil 1** ve **2'** de verilmiştir. Grafikte bileşiklerin 517 nm'de farklı derişimlerde yapılan ölçümleri verilmiştir. Bu bileşiklerin kontrol

ile kıyaslandığında daha düşük absorbans değerine sahip oldukları, fakat standart antioksidanlardan daha yüksek absorbans göstermeleri, serbest radikal giderme aktivitesi bakımından az da olsa bir etkinliğe sahip olduklarını göstermektedir. Konsantrasyon arttıkça serbest radikal giderme aktivitesi artan bileşikler **3a**, **3c-3f**, **3h** bileşikleridir.



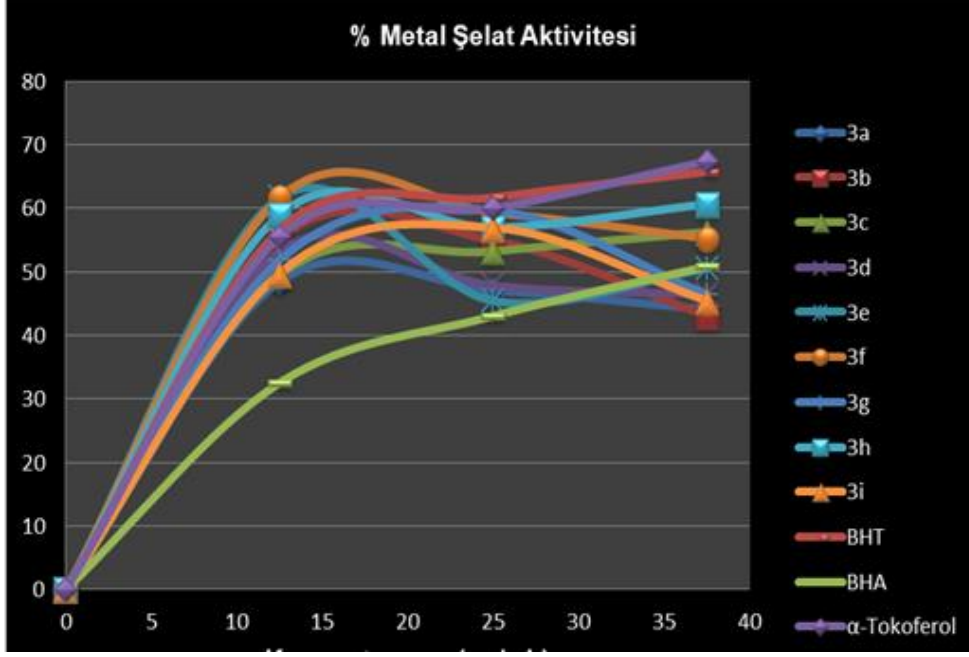
Şekil 1. 3 Tipi Bileşiklerin Serbest Radikal Giderme Aktiviteleri (Figure 1. Free Radical Removal Activities of Type 3 Compounds)



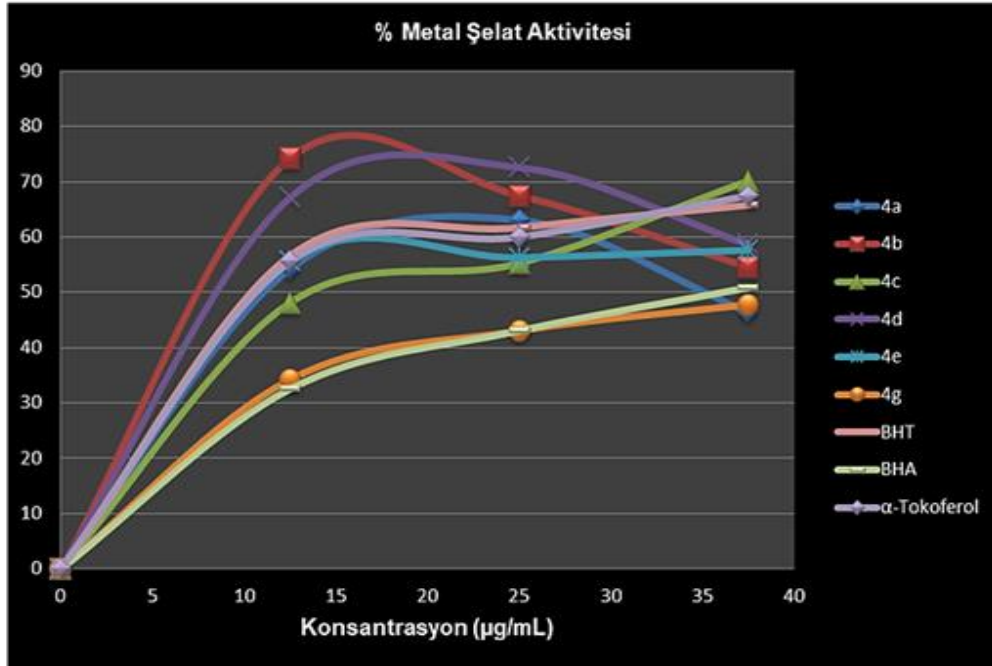
Şekil 2. 4 Tipi Bileşiklerin Serbest Radikal Giderme Aktiviteleri (Figure 2. Free Radical Removal Activities of Type 4 Compounds)

Şekil 3-4'de verilen grafikler incelendiğinde, standartların ve sentezlenen bileşiklerin metal şelatlama ölçüleri % inhibisyon şeklinde verilmiştir. Tüm bileşikler standart maddeler ile kıyaslandığında metal şelatlama aktifliğine sahip oldukları görülmektedir ve bazı bileşiklerin bu kıyaslamada daha iyi sonuç verdikleri görülmüştür.

Şekil 3-4'de, 3 ve 4 tipi bileşiklerin metal şelat grafikleri verilmiştir. İncelenen moleküller arasında, **4c** bileşiği daha iyi, **3c**, **4e** ve **4g** bileşiklerini anlamlı olarak referans antioksidan bileşiklere yakın değerde şelatörlük göstermektedir.



Şekil 3. 3 Tipi Bileşiklerin Konsantrasyona Karşı % Metal Şelat Aktiviteleri (Figure 3. % Metal Chelating Activities of Type 3 Compounds Against Concentration)



Şekil 4. 4 Tipi Bileşiklerin Konsantrasyona Karşı % Metal Şelat Aktiviteleri (Figure 3. % Metal Chelating Activities of Type 4 Compounds Against Concentration)

5. Teşekkür

Yazarlar antioksidan aktivite incelemelerindeki katkısından dolayı Prof. Dr. Özlem Gürsoy-Kol'a teşekkür eder.

Kaynakça

- Blois, S. (1955). A note on free radical formation in biologically occurring quinones. *Biochimica et Biophysica Acta*, 18, 165. [https://doi.org/10.1016/0006-3002\(55\)90038-X](https://doi.org/10.1016/0006-3002(55)90038-X)
- Demirbaş, N., Ugurluoglu, R., & Demirbaş, A. (2002). Synthesis of 3-alkyl(aryl)-4-alkylidenamino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones and 3-alkyl-4-alkylamino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones as antitumor agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 10(12), 3717-3723. [https://doi.org/10.1016/s0968-0896\(02\)00420-0](https://doi.org/10.1016/s0968-0896(02)00420-0)

- Dinis, T. C. P., Madeira, V. M. C., & Almeida, L. M. (1994). Action of Phenolic Derivatives (Acetaminophen, Salicylate, and 5-Aminosalicylate) as Inhibitors of Membrane Lipid Peroxidation and as Peroxyl Radical Scavengers. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 315(1), 161-169. <https://doi.org/10.1006/abbi.1994.1485>
- Dobbs, K. D., Feldman, J., Marshall, W. J., McLain, S. J., McLaren, C. D., Meth, J. S., Vo, G. D., & Wang, Y. (2014). Phosphorescent Iridium(III) Complexes of Cyclometalated 5-Aryl-1H-1,2,4-Triazole Ligands: Structural, Computational, Spectroscopic, and Device Studies. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118(48), 27763-27771. <https://doi.org/10.1021/jp5096322>
- Hassan, F. A., & Younus, K. W. (2012). Biological Evaluation of Some Azole Derivatives in Cooling Fluids (Lubricant Oils). *Research Journal of Biological Sciences*, 7(1), 48-51. <https://doi.org/10.3923/rjbsci.2012.48.51>
- Kavaklı, C., Akkaş Kavaklı, P., & Güven, O. (2014). Preparation and characterization of glycidyl methacrylate grafted 4-amino-1,2,4-triazole modified nonwoven fiber adsorbent for environmental application. *Radiation Physics and Chemistry*, 94, 111-114. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.07.018>
- Khudair, Z., & Adnan, S. (2020). Synthesis and Characterization of Some New Heterocyclic Derivatives and Studying of their Biological Activity (Anti-Bacteria). *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*, 11. <https://doi.org/10.25258/ijpqa.11.1.6>
- Maddila, S., Pagadala, R., & Jonnalagadda, S. B. (2013). 1,2,4-Triazoles: A Review of Synthetic Approaches and the Biological Activity. *Letters in Organic Chemistry*, 10(10), 693-714.
- Manap, S. (2022). Synthesis and in vitro antioxidant and antimicrobial activities of novel 3-alkyl(aryl)-4-[3-methoxy-4-(2-furylcarbonyloxy)-benzylideneamino]-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones, and their N-acetyl, N-Mannich base derivatives. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 19(4), 1347-1368. <https://doi.org/10.1007/s13738-021-02386-7>
- Manap, S., & Yüksek, H. (2021). Yeni Di-{2-[(3-alkil)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il]-azometin}-6-metoksi}-fenil Tereftalat Bileşiklerinin Sentezi ve Potansiyometrik Titrasyonları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31, Art. 31. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1006063>
- Murtaza, S., Akhtar, M. S., Kanwal, F., Abbas, A., Ashiq, S., & Shamim, S. (2017). Synthesis and biological evaluation of schiff bases of 4-aminophenazone as an anti-inflammatory, analgesic and antipyretic agent. *Journal of Saudi Chemical Society*, 21, S359-S372. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2014.04.003>
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction. Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6), 307-315. <https://doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.44.307>
- Shneine, J., & Alaraji, Y. (2016). Chemistry of 1, 2, 4-Triazole: A Review Article. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5, 1411.



Akıllı Maket ve Aplikasyon Programından Oluşan Eğitim Setini Kullanan Öğrencilerin Eğitim Seti Hakkındaki Görüşleri

Güneş Bolatlı^{1*}, Fatih Taş²

^{1*} Siirt University, Faculty of Medicine, Department of Anatomy, Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0002-7648-0237), gunesbolatli83@gmail.com

² Siirt University, Faculty of Medicine, Department of Histology and Embryology, Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0001-9817-4241), ftas85@yahoo.com

(İlk Geliş Tarihi 09 Aralık 2022 ve Kabul Tarihi 10 Ocak 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1217012)

ATIF/REFERENCE: Bolatlı, G & Taş, F. (2023). Student opinions about the training set consists of smart interactive mockups and application program used in anatomy and histology education. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 90-97.

Öz

Teknolojinin eğitime entegre edilmesi günümüz öğrenci profiline uymakta ve eğitime yeni bir soluk getirmektedir. Tıp ve sağlık eğitiminde teknolojiyi kullanan araştırmaların sayısı artmıştır. Çalışmanın amacı; temel tıp bilimleri eğitiminde kullanılmak üzere tasarlanmış, patentini aldığımız, eğitim setini kullanan öğrencilerden görüşlerini almaktır. Araştırmanın örneklemini oluşturan öğrenciler, Siirt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü 1. sınıf öğrencileri arasından randomize yöntemle (n=27) seçilmiştir. Araştırma verileri, "Yapılandırılmış Öğrenci Tanıtım Formu" ile "Sağlık Bilimleri Hemşirelik Bölümü Öğrencilerinin Akıllı Maket ve Aplikasyon Programından Oluşan Eğitim Seti Hakkındaki Görüşleri" yarı yapılandırılmış görüşme formları kullanılarak toplandı. Nitel yapıdaki bu çalışmada, elde edilen verilerin değerlendirilmesinde betimsel analiz tekniği kullanıldı. Öğrenci görüşlerine göre; sağlık ve tıp eğitimine teknolojinin entegre edilmesinin; öğrenci motivasyonuna, derse ilgisine ve dersi anlamasına olumlu etkileri olduğu belirlendi. Eğitim setinin de aynı etkilere sahip olduğu fakat geliştirilmesi gereken yönlerinin olduğu tespit edildi. Öğrenci deneyimlerini ve sürekli yenilenen teknolojik uygulamaları göz önünde bulundurarak, patentini aldığımız eğitim setine ait özellikleri iyileştirmenin, sağlık ve tıp eğitimine yeni bir bakış açısı getireceğini düşünmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Patent, Teknoloji Temelli Eğitim, Akıllı Etkileşimli Maketler, Temel Tıp Eğitimi

Student Opinions About the Training Set Consists of Smart Interactive Mockups and Application Program Used in Anatomy and Histology Education

Abstract

Technology integration into education fits today's student profile and brings a new breath to education. The number of studies using technology in medicine and health education has increased. The study aims to get the opinions of students who use the education set we have patented, designed to be used in primary medical sciences education. The students forming the sample of the study were selected from among the first-year students studying at the Nursing Department of the Faculty of Health Sciences of Siirt University by using a randomized method (n=27). The research data were collected using the semi-structured interview forms of the "Structured Student Introduction Form" and "The Opinions of the Health Sciences Nursing Department Students on the Training Set Consists of Smart Interactive Mockup and Application Program." This qualitative study used descriptive analysis to evaluate the data obtained. Student opinions determined that there were positive effects on student motivation, interest in the lesson, and understanding of the lesson by integrating technology into health and medical education. It was determined that the education set had the same effects but had aspects that needed improvement. Considering student experiences and constantly renewed technological applications, we think that improving the features of the education set we have patented will bring a new perspective to health and medical education.

Keywords: Patent, Technology-Based Education, Smart Interactive Mockups, Basic Medical Education

* Sorumlu Yazar: gunesbolatli83@gmail.com

1. Introduction

Information in the field of medicine and health is changing very quickly. It is essential to correctly convey reliable scientific research and these rapid changes to students (Çakmakkaya, 2021). In order to competent individuals in the fields of medicine and health, it is recommended to develop interactive education methods and systems that integrate basic education and clinical education (Hatala & Guyat, 2002). To meet these expectations in medicine and health education, developing new educational materials such as the education set (Taş & Bolatlı, 2022), which consists of smart interactive mockups and application programs may be beneficial.

Anatomy is one of the branches of science that forms the basis of medical education. It contains many details that need to be memorized and is a difficult science to understand (Mansouri et al., 2020). Difficulties encountered during anatomy education increase the need for alternative education tools that will increase the permanence of the course. At this point, technological applications that emerged with the understanding of 'learning everywhere' are becoming increasingly common in anatomy education (Trelease, 2020). Today, technological methods such as augmented reality (Fajrianti, 2022), virtual reality (Zhao, 2020), and mixed reality are successfully applied, but high costs prevent these applications from reaching large masses (Stirling & Moro, 2020). In addition to these applications, developing smart interactive mockups and mobile application programs integrated with these devices allows for obtaining the technological products required in education at a lower cost (Taş & Bolatlı, 2022). In response to this information, existing technological approaches must be further developed regarding education quality.

Histology is the branch of science that examines tissues under a microscope, also called microanatomy. Although it is not generally found interesting by students, it has a very important place in understanding the pathogenesis of diseases (Garcia et al., 2019). Traditional histology education relies heavily on light microscopes and limited slide views, often making it difficult for students to study collectively at the same time. Today, technology-supported applications that will facilitate histology education and also provide student-centered learning are applied as a complement to traditional education (Sharmin et al., 2021). Virtual laboratories (Lee et al., 2018), e-learning (Joaquim et al., 2022), digital images (Francis et al., 2022), and various animations and videos are among the alternative education strategies that have emerged in recent years with the developing technology (Campos-Sánchez, 2014). There is a need to develop applications that integrate such innovative approaches in education with traditional methods.

A technological education set (Taş & Bolatlı, 2022), consisting of smart interactive mockups and an application (mobile application) program, which allows learning branches of science such as anatomy and histology at the same time with a multidisciplinary approach, can provide solutions to the difficulties and needs in health and medical education. Our study aims to receive feedback from students regarding the applications of this education set (Taş & Bolatlı, 2022), which we have patented (Taş & Bolatlı, 2021) and which we have started to use in health education and to develop the education set in the direction of these feedbacks.

2. Material and Method

The study was carried out with the approval of Siirt University Ethics Committee, dated 09.08.2022, numbered 3121. A Research Permission Form was obtained from the institution where the study would be conducted, and the students filled out the Informed Consent Form.

2.1. Population and Sample of the Research

The research population was created by students studying at Siirt University, Faculty of Health Sciences, Department of Nursing between October 4, 2021 - June 10, 2022, and taking anatomy and histology courses during this period. Power analysis (NCSS-PASS Statistical package) was performed to determine the number of students who will constitute the research sample. This analysis concluded that the sample size should be at least 20 to conduct a study with $P \leq 0.1$ levels. Students in the sample group were determined by randomization by a researcher outside the study in terms of transparency. Accordingly, the purpose of the research was explained and a total of 27 students, who met the sampling criteria of the study, and were permitted to participate in the research after being informed, formed the sample of the research

2.2. Data Collection Tools

In the research, a training set consisting of a smart interactive mockup and application (mobile application) program was developed to integrate and implement anatomy and histology courses. All of the individuals participating in the study (n:27) were composed of students using this education set. The research data were collected using the semi-structured interview forms "Structured Student Introduction Form" and "The Opinions of the Health Sciences Nursing Department Students on the Training Set Consisting of the Smart Interactive Mockup and Application Program."

In the structured student introduction form, three questions were formed, including data on the students' sociodemographic characteristics, such as age and gender, and educational status. Regarding the reliability of the answers, the students were not asked about their personal information, such as name, surname, and number.

The questionnaire, in which the views of the health sciences nursing department students about the training set consisting of the smart mockup and application program were asked, was formed in the form of four open-ended questions in total. With the prepared questionnaire, students were asked for their opinions on using smart and digital technologies and mobile applications for teaching purposes in health sciences education. In addition, the students' experiences regarding the hardware and software (mobile learning) parts of the education set that we have patented and their opinions on how these features can be improved further were received.

2.3. Training Set Consisting of Smart Interactive Mockup and Application Program

The education set consists of two parts, software, and hardware. The hardware part shows the tissue or organ (e.g., stomach, heart, or kidney) models being studied with light and audio explanations. The software part has a QR code extension on the tissue or organ models studied. When the participant reads the QR code with the smart device in his hand, he can easily access all up-to-date information (documents, videos, simulations, etc.).

The hardware part of the invention has a mechanism that can give anatomical and histological formations at the same time. For this, a smart interactive mockup of the stomach was used in the study. One-half of the stomach mockup, which is attached with a hinge and can be opened and closed in two, shows the anatomical formations on the stomach. In contrast, the other half shows the histological formations in the stomach (Figure 1). There are touch and light sensors on the embossed surfaces corresponding to each formation. When students touch these sensors, the light turns on in the formation area corresponding to that sensor, and simultaneously, audible descriptive information about the formation can be reached through the speaker. Thus, the students reached the macroscopic and microscopic formations related to the three-dimensional stomach mockup they were working on simultaneously and comparatively. They experienced the anatomy and histology course in an integrated manner without using any other source. At the end of the experiment, the student's impressions of the hardware part of the education set were obtained through a questionnaire.



Figure 1. a. Interior view of the mockup b. Exterior view of the mockup c. View of the mockup with light

To access the software part of the education set, which consists of a smart model of the stomach, there is a QR code on the mockup. The students participating in the study read the QR code on the stomach mockup with their smart devices. Thus, they gained access to the mobile application program, which contains anatomical and histological information about the stomach (Figure 2). They gained experience by accessing this application's theoretical and practical information. At the end of the experiment, the student's impressions of the software part of the training set were obtained through a questionnaire.

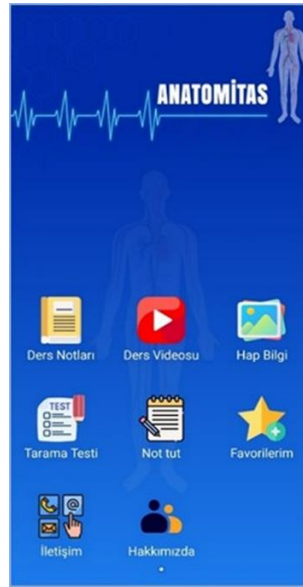


Figure 2. Mobile app home page

2.4. Data Collection Process

For the study, the sample was determined (n:27), and then the students participating in the study were asked to fill in the Informed Consent Form. The students forming the sample of the study were selected from among the first-year students studying at the Nursing Department of the Faculty of Health Sciences of Siirt University by using a randomized method. The selected students gathered in the Faculty of Health Sciences classroom, and after the necessary explanations about the study were made, the Structured Student Introduction Form was applied. After this application, the students were given the necessary information about a smart mockup and software program training set, and they were allowed to experience this education set (in small groups) (Figure 3). At the end of this experience, a questionnaire was applied, which included the opinions of the students in the study about the training set consisting of a smart mockup and application program.



Figure 3. Students experience the model

2.5. Data analysis

This qualitative study used descriptive analysis to evaluate the obtained data. In the descriptive analysis, themes are determined within the scope of the research questions. Then, the data are summarized, interpreted, and evaluated in line with the themes. In the descriptive analysis, it is important to show and describe the data as they are (Sönmez & Alacapınar, 2014). Within the scope of the study, the data consisting of four open-ended questions were analyzed.

3. Results and Discussion

3.1. Result

Sixteen (59.3%) of the 27 students participating in the study were female, and 11 (40.7%) were male (Table 1). The average age of the students is 19.1. The students were predominantly Anatolian high school graduates, and students who graduated from other high schools (e.g., super high school, vocational high school, etc.) are also included in the study.

Table 1. Gender distribution of the students who participated in the study

Gender	n	%
Female	16	59.3
Male	11	40.7
Total	27	100

The descriptive analysis results of the data collected from the students through the questionnaire form are given below in order.

1. What are your opinions on the use of smart and digital technologies for teaching purposes in health sciences education?

Two main themes were identified when the answers to this question were examined. It was observed that the first main theme had four sub-themes, and the second main theme had two sub-themes (Table 2).

Table 2. Theme and sub-themes regarding the question "What are your views on using smart and digital technologies for teaching purposes in health sciences education?"

Themes	Sub-themes
1. Positive opinions regarding learning	a. Compliance with today's education system b. Increasing the desire to learn c. Being excited d. Providing opportunities for distance education
2. Concerns regarding to implementation	a. Having the necessary equipment to use the technology b. The education venue can fully allow for this training.

The opinions of the students about the sub-themes belonging to the main themes are as follows.

1. a "As a generation, we are very prone to use technology. For this reason, the education system can keep up with the times."
1. b "Different educational materials increase my interest in the lesson."
1. c "It would be very interesting as opposed to a monotonous education."
- 1.d "If it allows distant education, it will be very comfortable for us."
2. a "In order to receive technological education, the student should not be required to have various technological products (except for the phone). Otherwise, there will be inequality in education."
2. b "I think universities must provide the infrastructure to provide technological education."
2. What are your experiences with this developed education set? What are your suggestions for improvement?

Two main themes were identified when the answers to this question were examined. It was observed that the first main theme had five sub-themes, and the second main theme had five sub-themes (Table 3).

Table 3. Theme and sub-themes regarding the question of "What are your experiences with this developed education set? What are your suggestions for improvement?" theme and sub-themes

Themes	Sub-themes
<i>1. Positive opinions</i>	a. Increasing interest in the lesson b. Affecting the lesson in a positive way c. Increasing the permanence of information d. Access to information at any time of the day e. The number of repetitions
<i>2. Developable aspects of the model</i>	a. Improving sound quality b. Making its size more useful c. Adding other basic medical courses d. More comprehensive coloring and lighting e. Adding a screen

1. "The fact that the model is supported by technology makes the lesson more interesting than changed as the classic. For this reason, my interest in the course increased."

1. b "I learned the lesson in a shorter time. It had a positive effect on my understanding."

1. c "The fact that the model has sound, light, and three dimensions make the lesson practical. For this reason, the information stays in my memory for longer."

1.d "Accessing information anytime, anywhere is very important for a student."

1. e "Normally, when working in the laboratory, we have difficulty finding formations from the atlas. But it was very useful to reach the information as soon as we touched it on the mockup and to be able to repeat it as much as we wanted."

2. a "The sound was muffled and low."

2. b "The size is a bit useless. It can be worked on more easily if it is a little small."

2. c "It was very helpful to learn anatomy and histology simultaneously. It would be great if physiology were included in the same set."

2.d "It would be very good, especially for histology, if the model had coloration. Lighting could be more comprehensive."

2. e "Adding a screen to the mockup and having the information we hear written on the screen would be productive for learning."

3. What are your opinions on using mobile applications for teaching purposes in health sciences education?

One main theme was identified when the answers to this question were examined. It was observed that the main theme had three sub-themes (Table 4).

Table 4. Theme and sub-themes regarding the question "What are your opinions on using mobile applications for teaching purposes in health sciences education?"

Theme	Sub-themes
1. Positive opinions	a. Possibility of repeat b. Easy access to mobile devices c. Can be carried anywhere

1.a "It would be very useful to have the repetitions of the lectures we listened to. It is a great advantage to listen to it again and again when we miss the lesson or in the problem of distraction adaptation."

1.b "Mobile devices are devices everyone owns and uses frequently. I think it is very beneficial to be included in the education."

1.c "Because it is a device that can be carried anywhere, it allows spending free time."

4. What are your experiences with the developed education set's software part (mobile learning system)? What are your suggestions for improvement?

Two main themes were identified when the answers to this question were examined. It was observed that the first main theme had five sub-themes, and the second main theme had five sub-themes (Table 5).

Table 5. Theme and sub-themes regarding the question "What are your experiences with the developed education set's software part (mobile learning system)? What are your suggestions for improvement?"

Themes	Sub-themes
1. Positive opinions	a. Practical and convenient b. Increasing the interest and understanding of lesson c. The possibility of continuous repetition reduces stress d. Effectively designed e. It will increase success in academic courses.
2. Developable aspects of the model	a. More visuals should be used b. Having a three-dimensional image of the models c. Video times and quality d. Shapes and colors used e. Speed during loading and use

1.a "As it is practical to use, it saves time. It accelerates learning."

1.b "Because it is not a teaching method we routinely use, it increased my interest in the lesson."

1.c "After the lessons, I increased the number of repetitions thanks to the mobile application. I understood the lesson better."

1.d "Well thought out, simple and effective design"

1.e "Because it is on our phones, we have the chance to use it constantly. This increases our academic success."

2.a "More use of visuals in the mobile application makes the lesson easier to understand."

2.b "It would be better if the images were close to reality, for example, three-dimensional."

2.c "Videos could have a shorter duration, better picture, and sound quality."

2.d "Some colors have a positive effect on understanding. The application may be dominated by these colors."

2.e "The application could be faster when loading and using the app."

3.2. Discussion

In our study, we questioned the students' approach to smart and digital technologies and mobile applications in education; students had many positive opinions on integrating technology into classical education. We also stated that our education set, which has these technological features, makes the lesson more understandable and exciting, and we also received feedback on its development.

Introductory medical science courses such as anatomy and histology are essential in health science education. Today, smart and digital technologies are used in the education of these courses (Taş & Bolatlı, 2022). Today, when the Covid-19 pandemic is experienced,

it has been better understood that technological applications are necessary for education and training, as in many other fields (Nguyen & Kieuthi, 2020). In particular, the application areas of smart and digital technology-based applications in anatomy and histology courses are becoming increasingly common. Most of the students found the use of technology in education positive, and they stated that it increased their interest in the course and its permanence of the course. However, they stated that for the widespread use of technology, the infrastructure should be sufficient, and the necessary equipment should be provided to them. It is known that technological educational materials used in anatomy and histology courses increase pleasure in students and increase motivation (Donkin & Rasmussen, 2021). In general, we think that integrating technology into medical education would be beneficial.

In our study, in which we questioned students' perspectives on smart and digital technologies in health sciences education, we obtained results similar to the literature (Patra et al., 2022; Felszeghy et al., 2017). At this point, the students stated that innovative practices should be given more place in health sciences education. In addition, they stated that these applications would increase their motivation and interest, facilitate their comprehension skills, and provide faster and more permanent learning. They also stated that it would be more efficient to integrate smart and digital technologies to be used in education by integrating them with classical methods. In a study in which the education set application containing smart and digital technology was integrated with classical methods, the anatomy and histology course performance of the students was higher than the classical methods (Taş & Bolatlı, 2022) supports this approach of the students. Therefore, in the face of changing expectations of students and conditions affecting all areas of life, such as Covid-19, we think it is essential to develop materials that include smart and digital technologies in education.

In another study about the education set that includes smart and digital technologies, we found that the education set increased student achievement (Taş & Bolatlı, 2022). Although this education set application is successful, it needs to be further developed to increase the quality of education. In this study, we received feedback from students regarding the development of hardware and software aspects of our education set, which had previously contributed to academic success. The positive evaluations of the students on this subject stated that the simultaneous anatomy and histology lessons were beneficial. The invention made a significant contribution to visual memory. Being tangible facilitated understanding, and they could think in three dimensions. They also stated that such education sets should not be limited to anatomy and histology but should be designed for other branches. The aspects that students want to be developed about the invention are; improving the sound quality, giving the formations on the mockup in written form, and changing the lighting, coloring, and size of the invention. In addition, when the students touched the formations, they stated that the explanatory information they heard about the formation should be more detailed. In light of these evaluations, it can be said that it would be more beneficial to use our education set, which we use in health sciences education after the deficiencies emphasized by the students are eliminated. For example, when touching the touch sensor on the formation, on the one hand listening to the related audio information on the formation, on the other hand, reading the written information on the formation can provide two-way learning.

In health sciences education, giving introductory medical science courses such as anatomy and physiology with mobile applications is becoming increasingly common. In a study in which skeletal system anatomy was given to students via the mobile application, it was shown that this method significantly increased students' test success. Students stated that supporting education with technological applications besides traditional textbooks is more enjoyable, accessible, and effective (Bice et al., 2016). In another study, an application was developed for the oral histology course to be given via mobile application, which was installed on the smart device of the students. Students' experience with this application was taken, and students found such applications more fun, flexible, and easy to learn (Sharmin et al., 2022). In our study, students were asked about their opinions on mobile applications in health education, and students were asked about these applications. They reported that it has advantages such as allowing repetition, reducing stress, being easily accessible at any time, and reinforcing face-to-face lessons. In addition, they stated that such applications provide faster and more effective learning because they have both visual and auditory aspects. Accordingly, we think that integrating the mobile application feature and other smart and digital technologies while designing educational materials in the health field will significantly contribute to the quality of education. In the reviewed articles, it has been shown that mobile learning techniques used for basic medical education in different environments increase success and are more motivating compared to traditional learning methods (Erbek & Bolatlı, 2020).

It has been shown that the education set application, which includes mobile application technology, has positive effects on the academic success of health sciences students (Taş & Bolatlı, 2022). Although it is known that such applications are beneficial, the feedback received from the students shows that the mobile application programs used in education still need to be developed. In this study, the mobile application feature corresponding to the software part of the education set was experienced by the students. Students evaluated this application positively in line with the literature (Bice et al., 2016; Sharmin et al., 2022) and stated that it was helpful to reach it repeatedly, especially outside the faculty. Among the features of the mobile application that need to be developed are; increasing the sound quality, adding it to courses other than anatomy and histology, not having problems such as freezing of the system, and further increasing the knowledge pool in the application. In light of these evaluations, while developing a mobile application for health education, it should be noted that the application prepared is much more satisfying with basic and clinical information in terms of content. In addition, it is extremely important to take technological measures in order to avoid technical problems such as sound, image, and program running without freezing.

Limitations

The study was carried out on students studying at the faculty of health sciences. By adding students from other faculties related to health to the study group, the education set can be experienced with a wider perspective. Secondly, the education set can be evaluated more comprehensively by using smart interactive mockups of tissues or organs other than the stomach. Thirdly, increasing the number of students participating in the study may lead to more innovative ideas.

4. Conclusions and Recommendations

In today's world, where smart and digital technologies have become widespread in all areas of life, inevitably, these technologies will also take their place in the field of health and medicine. Therefore, there is a need for innovative educational materials that will facilitate the education of students. For this purpose, it would be useful to present the education sets to the students and modify them in line with the feedback from the students. In this study, we have demonstrated how the features of the hardware and software (mobile application) parts of the education set that we offer for the use of students can be further improved in line with student expectations. Considering student experiences and constantly renewed technological applications, we think that improving the features of the education set, which we have patented, will bring a new perspective to health and medical education.

References

- Çakmakkaya, Ö.S. Evidence Based Medicine: A Review of Basic Concepts, Learning Theories, Teaching Approaches and Assessment Methods. *Tıp Eğitimi Dünyası*. 2021; 20(60): 122-136.
- Hatala, R., & Guyatt, G. Evaluating the teaching of evidence based medicine. *JAMA*. 2002; 288(9): 1110-1112.
- Taş, F., & Bolatlı, G. A new model in medicine education: smart model education set. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2022; 5: 1-9.
- Mansouri, M., Bigdeli, S., & Dehnad, A. Exploring the features of mobile phone application of anatomy in basic medical sciences: A qualitative study. *BMC Med Educ*. 2020; 20: 231.
- Trelease, RB. Diffusion of innovations: Smartphones and wireless anatomy learning resources. *Anat Sci Educ*. 2008; 1: 233-239.
- Fajrianti, E. Sukaridhoto, S., & Al Rasyid, M. U. H. Application of Augmented Intelligence Technology with Human Body Tracking for Human Anatomy Education. *International Journal of Information and Education Technology*. 2022; 12(6): 476-484.
- Zhao, J., Xu X, & Jiang, H. The effectiveness of virtual reality-based technology on anatomy teaching: a meta-analysis of randomized controlled studies. *BMC medical education*. 2020; 20(1): 1-10.
- Stirling, A. C., & Moro, C. The use of virtual, augmented and mixed reality in anatomy education. In *Teaching Anatomy*. 2020; 8:359-366.
- García, M., Victory, N., & Navarro-Sempere, A. Students' views on difficulties in learning histology. *Anat Sci Educ*. 2019; 12(5):541-9.
- Sharmin, N, ChowA. K, Dong A. S, et al. Histoscope: A Web-Based Microscopy Tool for Oral Histology Education. *Healthcare Informatics Research*. 2021; 27(2): 146-152.
- Lee, LM., Goldman, HM., & Hortsch, M. The virtual microscopy database-sharing digital microscope images for research and education. *Anat Sci Educ*. 2018; 11: 510-515.
- Joaquim, D.C., Hortsch, M., & Silva, A.S.R.D. Digital information and communication technologies on histology learning: What to expect? An integrative review. *Anatomia, Histologia, Embryologia*. 2022; 51(2): 180-188.
- Francis, D.V, Charles, A.S, & Jacob, T.M. Virtual microscopy as a teaching-learning tool for histology in a competency-based medical curriculum. *Medical Journal Armed Forces India*. 2022.
- Campos-Sánchez, A., López-Núñez, JA., & Scionti, G. Developing an audiovisual notebook as a self-learning tool in histology: perceptions of teachers and students. *Anat Sci Educ*. 2014; 7: 209-218.
- Taş, F., Bolatlı, G., & Bolatlı, Z. Training Set Consists Of Smart Interactive Mockups And Application Program. PCT Application no: PCT/TR2021/050179.
- Sönmez, V., & Alacapınar, F.G. Örneklandırılmış bilimsel araştırma yöntemleri (Genişletilmiş 3. Baskı). Ankara: Anı Yayıncılık. 2014.
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. (Genişletilmiş 5. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık. 2005.
- Nguyen, D.T., & Kieuthi, T.C. New trends in technology application in education and capacities of universities lecturers during the Covid-19 pandemic. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*. 2020; 10: 1709-1714.
- Donkin, R., & Rasmussen, R. Student perception and the effectiveness of Kahoot!: a scoping review in histology, anatomy, and medical education. *Anatomical Sciences Education*. 2021;14(5): 572-585.
- Patra, A., Asghar, A., & Chaudhary, P. Integration of innovative educational technologies in anatomy teaching: new normal in anatomy education. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2022; 44(1): 25-32.
- Felszeghy, S., Pasonen-Seppänen, S., & Koskela, A. Student-focused virtual histology education: Do new scenarios and digital technology matter?. *MedEdPublish*. 2017; 6(154): 154.
- Bice, M.R., Carey, J., & Brown, G.A. The use of mobile application to enhance learning of the skeletal system in introductory anatomy & physiology students. *International J. Kinesiology in Higher Education*. 2016; 27(1): 16-22.
- Sharmin, N., Chow, A., & Votta, D. Implementing Augmented Reality to Facilitate the Learning of Oral Histology. *Healthcare Informatics Research*. 2022; 28(2): 170-175.
- Erbek, E., & Bolatlı, G. The Effect of Mobile Learning in Anatomy Education on Learning Skills and Motivation of Students: Systematic Review. *European Journal of Science and Technology*. 2022; (41): 269-284.



Hybrid Approach to Supply Chain Project Manager Selection Problem

Karahan Kara^{*}, Sercan Edinsel², Galip Cihan Yalçın³

^{1*} Artvin Çoruh University, Hopa Vocational School, Logistics Program, Artvin, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1359-0244), karahan.kara@artvin.edu.tr

² OSTİM Technical University, Faculty of FEAS, Department of Business Management, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2831-7504), sedinsel@gmail.com

³ Kırıkkale University, Faculty of Mathematics, Institute of Science and Technology, Kırıkkale, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9348-0709), pgcy2014@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 18 November 2022 ve Kabul Tarihi 25 January 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1206786)

ATIF/REFERENCE: Kara, K., Edinsel, S. & Yalçın, G. C. (2023). Hybrid Approach to Supply Chain Project Manager Selection Problem. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 98-108.

Abstract

Supply chain management covers the management of all operations, from determining the material needs of manufacturing companies to delivering value-added products to customers. The success of these operations depends on the success of the supply chain management. Supply chain managers are the planners and implementers of this management process. Therefore, the right supply chain manager is needed. In this research, the supply chain project manager selection problem is discussed. In this context, multi criteria decision making techniques used for project manager selection problem applications were used. According to the literature review and interviews with the manufacturing executive jury, seven criteria were determined. The criterion weights were determined by the fuzzy stepwise weight assessment ratio analysis (F-SWARA) method. The grey operational competitiveness rating method (OCRA-G) method was applied to select the most suitable candidate among the four candidates. According to the research findings, the experience criterion was determined as the most important criterion in the selection of the supply chain project manager. The second candidate was found to be the most suitable candidate. In this research, an alternative hybrid model method for the project selection problem has been presented to the literature by using fuzzy and grey based approaches in a hybrid way. In addition, suggestions have been developed for manufacturing companies, supply chain project manager candidates and researchers.

Keywords: Project Manager Selection Problem, Human Resource Management, Supply Chain Management, F-SWARA, OCRA-G, MCDM.

Tedarik Zinciri Proje Yöneticisi Seçim Probleminde Hibrit Yaklaşım

Öz

Tedarik zinciri yönetimi imalat firmalarının malzeme ihtiyaçlarının belirlenmesinden değer katılarak dönüştürülen ürünlerin müşterilere ulaştırılmasına kadar tüm operasyonların yönetimini kapsamaktadır. Bu operasyonların başarısı, tedarik zinciri yönetiminin başarısına bağlıdır. Tedarik zinciri yöneticileri, bu yönetim sürecinin planlayıcıları ve uygulayıcılarıdır. Bu nedenle, doğru tedarik zinciri yöneticisine ihtiyaç vardır. Bu araştırmada tedarik zinciri proje yöneticisi seçim problemi ele alınmıştır. Bu kapsamda proje yöneticisi seçim problemi uygulamalarına yönelik kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanılmıştır. Literatür incelemesi ve imalat firması yönetici jürisi ile yapılan görüşmelere göre yedi kriter belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları F-SWARA yöntemiyle belirlenmiştir. Dört aday arasından en uygun adayın seçimi için OCRA-G yöntemi uygulanmıştır. Araştırma bulgularına göre tedarik zinciri proje yöneticisi seçiminde tecrübe kriteri en önemli kriter olarak belirlenmiştir. İkinci aday en uygun aday olarak bulunmuştur. Bu araştırmada bulanık ve grey tabanlı yaklaşımlar hibrit şekilde kullanılarak literatüre proje seçim problemi için alternatif hibrit model yöntemi sunulmuştur. Ayrıca imalat firmalarına, tedarik zinciri proje yöneticisi adaylarına, araştırmacılara öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Proje Yöneticisi Seçim Problemi, İnsan Kaynakları Yönetimi, Tedarik Zinciri Yönetimi, F-SWARA, OCRA-G, ÇKKV.

* Sorumlu Yazar: xxxx@xxx.xx.xx

1. Introduction

One of the most crucial selection that companies must make is choosing a qualified project manager to oversee the full project management process (Jazebi and Rashidi 2013). Selecting a good supply chain project manager is the job of the human resources manager. It is well known that selecting the right project manager is essential to the smooth operation of any project. For human resource manager, finding the ideal project manager is a significant task. The project manager oversees completing the project's goals. Project managers manage projects by identifying project requirements, setting specific, achievable goals, balancing competing demands for quality, scope, time, and cost, adapting plans and strategies to the various concerns and expectations of various stakeholders, and managing projects in the face of uncertainty. The choice of the project manager is one of the two or three most crucial decisions that will affect the project because it is widely acknowledged that the project manager will have the greatest influence on the result (Ahsan et al., 2013).

The selection of project managers typically involves using established techniques like application form completion, interviews, and background checks. The accuracy of the results is in doubt because these traditional techniques frequently base their conclusions on the subjective judgment of decision makers (Zhang and Liu, 2011). Consequently, it is crucial to create efficient selection methods to find the right project manager. An exhaustive review of criteria and a multi-criteria decision making (MCDM) problem may be used to frame the process of choosing the best project manager (Dağdeviren, 2010).

Researchers and practitioners have focused a lot of attention on MCDM techniques for evaluating, assessing, and ranking alternatives in a variety of industries. Numerous studies have recently looked at the use of MCDM modeling techniques in decision-making processes, especially in the construction industry (Torfi and Rashidi, 2011). MCDM has long caught the interest of decision makers since it simply offers a way to get rid of the challenge. It is a method for operational assessment and decision support that works well for dealing with complicated issues that have a range of interests and viewpoints, significant levels of ambiguity, and competing objectives.

In this research, the project manager selection problem needed to successfully manage a project developed by a manufacturing company to improve supply processes is discussed. In this context, it is aimed to determine the most suitable criteria to be used in the supply chain project by determining the project manager selection criteria used in the literature. It is planned to apply the fuzzy stepwise weight assessment ratio analysis (F-SWARA) method in determining the criterion weights and the grey operational competitiveness rating (OCRA-G) method in ranking the alternative candidates. Thus, applications based on both grey numbers and fuzzy numbers will be possible. At this point, the research questions were formed as follows.

Question 1: Can literature-based criteria be determined for the supply chain project manager selection problem?

Question 2: Can grey and fuzzy-based methods be applied as hybrids?

Question 3: Can a scientifically based solution be produced to the supply chain project manager candidate selection problem of the manufacturing company?

In the second part of this paper for the explanation of the above research questions, the preferred criteria are presented by making a literature review. In the third part, F-SWARA and OCRA-G methods are explained. In the fourth part, the application findings of the manufacturing company's project manager selection problem are presented. In the fifth part, discussion and conclusion are given. In the sixth part, the suggestions and limitations of the research are shown.

2. Literature Review and Criteria Selection

It is well known that one of the most crucial aspects of human resources management is hiring personnel. Selection of employees is related to the input quality of the workforce (Chien and Chen, 2008). The selection of the project manager has been done using MCDM (Kelemenis et al., 2011; Zavadskas et al. 2008). Regarding the selection criteria of project managers, decision makers have their own perspectives. Chen and Cheng (2005) used a fuzzy MCDM method for weighting of criteria and selection of alternatives method to select information system project manager selection. Their selection criteria are analysis and design skills, programming skills, interpersonal skills, business skills, environment skills and application skills. Xing and Zhang (2006) used fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) method for personnel selection problem. Knowledge, capability, character, and body were used as selection criteria in the research. Zavadskas et al. (2008) developed a multi criteria methodology for project manager selection based on grey criteria. The grey based complex proportional assessment (COPRAS-G) method was used for the project manager selection problem in the study. In the selection problem, personal skills, project management skills, business skills, technical skills, quality skills and time of decision making were used as selection criteria. Zhao et al. (2009) adopted a fuzzy comprehensive evaluation method in the selection of a project manager. In this research, among the different selection criteria, site management capacity, technical level, level of leadership and personal qualities were chosen.

Rashidi et al. (2011) combined fuzzy systems (fuzzy logic model), artificial neural network (ANN) and genetic algorithm for choosing a qualified construction project manager. The preferred criteria in this research are technical and professional background, educational background, demographic features, and general management abilities. Zavadskas et al. (2012) used AHP for weighting method and additive ratio assessment (ARAS) for selection method. Education, experience, and personal skills were preferred as selection criteria in the AHP method. Afshari and Yusuff (2013) used fuzzy integral systems for both selecting and weighting. Basic requirements, project management, management skills and interpersonal skills are used as selection criteria. Jazebi and Rashidi (2013)

used fuzzy rule system for project manager selection. Technical and professional records, educational background, demographic features, and general management abilities criteria were accepted as the main criteria for the project manager selection problem. Varajao and Cruz-Cunha (2013) applied the AHP-IPMA (international project management association) qualification baseline for the weighting method. Technical competence, behavioral competence and contextual competence are the selection criteria for this research. Dodangeh et al. (2014) applied the fuzzy MCDM method using the criteria of basic requirements, project management skills, management skills and interpersonal skills. Manaan et al. (2014) used fuzzy competency rating method for project manager selection. In the research, the best project manager candidate was determined by using seven criteria. Afshari et al. (2016) used the preference ranking organization method for enrichment evaluation (PROMETHEE) method for project manager selection. Foreign language, computer knowledge, experience, age, gender, labor shift, non-smoker and education were preferred as selection criteria in the study.

Chaghooshi et al. (2016) used fuzzy decision-making trial and evaluation laboratory (F-DEMATEL) method for weighting and fuzzy vlskriterijumska optimizacija i kompromisno resenje (F-VIKOR) for selection. Site management capacity, technical level, leadership level, personal qualities and contextual competencies are the research criteria. Sadatrasool et al. (2016) used AHP for weighting and the principal component analysis technique for order preference by similarity to ideal solution (PCA-TOPSIS) method for selection. In this research, general management, project management and petroleum project management criteria are the selection criteria. Afshari and Kowal (2017) used PROMETHEE for weighting and fuzzy linguistic evaluation procedure for selection method to select information and communications technology (ICT) project manager. Education, experience, computer knowledge, foreign language, age, gender, labor shift and non-smoker are their criteria for selection. Celikbilek (2018) used grey based AHP for selecting project manager. Basic criteria, character criteria, software criteria, project criteria and energy are the selection criteria for this research. Khodadadi and Aghabeigi (2018) applied F-DEMATEL, analytic network process (ANP) and F-VIKOR methods. Management skills, attitude and insight, personality traits, knowledge and expertise, professional reputation and general criteria were used in this research. The literature review of the project manager selection problem is presented in Table 1.

Table 1. Literature Review of The Project Manager Selection Problem

Research	Weighting method	Selection method	Criteria
Chen and Cheng (2005)	F-MCDM	F-MCDM	“Analysis and design skills, programming skills, interpersonal skills, business skills, environment skills and application skills (6 criteria)”
Xing and Zhang (2006)	F-AHP	F-AHP	“Knowledge, capability, character, and body (4 criteria)”
Zavadskas et al. (2008)	COPRAS-G	COPRAS-G	“Personal skills, project management skills, business skills, technical skills, quality skills, and time of decision making (6 criteria)”
Zhao et al. (2009)	Fuzzy comprehensive evaluation	Fuzzy comprehensive evaluation	“Site management capacity, technical level, level of leadership and personal qualities (4 criteria)”
Rashidi et al. (2011)	Fuzzy logic model	Fuzzy logic model	“Technical and professional background, educational background, demographic features, and general management abilities (4 criteria)”
Zavadskas et al. (2012)	AHP	ARAS	“Education, experience, and personal skills (3 criteria)”
Jazebi and Rashidi (2013)	Fuzzy rule system	Fuzzy rule system	“Technical and professional records, educational background, demographic features, and general management abilities (4 criteria)”
Afshari and Yusuff (2013)	Fuzzy integral	Fuzzy integral	“Basic requirements, project management, management skills and interpersonal skills (4 criteria)”
Varajao and Cruz-Cunha (2013)	AHP	AHP-IPMA	“Technical competence, behavioral competence, and contextual competence (3 criteria)”
Manaan et al. (2014)	Fuzzy competency rating	Fuzzy competency rating	“Knowledge of appropriate site layout techniques for repetitive construction works, dedication in helping works contractors achieve works schedule, knowledge of appropriate technology transfers for repetitive construction works, effective time management practices on all project sites, ability to provide effective solutions to conflicts while maintaining good relationships, ease with which works contractors are able to approach the PM with their problem and volunteering to help works contractors to solve personal problems (6 criteria)”
Dodangeh et al. (2014)	F-MCDM	F-MCDM	“Basic requirements, project management skills, management skills and interpersonal skills (4 criteria)”
Afshari et al. (2016)	PROMETHEE	-	“Foreign language, computer knowledge, experience, age, gender, labor shift, non-smoker, and education (8 criteria)”
Chaghooshi et al. (2016)	F- DEMATEL	F-VIKOR	“Site management capacity, technical level, level of leadership, personal qualities, and contextual competences (5 criteria)”
Sadatrasool et al. (2016)	AHP	PCA-TOPSIS	“General management, project management and petroleum project management (3 criteria)”

<i>Afshari and Kowal (2017)</i>	PROMETHEE	Fuzzy linguistic evaluation procedure	“Education, experience, computer knowledge, foreign language, age, gender, labor shift, and non-smoker (9 criteria)”
<i>Celikbilek (2018)</i>	Grey AHP	Grey AHP	“Basic criteria, character criteria, software criteria, project criteria and energy criteria (5 criteria)”
<i>Khodadadi and Aghabeigi (2018)</i>	F-DEMATEL, ANP	F-VIKOR	“Management skills, attitude and insight, personality traits, knowledge and expertise, professional reputation, and general (6 criteria)”

In this research, the problem of selecting the appropriate project manager for a supply chain improvement project is discussed to improve the supply chain processes of a manufacturing company. In this context, it is necessary to determine the criteria for the supply chain project manager selection problem. Considering the general project manager selection criteria in the literature, interviews were conducted with the management team of the manufacturing company. The opinions of the top managers were used in the criteria determination process by the jury of executive opinion method. Firstly, the criteria obtained from the literature were presented to the managers. Subsequently, criteria were determined for the selection of the supply chain project manager. Explanations and references to the criteria are presented in Table 2.

Table 2. Selected Criteria

Criteria	Explanations	References
<i>Project Management Skills (C1)</i>	Project management skills refer to the management abilities of prospective supply chain project managers in the successful planning, execution, management, and conclusion of the project.	Zavadskas et al. (2008), Afshari and Yusuff (2013), Sadatrasool et al. (2016)
<i>Basic Management Skills (C2)</i>	Basic management skills refer to the ability of project manager candidates to get people to work.	Rashidi et al. (2011), Jazebi and Rashidi (2013), Afshari and Yusuff (2013), Dodangeh et al. (2014), Sadatrasool et al. (2016), Khodadadi and Aghabeigi (2018)
<i>Education (C3)</i>	Education refers the educational level from which the project manager candidate most recently graduated.	Rashidi et al. (2011), Zavadskas et al. (2012), Jazebi and Rashidi (2013), Afshari et al. (2016), Afshari and Kowal (2017)
<i>Experience (C4)</i>	Experience refers to the projects and durations in which project manager candidates serve as project managers.	Zavadskas et al. (2012), Afshari et al. (2016), Afshari and Kowal (2017)
<i>Personality Traits (C5)</i>	Personality traits refers that project manager candidates have the personality traits required for project management. (Endurance, Patience, effective communication, awareness, analytical thinking, perspective etc.)	Zhao et al. (2009), Zavadskas et al. (2012), Chaghooshi et al. (2016), Aghabeigi (2018)
<i>Interpersonal Skills (C6)</i>	Interpersonal skills refer to the skills of the project manager in coordinating different individuals in different tasks within the scope of the project.	Chen and Cheng (2005), Afshari and Yusuff (2013), Dodangeh et al. (2014)
<i>Computer Knowledge (C7)</i>	Computer knowledge refers to the ability to effectively use computers used in the execution of projects.	Afshari et al. (2016), Afshari and Kowal (2017), Celikbilek (2018)

3. Methodology

The application of MCDM methods is based on the project manager selection problem for supply chain management. The F-SWARA method was used to weight the criteria, and the OCRA-G method was used to rank the alternative candidates. Since these methods are not used in project manager selection problem applications, these methods were preferred and applied in a hybrid way. This section describes the F-SWARA and OCRA-G methods.

3.1. The Fuzzy Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (F-SWARA)

The most important feature that distinguishes this criterion weighting method from other methods is that the criteria are sorted according to their priorities and then compared by the decision makers. This method was first developed by Keršuliene et al. (2010). The fuzzy-based SWARA method was developed by Mavi et al. (2017). The SWARA method is preferred in various studies in the literature (Alimardani et al., 2013; Heidary Dahooie et al., 2018; Ijadi Maghsoodi et al. 2019; Toygar et al., 2022). The weighting of the criteria with the F-SWARA method is completed in six steps (Mavi et al., 2017; Zarbakhshnia et al., 2018; Ansari et al., 2020; Mishra et al., 2020). These steps are explained one by one in order:

Step 1-1: Decision makers first rank the available criteria in order of importance.

Step 1-2: The ranked criteria are compared with the previous criteria. Comparison of the first criterion is not made. For example, the third criterion is evaluated by comparing with the second criterion. These assessments are performed based on the linguistic expressions presented in Table 3. The criteria are defined by j .

Step 1-3: The coefficient k_j is calculated by Eq. (1).

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \tilde{s}_j + 1, & j > 1 \end{cases} \tag{1}$$

Step 1-4: Recalculated weight \tilde{q}_j is calculated by Eq. (2).

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{\tilde{q}_{j-1}}{\tilde{k}_j}, & j > 1 \end{cases} \tag{2}$$

Step 1-5: The fuzzy weight values (\tilde{w}_j) of the criteria are calculated with Eq. (3).

$$\tilde{w}_j = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{q}_k} \tag{3}$$

Step 1-6: Values (l, m, u) expressing triangular fuzzy numbers are defuzzied with Eq. (4).

$$w_j = \frac{(w^u_j - w^l_j) + (w^m_j - w^l_j)}{3} + w^l_j \tag{4}$$

Table 3. Linguistic Expressions for Comparison of Criteria

Symbol	Definition	Triangular Fuzzy Number Value		
		l	m	u
VL	Very Low	0,00	0,00	0,10
L	Low	0,00	0,10	0,30
ML	Moderately Low	0,10	0,30	0,50
M	Medium	0,30	0,50	0,70
MH	Moderately High	0,50	0,70	0,90
H	High	0,70	0,90	1,00
VH	Very High	0,90	1,00	1,00

3.2. The Grey Operational Competitiveness Rating Method (OCRA-G)

The feature that distinguishes this method from other methods is that the criteria are evaluated separately as beneficial and non-beneficial. The OCRA method was first developed by Parkan (1994). Wu (2002) is among the first to apply the grey based OCRA method. The ranking of the alternatives with the OCRA-G method is completed in seven steps (Madić et al., 2015; Stanujkic et al., 2017; Ulutaş et al., 2020). These steps are explained one by one in order:

Step 2-1 *Creating the decision matrix:* Using the Grey numbers presented in Table 4, the decision matrix is obtained as in Eq. (5). This process is carried out by evaluating each alternative according to all criteria by each decision maker.

$$\otimes F = \begin{bmatrix} \otimes f_{11} & \dots & \otimes f_{1j} & \dots & \otimes f_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \otimes f_{i1} & \dots & \otimes f_{ij} & \dots & \otimes f_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \otimes f_{m1} & \dots & \otimes f_{mj} & \dots & \otimes f_{mn} \end{bmatrix} \tag{5}$$

Table 4. Grey Numbers for Evaluation of Each Alternative

Symbol	Linguistic Values	Grey Numbers	
		\underline{f}_{ij}	\bar{f}_{ij}
VH	Very High	0,800	1
H	High	0,700	0,900
MH	Medium High	0,600	0,800
M	Medium	0,350	0,650
ML	Medium Low	0,200	0,400
L	Low	0,100	0,300
VL	Very Low	0	0,200

Step 2-2 *Aggregation of non-beneficial criteria ($\otimes I_i$):* The non-beneficial criteria are aggregated with Eq. (6). $\underline{\tilde{w}}_j$ represents the lower limit of the fuzzy weight values calculated in Step 1-5, when combined by calculating the geometric mean. and $\bar{\tilde{w}}_j$ represents the upper limit of the fuzzy weight values calculated in Step 1-5, when combined by calculating the geometric mean.

$$\otimes O_i = [L_i, \bar{L}_i] = \sum_{j \in \Omega_{min}} [w''_j, \bar{w}''_j] \frac{[\max_j \underline{f}_{ij} - \bar{f}_{ij}, \max_j \bar{f}_{ij} - \underline{f}_{ij}]}{[\max_j \underline{f}_{ij} - \min_j \bar{f}_{ij}, \max_j \bar{f}_{ij} - \min_j \underline{f}_{ij}]} \tag{6}$$

Step 2-3 Calculation of linear performance ratings of non-beneficial criteria ($\otimes S_j$): The linear performance ratings of non-beneficial criteria are calculated by Eq. (7).

$$\otimes S_i = [S_i, \bar{S}_i] = [L_i - \min_i \bar{L}_i, \bar{L}_i - \min_i L_i] \tag{7}$$

Step 2-4 Aggregation of beneficial criteria ($\otimes O_j$): The beneficial criteria are aggregated with Eq. (8).

$$\otimes O_i = [O_i, \bar{O}_i] = \sum_{j \in \Omega_{max}} [w''_j, \bar{w}''_j] \frac{[\underline{f}_{ij} - \min_j \bar{f}_{ij}, \bar{f}_{ij} - \min_j \underline{f}_{ij}]}{[\max_j \underline{f}_{ij} - \min_j \bar{f}_{ij}, \max_j \bar{f}_{ij} - \min_j \underline{f}_{ij}]} \tag{8}$$

Step 2-5 Calculation of linear performance ratings of beneficial criteria ($\otimes R_j$): The linear performance ratings of beneficial criteria are calculated by Eq. (9).

$$\otimes R_i = [R_i, \bar{R}_i] = [O_i - \min_i \bar{O}_i, \bar{O}_i - \min_i O_i] \tag{9}$$

Step 2-6 Calculation of alternative values ($\otimes P_j$): The grey values of the alternatives are calculated by Eq. (10).

$$\otimes P_i = [P_i, \bar{P}_i] = [S_i + R_i - \min_i (\bar{S}_i + \bar{R}_i), \bar{S}_i + \bar{R}_i - \min_i (S_i + R_i)] \tag{10}$$

Step 2-7 Crisp of alternative values (P_j): Crisp is done by Eq. (11). Thus, the alternatives are ranked.

$$P_i = \frac{P_i + \bar{P}_i}{2} \tag{11}$$

4. Application

In this research, the supply chain project manager selection problem is discussed. In the supply chain project manager selection problem for a manufacturing firm, seven criteria (Project management skills (C1), Basic management skills (C2), Education (C3), Experience (C4), Personality traits (C5), Interpersonal skills (C6), Computer knowledge (C7)), four decision makers (DM1, DM2, DM3, DM4) and four project manager candidates (A1, A2, A3, A4) were determined. Firstly, the weights of the criteria were calculated using the F-SWARA method. Then, alternatives were ranked using the OCRA-G method. The steps applied in the application are described below, respectively:

Step 1-1: Each decision maker ranked the criteria among themselves. It is presented in Table 5.

Step 1-2: The criteria are compared against the previous criteria using linguistic expressions. Linguistic expressions of the comparisons are presented in Table 6.

Step 1-3: The coefficients \tilde{k}_j calculated with Eq. (1) are shown in Table 7.

Step 1-4: The \tilde{q}_j values calculated with Eq. (2) are shown in Table 8.

Step 1-5: The \tilde{w}_j values calculated with Eq. (3) are shown in Table 9.

Step 1-6: The values in Table 9 were combined by taking the geometric mean. Then, it was crisped with Eq. (4) and the importance degrees of the criteria were calculated. The importance and order of the criteria are shown in Table 10.

Step 2-1: The decision matrix in Table 11 was created by using the linguistic expressions in Table 4. In Table 12, grey numeric values and geometric mean are shown.

Step 2-2,3,4,5,6,7: Since all criteria are beneficial, only $\otimes O_i, \otimes R_i, \otimes P_i, P_i$ values have been calculated. The values calculated by Eq. (8), Eq. (9), Eq. (10) and Eq. (11) are given in Table 13.

Table 5. Ranking the Criteria in Order of Importance among Themselves

Criteria	DM1	DM2	DM3	DM4
C1	1	2	2	5
C2	3	3	1	4
C3	6	7	4	2
C4	2	1	3	1
C5	5	5	7	5
C6	4	4	5	3
C7	7	6	6	6

Table 6. Comparison of Criteria by Decision Makers

DM1			DM2			DM3			DM4		
C1			C4			C2			C4		
C4	L		C1	ML		C1	VL		C3	ML	
C2	MH		C2	VL		C4	L		C6	M	
C6	M		C6	MH		C3	MH		C2	L	
C5	VL		C5	L		C6	ML		C1	VL	
C3	ML		C7	M		C7	M		C7	MH	
C7	H		C3	L		C5	H		C5	M	

Table 7. The \tilde{k}_j Coefficients

DM1			DM2			DM3			DM4						
	l	m	u		l	m	u		l	m	u		l	m	u
C1	1.00	1.00	1.00	C4	1.00	1.00	1.00	C2	1.00	1.00	1.00	C4	1.00	1.00	1.00
C4	1.00	1.10	1.30	C1	1.10	1.30	1.50	C1	1.00	1.00	1.10	C3	1.10	1.30	1.50
C2	1.50	1.70	1.90	C2	1.00	1.00	1.10	C4	1.00	1.10	1.30	C6	1.30	1.50	1.70
C6	1.30	1.50	1.70	C6	1.50	1.70	1.90	C3	1.50	1.70	1.90	C2	1.00	1.10	1.30
C5	1.00	1.00	1.10	C5	1.00	1.10	1.30	C6	1.10	1.30	1.50	C1	1.00	1.00	1.10
C3	1.10	1.30	1.50	C7	1.30	1.50	1.70	C7	1.30	1.50	1.70	C7	1.50	1.70	1.90
C7	1.70	1.90	2.00	C3	1.00	1.10	1.30	C5	1.70	1.90	2.00	C5	1.30	1.50	1.70

Table 8. The \tilde{q}_j Values

DM1			DM2			DM3			DM4						
	l	m	u		l	m	u		l	m	u		l	m	u
C1	1.0000	1.0000	1.0000	C4	1.0000	1.0000	1.0000	C2	1.0000	1.0000	1.0000	C4	1.0000	1.0000	1.0000
C4	1.0000	0.9091	0.7692	C1	0.9091	0.7692	0.6667	C1	1.0000	1.0000	0.9091	C3	0.9091	0.7692	0.6667
C2	0.6667	0.5348	0.4049	C2	0.9091	0.7692	0.6061	C4	1.0000	0.9091	0.6993	C6	0.6993	0.5128	0.3922
C6	0.5128	0.3565	0.2382	C6	0.6061	0.4525	0.3190	C3	0.6667	0.5348	0.3681	C2	0.6993	0.4662	0.3017
C5	0.5128	0.3565	0.2165	C5	0.6061	0.4114	0.2454	C6	0.6061	0.4114	0.2454	C1	0.6993	0.4662	0.2742
C3	0.4662	0.2742	0.1443	C7	0.4662	0.2742	0.1443	C7	0.4662	0.2742	0.1443	C7	0.4662	0.2742	0.1443
C7	0.2742	0.1443	0.0722	C3	0.4662	0.2493	0.1110	C5	0.2742	0.1443	0.0722	C5	0.3586	0.1828	0.0849

Table 9. The \tilde{w}_j Values

DM1			DM2			DM3			DM4						
	l	m	u		l	m	u		l	m	u		l	m	u
C1	0.2256	0.2797	0.3515	C4	0.2015	0.2547	0.3234	C2	0.1995	0.2340	0.2908	C4	0.2070	0.2724	0.3492
C4	0.2256	0.2543	0.2704	C1	0.1832	0.1959	0.2156	C1	0.1995	0.2340	0.2644	C3	0.1881	0.2095	0.2328
C2	0.1504	0.1496	0.1423	C2	0.1832	0.1959	0.1960	C4	0.1995	0.2127	0.2034	C6	0.1447	0.1397	0.1369
C6	0.1157	0.0997	0.0837	C6	0.1221	0.1153	0.1031	C3	0.1330	0.1251	0.1070	C2	0.1447	0.1270	0.1053
C5	0.1157	0.0997	0.0761	C5	0.1221	0.1048	0.0793	C6	0.1209	0.0963	0.0714	C1	0.1447	0.1270	0.0958
C3	0.1052	0.0767	0.0507	C7	0.0939	0.0699	0.0467	C7	0.0930	0.0642	0.0420	C7	0.0965	0.0747	0.0504
C7	0.0619	0.0404	0.0254	C3	0.0939	0.0635	0.0359	C5	0.0547	0.0338	0.0210	C5	0.0742	0.0498	0.0296

Table 10. The weighted and ranked of the criteria

Criteria	\tilde{w}_j			w_j	Rankings
	l	m	u		
C4	0.2081	0.2475	0.2807	0.2454	1
C1	0.1859	0.2009	0.2093	0.1987	2
C2	0.1679	0.1718	0.1710	0.1702	3
C6	0.1254	0.1115	0.0958	0.1109	4
C3	0.1235	0.1022	0.0751	0.1003	5
C5	0.0870	0.0647	0.0440	0.0653	6
C7	0.0850	0.0606	0.0398	0.0618	7

Table 11. The Grey Decision Matrix

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
DM1	<i>A1</i>	H	H	MH	L	M	ML	H
	<i>A2</i>	MH	H	M	M	MH	L	MH
	<i>A3</i>	M	MH	MH	MH	M	H	M
	<i>A4</i>	M	H	H	ML	ML	H	MH
DM2	<i>A1</i>	VH	H	M	ML	ML	M	MH
	<i>A2</i>	M	MH	ML	MH	M	MH	M
	<i>A3</i>	MH	MH	M	M	MH	M	M
	<i>A4</i>	ML	MH	MH	M	ML	MH	H
DM3	<i>A1</i>	MH	MH	MH	M	L	ML	H
	<i>A2</i>	MH	MH	M	MH	MH	MH	MH
	<i>A3</i>	M	M	M	M	MH	MH	MH
	<i>A4</i>	L	MH	H	ML	M	H	M
DM4	<i>A1</i>	H	MH	MH	ML	M	M	MH
	<i>A2</i>	M	H	M	M	MH	L	M
	<i>A3</i>	MH	H	MH	MH	MH	M	MH
	<i>A4</i>	L	M	M	ML	M	M	MH

Table 12. Alternatives Evaluation Results with the OCRA-G method (Grey Numbers)

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
DM1	<i>A1</i>	[0.700; 0.900]	[0.700; 0.900]	[0.600; 0.800]	[0.100; 0.300]	[0.350; 0.650]	[0.200; 0.400]	[0.700; 0.900]
	<i>A2</i>	[0.600; 0.800]	[0.700; 0.900]	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]	[0.100; 0.300]	[0.600; 0.800]
	<i>A3</i>	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.350; 0.650]	[0.700; 0.900]	[0.350; 0.650]
	<i>A4</i>	[0.350; 0.650]	[0.700; 0.900]	[0.700; 0.900]	[0.200; 0.400]	[0.200; 0.400]	[0.700; 0.900]	[0.600; 0.800]
DM2	<i>A1</i>	[0.800; 1.000]	[0.700; 0.900]	[0.350; 0.650]	[0.200; 0.400]	[0.200; 0.400]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]
	<i>A2</i>	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]	[0.200; 0.400]	[0.600; 0.800]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]	[0.350; 0.650]
	<i>A3</i>	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]
	<i>A4</i>	[0.200; 0.400]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.350; 0.650]	[0.200; 0.400]	[0.600; 0.800]	[0.700; 0.900]
DM3	<i>A1</i>	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.350; 0.650]	[0.100; 0.300]	[0.200; 0.400]	[0.700; 0.900]
	<i>A2</i>	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]
	<i>A3</i>	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]
	<i>A4</i>	[0.100; 0.300]	[0.600; 0.800]	[0.700; 0.900]	[0.200; 0.400]	[0.350; 0.650]	[0.700; 0.900]	[0.350; 0.650]
DM4	<i>A1</i>	[0.700; 0.900]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.200; 0.400]	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]
	<i>A2</i>	[0.350; 0.650]	[0.700; 0.900]	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]	[0.100; 0.300]	[0.350; 0.650]
	<i>A3</i>	[0.600; 0.800]	[0.700; 0.900]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.600; 0.800]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]
	<i>A4</i>	[0.100; 0.300]	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]	[0.200; 0.400]	[0.350; 0.650]	[0.350; 0.650]	[0.600; 0.800]
Geo. Mean	<i>A1</i>	[0.696; 0.897]	[0.648; 0.849]	[0.524; 0.760]	[0.193; 0.42]	[0.222; 0.475]	[0.265; 0.510]	[0.648; 0.849]
	<i>A2</i>	[0.458; 0.721]	[0.648; 0.849]	[0.304; 0.576]	[0.458; 0.721]	[0.524; 0.760]	[0.245; 0.490]	[0.458; 0.721]
	<i>A3</i>	[0.458; 0.721]	[0.545; 0.782]	[0.458; 0.721]	[0.458; 0.721]	[0.524; 0.760]	[0.476; 0.743]	[0.458; 0.721]
	<i>A4</i>	[0.163; 0.391]	[0.545; 0.782]	[0.566; 0.806]	[0.230; 0.452]	[0.265; 0.510]	[0.566; 0.806]	[0.545; 0.782]

Table 13. The $\otimes O_i$, $\otimes R_i$, $\otimes P_i$, P_i Values and Ranking of Alternatives

	$\otimes O_i$	$\otimes R_i$	$\otimes P_i$	P_i	Rank
<i>A1</i>	[0.614; 0.601]	[0.084; -0.013]	[0.168; -0.097]	0.0357	4
<i>A2</i>	[5.301; 0.799]	[4.772; 0.186]	[4.856; 0.101]	2.4787	1
<i>A3</i>	[4.335; 0.825]	[3.806; 0.211]	[3.890; 0.127]	2.0085	2
<i>A4</i>	[0.989; 0.530]	[0.460; -0.084]	[0.544; -0.168]	0.1879	3

5. Discussion and Conclusion

In project management, which is based on the improvement of supply chain processes, the selection of the project manager is critical for the successful completion of the project. In this research, the project manager selection problem is discussed to manage the supply chain project of a manufacturing company. The criteria obtained as a result of the literature review were presented to the executive jury of the manufacturing company. Seven criteria were determined as a result of the discussions with the jury. According to these criteria, four project manager candidates were evaluated. F-SWARA method was used to weight the criteria. According to the criteria weights obtained, the ranking of the candidates was carried out with the OCRA-G method. F-SWARA findings showed that the experience criterion is the criterion with the highest level of importance. The OCRA-G findings presented that the most suitable candidate among the project manager candidates was the second candidate.

This finding obtained by examining the studies in the literature was compared with the literature findings. The literature findings are as follows: Xing and Zhang (2006) determined that the decision-making ability criterion, which is included in the capacity of the candidates, is the most important selection criterion in the project manager selection problem. Zavadskas et al. (2008) points out that personnel skills, project managers skills, business skills and experience criteria are among the most preferred criteria in the literature of project manager selection problem. Zhao et al. (2009) evaluated the existing criteria by considering the work experience and job performance of the candidates in the evaluation index they put forward for the project manager selection problem. As a result of the evaluation, they emphasized the site management capacity criterion as the criterion with the highest level of importance. Among the twenty-three criteria in the construction project manager selection problem, Rashidi et al (2011) identified the criterion of experience as the criterion with the highest importance level. Zavadskas et al. (2012) showed the three most important selection criteria in the list of project manager selection criteria as education, project design experience and project management experience. Jazebi and Rashidi (2013) determined the project managers' experience working with existing employees, English communication ability and general experience as highest criteria weight among the selection criteria. Afshari and Yusuff (2013) included the experience criterion among the basic requirement criteria in the project manager selection and calculated it as the best criterion. Dodangeh et al. (2014) emphasizes that there are four basic project manager selection criteria and points to the basic requirements criterion as the most important criterion. Experience sub-criteria is among the basic requirement criteria. Afshari et al. (2016) among the eight project manager criteria, the experience criterion is shown as the criterion with the highest importance. Afshari et al. (2016) among the five ICT project manager criteria, the experience criterion is also shown as the best criterion. Celikbilek (2018) found that among the sub-criteria of software and project criteria used in the project manager selection problem, the most important criteria are software experience and project experience. According to the literature findings, it can be mentioned that this study is in parallel with the findings (Zavadskas et al., 2008; Zhao et al., 2009; Rashidi et al., 2011; Zavadskas et al., 2012; Jazebi and Rashidi, 2013; Afshari and Yusuff, 2013; Dodangeh et al., 2014; Afshari et al., 2016; Afshari and Kowal, 2017; Celikbilek, 2018).

6. Suggestions and Limitation

In the research, which deals with the supply chain project manager selection problem, suggestions were developed for manufacturing companies, project manager candidates and researchers. Suggestions for manufacturing companies are as follows: (i) They should take a project-based approach to improving supply chain processes. (ii) They should prefer to apply multi criteria decision making methods instead of intuitive approaches in the selection of project managers. (iii) In the project manager selection process, criteria should be determined, and the importance levels of the criteria should be also determined. (iv) By creating a project manager candidate pool, it should be aimed to determine the best candidate according to the importance levels of the criteria. (v) They should seek expert support in their project manager selection process. The suggestions for project manager candidates are as follows: (i) The project manager should develop their skills and abilities, considering the importance of the selection criteria. (ii) Considering the importance of the experience criterion, they should take steps towards gaining project manager experience. (iii) The project manager should develop criteria for preference over other candidates during the selection process. Suggestions for researchers are as follows: (i) They can compare the findings of this research with the findings obtained by applying the project manager selection problem with different fuzzy and grey-based methods. (ii) They can revisit the supply chain project manager problem by differentiating the project manager identification criteria. (iii) They can contribute to the literature by identifying different project manager topics as research topics.

There are four main limitations of this research. First limitation; this research is the project manager selection that addresses the improvement of supply chain processes of manufacturing companies. For this reason, the determined criteria were created in this way. Second limitation; in this study, a fuzzy-based approach was adopted for weighting the criteria and a grey-based approach for ranking the alternatives. Different results can be obtained if different MCDM methods are applied. Third limitation; evaluations of the criteria and alternatives were obtained from the managers of the manufacturing company. Different results can be reached according to the evaluations obtained by different decision makers. The fourth limitation; the manufacturing firm has four project manager candidates. As the candidate pool increases, different results can be obtained. Finally, with this research, the supply chain process improvement project selection problem was handled, and the most suitable candidate was determined by fuzzy and grey-based MCDM methods and presented to the literature.

References

- Afshari, A. R., Anisseh, M., Shahraki, M. R., & Hooshyar, S. (2016). PROMETHEE use in Personnel selection. In *Proceedings of the International Conference on ICT Management for Global Competitiveness and Economic Growth in Emerging Economies-ICTM*. <http://ieomsociety.org/ieom2017/papers/56.pdf>
- Afshari, A., & Kowal, J. (2017). Decision making methods for the selection of ICT project manager. *Gospodarka Rynek Edukacja= Economy Market Education*, 18(4), 19-28. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3118075>
- Afshari, A. R., & Yusuff, R. M. (2013). Fuzzy integral project manager selection. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 9(2), 149-154. <https://doi.org/10.7158/14488388.2013.11464855>
- Ahsan, K., Ho, M., & Khan, S. (2013). Recruiting project managers: A comparative analysis of competencies and recruitment signals from job advertisements. *Project Management Journal*, 44(5), 36-54. <https://doi.org/10.1002/pmj.21366>
- Alimardani, M., Hashemkhani Zolfani, S., Aghdaie, M. H., & Tamošaitienė, J. (2013). A novel hybrid SWARA and VIKOR methodology for supplier selection in an agile environment. *Technological and economic development of economy*, 19(3), 533-548. <https://doi.org/10.3846/20294913.2013.814606>

- Ansari, Z. N., Kant, R., & Shankar, R. (2020). Evaluation and ranking of solutions to mitigate sustainable remanufacturing supply chain risks: a hybrid fuzzy SWARA-fuzzy COPRAS framework approach. *International Journal of Sustainable Engineering*, 13(6), 473-494. <https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1758973>
- Chaghooshi, A., Arab, A., & Dehshiri, S. (2016). A fuzzy hybrid approach for project manager selection. *Decision Science Letters*, 5(3), 447-460. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2016.1.001>
- Chen, L. S., & Cheng, C. H. (2005). Selecting IS personnel use fuzzy GDSS based on metric distance method. *European journal of operational research*, 160(3), 803-820. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.07.003>
- Çelikbilek, Y. (2018). A grey analytic hierarchy process approach to project manager selection. *Journal of Organizational Change Management*, 31(3), 749-765. <https://doi.org/10.1108/JOCM-04-2017-0102>
- Dağdeviren, M. (2010). A hybrid multi-criteria decision-making model for personnel selection in manufacturing systems. *Journal of Intelligent manufacturing*, 21(4), 451-460. <https://doi.org/10.1007/s10845-008-0200-7>
- Dodangeh, J., Sorooshian, S., & Afshari, A. R. (2014). Linguistic extension for group multicriteria project manager selection. *Journal of Applied Mathematics*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/570398>
- Heidary Dahooie, J., Beheshti Jazan Abadi, E., Vanaki, A. S., & Firoozfar, H. R. (2018). Competency-based IT personnel selection using a hybrid SWARA and ARAS-G methodology. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28(1), 5-16. <https://doi.org/10.1002/hfm.20713>
- Ijadi Maghsoodi, A., Ijadi Maghsoodi, A., Poursoltan, P., Antucheviciene, J., & Turskis, Z. (2019). Dam construction material selection by implementing the integrated SWARA—CODAS approach with target-based attributes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(4), 1194-1210. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2019.06.010>
- Jazebi, F., & Rashidi, A. (2013). An automated procedure for selecting project managers in construction firms. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(1), 97-106. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.738707>
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Khodadadi, E., & Aghabeigi, M. (2018). A Novel Hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy DEMATEL, ANP, and Fuzzy VIKOR for Selecting the Best Project Managers. *International Journal of Information Technology Project Management (IJITPM)*, 9(2), 38-64. <https://doi.org/10.4018/ijitpm.2018040103>
- Madić, M., Petković, D., & Radovanović, M. (2015). Selection of non-conventional machining processes using the OCRA method. *Serbian Journal of Management*, 10(1), 61-73. <https://doi.org/10.5937/sjm10-6802>
- Manaana, O. A., Ahadzie, D. K., Panford, J. K., & Proverbs, D. G. (2014). Competency-based evaluation of project managers' performance in mass house building projects in Ghana—the fuzzy set theory approach. *Journal of Science and Technology (Ghana)*, 34(1), 46-62. <http://dx.doi.org/10.4314/just.v34i1.5>
- Mavi, R. K., Goh, M., & ZARBAKHSHNIA, N. (2017). Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(5), 2401-2418. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9880-x>
- Mishra, A. R., Rani, P., Pandey, K., Mardani, A., Streimikis, J., Streimikiene, D., & Alrasheedi, M. (2020). Novel multi-criteria intuitionistic fuzzy SWARA—COPRAS approach for sustainability evaluation of the bioenergy production process. *Sustainability*, 12(10), 4155. <https://doi.org/10.3390/su12104155>
- Parkan, C. (1994). Operational competitiveness ratings of production units. *Managerial and Decision Economics*, 15(3), 201-221. <https://doi.org/10.1002/mde.4090150303>
- Rashidi, A., Jazebi, F., & Brilakis, I. (2011). Neurofuzzy genetic system for selection of construction project managers. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(1), 17-29. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000200](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000200)
- Sadatrasool, M., Bozorgi-Amiri, A., & Yousefi-Babadi, A. (2016). Project manager selection based on project manager competency model: PCA—MCDM Approach. *Journal of Project Management*, 1(1), 7-20. <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2017.1.004>
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Liu, S., Karabasevic, D., & Popovic, G. (2017). Improved OCRA method based on the use of interval grey numbers. *Journal of Grey System*, 29(4), 49-60.
- Torfi, F., & Rashidi, A. (2011). Selection of project managers in construction Firms using analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy Topsis: a case study. *Journal of Construction in Developing Countries*, 16(1), 69-89. http://eprints.usm.my/42162/1/JCDC_16_1_ART_4_69-89.pdf
- Toygar, A., Yildirim, U., & İnegöl, G. M. (2022). Investigation of empty container shortage based on SWARA-ARAS methods in the COVID-19 era. *European Transport Research Review*, 14(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00531-8>
- Ulutaş, A., Popovic, G., Stanujkic, D., Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2020). A new hybrid MCDM model for personnel selection based on a novel grey PIPRECIA and grey OCRA methods. *Mathematics*, 8(10), 1698. <https://doi.org/10.3390/math8101698>
- Varajão, J., & Cruz-Cunha, M. M. (2013). Using AHP and the IPMA Competence Baseline in the project managers selection process. *International Journal of Production Research*, 51(11), 3342-3354. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.774473>
- Wu, H. H. (2002). A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems. *Quality Engineering*, 15(2), 209-217. <https://doi.org/10.1081/QEN-120015853>
- Xing, B., & Zhang, A. D. (2006). Application of fuzzy analytical hierarchy process in selecting a project manager. In *2006 International Conference on Management Science and Engineering* (pp. 1417-1421). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2006.314252>
- ZARBAKHSHNIA, N., Soleimani, H., & Ghaderi, H. (2018). Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria. *Applied Soft Computing*, 65, 307-319. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.01.023>

- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Tamošaitiene, J., & Marina, V. (2008). Multicriteria selection of project managers by applying grey criteria. *Technological and economic development of economy*, 14(4), 462-477. <https://doi.org/10.3846/1392-8619.2008.14.462-477>
- Zavadskas, E. K., Vainiūnas, P., Turskis, Z., & Tamošaitienė, J. (2012). Multiple criteria decision support system for assessment of projects managers in construction. *International journal of information technology & decision making*, 11(02), 501-520. <https://doi.org/10.1142/S0219622012400135>
- Zhang, S. F., & Liu, S. Y. (2011). A GRA-based intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making method for personnel selection. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11401-11405. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.03.012>
- Zhao, L., Guo, Y., & Cui, W. (2009). The application of fuzzy comprehensive evaluation methods in the selection of a project manager. In *2009 Fourth International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology* (pp. 1387-1391). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCIT.2009.233>



Artificial Intelligence Based Instance-Aware Semantic Lobe Segmentation on Chest Computed Tomography Images

Beyza Sayracı*, Mahmut Ağralı, Volkan Kılıç

* İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4059-7636, 0000-0002-5508-2854, 0000-0002-3164-1981), beyzasayraci@gmail.com, y210207002@ikcu.edu.tr, volkan.kilic@ikcu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 24 November 2022 ve Kabul Tarihi 26 December 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1209632)

ATIF/REFERENCE: Sayracı, B., Ağralı, M., & Kılıç, V., (2023). Artificial Intelligence Based Instance-Aware Semantic Lobe Segmentation on Chest Computed Tomography Images. *European Journal of Science and Technology*, (46), 109-115.

Abstract

The coronavirus disease (COVID-19) has taken the entire world under its influence, causing a worldwide health crisis. The most concerning complication is acute hypoxemic respiratory failure that results in fatal consequences. To alleviate the effect of COVID-19, the infected region should be analyzed before the treatment. Thus, chest computed tomography (CT) is a popular method to determine the severity level of COVID-19. Besides, the number of lobe regions containing COVID-19 on CT images helps radiologists to diagnose the findings, such as bilateral, multifocal, and multilobar. Lobe regions can be distinguished manually by radiologists, but this may result in misdiagnosis due to human intervention. Therefore, in this study, a new tool has been developed that can automatically extract lobe regions using artificial intelligence-based instance-aware semantic lobe segmentation. Convolution neural networks (CNNs) offer automatic feature extraction in the instance-aware semantic lobe segmentation task that extracts the lobe regions on CT images. In this paper, CNN-based architectures, including DeepLabV3+ with VGG-16, VGG-19, and ResNet-50, were utilized to create a benchmark for the instance-aware semantic lobe segmentation task. For further improvement in segmentation results, images were preprocessed to detect the lung region prior to lobe segmentation. In the experimental evaluations, a large-scale dataset, including 9036 images with pixel-level annotations for lung and lobe regions, has been created. DeepLabV3+ with ResNet-50 showed the highest performance in terms of dice similarity coefficient (DSC) and intersection over union (IOU) for lobe segmentation at 99.59 % and 99.19 %, respectively. The experiments demonstrated that our approach outperformed several state-of-the-art methods for the instance-aware semantic lobe segmentation task. Furthermore, a new desktop application called *LobeChestApp* was developed for the segmentation of lobe regions on chest CT images.

Keywords: Artificial Intelligence, Deep Learning, Instance-Aware Semantic Lobe Segmentation, COVID-19, Convolutional Neural Network.

Akciğer Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinde Yapay Zekâ Tabanlı Örneğe Duyarlı Semantik Lob Segmentasyonu

Öz

Dünya çapında sağlık krizine neden olan Koronavirüs hastalığı (COVID-19) tüm dünyayı etkisi altına almıştır. Ölümcül sonuçlara yol açan akut hipoksemik solunum yetmezliği en çok endişe verici komplikasyondur. COVID-19'un etkisini hafifletmek için tedaviden önce enfekte olan bölge analiz edilmelidir. Bu nedenle göğüs bilgisayarlı tomografi (BT), COVID-19'a ait şiddet düzeyini belirlemek için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Ayrıca BT görüntülerinde COVID-19 içeren lob bölgelerinin sayısı radyologların bilateral, multifokal ve multilobar gibi bulguları teşhis etmesine yardımcı olur. Lob bölgeleri radyologlar tarafından manuel olarak ayırt edilir, ancak bu uzun çalışma saatleri nedeniyle yanlış teşhislere neden olur. Bu nedenle lob bölgelerini otomatik olarak çıkarabilen yeni araçlara olan ihtiyaç artmıştır. Evrişim sinir ağları (CNN'ler), BT görüntülerinde lob bölgelerini çıkaran, örneğe duyarlı anlamsal lob segmentasyon görevinde insan hatalarını en aza indirmek için otomatik bir yaklaşım sağlar. Bu makalede, örneğe duyarlı anlamsal lob bölütleme görevinde bir kıyaslama oluşturmak için VGG-16, VGG-19 ve ResNet-50 kullanan DeepLabV3+ gibi CNN tabanlı

* Corresponding Author: beyzasayraci@gmail.com

mimariler kullanıldı. Bölütleme sonuçlarını iyileştirmek için lob bölütlemesinden önce akciğeri çıkarmada görüntülere ön işleme uygulandı. Deneysel değerlendirmeler için akciğer ve lob bölgelerini piksel düzeyinde etiketli 9036 görüntü içeren büyük ölçekli bir veri seti oluşturulmuştur. ResNet-50 kullanan DeepLabV3+, lob bölütlemede sırasıyla zar benzerlik katsayısı (DSC) ve Jaccard benzerlik katsayısı (IOU) açısından en yüksek başarıyı sırasıyla ile % 99.59 ve % 99.19 olarak gösterdi. Deneyler, yaklaşımımızın, örneğe duyarlı anlamsal lob bölütleme görevi için birkaç son teknoloji yöntemden daha iyi performans gösterdi. Ayrıca, göğüs BT görüntülerinde lob bölgelerinin bölütlenmesi için *LobeChestApp* adlı yeni bir masaüstü uygulaması geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Derin Öğrenme, Örneğe Duyarlı Anlamsal Lobe Bölütlemesi, COVID-19, Evrimsel Sinir Ağları.

1. Introduction

Millions of people suffer from lung diseases, such as asthma, bronchitis, accumulation of water in the chest, shortness of breath, hydatid cyst, pleurisy, tuberculosis, and pneumonia, and four million people die from these diseases every year (Cruz, 2007). In addition, a new lung disease called COVID-19 has recently spread all over the world. To diagnose COVID-19, the real-time reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR) test detecting viral RNA via nasopharyngeal swabs has been used during this period (Wang et al., 2020). However, these tests have several drawbacks, such as requiring high-cost laboratory equipment with specialists and providing a high response time with a low detection rate. To mitigate the aforementioned issues, several approaches have been developed for diagnosing COVID-19, including biosensors, serology-based tests, and medical imaging (Giri et al., 2021). Among the approaches, medical imaging, involving X-rays, magnetic resonance imaging (MRI), and computed tomography (CT), become dominant due to their advantages in the diagnosis of COVID-19. X-rays supply poor-quality imaging, while CT and MRI offer a more detailed image in analyzing the disease. CT is a more preferred imaging technique than MRI due to its low cost. Therefore, CT imaging has been widely used in the diagnosis of COVID-19. Over the past ten years, several studies have shown that CT imaging is necessary to assess the progress of diseases like COVID-19 (Müller, 1991). Moreover, CT imaging is considered the gold standard for analyzing morphological changes in the airways and lung parenchyma (Davis, Brody, Emond, Brumback, & Rosenfeld, 2007; Davis, Fordham, et al., 2007).

Human lungs are anatomically and functionally divided into five distinct sections called lobes. The left lung has two lobes, while the right lung has three lobes, as shown in Figure 1. The pulmonary lobe with the COVID-19 region on the CT image provides information about the level of the disease. However, manual identification of lobe regions is prone to human intervention leading to misdiagnosis. Therefore, an automatic system that can detect lobe regions on CT images is required to help radiologists during the diagnosis of COVID-19. To address this problem, artificial intelligence-based approaches, including machine learning and deep learning, have been proposed to segment lobe regions on lung images (Soomro et al., 2022). While machine learning methods are generally trained using small-scale datasets, deep learning methods, used for more complex tasks such as image classification and segmentation, require relatively large datasets to improve predictive performance (Liu & Lang, 2019). Features are manually extracted in machine learning, however, deep learning automatically extracts the features of an image. The fact that deep learning automatizes the feature extraction process leads to being preferred for medical imaging tasks (Suzuki, 2017). Deep learning utilizes neural network architectures, including convolutional neural networks (CNNs) (Akosman, Öktem, Moral, & Kılıç, 2021; Çaylı, Kılıç, Onan, & Wang, 2022; Doğan, Isık, Kılıç, & Horzum, 2022; Doğan & Kılıç, 2021; Keskin, Moral, Kılıç, & Onan, 2021; Kılıç, Dogan, Kılıç, & Kahyaoglu, 2022; Mercan & Kılıç, 2020; Mercan, Kılıç, & Şen, 2021; Şen et al., 2022; Yüzer, Doğan, Kılıç, & Şen, 2022), autoencoders (Palsson, Sveinsson, & Ulfarsson, 2022), recurrent neural networks (RNN) (Aydm, Çaylı, Kılıç, & Onan, 2022; Fetiler, Çaylı, Moral, Kılıç, & Onan, 2021; Keskin, Çaylı, Moral, Kılıç, & Onan, 2021; Kılıç, 2021; Mercan & Kılıç, 2020; Palaz, Doğan, & Kılıç, 2021). Among these architectures, CNNs offer promising performance for image segmentation.

The instance-aware semantic lobe segmentation task, which labels each lobe region by enumerating between '1' and '5', provides information about COVID-19 findings, including bilateral, multifocal, and multilobar (Simpson et al., 2020). Therefore, several approaches have been proposed for the instance-aware semantic lobe segmentation task. He *et al.* proposed a multitask multi-instance deep network (M²UNet) that can classify COVID-19 and segment the lobe regions. Ferreira *et al.* introduced a fully regularized V-Net (FRV-Net) to perform the instance-aware semantic lobe segmentation task on pulmonary CT images. Tang *et al.* employed V-Net architecture for the instance-aware semantic lobe segmentation task that lung regions are extracted by threshold-based approaches.

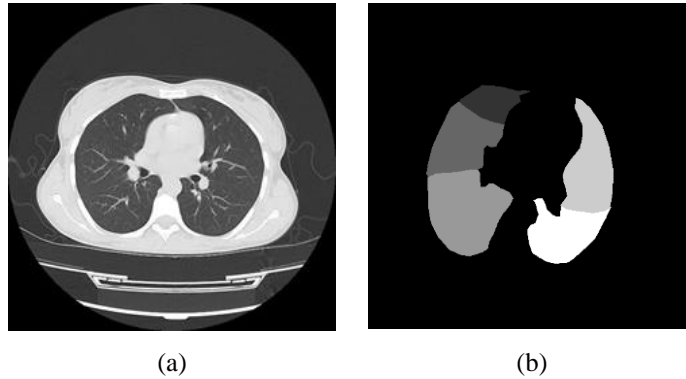


Figure 1: The lung CT image is shown in (a), while the instance-aware semantic segmented lobe CT image is given in (b).

The approaches in (X. Chen, Zhang, & Yan, 2019; Kelei He et al., 2021a) are used a threshold-based lung extraction process before the instance-aware semantic lobe segmentation. However, the threshold-based algorithms show low performance on CT images with dense tissue.

A few datasets (Sajid, 2020; Yang et al., 2020a) are publicly available for COVID-19 segmentation or classification, however, these datasets do not contain images with lobe labels. Thus, a new dataset with pixel-level annotations for lung and lobe regions has been created. After the original images have been overlapped with corresponding lung annotations, CNN architecture was trained separately via both the original and overlapped images to analyze the effect of lung extraction on lobe segmentation. Besides, our approach has been integrated into a new user-friendly desktop application called *LobeChestApp* that performs the instance-aware semantic lobe segmentation task.

In summary, a new dataset has been collected and carried out pixel-wise annotation for lung and lobe regions on CT images. Besides, the performance of CNN architectures has been compared based on the experiments using the lung segmented and original images. Finally, our approach has been employed to develop a new desktop application called *LobeChestApp* to specify lobe regions during the diagnosis of COVID-19.

2. Methods

CNN architectures perform feature extraction through convolution or fully connected layers. The first layers allow CNN architectures to learn simple features in the image, while the last layers extract more complex features of the image. Popular CNN architectures, such as DeepLabV3+, VGG-16, VGG-19, and ResNet-50, for segmentation tasks were utilized to extract simple and complex features in the image. Besides, a backbone extracting simple features of the image is used in CNN architectures to increase the predicted performance.

2.1. DeepLabV3+

CNN-based DeepLabV3+ consists of encoder and decoder structures used for segmentation tasks (L.-C. Chen, Zhu, Papandreou, Schroff, & Adam, 2018). The encoder extracts the features of images, while the decoder reconstructs the feature maps based on the connection between two structures. The encoder extracts multi-scale features via dilated convolutions, which produce the feature map by adjusting the distance between kernel pixels (L.-C. Chen, Papandreou, Kokkinos, Murphy, & Yuille, 2017). To extract the features at different levels, the convolutions have different dilation rates, including 1, 6, 12, and 18. Each dilated convolution employs batch normalization and rectified linear units (ReLU). After the outputs of dilated convolutions are concatenated, a 1x1 convolution and an upsampling by four sequentially follow to obtain the low-level feature maps. In the decoder, a 1x1 convolution is applied to the low-level backbone feature maps extracted via CNN, like VGG-16, to reduce the number of channels. The convolution output and the feature map supplied by the encoder are concatenated to connect two structures. Next, a 3x3 convolution and upsampling by four are used to produce the output feature map of DeepLabV3+. CNN architectures, including VGG-16, VGG-19, and ResNet50, can be utilized as a backbone of DeepLabV3+ to extract low-level features.

2.1.1. VGG-16 as backbone:

VGG-16 architecture is structured with five blocks containing 13 convolution layers with a 3x3 filter (Simonyan & Zisserman, 2014). After each convolution layer, a ReLU activation function exists to ensure non-linearity, which avoids acting like a single layer for sequential layers. The last layer in each block involves a 2x2 max-pooling that decreases the spatial resolution of feature maps (Das, Fime, Siddique, & Hashem, 2021). The filters of each convolution in the blocks are 64, 128, 256, 512, and 512. After the blocks, three fully connected layers perform classification tasks. However, the five blocks of VGG-16 supply low-level features for semantic segmentation architectures.

2.1.2. VGG-19 as backbone:

VGG-19 architecture contains five blocks with 16 convolution layers and has a small receptive field of 3x3 (Das et al., 2021). Each convolution layer follows a ReLU activation function, while a max-pooling is used in the last convolution layer of each block. After the last convolution layer, three fully connected layers follow for classification problems, but they are removed to perform the segmentation task.

2.1.3. ResNet-50 as backbone:

In the encoder of DeepLabV3+, ResNet-50 architecture can be utilized as a backbone to extract low-level features of images. However, the fact that ResNet-50 is deep compared to VGG-16 and VGG-19 causes a performance decrease called the degradation problem. The residual network, which involves the identity connection between the input and output of the residual blocks, is utilized in ResNet-50 to avoid the problem (Kaiming He, Zhang, Ren, & Sun, 2016). The residual blocks with three convolution layers supply more connection between the layers to improve the performance of ResNet-50. This increases the effect of the deep layers during backpropagation. ResNet-50 contains three fully connected layers later in the last convolution block for classification, but these layers were removed to feed the DeepLabV3+.

2.2. Instance-Aware Semantic Lobe Segmentation

A lung, shown in Figure 1, involves five lobes, including upper left, middle left, lower left, upper right, and lower right. The instance-aware semantic lobe segmentation task performs pixel-based classification for the lobes and background. The number of infected regions on each lobe provides information about the COVID-19 findings, which assists to decide the proper treatment. The

lobe segmentation task employs both original lung images and extracted lung images as input to CNN architectures. The extracted



Figure 2: LobeChestApp after the instance-aware semantic lobe segmentation task.

lung image increases attention to lung pixels and ignores the non-lung region, so this improves the performance of the instance-aware semantic lobe segmentation task (X. Chen et al., 2019). To perform the instance-aware semantic lobe segmentation task, DeepLabV3+ with VGG-16, VGG-19, and ResNet-50 has been trained with the collected dataset described in Section 3.1.

2.3. Interface: LobeChestApp

An artificial intelligence-based desktop application called *LobeChestApp*, given in Figure 2, was developed running DeepLabV3+ with ResNet-50 to assist radiologists in lobe segmentation during the diagnosis of COVID-19. *LobeChestApp* has a login screen allowing users to log in with a password to avoid unauthorized access. The main screen in *LobeChestApp* enables to upload of CT images belonging to patients via the add button. The right or left side of the main screen has an area to settle the images, such as coronal, sagittal, or axial, so all images in CT images can be analyzed through the index slider. Since the instance-aware semantic lobe segmentation task was performed on axial CT images, the segmentation process can be started after uploading them. Next, a new red button, which can display the lobe masks produced by CNN architectures, appears for analyzing lobe regions on corresponding images. The lobe masks and their corresponding images can be overlapped for better analysis of the lobe regions. Besides, the lobe masks and images can be placed on the right or left side to compare them. After visual detection of COVID-19 in the image, the users benefit from the lobe mask to specify the number of infected regions on each lobe and COVID-19 findings.

3. Experimental Evaluations

This section presents the collected dataset, evaluation metrics, and performance comparison of CNN architectures.

3.1. Dataset

The dataset is vital for CNN architectures to get a robust model. Although several datasets (Sajid, 2020; Yang et al., 2020b) used on COVID-19 classification or segmentation problems are available, as detailed in Table I, they are not suitable for the instance-aware semantic lobe segmentation task. To handle this issue, a new dataset has been created due to the lack of labeled images for the lobe region. The dataset, which includes CT images belonging to 231 cases, 86 normal and 145 diagnosed with COVID-19, has been collected with the approval of the ethics committee of Izmir Bozyaka Training and Research Hospital, Department of Radiology. The technical specifications for CT images are a matrix size of 512x512, pixel spacing of 0.82 mm, and thickness of 5 mm. CT images, which do not contain lung regions, have been ignored due to a performance decrease in CNN architectures. The lung and lobe regions on 9036 images in the dataset have been labeled via MATLAB Image Labeler App for the instance-aware semantic lobe segmentation task. The labels from '1' to '5' have been used for the five lobe regions in the images. Besides, the lung regions and background were labeled with '1' and '0' labels since the segmented lung images are employed in the instance-aware semantic lobe segmentation. Before training the CNN architectures, the min-max normalization was used to normalize the images for the preprocessing (Abdulkareem et al., 2021). Moreover, the dataset was split into training and validation subsets.

3.2 Evaluation Metrics

Metrics are essential to evaluate the segmentation performance between the output image of CNN architectures and the corresponding ground truth. DSC and IOU are common metrics for analyzing the performance of segmentation tasks (Geng, Zhang, Tong, & Xiao, 2019; Hofmanninger et al., 2020). The DSC indicating similarity between two binary masks, such as the output image and ground truth, is defined as follows:

Table I: COVID-19 public datasets.

Dataset	Type	Images/Cases
PLXR (Sajid, 2020)	X-ray	98/70
CTSeg (Yang et al., 2020b)	CT	349/216
COVID-CT (Yang et al., 2020b)	CT	812/216
Ours	CT	9,036/145

Table II: The performance comparison for lobe segmentation.

Method	IOU (%)	DSC (%)
DeepLabV3+ (VGG-19)	97.65	98.81
DeepLabV3+ (VGG-16)	97.86	98.92
DeepLabV3+ (ResNet-50)	98.74	99.37

$$DSC = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FN + FP} \quad (1)$$

where TP denotes true positive, the common region between the output image and the ground truth. FP means false positive, represented in the output image but does not include the region belonging to the object on the ground truth. True negative, the regions outside the union of the output image and ground truth, is denoted as TN. FN stands for false negative, representing a region included within the ground truth but does not involve the pixels of the object in the output image. The IOU denotes the overlap ratio between the output image and ground truth as:

$$IOU = \frac{TP}{TP + FN + FP} \quad (2)$$

The greater values of the metrics indicate higher similarity between the two sets in terms of the DSC and IOU scores, which range from zero to one.

4. Results and Discussion

The CNN architectures DeepLabV3+, with ResNet-50, VGG-16, and VGG-19 as a backbone, have been trained and tested with the dataset introduced in Section 3.1.

Performance comparison of CNN architectures, which use the images without extracting lung regions as input, for the instance-aware semantic lobe segmentation with respect to DSC and IOU is given in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..** The empirical results demonstrate that DeepLabV3+ with ResNet-50 outperformed other architectures with respect to DSC and IOU scores with 99.37 % and 98.74 %, respectively. DeepLabV3+ with VGG-16, which is shallower relative to VGG-19, shows the second highest result, and DeepLabV3+ (VGG-19) follows because of the degradation problem observed in deeper networks. Furthermore, the labeled lung images have been used as input for CNN architectures to analyze the impact of removing lung regions on the performance of the instance-aware semantic lobe segmentation task. The comparison of CNN architectures utilizing the labeled lung images in terms of DSC and IOU is listed in The CNN architectures DeepLabV3+, with ResNet-50, VGG-16, and VGG-19 as a backbone, have been trained. Based on the experimental results, DeepLabV3+ with ResNet-50 has shown higher performance with respect to a DSC score of 99.59 % and an IOU score of 99.19 %. Moreover, DeepLabV3+ with VGG-16 outperforms DeepLabV3+ (VGG-19).

The experimental results using the images with and without lung segmentation demonstrated that extracting the lung regions on the input images for CNN architectures increases the performance of instance-aware semantic lobe segmentation. DeepLabV3+ with ResNet-50 has shown higher performance with respect to a DSC score of 99.59 % and an IOU score of 99.19 %. Moreover, DeepLabV3+ with VGG-16 outperforms DeepLabV3+ (VGG-19). The experimental results using the images with and without lung segmentation demonstrated that extracting the lung regions on the input images for CNN architectures increases the performance of instance-aware semantic lobe segmentation. Besides, DeepLabV3+ with ResNet-50 employing labeled lung images as input for CNN architecture has been compared with recent instance-aware semantic lobe segmentation studies in terms of DSC and IOU scores in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

The study in (Ferreira, Sousa, Galdran, Sousa, & Campilho, 2018) employs a relatively small-scale dataset for 3D instance-aware semantic lobe segmentation; this leads to a lack of generalization capability of the model. The fact that the approaches in (X. Chen et al., 2019; Kelei He et al., 2021b) use threshold-based algorithms in the preprocessing step to segment lung images as input of the architectures reduces the quality of lung region extraction due to dense tissue on the images. Therefore, this causes a degradation in the model performance of the instance-aware semantic lobe segmentation.

Our approach has also been employed in *LobeChestApp*, which takes 4 seconds in roughly 230 chest CT images for the instance-aware semantic lobe segmentation task. Thus, radiologists segmenting the lobe on CT images via *LobeChestApp* can decide which lobe includes the infection region after manually detecting COVID-19.

Table III: The experimental results of the instance-aware.

Table IV: The comparison between our approach and state-of-the-art

approaches for the instance-aware semantic lobe segmentation.

Method	IOU (%)	DSC (%)
DeepLabV3+ (VGG-19)	98.48	99.23
DeepLabV3+ (VGG-16)	98.98	99.49
DeepLabV3+ (ResNet-50)	99.19	99.59

Method	IOU (%)	DSC (%)
M ² UNet (Kelei He et al., 2021b)	-	78.50
FRV-Net (Ferreira et al., 2018)	-	93.00
V-Net (X. Chen et al., 2019)	-	94.17
PDV-Net (Imran et al., 2020)	-	95.00
RTSU-Net (Xie, Jacobs, Charbonnier, & Van Ginneken, 2020)	94.90	-
Our approach	99.19	99.59

5. Conclusions

In the study, CNN-based architectures have been compared for the instance-aware semantic lobe segmentation task integrated into the desktop application called LobeChestApp. Moreover, the impact of extracting the lung regions on the performance of the instance-aware semantic lobe segmentation task using CNN architectures has been analyzed. A large-scale dataset containing labeled masks for lung and lobe regions has been created using CT images with COVID-19 to train CNN architectures, including DeepLabV3+ with VGG-16, VGG-19, and ResNet-50. The highest experimental performance for lobe segmentation was achieved via DeepLabV3+ (ResNet-50) with 99.59 % and 99.19 % in terms of DSC and IOU scores. The experimental results demonstrate that our approach, which removes redundant pixels from the non-lung regions before the instance-aware semantic lobe segmentation task, is advantageous compared to several state-of-the-art methods. Therefore, DeepLabV3+ with ResNet-50 architecture has been integrated into *LobeChestApp* to segment lobe regions that assist in specifying COVID-19 findings. Thus, *LobeChestApp*, which can be used in medical centers, has the potential to help radiologists during the diagnosis of COVID-19.

Acknowledgment

This study is supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the 2209-B Industry-Oriented Undergraduate Research Projects Support Program with project number 1139B412100452.

References

- Abdulkareem, K. H., Mohammed, M. A., Salim, A., Arif, M., Geman, O., Gupta, D., & Khanna, A. (2021). Realizing an effective COVID-19 diagnosis system based on machine learning and IOT in smart hospital environment. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(21), 15919-15928.
- Akosman, Ş. A., Öktem, M., Moral, Ö. T., & Kılıç, V. (2021). *Deep Learning-based Semantic Segmentation for Crack Detection on Marbles*. Paper presented at the 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).
- Aydın, S., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Sequence-to-Sequence Video Captioning with Residual Connected Gated Recurrent Units. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 380-386.
- Çaylı, Ö., Kılıç, V., Onan, A., & Wang, W. (2022). *Auxiliary Classifier based Residual RNN for Image Captioning*. Paper presented at the 2022 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO).
- Chen, L.-C., Papandreou, G., Kokkinos, I., Murphy, K., & Yuille, A. L. (2017). Deeplab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected crfs. *J IEEE transactions on pattern analysis*, 40(4), 834-848.
- Chen, L.-C., Zhu, Y., Papandreou, G., Schroff, F., & Adam, H. (2018). *Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation*. Paper presented at the Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV).
- Chen, X., Zhang, R., & Yan, P. (2019). *Feature fusion encoder decoder network for automatic liver lesion segmentation*. Paper presented at the 2019 IEEE 16th international symposium on biomedical imaging (ISBI 2019).
- Cruz, A. A. (2007). *Global surveillance, prevention and control of chronic respiratory diseases: a comprehensive approach*: World Health Organization.
- Das, S., Fime, A. A., Siddique, N., & Hashem, M. J. (2021). Estimation of road boundary for intelligent vehicles based on deepLabV3+ architecture. *IEEE Access*, 9, 121060-121075.
- Davis, S. D., Brody, A. S., Emond, M. J., Brumback, L. C., & Rosenfeld, M. J. (2007). Endpoints for clinical trials in young children with cystic fibrosis. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 4(4), 418-430.
- Davis, S. D., Fordham, L. A., Brody, A. S., Noah, T. L., Retsch-Bogart, G. Z., Qaqish, B. F., . . . Leigh, M. W. (2007). Computed tomography reflects lower airway inflammation and tracks changes in early cystic fibrosis. *J American journal of respiratory critical care medicine*, 175(9), 943-950.
- Doğan, V., Isık, T., Kılıç, V., & Horzum, N. J. (2022). A field-deployable water quality monitoring with machine learning-based smartphone colorimetry. *Analytical Methods*, 14(35), 3458-3466.
- Doğan, V., & Kılıç, V. (2021). Akıllı Telefon Kullanarak Yapay Zeka Tabanlı Farenjit Tespiti: Artificial Intelligence Based Pharyngitis Detection Using Smartphone. *J Sağlık Bilimlerinde Yapay Zeka Dergisi ISSN: -*, 1(2), 14-19.

- Ferreira, F. T., Sousa, P., Galdran, A., Sousa, M. R., & Campilho, A. (2018). *End-to-end supervised lung lobe segmentation*. Paper presented at the 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN).
- Fetiler, B., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Video captioning based on multi-layer gated recurrent unit for smartphones. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 221-226.
- Geng, L., Zhang, S., Tong, J., & Xiao, Z. (2019). Lung segmentation method with dilated convolution based on VGG-16 network. *J Computer Assisted Surgery*, 24(sup2), 27-33.
- Giri, B., Pandey, S., Shrestha, R., Pokharel, K., Ligler, F. S., & Neupane, B. B. J. A. (2021). Review of analytical performance of COVID-19 detection methods. *Analytical bioanalytical chemistry*, 413(1), 35-48.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). *Deep residual learning for image recognition*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- He, K., Zhao, W., Xie, X., Ji, W., Liu, M., Tang, Z., Liu, J. (2021a). Synergistic learning of lung lobe segmentation and hierarchical multi-instance classification for automated severity assessment of COVID-19 in CT images. *J Pattern recognition*, 113, 107828.
- He, K., Zhao, W., Xie, X., Ji, W., Liu, M., Tang, Z., . . . Liu, J. J. P. r. (2021b). Synergistic learning of lung lobe segmentation and hierarchical multi-instance classification for automated severity assessment of COVID-19 in CT images. *113*, 107828.
- Hofmanninger, J., Prayer, F., Pan, J., Röhrich, S., Prosch, H., & Langa, G. (2020). Automatic lung segmentation in routine imaging is primarily a data diversity problem, not a methodology problem. *J European Radiology Experimental*, 4(1), 1-13.
- Imran, A.-A.-Z., Hatamizadeh, A., Ananth, S. P., Ding, X., Tajbakhsh, N., Terzopoulos, D. J. C. M. i. B., Visualization. (2020). Fast and automatic segmentation of pulmonary lobes from chest CT using a progressive dense V-network. *8*(5), 509-518.
- Keskin, R., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). A benchmark for feature-injection architectures in image captioning. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 461-468.
- Keskin, R., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). *Multi-GRU based automated image captioning for smartphones*. Paper presented at the 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).
- Kilic, B., Dogan, V., Kilic, V., & Kahyaoglu, L. N. J. (2022). Colorimetric food spoilage monitoring with carbon dot and UV light reinforced fish gelatin films using a smartphone application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 209, 1562-1572.
- Kılıç, V. (2021). Deep gated recurrent unit for smartphone-based image captioning. *J Sakarya University Journal of Computer Information Sciences*, 4(2), 181-191.
- Liu, H., & Lang, B. J. (2019). Machine learning and deep learning methods for intrusion detection systems: A survey. *applied sciences*, 9(20), 4396.
- Mercan, Ö. B., & Kılıç, V. (2020). *Deep Learning based Colorimetric Classification of Glucose with Au-Ag nanoparticles using Smartphone*. Paper presented at the 2020 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO).
- Mercan, Ö. B., Kılıç, V., & Şen, M. (2021). Machine learning-based colorimetric determination of glucose in artificial saliva with different reagents using a smartphone coupled μ PAD. *J Sensors Actuators B: Chemical*, 329, 129037.
- Müller, N. J. A. (1991). Clinical value of high-resolution CT in chronic diffuse lung disease. *American journal of roentgenology*, 157(6), 1163-1170.
- Palaz, Z., Doğan, V., & Kılıç, V. (2021). Smartphone-based Multi-parametric Glucose Prediction using Recurrent Neural Networks. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 1168-1174.
- Palsson, B., Sveinsson, J. R., & Ulfarsson, M. O. J. (2022). Blind hyperspectral unmixing using autoencoders: A critical comparison. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations*, 15, 1340-1372.
- Sajid, N. J. M. (2020). Covid-19 patients lungs x ray images 10000.
- Şen, M., Yüzer, E., Doğan, V., Avcı, İ., Ensarioğlu, K., Aykaç, A., . . . Kılıç, V. J. (2022). Colorimetric detection of H₂O₂ with Fe₃O₄@ Chi nanozyme modified μ PADs using artificial intelligence. *Microchimica Acta*, 189(10), 1-11.
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *J arXiv preprint arXiv:05645*.
- Simpson, S., Kay, F. U., Abbara, S., Bhalla, S., Chung, J. H., Chung, M., . . . Ko, J. P. J. (2020). Radiological Society of North America expert consensus statement on reporting chest CT findings related to COVID-19. Endorsed by the Society of Thoracic Radiology, the American College of Radiology, and RSNA. *Journal of thoracic imaging*.
- Soomro, T. A., Zheng, L., Afifi, A. J., Ali, A., Yin, M., & Gao, J. J. (2022). Artificial intelligence (AI) for medical imaging to combat coronavirus disease (COVID-19): A detailed review with direction for future research. *Artificial Intelligence Review*, 55(2), 1409-1439.
- Suzuki, K. (2017). Overview of deep learning in medical imaging. *J Radiological physics technology*, 10(3), 257-273.
- Wang, W., Xu, Y., Gao, R., Lu, R., Han, K., Wu, G., & Tan, W. J. J. (2020). Detection of SARS-CoV-2 in different types of clinical specimens. *323*(18), 1843-1844.
- Xie, W., Jacobs, C., Charbonnier, J.-P., & Van Ginneken, B. J. I. t. o. m. i. (2020). Relational modeling for robust and efficient pulmonary lobe segmentation in CT scans. *39*(8), 2664-2675.
- Yang, X., He, X., Zhao, J., Zhang, Y., Zhang, S., & Xie, P. J. (2020a). COVID-CT-dataset: a CT scan dataset about COVID-19. *arXiv preprint arXiv:13865*.
- Yang, X., He, X., Zhao, J., Zhang, Y., Zhang, S., & Xie, P. J. a. p. a. (2020b). COVID-CT-dataset: a CT scan dataset about COVID-19.
- Yüzer, E., Doğan, V., Kılıç, V., & Şen, M. J. (2022). Smartphone embedded deep learning approach for highly accurate and automated colorimetric lactate analysis in sweat. *Sensors Actuators B: Chemical*, 371, 132489.



El Hareketleri ile Mutfak Gereçlerinin Temassız Kontrolü: Sanal Ocak Üzerine Bir Uygulama Arayüzü

Buse Batukan^{1*}, Bülent Kaya²

^{1*} Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Müh. ABD, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1480-2739), busebatukan@outlook.com

² Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Müh. ABD, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7943-8683), bulentkaya@erciyes.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Aralık 2022 ve Kabul Tarihi 7 Ocak 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1219917)

ATIF/REFERENCE: Batukan, B., Kaya, B., (2023). El Hareketleri ile Mutfak Gereçlerinin Temassız Kontrolü: Sanal Ocak Üzerine Bir Uygulama Arayüzü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 116-125.

Öz

Günümüzde çeşitli sensörler vasıtasıyla, sanal ve gerçek dünya arasında, insan bilgisayar etkileşimini sağlayan arayüzler ve bunların ergonomisi üzerine çalışmaların arttığını gözlemlemekteyiz. İnsan-bilgisayar etkileşiminin ergonomisi ile ilgili genel çerçeve ISO 92411-960 standartları içinde tanımlanlansa da ortaya çıkan yeni sensörler, metaverse, işlemcilerin artan hızları, mobilite, bulut ekosistemi gibi gelişmeler ile, her dönem güncellenmeye muhtaç kapsamlar olacağını öngörmekteyiz. Sözlü olmayan evrensel bir iletişim aracı olarak el hareketleri ise, bilgisayar insan etkileşimi sistemleri araştırmacıları tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada sunulduğu üzere, Leap Motion hareket sensörü vasıtasıyla, naturel el hareketlerini algılanıp, tanımlayarak, Unity3D ortamında oluşturulan bir arayüzle etkileşim sağlanmıştır. Arayüz üzerine yerleştirilen 3D sanal ocak modeli, el hareketleri ile kontrol edilebilirken, aynı zamanda gerçek dünyaya sinyaller gönderebilmektedir. Bu durumda, örneğin bu çalışmada hedef olarak seçilen bir ankastre ocak gibi, üzerinde mikroişlemci barındıran herhangi bir mutfak gerecinin kontrolü mümkün olmaktadır. Çalışmada gerçek ocağın simülasyonu, Arduino hızlı prototipleme kartı ve buna entegre edilen LED'ler ile yapıldı. Sanal ortamda, ocak fonksiyonları, Arduino seri haberleşmesi üzerinden kontrol edilen LED'lerin tepkisine göre değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: El hareket tanımlama, Temassız kontrol, İnsan bilgisayar etkileşimi, Bilişsel ergonomi, Sanal-Karma gerçeklik

Electrical Home Appliances Control Interface Design Based on Hand Gesture Identification: An Application on Virtual Hob

Abstract

Nowadays, we observe an increasing number of studies on interfaces that provide human-computer interaction between the virtual and real world, and their ergonomics, through various sensors. Although the general framework regarding the ergonomics of human-computer interaction is defined by ISO 92411-960 standards, we foresee that there will be scopes that need to be updated every period with the developments in the areas such as new sensors, metaverse, processor increasing speeds, mobility, cloud ecosystem. Hand gestures are already used extensively by computer-human interaction systems researchers as a universal non-verbal communication tool. As presented in this study, natural hand movements are detected and defined by the Leap Motion motion sensor and interacted with an interface created in the Unity3D environment. The 3D virtual furnace model placed on the interface can be controlled by hand movements while simultaneously sending signals to the real world. In this case, it is possible to control any kitchen appliances that have a microprocessor on them, such as a hob, which was chosen as the target in this study. In the study, the simulation of the actual hob was conducted with an Arduino rapid prototyping board and integrated LEDs. In the virtual environment, the hob functions are evaluated according to the response of the LEDs controlled via Arduino serial communication.

Keywords: Hand gesture identification, Non-contact control, Human computer interaction, Cognitive ergonomics, Virtual-Mixed reality

* Sorumlu Yazar: busebatukan@outlook.com

1. Giriş

Nesnelerin interneti, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik son zamanlarda insan hayatını kolaylaştıracak şekilde fırsatlar sunan, içi içe geçmiş, birbirini tamamlayan ve destekleyen önemli kavramlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir bütün olarak günümüzde metaverse olarak tanımlanabilecek bu sanal dünya, mobilite, erişilebilirlik, yaygınlık, maliyet avantajları, kullanıcı ergonomisi gibi sunduğu birçok avantajlar nedeniyle, tasarımcıların dikkatini artan şekilde cezbetmekte ve yenilikçi ve şaşırtıcı tasarımların yaşantımızda yer etmesine öncü olmaktadır.

Metaverse, sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR), karma gerçeklik (MR), nesnelerin interneti (IOT) ve yapay zekâ (AI) gibi konseptlerin kullanılarak, gerçek dünyadaki çevre ve içinde bulunan her tür fiziksel objenin, dijital ortamda oluşturulan ses, imaj, 3D görüntü, doku, grafik gibi unsurlarla etkileşiminin sağlanabildiği kurgusal bir evrendir. Bu kurgusal ortamda, gerçek dünya ortam ve objelerine -zeninlik katacak şekilde- müdahale edilebilmekte ve kontrol edilebilmektedir.

Günümüzde sanal gerçeklik çalışmaları, uygun olan çok çeşitli ve bazıları nispeten makul fiyatlı donanımların etkileşimi vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. VR gözlükler, Stereo kameralar, Time of Flight TOF kameralar [1], Kinect [2] ve benzeri yapılandırılmış ışık teknoloji sistemler, Hololens [3] bunlara örnek olarak verilebilir.

Sunulan bu çalışmada, evlerimizde kullandığımız elektrikli ev gereçlerinin sanal ortamda modellenerek, gerçek hayatta kontrol edilebilmesini sağlayan etkileşimli bir arayüzün geliştirilmesine odaklanılmıştır.

Bu amaçla örnek olarak bir ankastre mutfak ocağı seçilmiştir. Geliştirilen sanal ocak kontrol arayüzü, kullanıcının giyilebilir ve taşınabilir başka akıllı donanımları kullanmasına gerek duymadığından, kullanıcı ergonomisini fiziksel ve bilişsel seviyede arttıracakı öngörülmektedir. Geliştirilen bu arayüz ile özellikle yaşlılar, çeşitli seviyede hareket kısıtlılığı olan bireyler için sadece el hareketlerini kullanarak elektrikli mutfak gereçlerini konfor, kullanım kolaylığı, güvenli ve verimli bir şekilde kontrol edebilmesine imkân tanınmaktadır.

Söz konusu el hareketleri ile kontrol arayüzünün geliştirilmesinde, stereo kamera teknolojili Leap Motion hareket sensörü [4] kullanılmıştır. Günümüzde stereo kamera teknolojileri makul fiyatları ve her tür endüstriyel ürüne gömülebilir (embedded) formda olmaları nedeniyle büyük avantajlar sunmaktadır.

Çalışma için kullanılan Leap Motion, içerdiği kamera sistemleri ile metaverse içinde bahsi geçen bu teknolojileri, makul fiyat ve yaygın erişim ile kapsayan yetenekte, entegre bir donanımdır. Çalışmada kullanılan Leap Motion vasıtasıyla kullanıcının el hareketleri algılanarak, bunun Unity 3D [5] ortamında modellenen sahneye aktarılması sağlanmıştır. Unity 3D sahnesine yerleştirilen sanal ocağa ait butonlar, sanal ortamda el hareketleri ile kontrol edilmektedir. Sanal ortama yerleştirilen butonların bu hareketleri ise Microsoft Visual Studio ortamında bulunan C# [6] ve Arduino Uno IDE [7] kullanılarak, analog bir voltaj çıktısı ile gerçek dünyada simüle edilmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. El Hareketleri Tanımlama

Hareket (gesture) tanımlama, bir endüstriyel ürünü kontrol etmenin en doğal ve kullanışlı yöntemlerinden biri olarak görülmektedir. Hareket algılama tabanlı sistemlerin, endüstri 4.0 ve metaverse kavramlarının hayata geçirilmesinde çok önemli yeri bulunmaktadır. Günümüze kadar pek çok araştırmacının ilgi odağında olan bir konu olarak, hakkında düzenli olarak uluslararası düzeyde çalıştaylar düzenlenmektedir [8].

Esasen hareket tanımlama ergonomisi, ISO 92411-960 standartları, insan-bilgisayar etkileşiminin ergonomisi başlığı altındaki, hareket etkileşimleri için çerçeve ve kılavuz alt başlığı altında genel hatlarıyla standardize edilmiştir [9]. ISO 9241-400 ile, arayüzlerde kullanılabilir, çeşitli el hareketi pozisyonları tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Böylelikle bu primitif hareketlerin arayüz üzerinde tespiti ile, bir hareketi etkinleştirme/bitirme, gerçekleştirme, hareketi onaylamak için geri bildirim, ileri besleme, bir hareketi iptal etme, hareket boyutu kriterleri, kriterleri kontrol etme, bir hareket komutunun yazışmasını değiştirme gibi aktiviteler göz önüne alınarak ergonomik bir kontrol sistemi tasarlamak mümkündür (Tang, Webb).

Standartlarda tanımlanan el hareketleri, görsel etkileşimin olmadığı yani hareket tanıma için kamera sistemlerinin kullanılmadığı durumlar için etkilidir. Örneğin, Kela ve arkadaşları, ivme ölçer kullanılan giyilebilir bir teknoloji ile, yedi el hareketi için akıllı ev kontrol sistemi geliştirdiler (Kela vd 2006).

İşlemci hız ve çeşitliliğindeki artış, hesaplama maliyeti yüksek olan görüntü işlemeyle hareket tanıma temelli sistemlerin yaygın olarak kullanılmasına imkân vermektedir. Görüntü işleme teknikleri, çeşitli seviye kameralar ve sensörler birlikte kullanılarak toplanan, durağan veya hareketli imajlar işlenerek, bilgisayarın görmesini sağlayan algoritmaları içerir. Bu durumda, sadece el hareketi tanımlanmaz ayrıca donanımla etkileşime geçebilecek şekilde, konum ve oryantasyon bilgisine de sahip olunmaktadır.

Literatür çalışmalarına bakıldığında, Leap Motion ve Kinect olmak üzere iki donanımın, hareket tanıma arayüzleri için yaygın bir şekilde kabul gördüğü gözlenmektedir. Bu iki sistemin birbirine göre avantajları bulunmaktadır. Kinect sensör, geniş bir görüş alanında, tüm postür (vücut) hareketleri ve ortam haritalama işlemleri için başarısını ispatlayan bir donanımdır. Ancak büyüklükle birlikte, hesaplama maliyetinin yüksek olması, tanımlanan hareketlerin limitli bir çözünürlüğe ve keskinliğe sahip olması gibi dezavantajlara sahiptir. Leap Motion ise küçük yapısı ile hızlı ve el hareketlerini içeren limitli bir alan içerisinde çok yüksek bir

doğruluk ve hassasiyet sunmaktadır. Bu çalışma için iki donanımın kullanılması da uygundur. Ancak el hareketleri ile sınırlandırılan bu çalışma için yüksek doğruluk öncelik olarak belirlendiğinden Leap Motion kullanılması uygun bulunmuştur.

Literatürde, Leap Motion ile geliştirilen, oyun, eğitim, ev otomasyonu gibi çeşitli alanlarda yapılmış ilgi çekici birçok araştırma bulunmaktadır. Özellikle toplumsal kullanımlarında Ultra Leap [10] tarafından üretilen sanal gerçeklik çözümleriyle beraber eğitim, eğlence, tasarım, tıp gibi sektörlerde de yerini almaktadır. En göze çarpan örneği, temassız kiosk uygulamalarıdır [11]. Bu uygulamalar, bir restoranda sipariş verirken, bir bankada sıra alırken ya da asansör kullanırken bir ekrana ya da düğmeye dokunmadan temassız işlem yapılmasına olanak tanımaktadır.

Bekel isimli bir çocuk oyunu için tasarlanan arayüzde, el hareketleri algılanarak, bilgisayar ekranında görünen taşları tutup, havaya fırlatma tekrar tutma gibi hareketler başarı ile gerçekleştirilmektedir (Rahmat, Hasibuan, Siregar ve Syahputra, 2018). Bu oyuna benzer şekilde, çocuklara hitap eden diğer bir çalışmada amaçlanan Honey Bee Dance isimli dansı, önceden belirlediğimiz referans hareketlerin Leap Motion tarafından algılanıp Unity'de hazırlanan arayüzle 3 boyutlu bir dansa dönüştürmektir (Cho ve Lee, 2014).

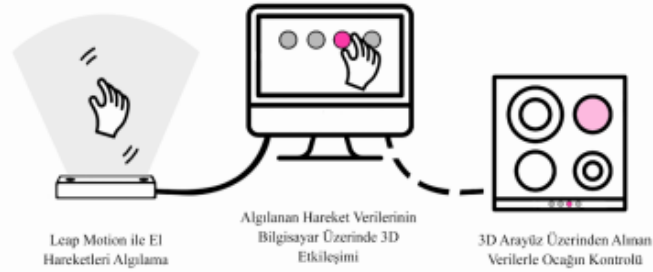
El hareketleri tanımlama ile, farklı ülkelerdeki kullanıcıların, ana dillerinde işaret dili iletişimini kolaylaştırmak, öğretmek üzerine tasarlanan arayüz çalışmaları da bulunmaktadır. Literatürde bu çalışmalara, Arapça (Mohandes, Aliyu ve Deriche, 2014), İngilizce (Potter, Araullo ve Carter 2013) ve Türkçe (Demircioğlu, Bulbul ve Kose 2016) dili için örnek verilebilir.

Tıp bilimi içinde, çok karmaşık olarak kabul edilen ve öğrenmesi zor olan anatomi eğitimini kolaylaştırmak için, Leap Motion kullanılarak, öğrencilerin, 3D iskelet yapısını, interaktif bir biçimde sanal ortamda incelemesine imkân tanıyan bir uygulama geliştirilmiştir (Nainggolan vd 2016).

Leap Motion kullanarak, bilim fuarı ziyaretçileri için, güneş sisteminde bulunan gezegenlerin ve özelliklerinin tanıtılması ve interaktif bir şekilde yakından incelenmesine olanak tanıyan bir uygulama geliştirdiler (Zhongliu ve Xin, 2019). Zaiti ve arkadaşları ise, Leap Motion kullanarak belirlenen beş temel hareket ile TV kontrolü yapan bir arayüz geliştirdiler (Zaiti vd 2015).

Santhanakrishnan ve arkadaşları, Leap motion ile gelen standart dört harekete ek olarak, kisiselleştirdikleri ek hareketler ile ev otomasyonu yapan bir arayüz geliştirdiler (Santhanakrishnan vd 2020).

Literatürde bulunan çok sayıda çalışma ile gelinen noktada, sanal evrende oluşturulan herhangi bir kontrol nesnesi ile etkileşime geçilebilir. Böylelikle gerçek dünya ortamında, çeşitli gereçleri kumanda etmek amacıyla kontrol sinyalleri gönderilebilir. Bu durum Metaverse ile etkileşimli ve ancak hayal dünyası ile sınırlı arayüzlerin gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada, Şekil 1 üzerinde gösterilen hiyerarşi ile el hareketlerini tanıyarak, bir ocağın kontrolünü sağlayan bir 3D sanal bir arayüz geliştirildi.



Şekil 1. El hareketleri ile ocak kontrolü (Figure 1. Cooker control with hand movements)

Arayüz üzerinde bulunan 3D sanal ocağa ait kontrol düğmeleri, el hareketleri ile seçilip yakalanabilir ve döndürülerek aktif hale getirilmektedir. Böylelikle ilgili beke ait yanma işlevi gerçekleştirilmektedir. Söz konusu yazılım ve fonksiyonların uygulanabilirliği için, Leap Motion, Unity 3D ve Arduino donanımları kullanılmıştır.

2.2. Leap Motion Hareket Sensörü ile Hareket Analizi

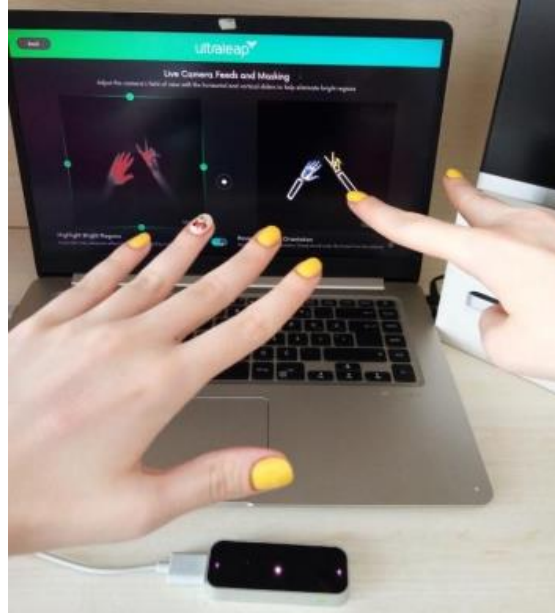
Leap Motion, insan-bilgisayar etkileşimi için gelişmiş hareket algılama teknolojisini barındıran bir hareket sensörüdür. Bu sensör Şekil 2 ile gösterildiği üzere bir çift kamera ve derinlik algısı oluşturmada kullandığı bir dizi IR LED ışık kaynakları ile donatılmıştır.



Şekil 2. Leap Motion İçerik Görüntüsü (Figure 2. Leap Motion Content View) [3]

Leap Motion barındırdığı 3 kızılötesi kamera ile beraber el ve parmak hareketleri algılayabilen ve bilgisayara USB ile bağlanabilen bir sensördür. Leap Motion üzerinde bulunan LED ışık kaynakları ile belirgin frekans ile ortama ışık örnekleri yayar. Cihaz, barındırdığı kızılötesi kameralar ve LED vasıtasıyla düşürülen ışık örneklerinin ellere çarpıp distorsiyonu ile ellerin gri tonlamalı stereo görüntülerini birlikte işleyerek el ve hareketlerini 3D olarak sayısallaştırılmasını sağlar (Şekil 3). Bilgisayara aktarılan bu sayısallaştırılan verilerden, Leap Motion ile birlikte gelen, yazılım geliştirme kütüphanesi (SDK -Software Development Kit) ile; kameranın her bir çerçevesi için işlenen aşağıda sıralanan verileri elde edilmesini sağlar (Spiegelmock, 2013).

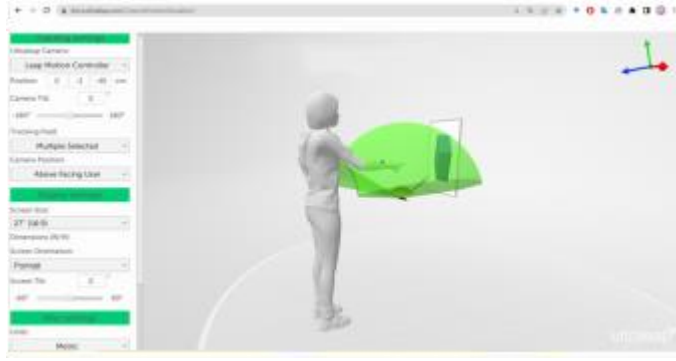
- Bir çerçevede içinde tüm ellerin, döndürme, konum ve hız dahil olmak üzere algılanması,
- Tüm parmaklar ve sivri uçlu araçların, her bir ele bağlı olarak, dönüş, konum ve hız ile birlikte algılanması
- Bir parmak veya aletle işaret edilen bir konumun bir ekranda denk gelen piksel konumunun hassas ve doğru bir şekilde tespiti
- Kaydırma ve dokunma gibi hareketlerin temel olarak tanınması
- Çerçeveler arasındaki konum ve yön değişikliklerinin algılanması



Şekil 3. Leap Motion ile El Hareketleri Algılama (Figure 3. Hand Gesture Detection with Leap Motion)

Leap Motion hem ayakta hem de oturarak kullanmaya imkân tanımaktadır. Leap Motion belirgin bir alan içinde hareket tanımlama yapmaktadır. Her ne kadar, bu çalışma bilişsel ergonomi üzerine yoğunlaşsa da geliştiriciler için Leap Motion aynı zamanda, fiziksel ergonomiyi öngörmeye yarayan Camera Position Visualiser arayüzüne sahiptir. Geliştiriciler, Camera Position Visualiser analiz aracı kullanarak, sensör yerleşimi ile ilgili öngöründe bulunabilir ve ergonomi analizleri yaparak optimum lokasyonları belirleyebilirler. Fiziksel ergonomi, RULA analizi ile olarak bilinen bir değerlendirme ile analiz edilebilir. RULA analizi ile, üst uzuv değerlendirilmesi yapılmaktadır. Kullanıcının, oturarak mı yoksa ayakta mı çalıştığı, çalışma sahasındaki vücut duruşunu değerlendirilerek bir skor üretilmektedir.

Şekil 4'te Leap Motion-Bilgisayar-Kullanıcı üçgeni sistemimizde olduğu gibi modellenmiş Camera Position Visualiser [12] ve Leap Motion'ın etkileşim alanı yeşil ile gösterilmiştir. Bu sitede, Leap Motion- Ekran- Kullanıcı konum ve açıları girilerek etkileşim alanı Şekil 4'te gösterilmiştir. Burada önemli olan, ellerin belirtilen yeşil alanda kalarak hareketlerin algılanmasının sağlanmasıdır.



Şekil 4. Leap Motion Camera Position Visualiser (Figure 4. Leap Motion Camera Position Visualiser) [12]

Camera Position Visualiser ile belirlenen alan içinde yapılan çalışmalarla elde edilen veriler, RULA analizi için hızlı üst uzuv tablosunda [13] değerlendirilebilir. Bu çalışmada, online bir RULA analiz aracı kullanıldı. Osmond Ergonomics'in sunduğu [14] bu analiz aracına göre, sensör yerleşimi ve çalışmada kullanılan kurulum dikkate alındığında, RULA skoru 3 olarak belirlenmiştir. Bu durum, çok kötü olmasa da fiziksel ergonomi açısından güncellenmesi gereken bazı hususların varlığını işaret etmektedir.

2.3. Uygulama Arayüzü İçin Belirlenen El Hareketleri

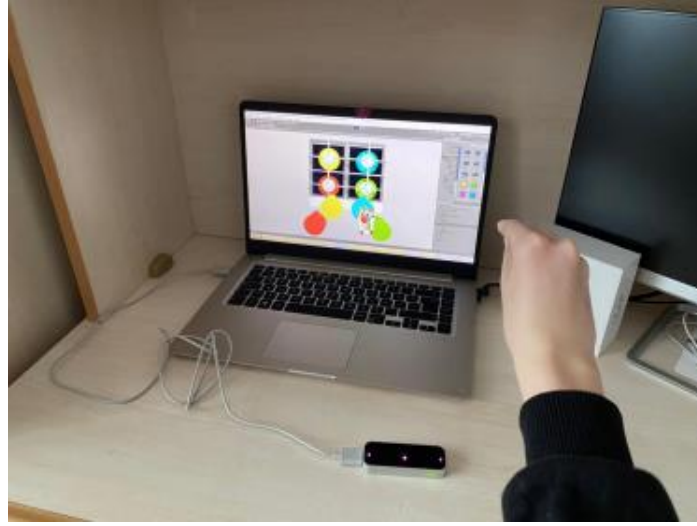
Esasen Leap Motion, varsayılan olarak dört çeşit el hareketini tanımaktadır. Ancak Leap Motion kompleks hareketleri bile rahatlıkla tanıması ve güçlü ve esnek SDK desteğiyle bu çalışmada temel olarak daha kompleks ve gerçek yaşamda kullanıma benzer temel iki hareket belirlenmiştir.

Bunlardan ilki, sanal evrende 3D olarak modellenen ocak butonuna uzanıp, butonu kavrama ve tutma hareketidir. Bu hareket için önce el (veya eller) serbest durumda (Şekil 5) ilgili sanal ocak butonuna uzanmalıdır.



Şekil 5. Butona Uzanarak, Seçme Hareketi (Figure 5. Reaching for the Button, Selection Movement)

İlgili sanal ocak butonu üzerine gelindiğinde ise, bu butonu kavramak için, Şekil 6 ile gösterilen el hareketi ile, buton sanki gerçek hayattakine benzer şekilde kavranmalıdır. Bu kavrama hareketi için ellerden biri, Leap Motion çerçevesi içinde, buton üzerinde ve tek bir noktada birleşmelidir.



Şekil 6. Buton Tutma ve İlgili Beki Aktif Hale Getirme Hareketi (Figure 6. Button Holding and Related Burner Activation Movement)

Sanal ocak butonu, sanal evrende kavrandıktan sonra, tıpkı gerçek yaşamda olduğu gibi, butonun sağa veya sola döndürülmesiyle, ocağın yakılması ve hararetinin ayarlanması hedeflenmiştir. Bu döndürme hareketi için, el, tutma konumundayken, sanal buton orjinine göre yaklaşık 45° sağa döndürülerek ocak ateşlemesinin yapılması hedeflenmiştir. Ocak bir kez ateşlendikten sonra, ateşleme orjinine göre sağa doğru çevrilmeli (Şekil 7) veya ocağın kısmak için aynı hareket sola doğru yapılmalıdır. Döndürme hareketi için, el ve bileğin konum ve oryantasyonlarını dikkate alan hareket tanıma algoritması kullanılmıştır.



Şekil 7. Sanal Ocak Butonunu Döndürme Hareketi (Figure 7. Virtual Cooker Button Rotation Movement)

Leap Motion ile iki el hareketi eş zamanlı olarak takip edilmekte, sağ veya sol el, hangisi kullanıcı tarafından tercih edilirse kullanılabilir. Ayrıca, el hareketlerinin tanımlanması kullanıcıdan bağımsızdır. Farklı kullanıcılar için kalibrasyon yapılmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Yukarıda bahsedilen el hareketleri, dikkat edilirse gerçek yaşamla özdeş, birebir simüle edilen hareketler olarak, kullanıcının minimum öğrenme eğrisi ile arayüze hakim olması hedeflenmiştir.

2.4. Unity 3D Sahnesinde Arayüzün Hazırlanması

Unity3D, çok yönlü, son derece esnek ve güçlü bir oyun motorudur. C# ve C++ dilleri ile kişiselleştirilebilen bu oyun motoru, 2D ve 3D oyunlar ve interaktif simülasyonlar ile metaverse için birçok uygulamanın geliştirilmesi için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 21 platformu destekleyen Unity 3D ile Windows, Linux ve mobil cihaz işletim sistemleri için yazılım derlemek mümkündür.

Unity3D primitif 3D modelleyici ve kapsamlı render arayüzüne sahiptir. Aynı zamanda sahnesinde, diğer CAD modelleyicilerden aldığı, FBX, OBJ gibi ağ yapısına sahip 3D modelleri de kullanabilir. Unity3D sahnesinde yerleştirilen modeller, artık birer nesnedir ve her nesnenin, başta konum ve oryantasyonu olmak üzere çoğu özelliği değiştirilebilir.

Çalışma ile sunulan arayüz geliştirilmesinde, bir ocak gerçeğine uygun şekilde modellenerek Unity3D sahnesine aktarılmıştır. Bunun için, Solidworks [15] CAD yazılımı ortamında ayrı ayrı modellenen ocak parçaları (gövde, döküm bek, butonlar vs) yine CAD

ortamında montajlandı. Şekil 8 ile gösterildiği üzere, ocak montajı CAD verisi, Unity3D sahnesine aktarılacak şekilde obj formatlı ağ (mesh) yapısına dönüştürülerek, arayüz üzerinde sahneye asset olarak yerleştirildi.

Sahne ayarları Unity içindeki varsayılan Işıklandırma seçenekleri altından indirilen arayüzle tamamlanarak sonrasında Şekil 8'de, daha net anlaşılması için 3 boyutlu ortamdaki arayüz olarak yer almaktadır.

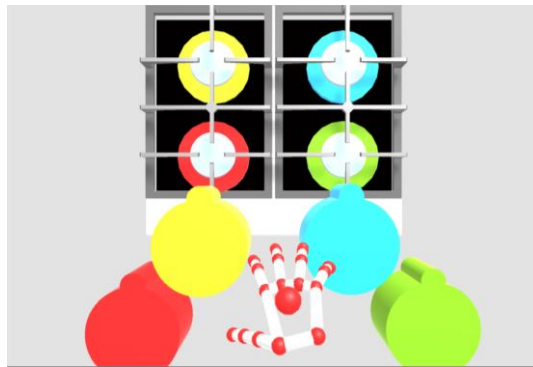


Şekil 8. Unity3D Ortamında Sanal Ocağın Konumlandırılması (Figure 8. Positioning the Virtual Cooker in Unity3D Environment)

Şekil 8 ile gösterildiği üzere, kullanıcı deneyimini arttırmak ve kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla, Unity 3D sahnesindeki ocağın her bir gözü farklı bir renk ile temsil edilmektedir. Yine Unity 3D sahnesinde ocağın üstünde boşlukta konumlandırılmış, 3D butonlar görülmektedir. Böylelikle, sahne içinde el modeli ve butonlar yeterli uzaklıkta konumlandırılarak gerçeklik algısı sağlanmaya çalışılmaktadır. Aynı zamanda, bu butonlar ocak üzerindeki gözle aynı renklerde temsil edilmektedir. Hareketlerin mümkün olduğunca kısa ve kolay anlaşılıp uygulanması şarttır. Böylece seçim kolaylıkla yapılarak bir sonraki seçim ekranına geçebilmektedir. Unity 3D sahnesine yerleştirilen tüm bu nesnelerin üzerine, belli bir mesafede yerleştirilen sanal bir Unity 3D kamerası ile bütün nesnelere arayüz üzerinde belirli bir alan içinde görülür kılınmıştır.

Arayüz üzerindeki butonların, gerçek dünyada yapılan el hareketleri ile kontrol edilmesi için, Leap Motion ile birlikte gelen SDK ve Unity 3D içinde çalışan ve Leap Motion Orion [16] olarak adlandırılan bir yardımcı kütüphane (asset) kullanılmıştır. Unity3D Orion asseti, Unity 3D içinde prefab olarak adlandırılan ve arayüzde görülen, kemik parmak ve bunların eklem noktalarını temsil eden bir 3D iskelet modeli içerir. Ayrıca, Orion kütüphanesi, prefab el ile Leap Motion kameralarının irtibatını sağlayan ve arayüzde çeşitli aksiyonları icra eden birtakım fonksiyonları (Callback Class) kapsamaktadır.

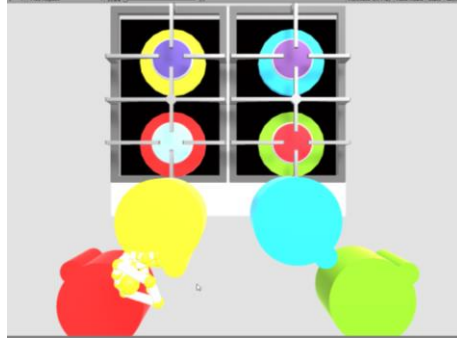
Orion asset içinde, Interaction Engine olarak adlandırılan fonksiyon (class), sahne içine yerleştirilen 3D iskelet prefab modelin gerçek dünyadaki dokunma hareketini gerçekleştirmesi için kullanılmaktadır. C# ile çağırılan bu fonksiyon ile, Leap Motion, sensörün algıladığı el hareketleri ile Unity 3D sahnesine yerleştirilen butonların etkileşimi hesaplatılmaktadır.



Şekil 9. Düğmelerin ve Ocağın Başlangıç Durumları (Figure 9. Initial Conditions of Buttons and Hob)

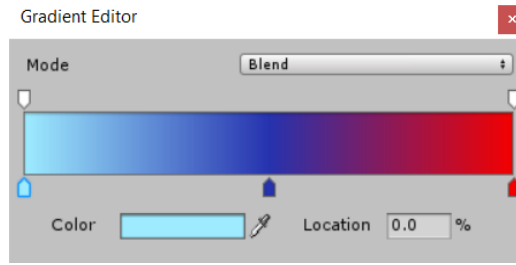
Şekil 9 ile gösterilen arayüz, sanal ortamında butonlar, el iskelet modeli ile seçilebilir durumdadır. Sanal ortama yerleştirilen butonlar, el hareketleri ile yakalanır, ateşleme pozisyonunda bekletilir ve daha sonra döndürülerek, bek ısıyı kullanıcı isteğine göre ayarlanabilir. Şekil 10 ile gösterildiği üzere, seçilen butona göre bek, kullanıcının ayarladığı ısıya göre belirgin bir renk skalasında renk değiştirmektedir. Böylelikle, arayüz üzerinde kullanıcı için bir ısı algısı sağlanarak, kullanım ergonomisinin artırılması hedeflenmiştir.

Her bir buton, el modelinin, Leap Motion etkileşimi ile elde ettiği veri ile kavrama ve dönme hareketi sağlanmaktadır. Bu gerçek dünya ile uyumlu iki el hareketi ile etkileşim sağlanırken, Şekil 10 ile gösterildiği üzere, sanal ocak iki butonu, biraz daha üste yerleştirilmiştir. Bu sayede Leap Motion, sensör kesinliği daha da artırılarak, hareket algılama hatası minimuma indirilmiş ve böylelikle, interaktif kullanıcı deneyimini arttıracak şekilde arayüzde akıcılık yakalanmıştır.



Şekil 10. Arayüzde Buton Pozisyonu ile Beklerin Renk Değişimi, Tüm Ocak Gözleri Aktif (Figure 10. Color Change of Burners with Button Position on the Interface, All Hotplates are Active)

Şekil 10 ile gösterilen arayüze dikkat edilirse, buton çevrilme pozisyonlarına göre gerçek dünya koşullarındaki ocaklar gibi, dönme miktarı ile ilişkili bir gaz akışı algısını oluşturan bir renk değişimi sağlanmıştır. Buna göre, ocak gözlerinin renk değişimi kırmızıdan başlayarak, açık maviye doğrudur. Unity3D içerisindeki her bir nesnenin rengi bir gradient editor ve bunun sayısal kontrolü ile mümkündür. Bu geçişi temsil eden gradient editör arayüzü Şekil 11 ile verilmektedir.



Şekil 11. Ocak Beklerinin Gradyen Geçişi (Figure 11. Gradient Transition of Burners)

Gerçek dünya üzerinde ocak butonları, tamtur atmaya, aslında belirli bir açısal aralıkta çalışmaktadır. Sanal dünyada aynı etkiyi oluşturmak ve sanal butonların hareketlerini kısıtlamak için, kullanılan koordinat sistemine göre (sol el referanslı) eksenler dikkate alınarak, butonlar sadece kendi eksenini etrafında dönecek şekilde, uzayda X ve Y eksen hareketlerine sınır getirilmiştir.

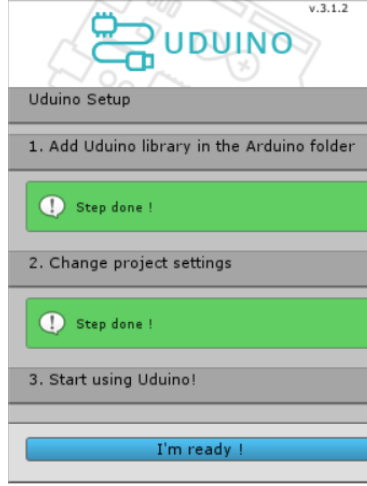
Butonun kendi eksenini etrafında dönüş sınırını kısıtlamak için ise, Unity3D içinde boş oyun nesnelere (empty game object) ve bunların pozisyonlarına eklenen mesh collider fonksiyonları kullanılmıştır. Boş oyun nesnelere içeriğinde bir 3D mesh içermeden, grafik ekranda çarpma algılama veya çarpma tetikleme için oyun tasarımlarında sıkça kullanılan nesnelere, Bu nesnelere 3D bir grafik barındırmasa da, çarpma algılama gibi (collision detection) gömülü fonksiyonların kullanılmasına olanak tanır. Buna göre her bir butonun, minimum ve maksimum açısal pozisyonlarına aslında grafik ekranda görünmeyen bir boş oyun nesnesi ve buton üzerindeki çıkıntının bu boş oyun nesnesi ile girişim yaptığı durumlar, OnCollisionEnter ve OnCollisionExit fonksiyonları ile kontrol edilerek, sanal buton eksenini üzerinde de kısıtlamalar gerçekleştirilmiştir.

2.5. Sanal Dünya ile Gerçek Dünya Etkileşimi Simülasyonu

Buraya kadar anlatılan konular, kullanıcının sanal bir ocakla interaktif etkileşimini kapsamaktadır. Ancak bu çalışmada amaç, kullanılan arayüzle, gerçek dünyada elektrikli bir mutfak eşyasının etkileşiminin gerçekleştirilerek kontrolünü kapsamaktadır. Bu kapsamda, önerilen bu arayüz için hedef olarak seçilecek elektrikli ev aletinin dijital çıktıyla kontrol edilebilen bir donanıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Aslında bu durum günümüz ev otomasyonu çalışmalarının çekirdek talebi veya varsayımdır. Günümüzde birçok elektrikli ev aleti nesnelere interneti (IoT) standartlarını karşılayacak şekilde, dijital çıktıları işleyecek bir mikro işlemci veya mikro bilgisayar ile donatılmaktadır. Böylelikle, nesnelere interneti protokolünde yer alan herhangi bir protokol vasıtasıyla, elektrikli ev eşyalarıyla irtibata geçmek mümkündür. Dolayısıyla mikro işlemci barındıran her elektrikli ev aleti bu çalışmada sunulan mantıklı kontrol edilebilir.

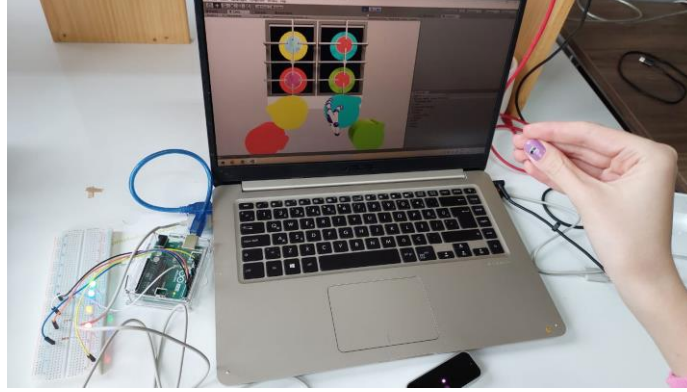
Bu çalışmada geliştirilen ocak kontrol arayüzü, sanal ortam tepkilerini göstermek için üzerinde mikro işlemci olduğu varsayılan bir sanal ocak ile simüle edilmiştir. Buna göre, arayüz ile irtibatlı olacak şekilde, Arduino Uno prototipleme kartı kullanılmıştır. Arduino, üzerinde Atmega mikro işlemcisini barındırmaktadır. Arduino IDE derleyicisi vasıtasıyla programlanabilir. Böylelikle, seri protokol ile dijital veya analog çıkışlardan veri toplayabilir, bu veriyi kullanarak, analog ve dijital çıkışlarına sinyal gönderebilir. Dolayısıyla mikro işlemcinin programlanması ile sanal ortamdan alınan veriler, yine mikro işlemcinin kontrolünde olacak olana beklerin yanma kontrolü için kullanılabilir. Bu çalışmada, ocak üzerinde istenilen bekin aktif hale getirilmesi ve bekin, arayüz üzerindeki buton pozisyonlarına göre sıcaklık seviyelerinin kontrolünü simüle etmek için, arduino analog çıkışlarına LED lambalar bağlanmıştır.

Arayüz geliştirme aşamasında, Arduino ve Unity etkileşimi, Uduino [17] kütüphanesinden vasıtasıyla sağlanmıştır. Şekil 12’de verilen arayüzle gösterildiği üzere, Uduino, donanım ile arayüz arasında seri haberleşme protokolünü kurmakta ve böylelikle, sanal ortamdaki nesnelere ile gerçek hayattaki donanım etkileşime girebilmektedir.



Şekil 12. Uduino Arayüzü (Figure 12. Uduinio Interface)

Arayüzde bulunan sanal ocaktaki her bir beki temsilen, dört ayrı LED kullanılmıştır. Sanal ocak üzerinde (Şekil 10), turuncu, yeşil, pembe ve mavi renkte butonları ve Şekil 13 ile ise, sanal ocak ile eşleştirilen LEDler görülmektedir.



Şekil 13. 3D Arayüzle Etkileşimde Olan Ocak Yanma Simülasyonu. (Figure 13. Hub Simulation Interacting with 3D Interface.)

Şekil 13 ile gösterildiği üzere, breadboard üzerinde bağlı olan her bir LED farklı bir bekin yanma durumunu simüle etmek yerleştirilmiştir. Arayüz üzerinde tek bir bek veya birden fazla bek aynı anda seçilebilir, aktif hale getirilebilir ve bu durum ilgili LEDleri yanmasıyla simüle edilmektedir. Şekil 13 ile verilen ocak simülasyonu görüntüsünde, söz konusu tüm bekler yanma pozisyonundadır. Bekin sıcaklık ayarı ise sanal ortamda bulunan butonun oryantasyonu ile orantılıdır. Donanım üzerinde bu durumun benzetimi ise, ilgili LED lambanın 8 bitlik veri ile yaklaşık 360 derecelik bir harekette gradyen şeklinde solan ışık animasyonu ile parlaklığı ayarlandığı bir algoritma ile sağlanmıştır. Buna göre yine Şekil 13 ile gösterildiği üzere, arayüz üzerinde her bir butonun oryantasyonuna göre bekin alev derecesi, breadboard üzerindeki LED lambanın ışık şiddetiyle orantılıdır.

3. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma ile temel bir elektrikli mutfak aletinin, el hareketleri ile kontrolünü sağlayan bir arayüz geliştirilmiştir. Çalışmada stereo kamera teknolojisine sahip, Leap Motion kullanılmıştır. Günümüzde akıllı sistem kontrolü için, kamera gibi çeşitli sensörler ve entegre mikroişlemci donanımlı kartlar, kolay ulaşılabilir, ucuz ve hedef birçok ürüne gömülü olacak şekilde temin edilebilir. Böylelikle, örneğin ocak, fırın ve davlumbazdan oluşan tüm ankastre set, davlumbaz üzerine gömülen entegre stereo kamera, kontrol ünitesi (örneğin Raspberry Pi) ve temel bir projeksiyon ünitesinden oluşan ile kontrol edilebilir. Bu durumda ankastre üzericileri esasen tüm kumanda ve gösterge gibi komponentlerden kurtulabilir. Bütün bu komponentlerin yerini, bu çalışmada olduğu gibi, el hareketlerini hassas bir şekilde gerçek yaşam hareketlerine göre algılayan bir arayüzle değiştirmek mümkündür. Böylelikle, başta yaşlı ve çeşitli seviyede engelli kullanıcı grupları olmak üzere, tüm kullanıcı grupları için, daha ergonomik ve sürekli güncellenen bir kullanıcı arayüzü ve tecrübesi (UI/ UX) deneyimi yakalanabilir.

Kaynaklar

- Kela, Korpipää, Mäntyjärvi, Kallio, Savino, Jozzo, et al., Accelerometer-based gesture control for a design environment, Personal and Ubiquitous Computing, vol. 10, no. 5, pp. 285-299, 2006
- Rahmat, Hasibuan, Siregar, Syahputra, (2018). A Traditional Bekel Game Using Leap Motion Controller. Journal of Physics Conference Series 1116(2):022036.

- Cho, Lee (2014). A Study about Honey Bee Dance Serious Game for Kids Using Hand Gesture: *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering* 9(6):397-404.
- Mohandes, Aliyu, Deriche (2014). Arabic Sign Language Recognition Using the Leap Motion Controller. 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)
- Potter, Araullo, Carter (2013). The Leap Motion Controller: A View On Sign Language. Conference: Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference: Augmentation, Application, Innovation, Collaboration.
- Demircioglu, Bulbul, Kose (2016). Turkish Sign Language Recognition with Leap Motion. Conference: 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU).
- Nainggolan, Siregar, Fahmi (2016). Anatomy learning system on human skeleton using Leap Motion Controller, 3rd International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS).
- Zaiți, Pentiu, Vatavu (2015). On free-hand TV control: experimental results on user-elicited gestures with Leap Motion. *Personal and Ubiquitous Computing* volume 19, pages 821–838.
- Zhongliu, Xin (2019). Research on Interactive System of Science Exhibition Based on Leap Motion, IOP Conference Series Materials Science and Engineering 686(1):012011.
- Mohandes, Aliyu, Deriche (2014). Arabic sign language recognition using the leap motion controller, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 10.1109/ISIE.2014.6864742.
- Santhanakrishnan, Reddy Yerasi, Singh. (2020). Hand Gesture Based Home Automation Using Leap Motion Sensor. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(6s), 1926 - 1931
- Spiegelmock, Mischa. *Leap Motion Development Essentials*. Sayfa 6 Packt Publishing, 2013
- Tang, Webb (2018). The Design and Evaluation of an Ergonomic Contactless Gesture Control System for Industrial Robots: *Journal of Robotics* Volume 2018, Article ID 9791286.

1. Time of Flight Kameralar Erişim Adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Time_of_flight
2. Microsoft Kinect, Erişim Adresi: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/apps/design/devices/kinect-for-windows>
3. Hololens Erişim Adresi: [<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>]teknolojileri
4. How Leap Motion Works, UltraLeap, Erişim Adresi: <https://www.ultraleap.com/company/news/blog/how-hand-tracking-works/>
5. Unity 3D için Erişim Adresi: <https://unity.com/>
6. Microsoft C# için Erişim Adresi: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/>
7. Arduino için Erişim Adresi: <https://www.arduino.cc/>
8. <https://link.springer.com/conference/gw>
9. Human-Computer Interaction ISO Standarts için Erişim Adresi: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-960:ed-1:v1:en>
10. UltraLeap Erişim Adresi: <https://www.ultraleap.com/>
11. Leap Motion and Kiosk Projects, UltraLeap, Erişim Adresi: <https://www.ultraleap.com/success-kiosk-product-catalogue/>
12. Leap Motion Camera Position Visualiser, Erişim Adresi: <https://docs.ultraleap.com/CameraPositionVisualizer/>
13. RULA Table, Erişim Adresi: <https://ergo-plus.com/wp-content/uploads/RULA-A-Step-by-Step-Guide1.pdf>
14. RULA analysis Online, Erişim Adresi: <https://www.rula.co.uk/assessment.html> (Erişim Tarihi)
15. Solidworks için Erişim Adresi: <https://www.solidworks.com/>
16. Leap Motion Orion Erişim Adresi: <https://developer.leapmotion.com/releases/leap-motion-orion-410-99fe5-crpg>
17. Uduino, Asset Store, Erişim Adresi: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/input-management/uduino-arduino-communication-simple-fast-and-stable-78402>



Hint Yarımadasında Türk Mimari İzleri ve Karakteri

Zeynep Cevahirefendioğlu^{1*}, Leyla Suri²

^{1*} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0025-8437), zeynepcvhr@gmail.com

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 2322-5112-21), lsuri@ticaret.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10 Kasım 2022 ve Kabul Tarihi 25 Ocak 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1226734)

ATIF/REFERENCE: Cevahirefendioğlu, Z. & Suri, L. (2023). Hint Yarımadasında Türk Mimari İzleri ve Karakteri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 126-150.

Öz

Türkler, tarihleri boyunca yayılımcı bir politika izlemiş ve gittikleri yerlere kültürlerini de taşımışlardır. Hint Yarımadası, Türklerin Orta Asya'dan göç ederek yerleştiği ve yaklaşık 700 yıl hüküm sürdüğü bölgedir. Türkler, Burada çok fazla hizmete imza atmış ve yeni yaşam alanları oluşturmuşlardır. İki kültürün birleşmesi ile yeni bir mimari dil ortaya çıkmıştır. Türk hükümdarlar, imar çalışmalarına önem vermiş, ülkenin en ıssız bölgelerine dahi kervansaray, bahçe, han ve mescit gibi yapılar yaptırarak şehirleşmeyi teşvik etmişlerdir. Türkler, bu üslup ile Hint Yarımadasında çok sayıda mimari eser bırakmıştır. İçlerinde Tac Mahal'in de yer aldığı bu mimari eserlerin çoğu, üstün evrensel değere sahip olmaları nedeni ile Unesco Dünya Mirası Listesi'nde yer almaktadır. Bu çalışmada; Orta Asya'dan Güney Asya bölgesine inen Türklerin bölgede kurduğu devletler, bıraktığı mimari eserler; işlevi, dönüşümü, yapım teknikleri, ve bölge şartlarına göre yapılmış koruma ve restorasyon çalışmaları araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hint-Türk Mimarisi, Hint Yarımadası, Türk Devletleri, Güney Asya Türkleri, Türk Mimari Karakteri.

A Study of Turk Architectural Character in Indian Peninsula

Abstract

Turks followed an expansionist policy throughout their history and carried their culture to the places they went. The Indian Peninsula is the region where the Turks migrated from Central Asia and settled for 700 years. With the merging of the two cultures, a new architectural language has emerged. Turkish rulers gave importance to construction works and encouraged urbanization by having buildings such as caravanserais, gardens, inns and mosques built even in the most desolate regions of the country. Most of the structures are on the UNESCO World Heritage List, such as the Taj Mahal. In this study; In the context of conservation and restoration, the states established by the Turks, the architectural artifacts they left, the construction techniques, and the conservation and restoration works made according to the regional conditions were examined.

Keywords: Indo-Turk Architecture, Indian Peninsula, Turk States, South Asian Turks, Turk Architectural Character.

1. Giriş

Türkler tarihleri boyunca, yeryüzünde yaşadıkları veya kısa bir süre konakladıkları bölgelere izler bırakmışlardır. Güney Asya bölgesi, Türk tarihçiliğinde en az araştırılan konulardan biridir. 700 yıla yakın Güney Asya bölgesine hükmeden ve burada büyük devletler kuran Türklerin tarihi üzerinde, yeteri kadar durulmamaktadır (Bayur, 2019). Türkler, günümüz sınırları ile Hindistan, Pakistan, Afganistan'ın bir bölümü, Nepal, Bhutan, Bangladeş, ve Myanmar'ın bir bölümünde hüküm sürmüştür (Gömeç ve Çelikleş, 2019).

Dönemin sınırlarına göre, tüm bölge sadece Hindistan olarak anılmaktadır. Türklerin Hindistan'a hareketi M.S 5. Y.Y döneminde Akhunlar'ın seferleri ile başlamıştır. İslam öncesi dönemde ilk olarak Akhunlar bölgeye gelerek Orta Hindistan'a yerleşmiş ve zamanla sınırlarını genişletmiştir (Bayur, 2019). Daha sonra Kök Türkler de bölgeye gelmiş Akhunlar'ın karşısına çıkmaya cesaretleri olmasa da bölgede varlıklarını 6. Y.Y. ortalarına kadar devam ettirmişlerdir (Gömeç ve Çelikleş, 2019). Yönetimi altına aldığı topraklara hizmet götürme konusunda başı çeken Türkler, bu bölgelerde pek çok hizmete imza atmıştır. Tarihsel süreçte Türk- Hint- sanatı harmanlanarak çok özel eserler ortaya çıkmıştır. Ülkenin en ıssız, gelişmemiş ve güvenlik sorunu yaşanan bölgelerine kervansaray, han ve mescit gibi yapılar yaptırılarak buralarda da şehirleşme teşvik edilmiştir. Bu hassasiyetlerin ve verilen emeklerin sonucu olarak günümüze ulaşmış, bölgeye güzelliğini veren pek çok tarihi yapı bulunmaktadır (Bayur, 2019).

Yapılan literatür araştırmalarında, faydalanılan önemli kaynaklar arasında Gömeç ve Çelikleş (2019) bulunmaktadır. Hint Yarımadası sınırlarında Türk tarihini araştırmışlardır. Türk hanedanlıklarının kurduğu devletler, kronolojik sırasına göre belgelenmiştir. Devlet yapıları ve dönemin siyasi ilişkileri irdelenmiştir. Sultanların mimariye verdiği önem ve bireysel olarak tasarıma bakışlarıyla ilgili, bazı bilgiler verilmiştir. P. Brown (1981) Hindistan'da özellikle İslami dönem mimari eserleri üzerinde bir inceleme yapmıştır. Bayur (2019), Hindistan'da Türk tarihi üzerinde araştırma yapmıştır. Koch (2006), Özellikle Delhi'de bulunan Babürler dönemi mimarisi üzerinde araştırmalar yapmıştır. Eserlerin daha detaylı şekilde, dekoratif öğelerinin incelemesini yaparak, karşılaştırma yapmıştır. Süslemelerde kullanılan motiflerin isimleri paylaşılmıştır. Tahrir olmuş bölümler, fotoğraflanarak belgelenmiştir. Haidar (2008), Indo-Turkish Architecture isimli eserinde, Hindistan'da bulunan Orta Çağ dönemi Türk yapılarını araştırmıştır. McKibben (1994), özellikle Tuğluklar dönemi mimari karakteriyle ilgili aktarımlarda bulunmuştur.

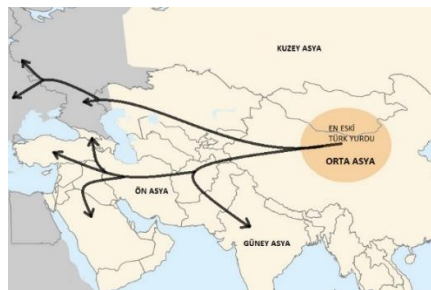
Yapılan bu çalışmada; Güney Asya'nın günümüzde Hindistan ve Pakistan topraklarını kapsayan bölgesinde, Türklerin kurduğu devletler, bıraktığı kültür mirası, eşsiz mimari yapılar ve eserlerin günümüze ulaşana dek gördüğü işlemler araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda, eserlerden bazılarının literatürde mevcut olduğu, bazılarıyla ilgili ise çok az bilgi olduğu tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Araştırmanın materyalini Güney Asya bölgesine yerleşen Müslüman Türklerin bıraktığı mimari eserler oluşturmaktadır. Çalışmanın sınırlarını Türk hükümdarlarının İslam'ı kabul ettikten sonraki dönemi ve coğrafi konumu belirlemektedir. Literatür taramaları kapsamında, bölgeye hakim olan Türk devletleri ve bıraktıkları en önemli mimari eserler tespit edilmiş, bölge mimarisinin Türk mimari karakteri ile olan sentezlenmesi irdelenmiştir. Bölgede kullanılan yapı malzemeleri araştırılmıştır ve devletlerin sahip olduğu tüm eserler, kronolojik sırasına göre listelenmiştir. Yapıların inşa edildiği bölge ile malzeme uyumu araştırılmış, ulaşılan koruma ve restorasyon bilgileri aktarılmıştır.

2.1. Hint Yarımadasında Türkler

Türkler, Kuzey Hindistan'dan başlayarak pek çok bölgeye Türk-İslam sanat ve medeniyet merkezleri kurmuştur. Daha sonra bu gelişme Orta Hindistan'a kadar ilerlemiştir. Müslüman Türkler ilk olarak M.S 10. Y.Y. sonlarında Kuzey Hindistan'a inmeye başlamışlardır. Konargöçer dönemlerinde bile Türkler, uğradıkları yerlere derin izler bırakmışlardır (Bayur, 2019). Türkler Hindistan'ın ikliminden pek hoşlanmasa da, bölgenin stratejik önemi, ipek ve baharat yolu için ticaret kaynağı oluşu, bu toprakları her zaman değerli kılmıştır.



Şekil 1. Türklerin Anayurtlarından Hareketleri. (Figure 1. Movements of Turks from their Homeland.)

Orta Asya'dan göçlere başlayan Türkler Şekil 1'de görüldüğü gibi dünyanın farklı yerlerine yerleşmiştir. Yapılan araştırma, Güney Asya bölgesine göç eden Türkleri kapsamaktadır. Yeni yerler fethedildikçe gelmeye devam eden Türk ordular, artık burada yerleşik düzene geçmeye başlamış ve yerel halk ile iletişim ihtiyacı doğmuştur (Toker, 2022). Zamanla askerlerin kullandığı Türkçe, Farsça ve Arapça sözcükler yerel dil ile harmanlanarak yeni bir dil halini almıştır. Bahsedilen dile de Türkçe "Ordu" kelimesinden gelen "Urdu" adı verilmiştir. Urduca şu an Pakistan'ın resmi dilidir ve Hindistan'ın da büyük bir kısmında konuşulmaktadır (Bayur, 2019). Güney Asya'ya gelen Türk savaşçılar sayesinde Alt-Kıta'nın kuzeyinde İslamiyet çok hızlı bir şekilde yayılmaya başlamıştır. Bu etkileşim

bölge mimarisine ve şehir silüetlerine de yansımıştır. Orta Asya Türklerine özgü olan yüksek eyvanlar ve Hindu yapılarında kullanılan chhatriler (yükseltilmiş, ayaklı küçük kubbeler) cami, türbe gibi eserlerde bir arada görülmeye başlanmıştır. Hindu eserleri içerisinde bulunan dekoratif öğeler, artık tezhib gibi Türk-İslam sanatı süslemeleri ile birlikte kullanılarak iç mimariye yansıtılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

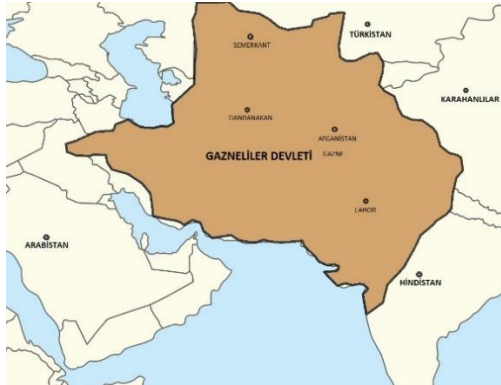
Türkler çok farklı coğrafyaları fethetmiş ve buralarda uzun yıllar hüküm sürmüşlerdir. Kültür mirası bıraktıkları bölgelerden birisi de Hindistan'dır. Araştırma sonucunda Hint yarımadasında devlet kuran Türk hanedanlıkları tespit edilmiş ve tarihsel süreçte hangi mimari unsurları Orta Asya'dan Güney Asya'ya taşıdıkları irdelenmiştir. Mimari eserlerin en önemlileri üzerinden literatür araştırmaları yapılmıştır ve sonucunda yerel mimari ile olan etkileşimin 700 yıla yakın bir süre sonra, artık etkileşim değil yeni bir mimari üslup olması üzerinde durulmuştur.

3.1. Bulgular

Hint yarımadası, Türk medeniyeti ve alıştıkları iklim şartlarına göre çok büyük farklılıklar göstermektedir. Büyük iklim değişiklikleri, insanlar üzerinde fiziksel ve ruhsal etkiler göstermektedir (Boz Demir, Cengiz, 2021). Buna rağmen fetih ruhundan bir şey kaybetmeyen Türkler, tüm Güney Asya kıtasını kapsayan Hindistan'da büyük devletler kurmuştur. Orta Asya ve Türk illerinin iklimi serttir. Alt Kıta ise nemli ve sıcaktır, iklim şartları bölge sebebiyle bölge insanı miskin bir yapıya sahiptir. Kuzeyden gelen, sert ve hareketli bir yapıya sahip olan kavimler, Hindistan'ı kolayca ele geçirebilmişlerdir (Gökçe, 2001). Türklerin yerleştikleri alanlara bıraktıkları mimari eserlere bakılınca, bu toprakları "yurt" etmek istedikleri anlaşılmaktadır. Bölgeyi daha yaşanabilir hale getirmek için çaba göstermişlerdir. Hindistan'a ilk geldiklerinde burası anıt, heykel ve tapınaklarla dolu bir memleket; bundan dolayı ilk yapılan eserlerde, bölge mimarisi ile bir sentez gözlemlenmektedir. Daha sonra bölgeye pek çok Türk yapı ustası getirtildiği aktarılmıştır (Kişmir, 2019). Bölgede hüküm süren Müslüman Türk Hanedanlıkları kronolojik sırasına göre: Gazneliler, Delhi Türk Sultanlığı (Mamluklar, Halaçlar, Tuğluklar, Seyyidler, Lodhiler), ve Babürler olarak tarihe geçmiştir.

3.2. Gazneliler Dönemi Türk Mimari İzleri ve Karakteri (963-1186)

İlk olarak Hint yarımadasına fetihler gerçekleştiren Müslüman Türk savaşçılar, Gazneliler olmuştur. Hindistan'da İslam'ın yayılmasının en büyük etkenlerinden biri yine Gazne devletidir. Gazneliler, adını Alptekin'in fethettiği Gazne şehriden alır (Erdoğan 1991). Şekil 2'de gösterilen devletin sınırları, Türkistan'dan İran'a kadar, Güneyde ise Hindistan'ın Çoğunu içine alacak kadar büyüktür.



Şekil 2. Gazneliler'in hükmettiği en geniş topraklar. (Figure 2. The largest lands ruled by the Ghaznavids.)

Orta Asya'da gerçekleşen siyasi çalkantılar, Şekil 2'de gösterildiği gibi, Gazne devletinin güneye ilerlemesine sebep olmuştur. Gazneli Mahmud babasından kalan bayrağı eline almış ve döneminin en güçlü komutanlarından biri olmuştur. 1001 senesinde ilk Hindistan seferini gerçekleştirmiş (Erdoğan 1996). Sürekli maruz kaldığı saldırılar yüzünden harabe haline gelen Lahor şehri için restorasyon çalışmaları başlatmıştır. Başlatılan çalışmalar 12. Yüzyıla gelindiğinde, şehri bölgenin en önemli kültür merkezi haline getirecektir (Bayur, 2019). 1030 yılında Gazneli Mahmud'un vefatından sonra, başka nitelikli bir lider çıkmadığı için devlet çöküş dönemine girer.



Şekil 3. Pakistan'da Gazneli Eseri. (Figure 3. The Ghaznavid Artifact in Pakistan.)

Şekil 3'te gösterildiği gibi, Gaznelilerin Pakistan sınırları içerisinde kalan sadece bir türbe yapısı vardır. Devletin merkezi Afganistan olduğu için yapıların çoğu Gazne şehri ve çevresindedir. Şekil 4'te gösterilen türbe yapısında, bölgede bulunan taş malzemeler ve turkuaz bezemeler göze çarpmaktadır.



Şekil 4. Gazneliler döneminden kalma bir türbe. (URL 1) (Figure 4. A tomb from the Ghaznavid period. URL 1)

İçerisinde soyluların mezarları olduğu düşünülen yapı Pakistan'ın Hayber-Pakhtunva eyaletinde bulunmaktadır. Pakistan'lı bir arkeolog olan Dr. Dani "Pakistan Through Ages" isimli kitabında; Gazneli Sultanların Sindh ve Pencap seferleri sırasında bu bölgenin coğrafi önem kazandığına dikkat çekilmektedir. Etrafında günümüze ulaşmamış farklı mezar kalıntıları da vardır (URL 1). Yapının çevresindeki ağaçlandırma ve yerleşim yerleri korunmasına yardımcı olmuştur. Tarlaların olduğu bölüm için gelecekte aşırı sulamadan kaynaklı problemler olabileceği gözlemlenmektedir (URL 1). Şekil 5'te gösterilen kare planlı yapıda, kesme ve yontma tuğla işçiliği uygulanmıştır. Dekorasyon amaçlı mavi renkli çiniler kullanılmıştır. Şekil 6'da gösterilen tavanda, mekana sekizgen şekli veren köşe kemerler yapılmıştır. Tarihsel süreçte kubbesini kaybeden yapı, şu an güvenli bir çevreye sahip ve koruma altındadır (URL 1). Türbe yapım tarihinin 9. Yüzyıla dayandığı tahmin edilmektedir.



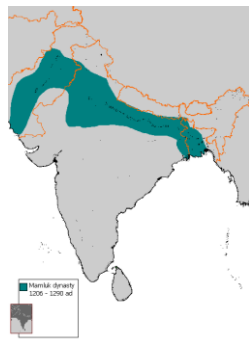
(Şekil 5. Türbe İçi (URL 1) Figure 5. Inside the Tomb URL 1) Şekil 6. Türbe Tavan (URL 1) (Figure 6. Ceiling of the Tomb URL 1)

Gazneliler dönemi mimari üslubunda, Orta Asya karakteristik özellikleri daha fazla görülmektedir. Zeminden yükselen minareler, kubbe kalıntıları ve turkuaz rengi süslemeler bunu göstermektedir.

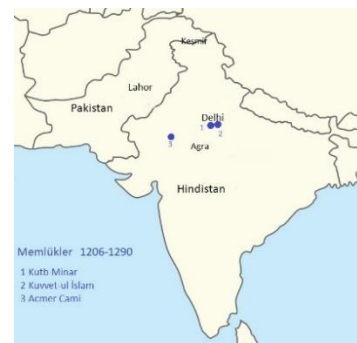
3.3. Delhi Türk Sultanlığı Dönemi Türk Mimari İzleri ve Karakteri (1206-1526)

Gazneliler'in bulunduğu topraklara doğru yayılımcı bir politika izleyen Afgan kökenli Gurlular, Gazne kalesini fethetmiştir fakat Gurluların bekasını ve ilerlemesini sağlayan Türk komutan Kudbeddin Aybek olmuştur (Bayur, 2019). Guri'nin ölümünden sonra Kudbeddin Aybek, bölgede kurulacak Müslüman Türk devleti için hazırlıklara başlayarak devletin merkezini Delhi'ye taşımıştır ve burada yüz yıllarca hüküm sürecek hükümdarlığın temellerini atmıştır (Farooqi 1994). Delhi Türk Sultanlığı, tarihsel süreçte farklı hanedanlıklar tarafından yönetilmiştir; Memlükler, Halaçlar, Tuğluklar, Seyyidler ve Lodhiler. Her dönem, mimari farklı bir noktaya gelmiş ve gelişmeye devam etmiştir.

3.3.1 Memlükler 1206-1290 (Delhi Türk Sultanlığı)



Şekil 7. Memlük Sınırları. (Schwartzberg- Joseph 1978)
(Figure 7. Mamluk Boundaries. Schwartzberg- Joseph 1978)



Şekil 8. Memlük Eserleri
(Figure 8. Mamluk Artifacts)

Şekil 7’de devlet sınırları gösterilen Memlükler, henüz devleti yeni kurdukları için Delhi ve Lahor gibi başkentleri fethederek yayılım göstermişlerdir (Cöhce, S. 2022). Şekil 8’de, Memlük döneminde Hint yarımadasında yapılan eserlerin konumları gösterilmiştir.



Şekil 9. Kutb Minar (URL 2) (Figure 9. Qutb Minar URL 2)

Şekil 9’da gösterilen 1193-1197 yılları arasında tamamlanan Kutb Minar, Kutbeddin Aybek tarafından yapılmıştır. Daha sonra İl Tutmuş ve Alaeddin Kılıcı (Kuvvet-ul İslam Camii içerisinde) farklı ekler yaptırmıştır (P.Brown, 1981). Günümüzde bakımsız halde olsa da ihtişamını korumaktadır. Camii’nin içinde ve dışında iki avlusu mevcuttur. Yapının doğu duvarında bu caminin 27 Hindu tapınağının malzemesi ile yapıldığından bahsedilir (URL 2). İç avluda Hindu mimari izleri açık bir şekilde görülmektedir. Diğer hükümdarların yaptırdığı ekler ise İslami karakterdedir. Kuvvet-ul İslam kompleksi içerisinde bulunan eserler ve Jami Mescit, Memlükler döneminin diğer önemli yapılarıdır.

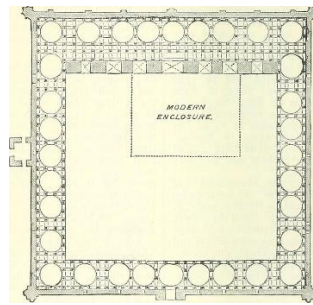


Şekil 10. Acmer Camii (URL 3) (Figure 10. Acmer Mosque URL 3)

İltutmuş Sultan zamanında tamamlanan Acmer Camii (Şekil 10) inşasının 1200 yılına dayandığından bahsedilmektedir. Yapı inşasını Kutbeddin Aybek başlatmıştır ve tasarımcısı Heratlı Ebu Bekir’dir (URL 3). Camii, “Adhai Din Ka Jhonpra” adı ile de anılmaktadır. Urduca iki buçuk günlük yapı anlamına gelen ismi, gerçekten yapının bir kısmının iki buçuk günde yapıldığına inanıldığı için koyulmuştur (Sen, 1999). Erken dönem Hint-İslam mimarisi örneklerinden biridir. Hindistan’ın Rachastan eyaletinde Acmer’de bulunan yapı ülkenin en eski camilerindedir. Şekil 11’de olduğu gibi, bölgede bulunan kalıntılar yapının olduğu yerde daha önce bir tapınak olduğunu ve onların malzemeleri de kullanılarak bir camii inşa edildiğini göstermektedir (Sen, 1999). Günümüze sadece kalıntıları ulaşmıştır. Şekil 12’de gösterilen binanın dış cephesi kare şeklinde ve her bir kenarı 80 metre uzunluğundadır. Uzun ve ince olan sütunlar, simetrik olarak yerleştirilmiştir. Ön cephede bulunan 7 kemerli girişi, İl Tutmuş’un 1230 yıllarında eklettiğine inanılmaktadır (URL 3). Ortada bulunan büyük kemerin üzerine, günümüze tam olarak ulaşamayan iki küçük minare eşlik etmektedir.



Şekil 11. Sütun Detayı (URL 3)
Figure 11. Column Detail (URL 3)



Şekil 12. Plan Yerleşimi (URL 3)
Figure 12. Layout of the Plan (URL 3)

Şekil 13’te gösterilen, kubbeler ve sütunlar ile çevrili olan caminin toplamda 344 sütuna sahip olduğu düşünülmektedir fakat bunlardan sadece 70 tanesi ayakta kalabilmiştir (Sarda, 1911). Cephede güneş ışığı geçişi için dikdörtgen açıklıklar bırakılmıştır.

Kemerlere ve bazı duvarlara, Kur'an-ı Kerim'den alıntılar işlenmiştir. Şekil 14'te gösterilen tarzda işlemler, Türkistan ve Gazne şehirlerindeki İslam mimarisinden esinlendiğini göstermektedir.



Şekil 13. Sütun Detayı (URL 3) (Figure 13. Column Detail) Şekil 14. Sütun Detayı (URL 3) (Figure 14. Column Detail)

Yapı, 1947 (Hindistan'ın bağımsızlığı) yılına kadar cami olarak kullanılmıştır; sonrasında Hindistan Arkeolojik Araştırmalar kurumuna devredilmiştir (URL 3). Günümüzde koruma altında olan cami, turist ziyaretlerine açık durumdadır.

Eserlerde, bölgede yaygın kullanılan kırmızı kum taşı ve mermer gibi ana malzemeler göze çarpmaktadır. İnşaat süreçlerinde, yansıtılmak istenen üslup ve yapı ustasının etnik kökenine göre farklı tarzlar oluşmuştur. Kutub Minar kompleksi haricinde eserlerin çoğu günümüzde bakımsız ve harabe haldedir. Memlük Hanedanlığı, başa gelen son sultanların çok genç ve sistemsiz oluşuyla zayıflamış, Halaçların yükselişi ile son bulmuştur (Bayur, 2019).

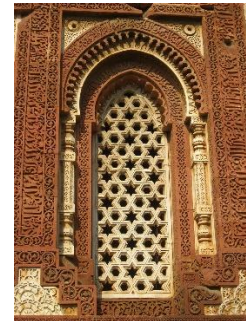
Memlükler döneminde, zeminden yükselen bir minare olan Kutub Minar örneği, bölgede tam olarak Türk izleri bırakılmak istendiğini göstermektedir. Orta Asya Türklerinin tarzı olan eyvanlar ve yüksek kemerler, bu dönem bölgede yayılmıştır. Eserlerin yapımında, fetihler sırasında yıkılan yapıların malzemelerin kullanıldığı fark edilmektedir.

3.3.2 Halaçlar 1290-1320 (Delhi Türk Sultanlığı)



Şekil 15. Halaç Sınırları (URL 4) (Figure 15. Halaç Borders URL 4) Şekil 16. Halaç Eserleri. (Figure 16. Halaç Artifacts)

1290-1321 Yılları arasında, Delhi Türk Sultanlığında hüküm süren Halaçlar'ın ilk lideri Celal-ud-Din Firuz Şah olmuştur (Bayur, 2019). Şekil 15'te, koyu yeşil ile gösterilen bölüm Halaçlar'ın hüküm sürdüğü en geniş alanı, açık yeşil ise onlardan ayrılan bir kollarının alanını göstermektedir. Şekil 16'da, Halaçlardan günümüze ulaşan eserlerin konumları paylaşılmıştır.



Şekil 17. Alai Darwaza (URL 5) (Figure 17. Alai Darwaza URL 5) Şekil 18. Pencere (URL 5) (Figure 18. Window URL 5)

Şekil 17'de gösterilen, Delhi'de Kuvvet-ül İslam Cami'nin güney kapısı olan Alai Darwaza 1311 yılında Sultan Alauddin Khilji tarafından kırmızı kumtaşından yaptırılan ve kemerli girişleri olan kare kubbeli bir kapıdır (URL 5). Ev tipi, tek odalıdır. Kuvvet-ül İslam Cami'sini genişletme amacıyla bu şekilde 4 kapı yapılacaktı fakat 1316 yılında Khilji vefat ettiği için yalnızca Alai Darwaza tamamlanabilmiştir (URL 5). Eski tarzda kalın duvarlarla yükseltelen yapının kubbesini görebilmek için belli bir yükseklikten bakılması gerekmektedir. Şekil 18'de yapının pencere detayları ve 2 farklı malzeme ile oluşturulan kontrast görülmektedir. Yapının yüksekliği 17

metredir ve emerlerde kullanılan sivrileşen tarz, Hindistan'da ilk defa kullanılmıştır (URL 5). Yapı üzerinde çok fazla arapça hat yazı ve Türk tarzı bezemeler vardır.

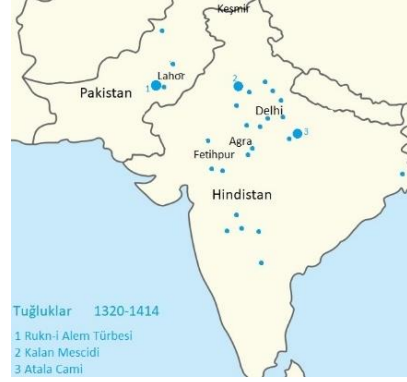
Aladdin Khilji devraldığı yönetimi, Kutbeddin Aybek'in kurduğu düzende devam ettirmeye çalışmıştır (Mehta, 1976). Mimari alanda Kutb kompleksinde ek yapılar yaptırmıştır. Aynı tarzda bir başka kompleksi Delhi'nin güneyinde inşa ettirmek istese de tamamlamaya ömrü yetmemiştir (URL 5). Siri kompleksinde olduğu gibi, yapıların çoğu harabe halindedir.

Kısa bir dönem yönetimde kalan Halaçların az sayıda eseri olsa da yapılarıdaki ince işçilik dikkat çekici özelliktedir. Renklerin kullanımı, hat yazıları ve taş oyma dekorasyonları öne çıkmaktadır. Halaçların günümüze ulaşamayan başka hizmet binaları da vardır.

3.3.3 Tuğluklar 1320-1414 (Delhi Türk Sultanlığı)

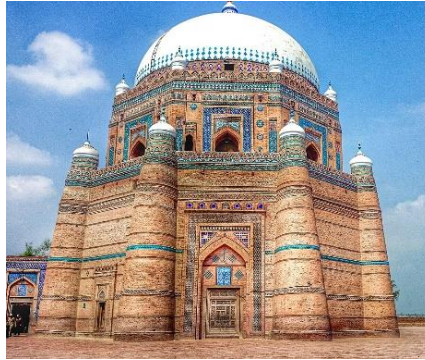


Şekil 19. Tuğluklar. (Figure 19. Tughlaqs.) (S.- Joseph 1978)



Şekil 20. Tuğluk Eserleri (Figure 20. Tughlaq Artifacts)

Tuğluklar döneminde, sahip olunan en geniş topraklar Şekil 19'da gösterilmiştir. Delhi Sultanlığı döneminde en uzun yönetimde kalan ve bölgede en çok iz bırakan Tuğlukların, mimari eserlerinin dağılımı Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 21. Rukn-i Alem Türbesi (URL 6) (Figure 21. Rukn-i Alem Tomb URL 6)

Bu dönem, türbe mimarisi çok gelişmiştir. Bir süre sonra bir ihtişam ve güç gösterisi halini almıştır (McKibben, 1994). Şekil 21'de gösterilen Rukn-i Alem Türbesi, dönemin en dikkat çeken tasarımı olmuştur. Ghiyaseddin Tuğluk tarafından 1324 yılında, günümüzde Pakistan sınırları içerisinde kalan Multan kentinde yaptırılmıştır. Ghiyaseddin'in türbeyi öncelikle kendi için yaptıрма niyetinde olduğu, fakat daha sonra Rukn-i Alem ailesine hediye ettiği söylenmektedir (URL 6). Türbe, sekizgen plan üzerine tasarlanmıştır. Her köşede yükselen minare görüntüsünde silindirler vardır. Bu silindir kuleler yapıyı strüktür anlamında desteklemektedir. Hepsinin ucunda da, ana kubbe ile uyumlu minik kubbeler vardır. İlk kat çapı 15 metredir. 2. Kat daha küçük bir sekizgen yapıdır ve Şekil 22'de görüldüğü gibi daha çok dekoratif unsurlar barındırmaktadır (URL 6). 3. Kat çatının tamamını kaplayan bir kubbeden oluşmaktadır. Yükseldikçe daralan yapının toplam yüksekliği 35 metredir.



Şekil 22. Rukn Detay (URL 6) (Figure 22. Rukn Detail URL 6)



Şekil 23. Türbe İçi. (URL 6) (Figure 23. Inside the Tomb. URL 6)

Tamamı Kırmızı kum taşından inşa edilen türbenin cephesinde ahşap oymalı paneller, oymalı ve renkli tuğlalarla desenler oluşturulmuştur. Yapıyı dışarıdan destekleyen payandalar sayesinde, içeride hiçbir taşıyıcı unsur görülmemektedir. Cephede kullanılan mavi renk içeride de mavi çini işçiliği ile gösterilmiştir. Daha sonra bu çinilerin üstünün sıva ile kaplandığı söylenmektedir. Geniş iç mekanda, ana kabir ile birlikte 72 akrabasının daha kabri vardır (URL 6). Günümüzde insanlar bu türbeyi sıkça dua etmek için ziyaret etmektedir (Şekil 23). Yapıya aydınlatma, sıva ve boya gibi basit yenilemeler yapılmıştır (URL 6).



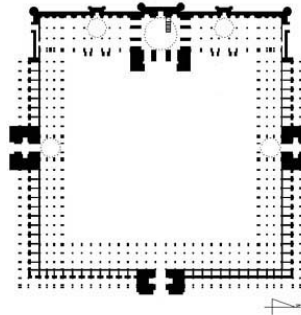
Şekil 24. Kalan Mescit (URL 7) (Figure 24. Kalan Masjid URL 7) Şekil 25. Günümüz (URL 7) (Figure 25. Today URL 7)

Firuz Şah döneminde 1370-1371 yılları arasında yaptırılan Kalan Mescit'in, Şekil 24'te gösterildiği gibi, 32 basamaklı dik bir merdiveni vardır. Üzeri 34 küçük kubbe ile çevrilidir. Cami, ibadet bölümü dışında muhtemelen zamanında lojman görevi gören yan dairelere de sahiptir, ancak günümüzde buralar konut halinde kullanılmaktadır (Rani, 1991). Yapıldığı dönemde sahip olduğu ihtişamını maalesef koruyamamıştır. Yapı Üzerindeki kireç-sıva zamanla karardığı için cami Kalan Mescit (Kara Mescid) adı ile anılmaktadır. Şekil 25'te görüldüğü gibi, günümüzde etrafı binalarla doludur ve talihsiz bir şekilde yeşil-beyaz renklerine boyanmıştır. Eski taş görünümüne çevrilmesi çok maliyetli olacağı hesaplanmış ve boyanmaya devam edilmiştir (Sayeed 2017).



Şekil 26. Havuzlu Avlu (URL 7) Figure 26. Courtyard with Pool (URL 7)

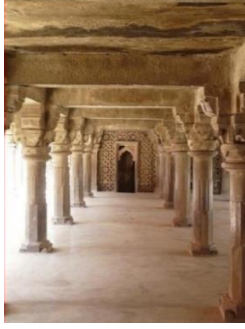
Yapılan renovasyon ve restorasyon çalışmaları çok doğru bulunmasa da yapı ayakta kalabilmiştir ve günümüzde de aktif olarak kullanılmaktadır. Etrafı kemerlerle çevrili avlu kısmı ortasında, Şekil 26'da görüldüğü şekilde bir havuz tasarlanmıştır. Kolonlara ve duvarlarda bulunan nişlerin etrafına, restorasyon çalışmaları sırasında yeşil boya ile desenler çizilmiştir (Sayeed 2017). Yapılan yenilemeler daha çok mahalle sakinlerinin kendi aralarında yaptığı bir çalışma niteliğindedir. İbadet bölümü zemini mermerdir, insanlar mermer zemin üzerinde namaz kılmaktadır. Yapının tam olarak bakımı tamamlanmış değildir (Sayeed 2017), daha profesyonel bir restorasyon çalışmasına ihtiyacı vardır.



Şekil 27. Atala Cami (URL 8) (Figure 27. Atala Mosque URL 8) Şekil 28. Atala Planı (URL 8) (Figure 28. Atala Plan URL 8)

Caunpur'da yıkılan bir tapınağın yerine inşa edilen Atala Cami inşaatı, Firuz Şah tarafından 1398 yılında başlatılmıştır (Blair ve Bloom, 1994). Şekil 27'de gösterilen eserin avlusunda bir medrese bulunur. Ana kubbe yüksekliği 17 metredir, fakat giriş kapı duvarı 23 metre olduğu için kubbeyi görmek mümkün değildir. Şekil 28'de olduğu gibi, kare plan üzerine yapılan cami etrafı revaklarla çevrili geniş bir avluya sahiptir. Şekil 29'da gösterildiği gibi, dışı tamamen değişse de içeride Hindu tapınağı duvar ve sütunları korunmuştur (URL 8). Revaklar, iki kat boyunca devam etmektedir. Dehlizler geniştir ve sütunlar ile 5 koridor şeklinde bölünmüşlerdir. Giriş katta bulunan 2 bölüm, tüccar ve ziyaretçilere konaklama alanı olarak tasarlanmıştır (Blair ve Bloom, 1994). Cephe insanların rahatça

girebilmesi için açıktır (Şekil 30). Yapının 3 ana girişi vardır, hepsinin üstü kubbe ile örtülmüştür. İbadet bölümünde nefler dikey olarak 3 kata ayrılmıştır. 1. Kat 3 adet mihrap ve kemerli açıklıkları olan yüksek bir minberden oluşur. 2. Katta mekanı sekizgen haline getiren 4 tanesi tromplu 8 kemerden oluşmaktadır (URL 8). 3. Katta revaklar artık 16 kenar oluşturmaktadır ve kubbeyi desteklemektedir. Taş kubbe üzerine daha pürüzsüz bir şekil vermek için özel bir harç kullanılmıştır (Blair ve Bloom, 1994).



Şekil 29. Atala İçi (URL 8) Şekil 30. Atala Cami Cephe (URL 8) Figure 29. Atala Interior (URL 8) Figure 30. Atala Mosque Facade (URL 8)

Tuğluklar döneminde, Sultanlar mimariyi bir anlamda güç gösterisi olarak kullanmış ve her zaman daha ileri taşımayı hedeflemiştir (McKibben, 1994). Özellikle Firuz Şah'ın yenilikçi tasarım tarzı ve inşaat alanındaki yoğun çalışmaları geleceğe ışık tutmuş ve zaman zaman taklit edilmiştir. Türbe yapılarında gelinen nokta, Babür türbe tarzına zemin hazırlamıştır. Tuğluklar dönemine ait Kotla Cami, Kırki Cami, Türk Hamamı gibi pek çok farklı eser bulunmaktadır.

3.3.4 Seyyidler 1414-1451 (Delhi Türk Sultanlığı)



Şekil 31. Seyyid Eserleri. Figure 31. Sayyid Artifacts

Seyyidler, kısa bir dönem yönetimde kaldığı için kendilerine özel bir mimari dil oluşamamıştır. Genellikle geç dönem Tuğluklar ve Lodhiler benzeri tasarımlar gözlemlenmektedir. Bölgeye özgü yapı malzemeleri ve yöntemleri kullanılmıştır. Geçirilen sıkıntılı dönemler sonrasında, devlet hazinesi zayıfladığı için çok görkemli anıtsal eserler bırakılamamıştır (Bayur, 2019). Şekil 31'de, Hindistan'da bıraktıkları mimari izler gösterilmiştir.

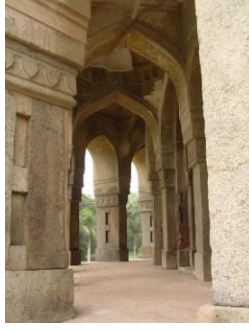


Şekil 32. Muhammed Şah Türbesi (URL 9) Figure 32. Tomb of Mohammed Shah (URL 9)

Tuğluklar döneminde sadeleşen mimari, tekrar süslenmeye ve detaylandırılmaya başlamıştır. Şekil 32'de gösterilen eser, sekizgen plan üzerine inşa edilmiş bir türbe yapısıdır. Bu dönem şehirde inşa edilen türbeler, artık bölgenin "Makbara" Arapça mezarlık anlamına gelen isim ile anılmasına sebep olmuştur (URL 9).

Sekizgen tasarlanan türbeler, hükümdarlara özgü olmuştur. Sekizgen yüzeylerin her biri 10 metre genişliğindedir. Köşe kenarlar, eğimli payandalar ile desteklenmiştir (URL 9). Merkezi Kubbe 16 kenarlı bir kasnak üzerine oturtulmuştur. Ana kubbeyi çevreleyen, Hindu mimarisinden esinlenilmiş 8 adet küçük chatriler (yükseltilmiş mini kubbeler) yerleştirilmiştir. Şekil 33'te görülen dar ve yüksek kemerler, ileride Babür mimarisinde de kullanılacaktır. Mezar odası 8 metre çapında bir sekizgen oluşturmaktadır (URL 9). Tavan,

kaligrafik motifler ve dairesel tasarımlar kullanılarak, sıva ile dekore edilmiştir. Şekil 34'te gösterilen odanın içerisinde 8 adet mezar bulunmaktadır ve ortada olan kabrin Muhammed Şah'ın kabri olduğu düşünülmektedir.



Şekil 33. Türbe Girişi (URL 9)
(Figure 33. Entrance to the Tomb URL 9)



Şekil 34. Türbe İçi (URL 9)
(Figure 34. Inside the Tomb URL 9)

Seyyidler döneminde türbe yapılarına chhatrilerin ve diğer Hindu mimarisi detaylarının dahil olduğu gözlemlenmektedir. Kesme taş kullanımı bu dönem daha yaygındır. Eserlerin kararlı mimari çizgileri vardır ve bahçe tasarımlarına önem verilmiştir.

3.3.5 Lodhiler 1451-1526 (Delhi Türk Sultanlığı)



Şekil 35. Lodhi Eserleri. Figure 35. Lodhi Artifacts.

Lodhiler, inşa ettikleri yapılarda çok kararlı ve sade tasarımlar kullanmışlardır. Çoğunlukla kesme taş ve mermer kullanılan dönemde, oyma taşlarla yapılan dekorasyonlar dikkat çekmektedir. Seyyidler döneminde olduğu gibi, Lodhiler döneminde de baskın mimari tür, türbe yapıları olmuştur (Rajendran, V.). Hatta camiler daha küçük şekilde, türbe yapılarının yanlarına inşa edilmiştir. İki dönemde de türbe planları, çevresinde yürüyüş yolu olan sekizgen planlı olarak veya 2 katlı kare plan şeklinde tasarlanmıştır. Şekil 35'te, Lodhi mimari eserleri dağılımı gösterilmiştir. Lodhiler döneminde bahçe ve çevre tasarımlarına da önem verilmiştir. Şekil 36'da gösterilen, Delhi'de Lodhi bahçeleri olarak anılan park hala kullanılmaktadır. Alan içerisinde pek çok Lodhi dönemine ait türbe, cami ve köprü gibi pek çok yapı bulunmaktadır (URL 10).



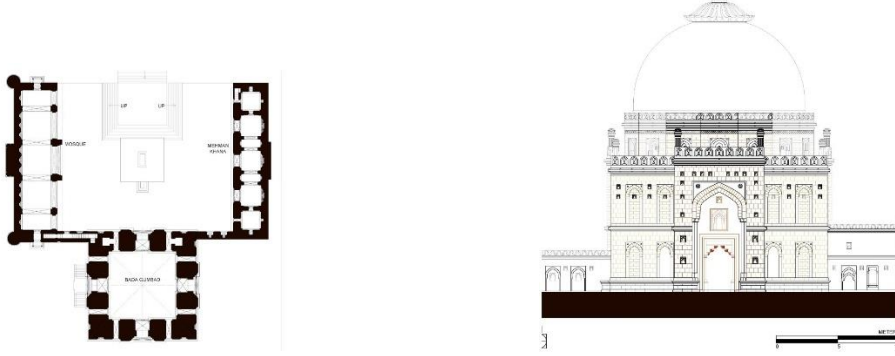
Şekil 36. Lodhi Bahçesi (URL 10) (Figure 36. Lodhi Garden URL 10)

Bahçe içerisinde bulunan en önemli yapılardan biri Bada Gumbad külliyesidir. Şekil 37'de gösterilen yapı bahçenin tam ortasındadır. İçerisinde bir cami ve misafirhanesi vardır. Sikander Lodhi zamanında inşa edilen eserin, içerisinde bir mezar olmadığı için misafirhane ve toplantı alanı olması amacıyla yaptırıldığı düşünülüyor (Rajendran, V.). Bada Gumbad ismi, büyük kubbeli bina anlamına gelmektedir ve ana yapı tam olarak bu özelliğindedir. Heybetli bir görünüme sahip olan eserin girişi 4 metre yükseklikte merdivenlerle sağlanmıştır. Kubbe katı çevresinde gezilebilir bir terası mevcuttur (URL 10).



Şekil 37. Bada Gumbad Külliyesi (URL 10) (Figure 37. Bada Gumbad Complex URL 10)

Avludan girişi olan Bada Gumbad binası, Şekil 38’de gösterildiği gibi kare planlıdır ve daha yüksek merdivenli bir girişi daha vardır. Kubbe katı ile birlikte 3 katlı olan yapı cephesinde nişlerle süslenmiştir. Bunlardan bazıları kapalı bazıları pencere şeklinde açık bırakılmıştır (Rajendran, V.). Cephede ışık alımı için pek çok küçük boyutlarda kare açıklıklar bırakıldığı görülmektedir.



Şekil 38. Bada Gumbad Plan ve Cephe (URL10)

(Figure 38. Bada Gumbad Plan and Facade URL10)

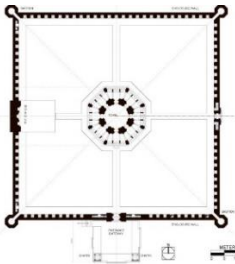
Lodhi Bahçesi sınırları içerisinde İbrahim Lodhi tarafından babası Sikandar Lodhi için 1517 yılında bir anıt mezar inşa ettirilmiştir (URL 10). Şekil 39’da gösterilen eser Bada Gumbad’dan 100 metre ileridedir. Mimari olarak, Seyyidler dönemi Muhammed Şah’ın türbesinden esinlendiği görülmektedir. Yapının mezar bölümünü kaplayan büyük bir kubbesi vardır ve cephenin etrafı saçaklarla çevrilidir (URL 10). Ön kısımda mavi çini kalıntıları vardır, bunların çoğu kaybedilmiş olsa da yapı günümüzde koruma altındadır.



Şekil 39. Sikandar Lodhi Türbesi (URL 10)

Figure 39. Sikandar Lodhi Tomb (URL 10)

Sekizgen plan üzere inşa edilen türbenin mezar odası karedir. Kabrin çevresi, cephedeki gibi sekizgen şekilde üç buçuk metre yüksekliğinde bir çitle çevrelenmiştir (Şekil 40), (URL 10). Dekoratif öğelerde nilüfer çiçeği gibi Hindu motifleri görülmektedir. Şekil 41’de iç mekanda yeşil ve mavi pigmentlerle süslenmiş nişler, Türk-İslam Mimari üslubunu yansıtmaktadır.



Şekil 40. Plan (URL 10) (Figure 40. Plan URL 10)

Şekil 41. İç Mekan Detayı (URL 10) (Figure 41. Interior Detail URL 10)

Bu tarihi eserin çevresi, duvar ile çevrilmiştir. Şekil 42’de kible yönünde bulunan duvarın açık meşit şeklinde tasarlandığı tespit edilmiştir. Kible yönü niş ve kemerler ile gösterilen alana giden bir yol tasarlanmış, ibadet yeri için de taş döşeme yaptırılmıştır (URL 10). Güney girişinde, Şekil 43’te gösterilen Chatri detayları yapının Hint tarzını yansıtmaktadır.

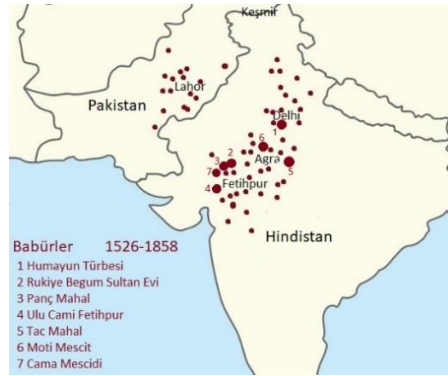


Şekil 42. Mescit Duvarı (URL 10) (Figure 42. Masjid Wall URL 10) Şekil 43. Chatri (URL 10) (Figure 43. Chatri URL 10)

Lodhiler dönemi, gelecekte bölge mimarisinde yapılacak yeniliklerin önünü açar niteliktedir. Babürler tarafından takip edilen yeni bir mezar yapı tarzı oluşturmuşlardır. Kare ve sekizgen türbeler, yükseltilmiş sütunlu kubbeler bu dönemin tarzını yansıtmaktadır. Sekizgen türbeler hükümdarlar, kare türbeler ise saray hanedanı için inşa edilmiştir. Bodrum katlarının genişliği ve yapıların genel yüksekliği dikkat çeker niteliktedir. Tuğluk ve Türk mimarisini yerel Racastan ve Guccrat tarzlarıyla birleştirmişlerdir (Nayar 2002). Balkonlar, kemer ve kirişler kullanmış, bina temellerini öncekilerden çok daha derine atmışlardır. Çift kubbe yöntemi de ilk defa Lodhiler döneminde yapılmaya başlanmıştır (URL 10). İç mekandan bakılınca görünen katman ve dışardan görünen katmanı olmak üzere bazı yapı kubbeleri çift şekilde tasarlanmıştır. Alt kubbe, iç mekanda daha alçak tavanlı ve samimi bir atmosfer oluşturmak için düşünülmüştür. Sikander Lodhi'nin türbesi, bunun ilk örneklerindedir. Babürler döneminde yapılan Humayun'un türbesinde, tüm bu Lodhi türbeleri tarzının geliştirilmiş hali görülecektir.

Lodhiler döneminde, türbe yapıları daha gösterişli bir hal almaya başlamıştır. Orta Asya'nın büyük eyvanları, kemerleri ve kubbelerinin yanı sıra Hindu tarzı siperlikler ve chhatriler bir arada kullanılmıştır. Kesme taş ve kırmızı kumtaşı en çok kullanılan malzemelerden olmuştur. Bu dönem, türbeler camilerden daha yüksek katlı yapılmaya başlanmıştır.

3.4 Babür İmparatorluğu Dönemi Türk Mimari İzleri ve Karakteri (1526-1858)



Şekil 44. Babür Eserleri (Figure 44. Babür Artifacts)

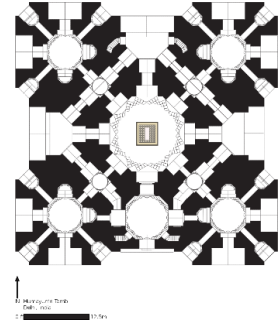
Babür, 1526 yılında Delhi'yi ele geçirerek Babür Devleti'ni kurmuştur. İbrahim Lodhi ile yaptığı bu savaşta kullanılan topların, Osmanlı Devleti'nden alındığı düşünülmektedir (Galip-Gömeç 2013:101). Hintliler, bu tarihlerde Kuzey'den istilaya gelen herkese "Moğol" dediği için bu söylem yaygınlaşmıştır, fakat Babür bunu asla kabul etmemiş kendisine ve ordusuna Türk dedirtmiştir. Babür ve ordusunun sıcak iklim şartlarına alışması kolay olmamış, pek çok kez Kabil'e dönmeyi düşünmüşlerdir (Gömeç ve Çeliktaş, 2019). Şekil 44'te, Babür dönemine ait mimari eserlerin konumları gösterilmiştir.



Şekil 45. Humayun Türbesi (URL 11) (Figure 45. Humayun's Tomb URL 11)

1565-1572 Yılları arasında inşa ettirilen eser, bu kadar yoğun kırmızı kumtaşının kullanıldığı ilk yapı olmuştur (Şekil 45). Humayun Türbesi kare formunda bir bahçenin ortasına konumlandırılmıştır, güney ve batı taraflarında iki büyük kapıya sahiptir (Haidar, 2008). Geleneksel kum taşı ve beyaz mermer ile işlenen dış yüzey, bütüne bakıldığında Türk tarzını yansıtmaktadır. Yapının mimarı Mimar Giyas, farklı kültürlerin yapı şekillerini harmanlayarak, bu zarif yapıyı ortaya koymuştur. İranlı Mimar, Babür Mimarisini yükselişine vesile olan önemli kimliklerden olmuştur (URL 11). Şekil 46'da gösterilen cephenin en yüksek noktası, 47 metreyi bulur. Şekil 47'de gösterilen kare planın genişliği, her bir kenarı 91 metre olarak tasarlanmıştır ve kare planlıdır (URL 11). Eser, kare plan üzerine oturtulmuş olsa da içeride bulunan pahlar ve dışarıda bulunan köşe kemer tasarımlarıyla, sekizgen izlenimi vermektedir. Eserin bahçesi de kare planlıdır ve türbe tam ortasına konumlandırılmıştır. Mimar Giyas, Babür'ün yaptırdığı 4 su kaynağını temsil eden, cennet bahçesi

tasarımının çok daha gelişmiş halini burada tasarlamış ve uygulamıştır (Bakshi, 1995). Eserin çevresi bir duvar ile çevrilidir ve kuzey tarafında bir Türk hamamı bulunmaktadır.



Şekil 46. Humayun Cephe (URL 11) (Figure 46. Humayun Facade URL 11) Şekil 47. Plan (URL 11) (Figure 47. Plan URL 11)

Şekil 48’de gösterilen eserin giriş kapısı, yine çok kenarlı şekilde tasarlanmıştır. İki ucunda kare chhatriler bulunmaktadır. Büyük ana kemer haricinde pek çok küçük kemeri ve odacıkları vardır. Chhatri artık Türk-Hint mimarisinin de ana unsurlarından biri haline gelmiştir. Şekil 49’da gösterilen kubbe’nin bir zamanlar çinilerle kaplı olduğu düşünülmektedir (URL 11). Günümüzde mermer kaplı hali görülmektedir. Üst yüksek kubbe ve iç mekanı daha sıcak bir ortam haline getirmek için yapılan alçak kubbesi ile çift kubbe özelliği taşımaktadır. Üzerine, ucunda hilal olan madeni tasarım (Türk mimarisinde Alem) kondurulmuştur. Bu, Alem’in bölgedeki ilk kullanımı olmuştur (URL 11). Önünde bulunan giriş duvarı, iki chhatri ve küçük minarelerle süslenmiştir.



Şekil 48. Bahçe Girişi (URL 11) Şekil 49. Kubbe (URL 11) Figure 48. Garden Entrance (URL 11) Figure 49. Dome (URL 11)

Şekil 50’de kubbenin içeriden görünümü paylaşılmıştır. Tam ortasında tezhip sanatı ve çevresinde 3 boyutlu oluşunu vurgular nitelikte desenleri mevcuttur. Şekil 51’de gösterilen Humayun’un kabri, kubbenin tam altında konumlandırılmıştır. Oda içerisinde dönemin klasiği olan mihrap tasarımı da yapılmıştır (Bakshi, 1995). Merkezi alan 4 ana odaya, onlar da farklı odalara açılmaktadır.



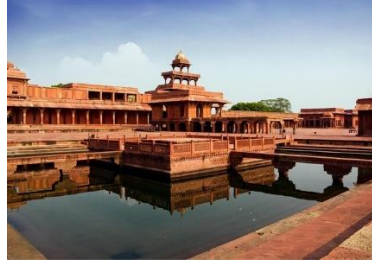
Şekil 50. Tavan (URL 11) (Figure 50. Ceiling URL 11) Şekil 51. Humayun Kabri (URL 11) (Figure 51. Humayun Tomb URL 11)

Humayun Türbesi, tarihi süreçte çok hor kullanılmış ve zarar görmüştür. 1993 yılında UNESCO Dünya Mirası listesine alınan eser, o tarihten sonra korumaya alınmıştır ve restorasyon çalışmaları başlatılmıştır. Ağa Han Kültür Vakfı ve Hindistan Arkeoloji Araştırmaları derneğinin birlikte yürüttüğü çalışmanın ilk yılları, araştırma ve projelendirme ile geçmiştir. 1999 yılında sahada başlayan restorasyon çalışmaları, 2003 yılında tamamlanmıştır (URL 11). Bu kapsamda, tüm bahçenin çimleri yeniden ekilmiş, 2500’den fazla türde bitki ve ağaç dikimi yapılmıştır (URL 11). Şekil 52’de, restorasyon sırasında toprak aktarımı için kurulan iskelenin görseli paylaşılmıştır. Çatıdan 300 kamyonluk atık indirildiğinden bahsedilmektedir. Bu kadar fazla malzeme çıkmasının bir diğer sebebi de su akıtması yüzünden 1920’den beri birkaç kez uygulanan çimento çalışmalarıdır. 2016 yılında şiddetli fırtına sebebiyle kubbe üzerinde bulunan Alem düşmüş ve yeniden yapılmıştır (URL 11). 2016 yılında özgün haline uygun şekilde yapılmış cephe restorasyonu sonrası açılış töreni yapılmıştır (URL 11). Günümüzde ziyarete açık şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 52. Humayun Türbesi Restorasyonu (URL 11) (Figure 52. Restoration of Humayun's Tomb URL 11)

Fetihpur'da bir yerleşim alanı kuran Sultan Ekber, Burada eşleri için konutlar inşa ettirmiştir. Ekber'in eşi ve aynı zamanda kuzeni Rukiye Begüm Sultan Müslüman bir Türk kadınıdır. Şekil 53'te gösterilen, ana saraya en yakın olan ev, onun evidir (Bayur, 2019). Yapı ahşap süslemeleriyle dikkat çeker. Ahşabın alternatif yapı malzemelerinden ayrı bir yere sahip olması, onun yapısındaki özelliklerinden kaynaklanmaktadır. (Çelik H. K., Şakar G. 2022 s. 303). Türk esintileri olan eserin içerisinde bir de Türk hamamı vardır.



Şekil 53. Rukiye Begüm Sultan evi (URL 12) (Figure 53. Rukiye Begüm Sultan's house URL 12)

Şekil 54'te gösterilen, padişah ve hanımlarının eğlenmeleri için kullanılan Pañç (beş) Mahal, adını 5 katlı oluşundan almıştır. Her katı, bir öncekinden daha küçük şekilde yükseltilerek daralan bir görünüm elde edilmiştir. Son katında sadece tek oda vardır. Bu, biraz da Budizm mimarisi üslubudur ve Ekber'in tüm dinlerde gösterdiği saygıyı temsil eder (Brown, 1981).



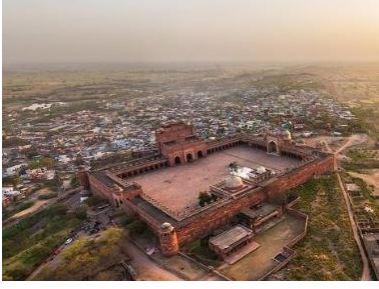
Şekil 54. Pañç Mahal (URL 13) (Figure 54. Panch Mahal URL 13)

Fetihpur'da inşa edilmiş önemli eserlerden bir diğeri, Şekil 55'te gösterilen; 1572 yılında yapılan Ulu Cami'dir. Güneyinde zafer simgesi olan Bülend Darvaza, doğusunda Badaşi Darvaza kapıları yer almaktadır (Macun, İ. 1990). Eser, engebeli bir tepe üzerinde olduğu için önce dolgu yapılmış ve cami yükseltilmiş platform üzerine kondurulmuştur (URL 14).

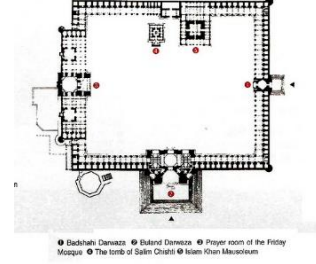


Şekil 55. Ulu Cami Fetihpur (URL 14) (Figure 55. Grand Mosque Fetihpur URL 14)

Şekil 56'da gösterilen eserin etrafında küçük bir yerleşim yeri vardır. Cami, ileride yapılacak farklı ibadethane tasarımlarına örnek olmuştur. Eserin hiçbir minaresi bulunmamaktadır ve 110x157 metrelik avlunun batı tarafına ibadet bölümü inşa edilmiştir (URL 14). Cami içerisindeki türbe ve ibadet alanı üzerleri kubbe ile örtülmüştür. Şekil 57'de gösterildiği gibi eser, dikdörtgen planlıdır. İki önemli kapıya, 2 türbeye ve ibadet bölümüne sahiptir. Tamamı kırmızı kumtaşından yaptırılan caminin avlusu, revaklar ile çevrilidir.



Şekil 56. Ulu Cami (URL 14) (Figure 56. Ulu Mosque)



Şekil 57. Ulu Cami Planı (URL 14) (Figure 57. Great Mosque Plan)

Avlu etrafındaki tüm revakların üzeri saçak ve pervazla çevrilidir çünkü bölge iklimi, yazın şiddetli sıcaklığı ve muson yağmurlarıyla, duvarlarda kullanılan değerli malzemelere zarar verebilmektedir. Bu sebeple bölgede bulunan yapılarda derin pervaz ve saçak kullanımına sıkça rastlanmaktadır (URL 14). Sivri şekilde tasarlanan revakların üzeri düz çatı ile örtülmüştür ve Hint tarzı siperlikleri mevcuttur. Şekil 58’de eserin iç görseli paylaşılmıştır. Detaylar incelendiğinde duvarlarda neredeyse hiç boşluk bırakılmadan süslemeler yapıldığı görülmektedir. Klasik Hint-İslam tarzı nişlerle kible duvarı ve mihrap vurgulanmıştır. Mavi zemin üzerine altınla yazılmış ayetler, siyah, beyaz ve kırmızı renkte işlenmiş İslami geometrik desenler dikkat çekicidir (URL 14). Şekil 59’a bakıldığında, mozaik ve çini kalıntıları görülmektedir. Aralıklarla, tasarlanan nişlere pencere açılmıştır. Yapı içerisinde ve avlu etrafında kitap koymak için tasarlanan küçük nişler, eserin eğitim amaçlı kullanıldığını da göstermektedir.



Şekil 58. Cami İçi (URL 14) (Figure 58. Inside the Mosque)



Şekil 59. Cami Detayı (URL 14) (Figure 59. Details of the Mosque)

Dünyanın en muazzam yapılarından biri olan Tac Mahal, Şah Cihan’ın emri ile Agra’da yapılmıştır (Şekil 60). 14 yıllık eşi olan Mümtaz Mahal’in anısına yaptırdığı eser, dönem mimarisinin geldiği noktayı gözler önüne sermektedir (Moinifar, Heshmat 2013). Tac Mahal, bütünüyle beyaz mermer ve çok değerli taşlardan inşa edilmiştir (Begley, Wayne, 1979). Mümtaz Mahal ve Şah Cihan’ın kabirleri de bu yapı içerisinde yer almaktadır.



Şekil 60. Tac Mahal (URL 15) (Figure 60. Taj Mahal URL 15)

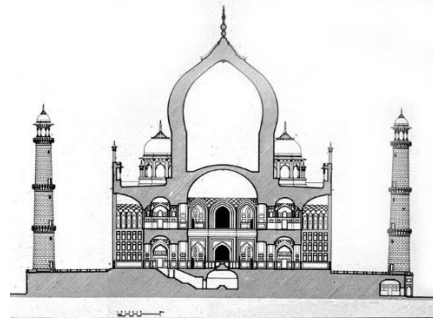
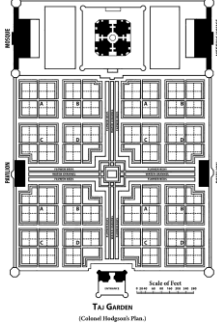
Şekil 61’de, eserin Yamuna nehri üzerinden görünümü paylaşılmıştır. Kare bir platform üzerine inşa edilen türbe, her kenarından aynı görünmektedir. Yanlarında, ikiz şekilde tasarlanmış yapılar vardır. Bunlardan biri misafirhane, diğeri camidir (URL 15). Bulunduğu bahçenin çevresi, mazgallı duvarlarla sınırlandırılmıştır. Türbe inşaatının tamamlanması 1643 yılında olmuştur fakat diğer detay çalışmalarının tamamlanması 10 yıl daha sürmüştür (Koch, 2006). Yapımında, bir grup mimarın bir araya getirildiği bilinmektedir ve içlerinde Osmanlı mimarları da bulunmaktadır (Beksaç, 2018). Mimar Sinan’ın öğrencilerinden Üstad İsa ve İranlı Muhammed İsa, mimari anlamda kilit rollere sahiptir. Resmi internet adresine göre, Mimar Sinan’ın bir diğer öğrencisi İstanbullu İsmail Efendi, eserin ana kubbesini tasarlamıştır. Bazı kaynaklarda Üstad Ahmed Lahori’nin yapıya katkılarında da bahsedilmektedir. Hat yazıları için İran’dan, mozaik ve heykeltraş tasarımları için ise Hindistan’dan zanaatkarlar çalıştırılmıştır (URL 16).



Şekil 61. Tac Mahal Yamuna Nehri (URL 16) (Figure 61. Taj Mahal Yamuna River URL 16)

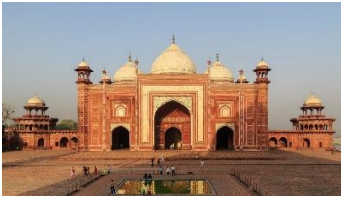
42 dönümlük bir araziye kapsayan eser, 1983 yılında UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne alınmıştır. 2007 yılında, Dünyanın Yeni 7 Harikası listesine seçilmiştir (URL 16). Büyük eyvanlar, genellikle kubbelerin görünümünü gizlemektedir fakat bu tasarımda kubbe altı, öncelikle silindirik olarak yükseltilmiş daha sonra üzerine kubbe yerleştirilmiştir (Moinifar, Heshmat 2013). Kubbe, 35 metre yüksekliğindedir, altındaki silindirik tambur yüksekliği ise 7 metredir. Böylelikle kubbe yüksekliği, 55 metre olan gövde yüksekliğine yaklaşmıştır (URL 16). Kubbe üzerinde, klasik nilüfer çiçeği motifi bulunmaktadır.

Bahçe ortasındaki havuz, özel olarak tasarlanmıştır ve Tac Mahal ile giriş kapısının görüntüsünü yansıtmaktadır. İlk tasarlandığı dönemde bahçede pek çok gül, nergis ve meyve ağaçlarının bulunduğu aktarılmıştır (Koch, 2006). Bu tarz bahçe tasarımı, ilk olarak Babür tarafından yaptırılmıştır. Şekil 62'de, eserin kuşbakışı görüntüsü paylaşılmıştır ve en altında, kötü kentleşme sonucu Tac Mahal'in kapısına kadar dayanmış olan evler görülmektedir. Küçük bahçeye girildiğinde, yanlarda nöbet evleri görülmektedir ve karşıda ana giriş kapısı vardır. Bahçe içerisinde, Şah Cihan'ın diğer eşleri ve sevdiği hizmetkarlarının mezarları da bulunmaktadır. Şekil 63'te gösterilen kesitte, yapının altında bulunan gerçek mezar odası ve çift kubbe tekniği görülmektedir. Tac Mahal, mimari olarak incelendiğinde Humayun'un Türbesi, İtimad-üd Devle Türbesi, Jama Mescidi gibi yapılardan esinlendiği; Tuğluk ve Lodhi eserleriyle de benzerlik gösterdiği söylenebilmektedir.



Şekil 62. Tac Mahal Plan (17) (Figure 62. Taj Mahal Plan) Şekil 63. Tac Mahal Kesit (18) (Figure 63. Taj Mahal Section)

Türbenin iki yanında bulunan yapılar tamamen aynı şekilde tasarlanmıştır, sadece misafirhane ve cami olarak farklı işlevlere sahiptirler (URL 15). Kırmızı kumtaşından inşa edilen eserler, 3'er kubbeye ve büyük birer eyvana sahiptir. 4 köşesinde chhatriler bulunmaktadır. Cephede görünen beyaz mermer bölümlerin üzerinde tezhip desenleri işlenmiş ve kaligrafi çalışmaları yapılmıştır. Şekil 64'te gösterilen eserle Tac Mahal arasında fiskiyeli bir havuz bulunmaktadır.



Şekil 64. Tac Cami (URL 15) (Figure 64. Taj Mosque)

Şekil 65. Tac Cami İçi (URL 19) (Figure 65. Inside the Taj Mosque)

Şekil 65'te cami içerisine bakıldığında, tamamen kırmızı kumtaşı olarak bırakıldığı ve üzerine altından motifler işlendiği görülmektedir. Alt duvarda kabartma çiçek desenleri ve kakma desenler görülmektedir. Duvarların geri kalanı ise tamamen nişlerle doludur. Kemerlerde tezhip, mihrap içerisinde ise sonsuz yıldız desenleri kullanılmıştır (URL 19).

Tac Mahal'in ana giriş kapısı doğu tarafında kalmaktadır (Şekil 66). Bu, üzeri chhatrilerle dolu 2 katlı bir kapıdır (URL 15). Kırmızı kumtaşından yapılan eserin kenarları, sekizgen kuleler şeklinde gösterilmiştir. Üzerinde mermer vurgulamalar vardır. Şekil 67'de, mermer üzerine yapılan kaligrafi çalışması detayı ve yanındaki dekoratif kule detayı gösterilmiştir. Eyvanın iki yanından yükselen kuleler farsça, guldasta (gül destesi) adıyla anılmaktadır (URL 15). Üzerlerinde, siyah beyaz desenler bulunmaktadır.



Şekil 66. Doğu Kapısı (URL 15) (Figure 66. East Door URL 15) Şekil 67. Kapı Detay (URL 20) (Figure 67. Door Detail URL 20)

Şekil 68’de, Tac Mahal’in kubbe hizasından görüntüsü gösterilmektedir. Ana kubbe altındaki silindirik yükselti rahatlıkla görülebilmektedir. Etrafında bulunan 4 adet chhatri, sekizgen platformların üzerine yerleştirilmiştir. Tüm kubbelerin üzerinde alem vardır. Chhatri önünde bulunan kemer yanlarından ve eyvanların yanlarından yükselen guldastalar (ince minareler), eserin tasarımını daha belirgin hale getirmektedir. 3 katlı olarak inşa edilen 4 büyük minare, yıkılma durumunda ana binaya zarar vermemeleri için, dışa doğru devrilecek şekilde tasarlanmıştır (Koch, 2006).



Şekil 68. Tac Mahal Kubbeleri (Google Earth) (Figure 68. Taj Mahal Domes Google Earth)

Şekil 69’da gösterilen Tac Mahal’in cephe dekorasyonu, dengeli bir şekilde dağıtılmış boya, sıva, oyma ve taş kakma sanatları kullanılarak uygulanmıştır. Boya işçiliğinde soyut desenler ve İslami floral desenlerin kullanımı dikkat çekmektedir (URL 16). Devasa boyuttaki eyvan üzerinde bulunan hat çalışması, eserin resmi web sitesine göre hattat Amanat Khan tarafından seçilmiş ve yaptırılmıştır.



Şekil 69. Tac Mahal Cephe (URL 16) (Figure 69. Taj Mahal Facade URL 16)

Şekil 70’te, Mümtaz Mahal ve Şah Cihan’ın giriş kattaki temsili kabirleri paylaşılmıştır. Asıl kabirler bodrum kattadır (URL 19). Odanın tamamı beyaz mermerden yapılmıştır ve mezarların etrafı paravan ile çevrilidir. Zemin ve mezarların üzerinde siyah desenler işlenmiştir. Oda, özel iç tasarımı ile sekizgen haline getirilmiştir. Uzun yıllar sekizgen plan, sadece özel saraylıların türbeleri için kullanılmıştır.



Şekil 70. Tac Mahal İç Görünüm (URL 19) (Figure 70. Taj Mahal Interior View URL 19)

Şekil 71’de kakma sanatı detayı gösterilmiştir. Beyaz mermer üzerine, muntazam bir şekilde kesilmiş ve yerleştirilmiş siyah ve krem renkte taşlar mevcuttur (URL 20). Şekil 72’nin en üstünde kırmızı ve siyah boyama desenleri, altında ise kabartma olarak işlenmiş çiçek motifleri görülmektedir. Eserin her köşesinde, ustaca yapılmış işçilikler ziyaretçileri hayran bırakmaktadır.



Şekil 71. Tac Detay (URL 20) (Figure 71. Taj Detail URL 20)

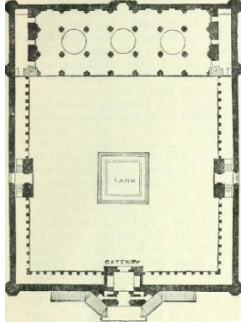
Şekil 72. Tac Motifler (URL 20) (Figure 72. Taj Motifs URL 20)

Şah Cihan tarafından yaptırılan bir diğer önemli eser, Agra Kalesi içerisinde inşa ettirilen Moti Mescit'tir. Şekil 73'te gösterilen eserin yapımına 1646 yılında başlanıp, 1653 yılında tamamlanmıştır (URL 22). Kırmızı kumtaşı ile inşa edilen caminin üzeri beyaz sedefli bir mermer ile kaplanmıştır. Süslü işlemeli kolonları ve kemerleri dikkat çekmektedir. Cami içerisindeki Farsça yazıtlarda yapının muhteşem bir inci ile kıyaslaması yapılmaktadır (URL 22).



Şekil 73. Moti Mescit (URL 21) (Figure 73. Moti Masjid URL 21)

Yüksek bir platform üzerine inşa edilen cami, Şekil 74'te gösterildiği gibi dikdörtgen planlıdır. Yamuna nehrine bakan eserin ana girişi doğu tarafındadır. Avlu ortasında, bir abdest alma havuzu vardır. Şekil 75'te gösterilen 3 kubbeli ibadet bölümüne, 7 kemerli bir cepheden giriş yapılmaktadır (URL 22). Kubbele, Taj Mahal'de olduğu gibi yükseltilmiştir ve soğan şeklindedir. 2 ucunda bulunan chhatrilerin daha küçükleri, kemerlerin üzerine sıralanmıştır. Eser, günümüzde tüm Agra Kalesi Kompleksi ile birlikte koruma altındadır.



Şekil 74. Moti Plan (URL 22) (Figure 74. Moti Plan URL 22)

Şekil 75. Moti Cephe (URL 22) (Figure 75. Moti Facade URL 22)

Hindistan'ın en önemli ve büyük camilerinden biri olarak geçen Cama Mescidi inşası 1650 yılında başlamıştır. Mimarı Üstad Halil beş yüz işçi ile çalışarak 6 yılda yapıyı tamamlamıştır (URL 22). 1170 metrekare bir alana oturtulan cami, üç giriş kapısına sahiptir (Şekil 76). Kırmızı kum taşı ve mermerle süslenmiş yapı Agra'da bulunan Moti Mescid'e benzemektedir (URL 22).



Şekil 76. Cama Mescidi (URL 23) (Figure 76. Jama Masjid URL 23)

Cama Mescidi, inşa edildiği sırada Hindistan'ın en büyük camisi olmuştur. Kırmızı kumtaşı kullanılan yapının süslemeleri beyaz mermerle yapılmıştır. Bazı bölümlerde siyah mermerli tasarımlar da mevcuttur. 10 metrelik bir platform üzerine konumlandırılan cami, yükseldikçe daralan minareleri ve kubbe tasarımlarıyla dikkat çekmektedir (P. Varma, 1987). Avlunun ortasında bir abdest havuzu, köşelerinde ise birer chhatri bulunmaktadır. Şekil 77'de gösterilen 3 katlı kapısı, sadece devlet büyüklerinin ve hanedan üyelerinin kullanımı için tasarlanmıştır (URL 23). Devasa kemerli girişi, balkonları ve minareleriyle dikkat çekmektedir. Cami içerisi, tamamen

kırmızı kumtaşı ile yapılmıştır. Zemin ve duvarların bir bölümü mermer kaplıdır (Şekil 78). Mermer üzerine siyah seccade çizimi yapılmıştır. Duvarlar ve tavanda altın süslemeler vardır. Eser, belli aralıklarla restore edilmiştir (URL 23). Günümüzde, özgün işlevinde aktif olarak kullanılmaktadır.



Şekil 77. Giriş Kapısı (URL 23) (Figure 77. Entrance Gate)



Şekil 78. Mescit İçi (URL 23) (Figure 78. Inside the Mescit)

Babür İmparatorluğu kurulduğunda, Türk-İslam ve Hint mimari harmanlanması belli bir noktaya gelmiş ve yeni bir dil oluşmuştur (Tadgell, 1990). Babürler bu yeni tarzı zirveye taşımıştır. 300 yıldan fazla hüküm süren hanedanlıkta, her gelen sultan farklı tarzlarda eserler inşa ettirmeye çalışmıştır. Sultanlığın zayıf düştüğü son dönemlere kadar mimarinin hep daha iyiye doğru gelişim gösterdiği, son dönemlerde ise daha temel ve tekrara düşer şekilde yapılar inşa edildiği gözlemlenmektedir. En büyük mimari gelişim, Babür'ün torunu olan Ekber ve sonrasında Şah Cihan dönemlerinde olmuştur.

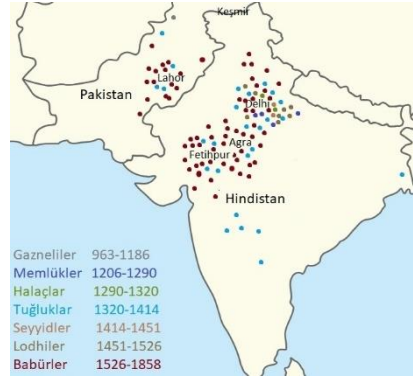
Babürler döneminde yapıların çoğu kırmızı kumtaşı ile inşa edilmiştir ve daha gösterişli olması için üzerlerine mermer, çini ve oyma desenli plakalarla kaplamalar yapılmıştır. Eserlerin yapımı için dünyanın farklı yerlerinden uzmanlar getirilmiştir. Babürler dönemine ait, araştırma kapsamında adı geçen eserlerin dışında, pek çok mimari eser bulunmaktadır.

4. Sonuç

Türklerin Güney Asya'da yaklaşık 700 yılını kapsayan bu araştırmada, Tarihi süreç ve mimari eserler dönemsel olarak incelenmiş, her dönemin kendi mimari üslubu ve kullanılan yapı malzemeleriyle ilgili benzerlikler tespit edilmiştir.

4.1 Türk Mimari İzleri

Kronolojik sıraya göre derlenen dönemler ve mimari eserlerin her biri, tek başına araştırma konusu olacak niteliktedir. Şekil 79'da, yapılan bu araştırmada bahsi geçen Türk devletlerinin, Hint yarımadasında bıraktığı mimari izler gösterilmiştir.



Şekil 79. Mimari Eserlerin Bulunduğu Bölgeler. (Figure 79. Regions of Architectural Artifacts.)

4.2 Hint-Türk Mimari Karakterleri

Hint mimari karakteri, genellikle taşlar ve kayalar üzerine oymalar ile oluşan çok büyük ve gösterişli yapılardan oluşmaktadır. Hindu tapınakları yeni bir tarz oluşturmuş ve bölgeye hızla yayılmıştır. Taşlar üzerine çiçekler, geometrik şekiller, tanrılar ve hayvanlar gibi pek çok ince işçilik isteyen desenler işlenmiştir. Kat kat yükselen ve yükseldikçe incelen bu süslü mimari üslup, zamanla Türk-İslam mimarisi ile harmanlanacak ve yeni Hint-Türk mimari karakteri ortaya çıkacaktır. Orta Asya Türk mimari karakteri, yüksek eyvanlar, çatının tamamını örten kubbeler, zeminden yükselen minareler, çiniler ve tezhib gibi özel işlemlerden oluşmaktadır. Türklerin Güney Asya bölgesine inmesi ile pek çok karakteristik özellik, bu bölgeye taşınmıştır. Yapılarda, yüksek ve dar girişler, ihtişamlı kapılar ve kemerlerle güç gösterisi yapılmıştır. Mimari tarz olarak, Türk mimarisinin kararlı çizgileri ve Hint-İslam etkileri görülmektedir. İnşa ettikleri yapılarda çok kararlı ve sade tasarımlar kullanmışlardır. Türk-İslam ve Hint mimari harmanlanması belli bir noktaya gelmiş ve yeni bir dil oluşmuştur. Eserlerde bölgede yaygın kullanılan kırmızı kumtaşı ve mermer gibi ana malzemeler göze çarpmaktadır. İnşaat süreçlerinde, yansıtılmak istenen üslup, kullanılan malzeme ve yapı ustasının etnik kökenine göre farklı tarzlar oluşmuştur.

4.3 Hint-Türk Mimarisi

Tarihsel süreçte, Müslüman Türklerin Orta Asya'dan Alt Kıta'ya inışı Gazneliler ile başlamıştır. 1001 yılında Kuzey Hindistan'ın fethedilmesi ile buraya yerleşen Gazneliler, özellikle Lahor bölgesinde pek çok şehirleşme ve restorasyon çalışması yapmıştır.

Günümüze ulaşan, Pakistan sınırları içerisinde bir anıt mezar mimari örneği vardır. Daha sonra Kudbeddin Aybek tarafından Delhi Türk Sultanlığı temelleri atılmıştır ve bu Sultanlık döneminde farklı beylikler yönetimi devralmıştır. Memlükler döneminde Kutbeddin Aybek tarafından yaptırılan Kuvvet-ül İslam Cami ve Kutb Minar, günümüze kadar özgün haliyle ulan en eski eserlerdendir. Ele Geçirilen Hindu tapınakları malzemeleri kullanıldığı bilgisi mevcuttur ve yapılar incelendiğinde pek çok farklı sanat tarzının bir araya getirildiği fark edilmektedir. Halaçlar, yönetime geçen ikinci beylik olur fakat Moğollar ile savaş içerisinde geçen kaotik bir döneme rastladıkları için sanat ve mimariye çok vakit ayıramazlar. Alai Darwaza onların dönemine örnek olarak gösterilebilecek sayılı eserlerdendir. Bölge yapı malzemelerine uygun kırmızı kumtaşı kullanılan kapı tasarımı kararlı çizgileri ile dikkat çekmektedir. Daha sonra Tuğluklar yönetimi ele geçirmiş ve pek çok mimari eser bırakmışlardır. Kalan Mescit döneminin en ihtişamlı ibadethanelerinden biridir ama ne yazık ki günümüzde bu taş yapı restorasyon adı altında yeşil ve beyaza boyanmıştır. Hindistan'ın önemli sorunlarından birisi, bakımsız kalmış fakat halk tarafından kullanılan eserlerin, sınırlı ekonomik şartlar altında yanlış şekilde onarılmasıdır. Seyyidler ve Lodhiler, kaybedilen toprakları geri kazanan beylik olmuş ve tahta geçmiştir. Dönemin en dikkat çekici mimari eseri Lodhi bahçeleridir. Bahçe içerisinde cami ve türbeler gibi pek çok yapı bulunmaktadır. Seyyidler ve Lodhiler döneminde türbe mimarisi çok gelişmiş ve daha ihtişamlı bir hal alamaya başlamıştır. Gelecekte Tac Mahal'e kadar varacak olan bu türbeler, sekizgen planları, büyük eyvanları ve Hint usulü chhatrileri barındırmaktadır. Yapıların çoğu günümüze korunmuş bir şekilde ulaşmıştır.

Babürler dönemine gelindiğinde, hanedanlık, Hint Yarımadası tarihinin en ihtişamlı dönemini yaşamıştır. Özel olarak getirttikleri sanatçı ve mimarlar sayesinde, zaten belli bir harmanlanma noktasına gelen Türk-Hint mimarisini zirveye çıkarmışlardır. Şah Cihan'ın eşi için yaptırdığı anıt Tac Mahal, parlak mermer taşı ve zarif tasarımı ile Dünyanın 7 Harikası listesine girmiştir. Dönemin yapıları genellikle kırmızı kumtaşı ile yapılmış ve mermer kaplamalar uygulanmıştır. Granit, kesme taş, alçı-sıva süslemeler ve kireç harcı dönemin yaygın kullanılan yapı malzemelerindedir. Süslü taş bezemeler, renkli camlar ve suyun tasarımlarda kullanımı, bu dönemde önem kazanmıştır. Babürler döneminde genel mimari üslup değişiklik göstermiştir. Ekber'in Hindu eşi için yaptırdığı Jodha Sarayı Hint mimarisine uygun olarak tasarlanırken Türk eşi için yaptırdığı Rukiye Begüm konağı Türk izleri taşımaktadır. Babürler dönemi sonlarına doğru (özellikle Evrengzeyb dönemi) mimaride bazı tekrarlar düşülmüştür. Bibi ka Makbara türbesinin, Tac Mahal tarzında yapılması buna bir örnektir. Benzer yapılar yapılsa da, tasarımda mutlaka farklı yorumlamalar göze çarpmaktadır. Yapıların tamamı incelendiğinde, çoğunun Delhi, Lahor, Fatehpur, Agra gibi dönemin başkentlerinde veya bu şehirlere giden yollar üzerinde inşa edildiği görülmektedir. Delhi gibi büyük bir şehri fetheden hükümdarlar bölge yönetimini ele geçirmiş demektir ve hemen kendi gücünü göstermek için ihtişamlı yapıların inşasını başlatır. Genellikle saray, cami, türbe ve kale gibi yapılar, aralarında en gösterişlileridir.

4.4 Öneriler

Günümüze özgün haliyle ulaşmış ve koruma altında olan pek çok eser mevcuttur. Yapıların bir kısmı günümüze ulaşamamış, bir kısmı yanlış restorasyon sonucu özgünlüğünü kaybetmiş, bir diğer kısmı da bakımsız ve harabe haldedir. Kalan Mescit gibi yanlış restorasyon uygulanan yapıların özgünlüğüne geri kavuşturulması için yeniden projelendirilmesi gerekmektedir. Bakımsız halde fakat hala kurtarılabilir durumda olan, özellikle Delhi Türk Sultanlığı erken dönemlerinde inşa edilmiş yapılar için sağlamlaştırma ve restorasyon yapılmalıdır. Bu yapılar genellikle yerleşim yerlerinden uzak olduğu için sadece turistik amaçlı restore etmek yerine yeniden işlevlendirme yapılırsa, bölgede hareketliliği sağlayacak ve harabe halindeki eserler tekrar yaşayan yapılar haline gelecektir. Türkler, Hint Yarımadasını terk etse de bölgede asla unutulmayacak ve bu topraklara değer katacak nitelikte pek çok hizmet ve mimari eser bırakmıştır.

Tablo 1'de, bu çalışmada adı geçen ve geçmeyen, Hint yarımadasındaki tüm eserler, dönemlerine ve kronolojik sıralarına göre listelenmiştir.

Tablo 1. Hint Yarımadasında Bulunan Türk Yapıları
Table 1. Turk Buildings in the Indian Peninsula

Dönemi	Yapı Adı	Yılı	Konum	Yaptıran / Mimar
Gazneliler	Graveyard Ghaznavid	9. y.y.	Hayber-Pakhtunva	—
Delhi Memlük Hanedanlığı	Kuvvet-ul İslam ve Kutb Minar	1193-1197	Delhi	Kudbeddin Aybek
Delhi Memlük Hanedanlığı	Acmer Cami	1200	Racastan	İl Tutmuş dönemi
Delhi Memlük Hanedanlığı	Jami Mescit (Khambhat)	1325	Gujarat	Aladdin Kılıcı/Mimar Ömer bin Ahmed El Kazaruni
Halaçlar	Alai Darwaza	1311	Delhi	Aladdin Kılıcı
Halaçlar	Siri Kompleksi	1303	Delhi	Aladdin Kılıcı
Tuğluklar	Gıyaseddin Tuğluk Türbesi	1323	Delhi	Tuğluk Hanedanı

Tuğluklar	Rukn-i Alem Türbesi	1324	Multan	Gıyaseddin Tuğluk
Tuğluklar	Nizamuddin Evliya Türbesi	1325	Delhi	Muhammed bin Tuğluk
Tuğluklar	Tilangani Türbesi	14.y.y.	Delhi	Firuz Şah Yönetimi
Tuğluklar	Cihanpanah Kompleksi	14. y.y.	Delhi	Muhammed bin Tuğluk
Tuğluklar	Begampur Cami	14. y.y.	Delhi	Firuz Şah Yönetimi
Tuğluklar	Kırki Cami	14. y.y.	Delhi	Firuz Şah Yönetimi
Tuğluklar	Kalan Mescit	1351-1388	Delhi	Firuz Şah Yönetimi
Tuğluklar	Vezirabad Cami	1351	Delhi	Firuz Şah Yönetimi
Tuğluklar	Hauz Has Kompleksi	1352	Delhi	Firuz Şah Yönetimi
Tuğluklar	Firuz Şah Türbesi	1354	Delhi	Firuz Şah Yönetimi
Tuğluklar	Firuz Şah Kotla Kompleksi	1354	Delhi	Firuz Şah Yönetimi
Tuğluklar	Jaunpur Fort Cami	1376	Jaunpur	İbrahim Naib
Tuğluklar	Atala Cami	1398	Jaunpur	Firuz Şah
Tuğluklar	Ahmedabad Cami Mescit	1424	Ahmedabad	I. Ahmed Şah
Tuğluklar	Sath Kombat Cami	15. y.y.	Bengladeş	Uluğhan
Seyyidler	Mübarek Şah Türbesi	15. y.y.	Delhi	Mübarek Şah
Seyyidler	Mubarakpur Cami	15. y.y.	Delhi	Mübarek Şah
Seyyidler	Muhammed Şah Seyyid Türbesi	15. y.y.	Delhi	Seyyid Hanedanlığı
Lodhiler	Lodhi Bahçesi Bara Gumbad	1490	Delhi	Sikander Lodhi
Lodhiler	Shish Gumbad	15 y.y.	Delhi	İbrahim Lodhi
Lodhiler	Sikandar Lodhi Türbesi	1518	Delhi	İbrahim Lodhi
Lodhiler	Nili Mescidi	16. y.y.	Delhi	Lodhi Yönetimi
Lodhiler	Derviş Şah Cami	16. y.y.	Delhi	Lodhi Yönetimi
Lodhiler	Baoli Kompleksi	16. y.y.	Delhi	Daulat Han
Babürler	Sambhal Jama Mescidi	1526	Sambhal	Babür
Babürler	Kabuli Bağ Cami	1527	Panipat	Babür
Babürler	Ayodhya Cami	1528	Ayodhya	Babür
Babürler	Aram Bagh	1528	Agra	Babür
Babürler	Cemali Kemali Mescit	1529	Delhi	Sikandar Lodi - Humayun
Babürler	Purana Kila Kompleksi	1538	Delhi	Humayun
Babürler	Humayun Türbesi	1565-1572	Delhi	Ekber / Mimar Gıyas
Babürler	Agra Kalesi	1565	Agra	Ekber – Şah Cihan

Babürler	Musamman Burj	1631-1640	Agra	Ekber – Şah Cihan
Babürler	Cihangir Sarayı	16. y.y.	Agra	Ekber
Babürler	Bülend Darvaza	1575	Fetihpur	Ekber
Babürler	Panç Mahal	16. y.y.	Fatehpur	Ekber
Babürler	Jodha Bai Sarayı	16. y.y.	Fatehpur	Ekber
Babürler	Meryem Konağı	16. y.y.	Fatehpur	Ekber
Babürler	Sultan Begum Evi	16. y.y.	Fatehpur	Ekber
Babürler	Diwan-i-Khas Fetihpur	16. y.y.	Fatehpur	Ekber – Şah Cihan
Babürler	Ulu Cami	1572	Fetihpur	Ekber
Babürler	İslam Han Türbesi	16. y.y.	Fetihpur	Ekber
Babürler	Selim Çisti Türbesi	16. y.y.	Fetihpur	Ekber
Babürler	Hiran Minar Fetihpur	16. y.y.	Fetihpur	Ekber
Babürler	Lahor Kale Kompleksi	16. y.y.	Lahor	Ekber - Cihangir
Babürler	Attock Kalesi	16. y.y.	Pencap	Ekber
Babürler	Athpula Köprüsü	16. y.y.	Delhi	Ekber
Babürler	Allahabad Kalesi	1583	Allahabad	Ekber
Babürler	Ekber Türbesi	1605-1613	Sikandra	Cihangir
Babürler	Hüsrev Bağ	1605-1625	Allahabad	Cihangir
Babürler	Meryem Zamani Cami	1611-1614	Lahor	Cihangir
Babürler	Anarkali Türbesi	1615	Lahor	Cihangir
Babürler	Hiran Minar	1607-1620	Pencap	Cihangir – Şah Cihan
Babürler	Achabal Bahçe	1620	Achabal	Nur Cihan
Babürler	İtimad-üd Devle Türbesi	1622-1628	Agra	Nur Cihan
Babürler	Nagina Mescidi	1631-1640	Agra	Şah Cihan
Babürler	Moti Mescit Lahore	1635	Lahore	Cihangir
Babürler	Tac Mahal	1632-1654	Agra	Şah Cihan / Mimarları Üstad İsa Muhammed Efendi ve diğerleri
Babürler	Muhabbet Han Cami	17. y.y.	Peşaver	Şah Cihan Yönetimi
Babürler	Vezir Han Cami	1634-1641	Lahor	Şah Cihan Yönetimi
Babürler	Dai Anga Cami	1635	Lahor	Şah Cihan Yönetimi
Babürler	Cihangir Türbesi	1637	Lahor	Şah Cihan
Babürler	Lal Kila Kompleks	1638-1648	Delhi	Şah Cihan
Babürler	Şalimar Bağ	1641	Lahor	Şah Cihan

Babürler	Moti Mescit Agra	1646-1653	Agra	Şah Cihan
Babürler	Cama Mescidi	1650-1656	Delhi	Şah Cihan/ Mimar Üstad Halil
Babürler	Şah Cihan Cami	1659	Thatta	Şah Cihan
Babürler	Moti Mescit Delhi	1659-1660	Delhi	Evrengzeb
Babürler	Gyanvapi Mescidi	1669	Varanasi	Evrengzeb
Babürler	Badişahi Mescit	1673-1674	Lahor	Evrengzeb
Babürler	Bibi ka Makbara Türbesi	1679	Evrengabad	Azam Şah
Babürler	Sunehri Cami	1753	Lahor	Mimar Buhari Han
Babürler	Safdar Jung Türbesi	1754	Delhi	Ahmed Shah Bahadur

Kaynakça

- Anthony W., Howard C. (1983). "The Tughluqs: Master Builders of the Delhi Sultanate" . Muqarnas. Brill. 1: 123–166.
- Asher., Blanshard C. (1992) Architecture of Mughal India, s. 26-36
- Atay, F. R. (1943). Hind. İstanbul, Semih Lütfü Kitabevi, s. 3-10.
- A. Petersen, (1996) Dictionary of Islamic Architecture, London, s. 241-243.
- Bakshi. S. R. (1995) Delhi Through Ages pp. 29–35.
- Barnier F. (1968) Travels in the Mughal Empire, tr. Rep.
- Bayur, Y. H. (1987) Hindistan Tarihi. Ankara, Türk Tarih Kurumu Basımevi, s. 15-65.
- Begley, Wayne E. (1979). The Myth of the Taj Mahal and a New Theory of Its Symbolic Meaning. p. 7–37
- Blair S., Bloom J. M. (1994). The Art and Architecture of Islam 1250-1800. Yale University Press. p. 199.
- Boz Demir, A. Ö. & Cengiz, C. (2021). Ilıman-Nemli İklim Bölgelerinde Kentsel Alanlarda Biyoklimatik Konfor. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (32), 1134-1139.
- Cönce, S. (2022) Dehli Türk Sultanlığı'nda Memlük Sistemi, Geçmişten Günümüze Türkiye-Hindistan İlişkileri Uluslararası Sempozyumu s. 11-32
- Çelik, H. K. & Şakar, G. (2022). Geçmişin ve Geleceğin Yapı Malzemesi Olarak Ahşap: Yapı Mühendisliği Çerçevesinde Bir İnceleme. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (36), 298-304.
- Demirel Ş. (2007). Hindistan'da Türk İzleri. Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi. 10-15 Eylül, Ankara, s. 95-99
Erişim adresi: <http://www.ayk.gov.tr/wp-content/uploads/2015/01/DOĞUBİLİM-ÇALIŞMALARI.pdf>
- Desai Z. A. (1971) Mosques of India, New Delhi p. 5-7
- Desai Z. A. (1970) Indo-Muslim Architecture, New Delhi p. 18-22
- Erdoğan M. (1996) Gazneliler, TDV İslâm Ansiklopedisi, Erişim tarihi: 18.11.2022. <https://islamansiklopedisi.org.tr/gazneliler#1>
- Farooqi. N. R., Delhi Sultanlığı, TDV İslâm Ansiklopedisi, Erişim tarihi: 18.11.2022. <https://islamansiklopedisi.org.tr/delhi-sultanligi>
- E. Koch, (1991) "The Copies of the Qutb Minar", Iran, XXIX, London, s. 95-107.
- Golden, Peter B. (1992), An Introduction to the History of the Turkic Peoples
- Gömeç, S. Y. ve Çelikleş M. M. (2019) Hindistan'da Türkler Cilt: 4 Ankara, Berikan Yayınevi s. 15-28, 65-84.
- Haidar M. Akıncı H. (2008). Indo-Turkish Architecture. İstanbul, Graphis Matbaa, s. 53-60, 109-130.
- Halıcı G. (2007) Pakistan'da Babürlüler Dönemi Mimari Eserleri. Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi. 10-15 Eylül, Ankara, s. 179-182 Erişim adresi: <http://www.ayk.gov.tr/wp-content/uploads/2015/01/DOĞUBİLİM-ÇALIŞMALARI.pdf>
- Harle, J.C. The Art and Architecture of the Indian Subcontinent, Second Edition. Yale University Press, p. 18-27
- Jonathan M. Bloom; Sheila S. Blair (2009). The Grove Encyclopedia of Islamic Art and Architecture. Oxford University Press. p. 1.
- Khan A. N. (1991). Development of Mosque Architecture in Pakistan. p. 71.
- Khan, M. I. (2000). World heritage: sites in Pakistan. p. 88.
- Kişmir, A. (2019) Pakistan Tarihinde Türkler I. Ankara, Demavend Yayınları, s. 18-35.
- Koch, E. (1994). Diwan-i 'Amm and Chihil Sutun: The Audience Halls of Shah Jahan. In Muqarnas XI: An Annual on Islamic Art and Architecture.
- Koch, E. (2006). The Complete Taj Mahal: And the Riverfront Gardens of Agra.
- K. V. (1983) Soudra Rajan, Islam Builds in India, Delhi, s. 4-20, 50-54, 73.
- Latif, S. M. (1892). Lahore: Its History, Architectural Remains and Antiquities: With an Account of Its Modern Institutions, Inhabitants, Their Trade, Customs, &c. New Imperial Press Oxford University. p. 426.
- Macun, İ. (1990) Hindistan'da Türk Müslüman Mimarisi. Ankara Üniversitesi, Dil Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 33, Ankara. Erişim adresi: <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/26/1242/14173.pdf>
- McKibben W. J., (1994), The Monumental Pillars of Firuz Shāh Tughluq, Ars Orientalis, Vol. 24, pp. 105–118
- Merçil, Erdoğan (1991). Gaznelilerin Hindistan Siyaseti, Prof. Dr. Bekir Kütükoğlu'na Armağan, İstanbul.

- Moinifar, Heshmat H. (2013). Taj Mahal as a Mirror of Multiculturalism and Architectural Diversity in India.
- Nath, R. 1978. History of Sultanate Architecture. New Delhi, Abhinav Publications, 98-100.
- Nayar M. (2002) A Panipat Won Fort the Lodhi's Erişim Tarihi (27.12.2022) <https://web.archive.org/web/20090802215938/http://www.hinduonnet.com/2002/10/16/stories/2002101608260400.htm>
- P. Brown, (1981) Indian Architecture (Islamic Period), Bombay, s. 9, 11-12.
- P. Varma, (1987) Delhi and Its Monuments, New Delhi, s. 21-37.
- Rajendran, V. Architectures during the Sayyid Dynasty and Lodhi, p. 3.
- Rajput A B (1963) Architecture in Pakistan. Pakistan Publications, pp. 8-9
- Rani, A. (1991) Tughlaq Architecture of Delhi, p. 33.
- R. J. Mehta, (1976) Masterpieces of Indo-Islamic Architecture, Bombay, tür.yer.
- Sarda H. B. (1911). Adhai-Din-ka-Jhonpra. pp. 68-74.
- Sayed, M., (2007). Kalan Masjid A Pre Mughal Structure in Mughal Delhi. Erişim Tarihi (27.12.2022) <https://chiraghdilli.com/2017/02/21/kalan-masjid-a-pre-mughal-structure-in-mughal-delhi/>
- Sen S. N. (1999). Ancient Indian History and Civilization. New Age International. pp. 328-334.
- Shankar R. (2010). "Memoirs of a Mosque" India Today
- Schwartzberg, Joseph E. (1978). A Historical atlas of South Asia. Chicago: University of Chicago Press. p. 147.
- Srivastava, A.L (1966). The Sultanate of Delhi (711 - 1526 A.D), Agra: Shiva Lal Agarwala and Company, p. 245
- Surendra S. (2004) Indian Architecture: Islamic Period, 1192-1857. New Delhi: Prakash Books India, p. 34.
- Tadgell, (1990) Christopher The History of Architecture in India. Phaidon Press, Singapore
- TDK. (2022). Türk Dil Kurumu. Erişim adresi: <https://sozluk.gov.tr/>
- Tezcan B. (2002) Indo-Turkish Symposium p.39.
- Toker H., URDUCA, TDV İslâm Ansiklopedisi, Erişim Tarihi 26.12.2022 <https://islamansiklopedisi.org.tr/urduca#1> .
- Ur-Rahman, A. (1936). History of Jama Masjid and interpretation of Muslim devotions. pp. 8-9.
- URL 1) Baig A. U. (Fotoğrafçı). (2015.12.24). The Unknown Tomb of Ghaznavid. [dijital görsel]. Alıntıdır. <https://www.flickr.com/photos/67227577@N03/23848047383>
- URL 2) Vikipedi. (2017.07.05). Kutub Minar ve Anıtları. [dijital görsel]. Alıntıdır. https://tr.wikipedia.org/wiki/Kutub_Minar_ve_An%C4%B1tlar%C4%B1
- URL 3) Kapur V. S. (Fotoğrafçı). (2011.09.11). Adhai Din ka Jhonpra. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 23.10.2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Adhai_Din_Ka_Jhonpra
- URL 4) Wikipedia. (2022.11.19). Territory Controlled by Khaljis. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 14.10.2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Khalji_dynasty#cite_note-1
- URL 5) Wikipedia. (Fotoğrafçı). (2022.10.03). Alai Darwaza. [dijital görsel]. Alıntıdır. https://en.wikipedia.org/wiki/Alai_Darwaza
- URL 6) Wikipedia. (Fotoğrafçı). (2014.07.31). Tomb of Shah Rukn-e-Alam. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 20.11.2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Tomb_of_Shah_Rukn-e-Alam
- URL 7) Flickr, Perfilov M. (Fotoğrafçı). (2006.12.11). Kalan Masjid. [dijital görsel]. Alıntıdır. http://www.columbia.edu/itc/mealac/pritchett/00routesdata/1300_1399/delhisultanate_mid/kalanmasjid/kalanmasjid.html
- URL 8) Khandkar S. (Fotoğrafçı). Atala Masjid. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 09.11.2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Atala_Mosque,_Jaunpur
- URL 9) Archnet. (Fotoğrafçı). Muhammad Shah Sayyid Mausoleum [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 29.11.2022. <https://www.archnet.org/sites/3984>
- URL 10) INTACH. (Fotoğrafçı). Lodi Garden Monuments. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 08.12.2022. <https://artsandculture.google.com/story/4wVRRUyWORMA8A>
- URL 11) Wikipedia. (Fotoğrafçı). (2012.05.01). Humayun's Tomb. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 13.12.2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Humayun%27s_Tomb
- URL 12) Viator. (Fotoğrafçı). Fatehpur Sikri. [dijital görsel]. Alıntıdır. <https://www.viator.com/Agra-attractions/Fatehpur-Sikri/d4547-a13557>
- URL 13) Kassim S. J. (Fotoğrafçı). (2017.10.24). Revisiting the Lrgacy of Fatehpur Sikri. [dijital görsel]. Alıntıdır. https://www.researchgate.net/figure/Panch-Mahal-was-also-known-as-the-Badgir-which-means-the-wind-catcher-tower_fig43_320370748
- URL 14) Arkeowomen. (2017.05.23). Fetihpur Sikri Ulu Cami. [dijital görsel]. Alıntıdır. <https://arkeowomen.blogspot.com/2017/05/fetihpur-sikri-ulucamii.html>
- URL 15) Wikipedia. (Fotoğrafçı). (2007.09.29). Origins and Architecture of the Taj Mahal. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 18.12.2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Origins_and_architecture_of_the_Taj_Mahal
- URL 16) Khanacademy. The Taj Mahal. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 18.12.2022. <https://www.khanacademy.org/humanities/ap-art-history/south-east-se-asia/india-art/a/the-taj-mahal>
- URL 17) Researchgate. Taj Garden. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 25.12.2022. https://www.researchgate.net/figure/Taj-Mahal-plan-used-as-the-basis-for-the-fractal-analysis-Source-Col-Hodgsons-survey_fig3_350191866
- URL 18) 2.oberlin. Taj Mahal Section. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 25.12.2022. <https://www2.oberlin.edu/images/art234/MR-021.JPG>
- URL 19) Fourwheeldriveindia. (2019.10.24). Interior of Taj Mahal. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 18.12.2022. <https://www.fourwheeldriveindia.com/blog/interior-of-taj-mahal/>

- URL 20) Outlookindia. (2022.11.30). Up Close and Personal: The Designs on the Taj Mahal. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 18.12.2022. <https://www.outlookindia.com/outlooktraveller/explore/story/72521/up-close-and-personal-the-designs-on-the-taj-mahal>
- URL 21) Vereshchagin V. V. (Ressam). (1876). 19th Century Oainting of the Moti Masjid. [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 12.09.2022. <https://wikioo.org/tr/paintings.php?refarticle=8XZ4RQ&titlepainting=Moti+Masjid+%28Pearl+Mosque%29%2C+Agra&artistname=Vasily+Vasilevich+Vereshchagin>
- URL 22) Wikipedia. (Fotoğrafçı). (1976.10.22). Moti Masjid Agra Fort [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 21.12.2022. [https://en.wikipedia.org/wiki/Moti_Masjid_\(Agra_Fort\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Moti_Masjid_(Agra_Fort))
- URL 23) Wikipedia. (Fotoğrafçı). (2019.08.12). Jama Masjid Delhi [dijital görsel]. Alıntıdır. Erişim Tarihi: 21.12.2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Jama_Masjid,_Delhi



Employee Shuttle Bus Routing Problem: A Case Study

Gaye Peker^{1*}, Deniz Türsel Eliiyi²

^{1*} İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Industrial Engineering, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9631-4658), gayepeker7@gmail.com

² İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Industrial Engineering, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7693-3980), deniz.eliyi@bakircay.edu.tr

(First received 9 September 2022 and in final form 11 January 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1173057)

ATIF/REFERENCE: Peker, G. & Türsel Eliiyi, D. (2023). Employee Shuttle Bus Routing Problem: A Case Study. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 151-160.

Abstract

This paper describes the real-life application of a personnel service shuttle routing problem. The problem in question is a type of vehicle routing problem with special constraints. To solve the problem, a mathematical model was developed, which aims to minimize the total travel time of employees, including the walking times to the shuttle-stops and the times spent on the shuttles. These times were added in the model by considering the times between the designated stops, the times each shuttle spends on each stop and the total travel times of the shuttles from the starting points to the destination point. The goal programming model was coded and solved using the commercial solver IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. The actual times between the shuttle bus stops and the employee walking times were calculated according to the real-life data provided by the company. The walking times of the employees to the bus stops were also regulated via the inclusion of some set covering constraints in the model. When the numerical results from the model were compared to the current practice of the company, it has been observed that the savings in total travel time were quite significant.

Keywords: Employee service shuttle routing problem, Weighted-preemptive goal programming, Mathematical modeling, Optimization.

Personel Servisi Rotalama Problemi: Bir Vaka Çalışması

Öz

Bu makale, bir personel servisi rotalama probleminin gerçek hayattaki uygulamasını açıklamaktadır. Söz konusu problem, özel kısıtlamaları olan bir tür araç rotalama problemidir. Problemi çözmek için, servis duraklarına yürüme süreleri ve servislerde geçirilen süreler de dahil olmak üzere çalışanların toplam seyahat sürelerini en aza indirmeyi amaçlayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Belirlenen duraklar arasındaki süreler, her bir servisin her bir durakta geçirdiği süre ve servislerin başlangıç noktalarından varış noktasına kadar geçirdiği toplam seyahat süreleri göz önünde bulundurularak, bu süreler modele dahil edilmiştir. Hedef programlama modeli, ticari çözücü IBM ILOG CPLEX Optimization Studio kullanılarak kodlanmış ve çözülmüştür. Duraklar arasındaki gerçek süreler ile çalışanların yürüme süreleri, şirket tarafından sağlanan gerçek hayat verilerine göre hesaplanmıştır. Modele küme örtüleme kısıtlamaları dahil edilerek çalışanların otobüs duraklarına yürüme süreleri de düzenlenmiştir. Modelden elde edilen sayısal sonuçlar şirketin mevcut uygulaması ile karşılaştırıldığında, toplam seyahat süresindeki tasarrufun oldukça çarpıcı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Personel servisi rotalama problemi, Ağırlıklı öncelikli hedef programlama, Matematiksel modelleme, Optimizasyon

* Corresponding Author: gayepeker7@gmail.com

1. Introduction

With rapid advancement of technology in the global world and the change of cultural and socioeconomic structures, transportation systems have begun to have a very important place in every aspect of daily life. The need for transportation has begun to rise in direct proportion to the population's rapid growth, and particularly in large cities, traffic, air pollution, fuel costs, stress, and many other factors have begun to pose a severe challenge. In addition to all these, correct design and management of transportation systems is necessary for companies to survive in difficult country conditions and to compete with other companies in terms of efficiency and cost.

Considering today's conditions, the rapidly increasing economic crisis in the world, especially with the effect of the pandemic, made itself felt quite a lot in Turkey. Added to this economic crisis were the effects of the war waged by Russia, the major oil supplier, against Ukraine. Gasoline prices in the country have increased approximately 3.5 times compared to the previous year. These prices have negatively affected many people who use vehicles in daily life, as well as the companies that provide personnel transportation services to bring their personnel to work. From this point of view, it had become essential for companies with a large number of employees to perform service routing effectively. The extra distances covered turned into extra paid service rents or gas money. Considering all these, the importance of employee routing problems, which is a sub-branch of vehicle routing problems, has increased considerably. In order to resist rising gasoline prices, personnel shuttles must complete the most appropriate route using the least number of vehicles. However, the human factor should not be forgotten while doing this. Concepts such as the time that the personnel will spend in the service and the picked-up points are the factors affecting the transportation systems.

The most important element of transportation system management is people. Employee satisfaction is important in terms of getting efficiency from the work done. Yalçındağ (Yalçındağ, 2020) indicates that companies have to examine their current processes in order to increase their profitability and reduce their costs. From these processes, he seeks a solution to the real-life problem with a mathematical model on the management of personnel services. Leksakul et al. (Leksakul, Smutkupt, Jintawiwat, & Phongmoo, 2017) work on the comparison of different solution methodologies for solving a location-routing problem of an industrial factory in Thailand. Purba et al. (Purba, Siswanto, & Rusdiansyah, 2020) emphasize that one of the ways to satisfy the employees is provide buses to pick and drop them up at different points. He uses Tabu Search with two scenarios in his study and reduce fuel costs by 8% and %7. Wanigasooriya and Fernando (Wanigasooriya & G I Fernando, 2013) work on multi objective and split delivery cases instead of a standard VRP solution and propose a solution with Genetic Algoritihm. Hashi et al. (Hashi, Hasan, & Zaman, 2015) make a study able to design the bus stops according to from home to work or vice versa while finding the shortest bus route. Wolfler Calvo et al. (Wolfler Calvo, de Luigi, Hastrup, & Maniezzo, 2004) work on carpooling problem and used LS and GRASP algorithm also using with additional Information and Communication Technologies like web, GIS. Perugia et al. (Perugia, Moccia, Cordeau, & Laporte, 2011) work on a model which regarding to home-to-work bus service in the metropolitan area. Baldacci et al. (Baldacci, Maniezzo, & Mingozzi, 2004) study on carpooling problem and proposed Column-Generation-Based Algorithm based on two integer programming models.

All these studies show that businesses are evolving towards a structure that is not only focused on cost and profit, but also considers customer/employee satisfaction, sensitive environmental issues and time management, and wants to achieve many different goals at the same time. It is a clear indication that businesses are faced with multi-criteria-decision-making problems that they try to optimize these goals which are in conflict with each other, at the same time. GP is a widely used technique of multi-criteria decision models for modelling and solving multiple conflicting objectives. GP models, optimizes multiple goals by minimizing the targets or the amount of deviation from these targets. Charnes, Cooper and Ferguson (Charnes, Cooper, & Ferguson, 1955), in a study on salary analysis, see the inadequacy of linear programming (LP) in solving multi-objective problems and expressed their work as constraint regression which is a different version of LP. Afterwards, Charnes and Cooper (Charnes & Cooper, 1977) develop constraint regression and introduced a wider version, which clearly took its place in the literature as GP. With the effective work of Lee and Clayton (Lee & Clayton, 1972) and Ignizio (Ignizio, 1976), GP practices are expanded and its popularity increase. These studies lead to the emergence of many applications until today.

In the field of Goal Programming (GP), it is observed that there are also studies on vehicle routing problems. Ghoseiri and Ghannadpour (Ghoseiri & Ghannadpour, 2010) provide a mathematical and model solution for the time window multi-objective vehicle routing problem (VRPTW) using GP and genetic algorithms. Instead of solving GP directly with a commercial solver, Calvete, Galé, Oliveros and Sánchez-Valverde (Calvete, Galé, Oliveros, & Sánchez-Valverde, 2007) seek a two-step solution with a new approach they called enumeration-followed-by-optimization. Park and Koelling (Park & Koelling, 1986) minimized the traveled distance with GP and heuristic approach. On the other hand, Jozefowicz et al. (Jozefowicz, Semet, & Talbi, 2002) uses GP and Tabu Search Algorithm to minimize the distance traveled and to balance the tour lengths of the vehicles. Giannikos (Giannikos, 1998) looks for a solution for Location and routing for hazardous waste transportation and treatment using GP.

Multi-objective or bi-objective mathematical models are used not only in GP, but also by many researchers working in the field of routing. The research studies which belongs Tan et al. (Tan, Chew, & Lee, 2006), Chitty and Hernandez (Chitty & Hernandez, 2004), Sa'adah et al. (Sa'Adah, Ross, & Paechter, 2004) have multi-objectives and they are about minimizing the travel distance, the number of vehicles, the total mean transit time and the total variance in transit time. Boffey et al. (Boffey, García, Laporte, Mesa, & Pelegrín, 1995) provides a list of problems classified as multi-objective problems in the routing domain. On the contrary, Pitakaso et al. (Pitakaso, Sethanan, & Srijaroon, 2019) applies a mathematical model, to solve for small-size problems, with the three sub-problems which tries to minimize the rental, and travelling cost instead of using multi-objective.

In this study, as in many publications, a solution to the employee service routing problem of a real-life company was found by using a single mathematical model by using multi-objective. Peker and Türsel Eliiyi (Peker & Eliiyi, 2022) state that most of the studies in the employee field have reached solutions to heuristic and metaheuristic methods. Although this rate has a share of almost 80%, they stated that the rate of those who reach a solution using only the exact method is 9%. This study is very important due to the fact that there are few articles in the field of employee service routing in the literature, and it is among the few publications in the literature due to the exact method to reach the solution. On the other hand, this article will make an important contribution to the literature since there is no publication that has reached a solution using Weighted-Preemptive Goal Programming (WPGP) in the field of employee service routing, with a bi-objective that takes care of both company interests and personnel satisfaction.

The rest of the paper is organized in 3 sections. In the following section, the explanation of the methodology followed is explained. Data collection steps and problem definition are clearly stated in here. The WPGP model, which is the solution approach of this problem, is also expressed in a detail. In Section 3, the computational result part is included. Here, the results obtained from the WPGP model are examined and their comparison with the real-life situation is presented. Finally, concluding remarks and future research ideas are given in Section 4.

2. Methodology

In this section, the solution method sought for the personnel service routing problem of a real-life company was explained. Real life data was used to solve this problem, and all these data such as the number of buses used, routes for the current situation, the home addresses of the personnel and the picked-up points of employees were obtained from the company. In Section 2.1, how these data are processed was given in detailed. In Section 2.2, the company's conditions, number of employees, current situation analysis and the definition of the problem were included. The multi-objective mathematical model designed to solve this problem was given in section 2.3. Since the two objectives in the objective function of mathematical model contradict each other, WPGP, a type of GP, was used in the model to provide a balance between them.

2.1. Data Collection

In the light of the information received from the company, the home addresses of 100 employees who use the service were marked on Google Maps and shown in the Figure 1. Home icons show the residence of the working personnel, and the factory icon shows the location of the factory.



Figure 1. Employee addresses on Google maps

The stops determined by the 3PL company were supplied from the company and they were marked with a drop icon on the map in Figure 2. Bus stops and coordinates of the employees' addresses were imported from Google Maps to excel format. First, it was necessary to calculate the elapsed time to go from one stop to the next. To do this, instead of marking the stops one by one and creating the matrix manually, a Bing API key was obtained, and code was written in Visual Basic for Applications (VBA) to measure the time between two stops. Afterwards, these measured times were recorded in a matrix in excel with another code written in VBA. The same procedures were applied to calculate walking times from the employees' home to the bus stops.

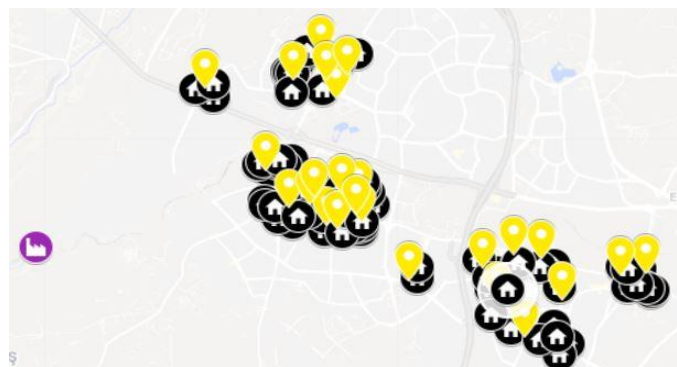


Figure 2. Bus stop points

While doing this travelling mode was only changed from driving mode to walking mode. In addition, the existing bus routes were obtained from the company. Routes for each bus passing through the current 25 stops are drawn on Google Maps and shown in Figure 3.

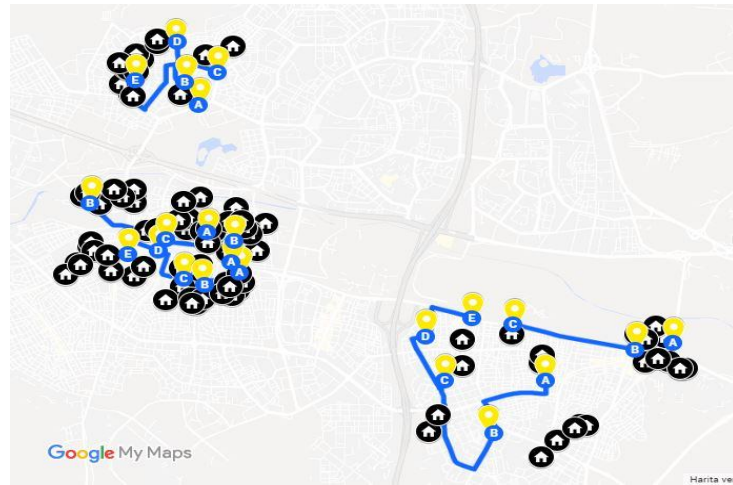


Figure 3. Bus routes of current situation

2.2. Problem Definition

In this study, a real-life application of the employee service routing optimization problem of a company operating in the electromechanical sector in Ankara is considered. The company employs 100 personnel in total. All pick-up and drop-off locations according to the regions where employees live heavily were accepted as fixed and the whole model was constructed in this direction. The company does not allow employees to walk to the bus stops for more than 20 minutes and requires that every employee using the service must be picked up. Under current conditions, company completes its route with 6 buses, each of which has a capacity of 19. Each bus starts the tour from the address where the shuttle driver lives, picks up the employees from the closest distance to their location, and completes the tour at the company (see in Figure 4).

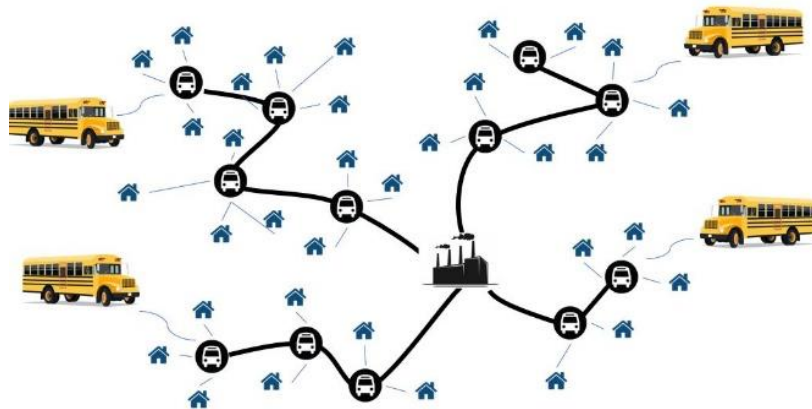


Figure 4. Visualized overview of the problem

It does not matter where the buses arrive at the first pick-up point. For buses, the route starts from a point where it picks up the first personnel. Considering the traffic conditions in these time intervals, the transportation times between the stops were calculated and the average of the time in the morning and evening was used. In addition, since the routes followed are considered to have symmetrical distances, buses follow the same route when bringing personnel to work and leaving them to home. Every employee must be picked up by only one service without any exception. Personnel should return to their homes in the evening with the service they were assigned in the morning. Services cannot receive employees of another company simultaneously. So, heterogenous service routing is not accepted. Services cannot take more passengers than their capacity.

In the literature, generally, one bus is assigned to each bus stop. In other words, if the bus is going to one stop, it has to pick up all the employees there. However, in this model, if the number of employee walking to one stop is more than the empty capacity of the bus, employees can be taken with another bus from the same stop. In other words, each bus can stop at the stops where other buses stop, if it only picks up the passengers assigned to it.

Considering all these aspects, it was desired to create a model that protects both company interests and employee satisfaction and the multi-objective model was used in the solution method. In following section WPGP model, which is used as a solution to the problem, was given in detail.

2.2. Weighted-Preemptive Goal Programming Model

Sets of the WPGP model can be defined as:

K : Set of buses ($k=1, \dots, |K|$)

L : Set of pickup locations (bus stops) ($i, j=0, \dots, |L|$)

N : Set of employees ($n=1, \dots, |N|$)

I : The set of stops that the employee can reach with less than the maximum walking time $I: \{i | a_{in} \leq Mxd\}$

Input Parameters of the model are as:

a_{in} : Walking time of employee n from home to bus stop i

t_{ij} : Time to go from location i to location j

Q_k : Capacity of bus k

Mxd : Maximum walking time of employees are allowed to walk

u : unit processing time

R : maximum allowed travelling time for a bus

F : maximum number of buses used

$W1$: the weight coefficient of minimizing travelling time of buses

$W2$: the weight coefficient of minimizing number of services

Decision Variables:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{if bus } k \text{ travels from location } i \text{ to } j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$z_{ink} = \begin{cases} 1, & \text{if employee } n \text{ picked up by bus } k \text{ at bus stop } i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{if bus } k \text{ visits location } i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_k = \begin{cases} 1, & \text{if bus } k \text{ is used} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

s_i and s_j : variables that define the number of points visited on a tour

$d1_k$: positive deviation in the target travelling time of a bus

$d2_k$: negative deviation in the target travelling time of a bus

$d3$: number of buses that excess from the target

$d4$: number of buses that below the target value.

$$\min (W1 \times \sum_{k \in K} d1_k) + (W2 \times d3) \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{L-1} \left(\sum_{j=1, j \neq i} (t_{ij} x_{ijk}) + x_{ijk} u \right) = R b_k + d1_k - d2_k \quad \forall k \in K \tag{2}$$

$$\sum_{k \in K} b_k = F + d3 - d4 \tag{3}$$

$$y_{0k} = b_k \quad \forall k \in K \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{L-1} x_{0jk} = b_k \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{L-1} x_{i0k} = b_k \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j \in L \setminus \{0, i\}} x_{ijk} = \sum_{j \in L, i \neq j} x_{jik} \quad \forall i \in L \setminus \{0, |L|\}, \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in L \setminus \{0, i\}} x_{ijk} = y_{ik} \quad \forall i \in L \setminus \{0, |L|\}, \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{j \in L \setminus \{0, i\}} x_{ijk} \leq b_k \quad \forall i \in L \setminus \{0, |L|\}, \forall k \in K \quad (9)$$

$$Z_{ink} \leq y_{ik} \quad \forall n \in N, \forall i \in L, \forall k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I_n} \sum_{k \in K} Z_{ink} = 1 \quad \forall n \in N \quad (11)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{i \in I_n} Z_{ink} \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad (12)$$

$$0 \leq s_i \leq |L| \quad \forall i \in L \quad (13)$$

$$s_i - s_j + |L| x_{ijk} \leq |L| - 1 \quad \forall i \in L, \forall j \in L \setminus \{0, i\}, k \in K \quad (14)$$

$$\left. \begin{array}{l} x_{ijk} \in \{0, 1\} \\ Z_{ink} \in \{0, 1\} \\ y_{ik} \in \{0, 1\} \\ b_k \in \{0, 1\} \\ s_i, s_j \geq 0 \\ d1_k, d2_k, d3, d4 \geq 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \forall i \in L \setminus \{j\}, \forall j \in L \setminus \{i\}, \forall k \in K \\ \forall i \in L \setminus \{j\}, \forall n \in N, \forall k \in K \\ \forall i \in L \setminus \{j\}, \forall k \in K \\ \forall k \in K \\ \forall i \in L, \forall j \in L \setminus \{0, i\} \\ \forall k \in K \end{array} \quad (15)$$

The first part of the objective function (1) is to minimize the deviation in the target travelling time of a bus and the second part of the objective function (1) aims to minimize the deviation from the target number of buses. The first part and the second part of the objective function (1) create contradictions with each other. Here, it is aimed to strike a balance between this contradiction by using WPGP. Constraint (2) refers to goal 1. Here, a target value has been set for the total travel time of the buses, and d1 and d2 hold the value of positive and negative deviation from this goal. Deviations from target value in the positive or negative direction are kept separately for each bus, and it is aimed to minimize only positive deviations in the objective function. If the employee is traveling below the target value, negative deviations are not included in the objective function as this is already expected. Constraint (3) refers to goal 2. In this constraint, a goal is set for the total number of buses used, and d3 and d4 hold the values of positive and negative deviations from this goal. With this goal, company interests are protected. As the number of buses used will increase as the travel time is desired to be reduced, each bus will incur additional costs for the company. For this reason, the second target was established in order to minimize the number of buses. Both Constraints (2) and Constraints (3) are soft constraints, which are called target constraints. The system constraints in the previous section must be met exactly. Goal constraints keep the amount of deviation between the best possible result and the set target. Constraint (4) tells that every bus must start from a starting point and must complete its tour in the company. Constraints (5) and (6) ensure that each bus goes from the starting point to a location other than the last stop and arrives at the final stop only from a location except for the starting stop. In other words, buses cannot go directly to the company without stopping at least 1 of the other stops from the starting location. Constraint (7) indicates the bus entering one of the points that is between the starting point and ending point, must leave the same stop. So, the bus must continue the tour. Constraint (8) indicates that if a bus visits a location, that bus has to continue the tour with next itinerary location. This condition is not valid, if the bus at the final destination. Constraint (9) states that if a bus is used that bus must travel from a location i to location j. Constraint (10) states that if a bus doesn't visit location i, employee n is not picked up at bus stop i by bus k. Constraint (11) ensures that all employees can be picked up by only one bus from a stop accessible. However, unlike the School Bus Routing Problem (SBRP) model, more than one bus can visit the same stop to pick up the employees. In other words, the model allows employees to be picked up from the same stop by different buses. The reason for creating this difference is to allow employees to walk to the station with the shortest possible walking time and to maintain employee satisfaction with this. In the SBRP model, since the number of employees taken from the station cannot be more than the bus capacity

and more than one bus cannot stop at the same stop, the model finds a solution by assigning the employees to other bus stops where they can walk. In the developed model, employee satisfaction was taken into account by allowing more than one bus to come to the same stop, instead of allowing employees to be picked up from different stops by walking more. Constraint (12) indicates that the total number of employees taken by each bus from the stops cannot exceed the capacity of that bus. Constraints (13) and (14) are sub-tour elimination constraints. Constraint (15) are sign restrictions.

3. Computational Results

All the programs have been run on a Windows machine equipped with CPU Intel Core i5 at 2.60 GHz and 8 GB of installed RAM. WPGP model was coded with the run time limit of 12 hours into the commercial solver IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 20.1.0. Then, this model had been solved by the CPLEX solver. In the current situation, it is seen that company provides the transportation of a total of 100 employees by using a total of 25 stops. According to the route information received from the company, buses completed the routes with total of 193 minutes travel time with 25 stops (see in Figure 5).

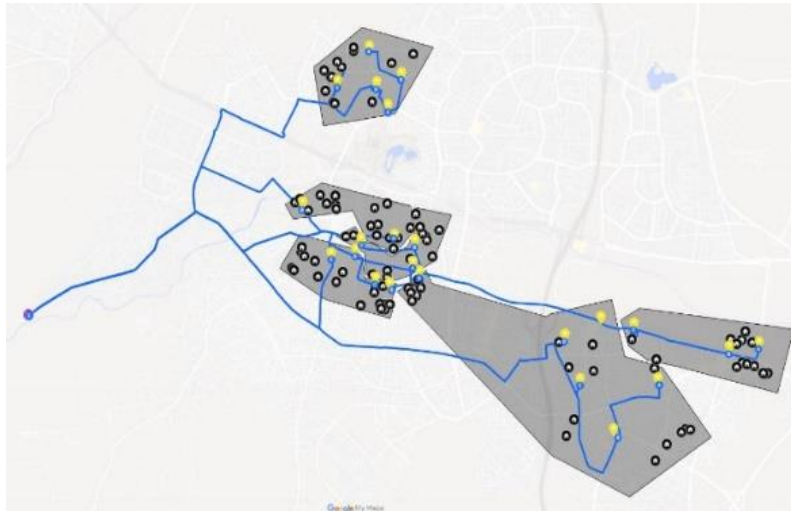


Figure 5. The map of current situation showing routes, stops and addresses.

Using same data in the WPGP model, which is a proposed solution, it has been obtained with 13 stops, a time of 164 minutes, a gain so that no employee is left out (see in Table 1). According to these data, it has been clearly seen that an improvement of 47,47% was achieved in the total travelling time.

Table 1. Comparison of current situation vs. proposed solution

	<i>Total travelling time (min)</i>	<i>Vehicle Population</i>	<i>Total Used Different Stops</i>	<i>Total processing time of buses (min)</i>
Current Situation	193	6	25	48
GP Solution (W1=10000 W2=1)	164	6	13	26

Under the conditions (goal1: 30 min traveling time and goal2: 6 buses), no matter what weight value and order of importance is given to the total travel time and the number of buses, the GP model finds the number for buses as 6. The main variable here is the total traveling time. For example, in the case where traveling time weighting is given as 10000 and number of buses is one, if objective function overestimates travelling time, it will add its value multiple by 10000. For that reason, the model tries to minimize travelling time first and then minimizes the number of buses. Considering that the number of buses has not changed, since the excess weight value is given to the travelling time, the optimal value whose travelling time closest is expected to be taken from here. However, in this scenario, since a weighting is also applied for the number of buses which must be increased in order to reduce the time spent by the personnel in the shuttles. The model obtained an optimum solution with 164 minutes by considering both weightings.

According to the results of the proposed solution, it was observed that a total of 38 employees had a better walking time compared to the current situation, while 21 employees walked more than the current situation, and 41 personnel did not have any change (see in Figure 6).

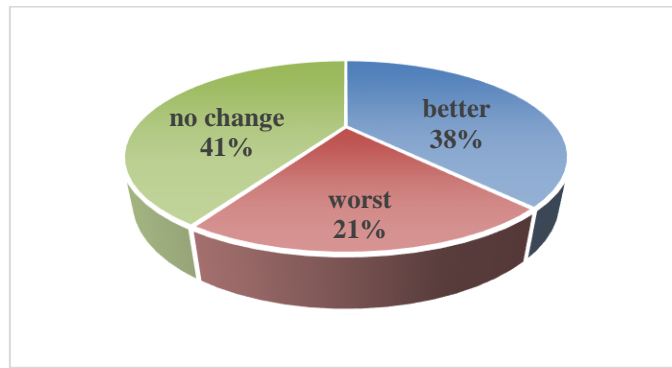


Figure 6. Comparison of employee walking time in WPGP model vs. current situation

Computational experiments were conducted to see if the model could be used in other fields and with different datasets. To conduct the computational experiments, benchmark data sets were generated. Since it is crucial to validate the model, random numbers that are close to reality were generated. First, the model was solved by changing the target value R to verify whether the targets reflect the truth, and whether the WPGP model works logically. Next, the number of locations was changed to 15, 8 different data sets were prepared for 25 different employees, and the models were run with these data. In order to make the first analysis, target data sets were created and the deviation amounts from this target were kept as a decision variable. The positive values were included in the objective function. In this data set, only the target value R was changed without altering the time matrix and the location information of 25 randomly generated employees. Accordingly, it has been observed that when the R value was reduced from 40 to 35, that is, when the target set arrows, the amount of deviation decreased as expected. The results obtained were shown in Table 2 below, which validate the WPGP model.

Table 2. Weighted-preemptive goal modeling according to different targets

	Weights	R=40 F=2	R=37 F=2	R=36 F=2	R=35 F=2
W1, W2	1, 1	90	109	89	88
# of bus	-	3	3	3	3
W1, W2	10000, 1	101	90	87	83
# of bus	-	3	3	3	3
W1, W2	1, 10000	90	90	88	88
# of bus		2	2	2	2

The last random data set was generated for 15 locations and 25 employees who reside in different places. Here, by changing the number and the location of the bus stops, it was tested whether the models work for 8 different address sets created for 25 employees. The same R and F values were used in this comparison. Accordingly, R value was set as 40 and F was set as 2. The results were shown in the below Table 3. With these randomly generated data sets, the results obtained from the WPGP model were found to be consistent compared to the results obtained from real-life data. While the whole table gives similar and logical results, the objective function value of the model operated with the 1st set of data gives 2 times the results of the others. Since the number of stops used in the 1st data set was higher than the other data sets, the process time was added to the objective function value for each stop visited by the buses, depending on the number of stops. This result also illustrates that the model gives correct, logical and stable results with different data sets.

Table 3. Result for 8 different random employee sets

	Employee data sets								
	Weights	1	2	3	4	5	6	7	8
W1, W2	1, 1	102	67	60	68	56	67	67	64
W1, W2	10000, 1	103	67	60	67	56	67	67	49
W1, W2	1, 10000	92	67	60	80	56	67	67	64
# of bus	-	3	2	2	3	2	2	2	2
Total Used Different Stops	-	6	4	3	4	2	4	4	3

Within the scope of this study, a vehicle routing problem, which minimizes the total traveling time and the number of buses used by the personnel on the way to work, was considered. Since these two goals created a conflict with each other, a solution was sought by establishing a GP model. The goals were determined for these two conflicting objectives.

For the application of the study, home addresses of the employees from an electromechanical company in Ankara, route and vehicle information were collected. According to the data, the company provided 6 vehicles, which has a capacity of 19 for this work, and it served the total number of 100 employees at 25 different stops. The result obtained from GP model was run with real-life data and the obtained results were compared with current solution. With the weighted prioritization given, both the company's interests were protected, and the satisfaction of the personnel was considered. It can be said that our method is reliable in terms of applicability and usability, since WPGP model work with both real-life data and randomly generated data sets for employees and gives reasonable results.

It can be seen from these results and comparisons, WPGP model can be used up to 200 employees and 25 locations with real life data. However, when these numbers are increased, the model run time also increases. With the given run time limit of 12-hours, the model comfortably can solve up to 200 employees and 25 locations. For larger instances of the problem, it would be more logical to either use a different solver and code structure, or tend to heuristic models and different solutions instead of exact methods.

In multi-capacity VRP, drawing routes and obtaining the optimal solution with large data sets require large processing times. It is also very difficult to reach optimal results with exact solutions methods due to the amount of data. For this reason, it may be practical to obtain good solutions in shorter times by grouping the data via a clustering algorithm. With this algorithm, small groups of employees can be routed independently, and high-quality solutions can be obtained easily. As a future study, the data can be clustered, and a solution method can be obtained using the developed WPGP model for larger instances of the problem.

As the traditional VRP is symmetrical, the distance from X location to Y location is equal to going from Y location to X location. However, this may not always be the case. In future studies, the best routes can be studied under asymmetrical distances due to road conditions and one-way streets.

References

- Baldacci, R., Maniezzo, V., & Mingozzi, A. (2004). An exact method for the car pooling problem based on lagrangean column generation. *Operations Research*, 52(3), 422–439. <http://doi.org/10.1287/opre.1030.0106>.
- Boffey, B., García, F. R. F., Laporte, G., Mesa, J. A., & Pelegrín, B. P. (1995). Multiobjective routing problems. *Top*, 3(2), 167–220. <http://doi.org/10.1007/BF02568585>.
- Calvete, H. I., Galé, C., Oliveros, M. J., & Sánchez-Valverde, B. (2007). A goal programming approach to vehicle routing problems with soft time windows. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1720–1733. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.10.010>.
- Charnes, A., & Cooper, W. W. (1977). Goal programming and multiple objective optimizations: Part 1. *European Journal of Operational Research*, 1(1), 39–54. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(77\)81007-2](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(77)81007-2).
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Ferguson, R. O. (1955). Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming. *Management Science*, 1(2), 138–151. <http://doi.org/10.1287/mnsc.1.2.138>.
- Chitty, D. M., & Hernandez, M. L. (2004). A hybrid ant colony optimisation technique for dynamic vehicle routing. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 3102, 48–59. http://doi.org/10.1007/978-3-540-24854-5_5.
- Ghoseiri, K., & Ghannadpour, S. F. (2010). Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 10(4), 1096–1107. <http://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.04.001>.
- Giannikos, I. (1998). A multiobjective programming model for locating treatment sites and routing hazardous wastes. *European Journal of Operational Research*, 104(2), 333–342. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00188-4](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00188-4).

- Hashi, E. K., Hasan, M. R., & Zaman, M. S. U. (2015). A heuristic solution of the vehicle routing problem to optimize the office bus routing and scheduling using Clarke&Wright's savings algorithm. In 1st International Conference on Computer and Information Engineering, ICCIE 2015 (pp. 13–16). <http://doi.org/10.1109/CCIE.2015.7399306>.
- Ignizio, J. P. (1976). Goal programming and extensions. Lexington Books.
- Jozefowicz, N., Semet, F., & Talbi, E. G. (2002). Parallel and hybrid models for multi-objective optimization: Application to the vehicle routing problem. In Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) (Vol. 2439, pp. 271–280). http://doi.org/10.1007/3-540-45712-7_26.
- Lee, S. M., & Clayton, E. R. (1972). a Goal Programming Model for Academic Resource Allocation. Management Science. <http://doi.org/10.1287/mnsc.18.8.b395>.
- Leksakul, K., Smutkupt, U., Jintawiwat, R., & Phongmoo, S. (2017). Heuristic approach for solving employee bus routes in a large-scale industrial factory. Advanced Engineering Informatics, 32, 176–187. <http://doi.org/10.1016/j.aei.2017.02.006>.
- Park, Y. B., & Koelling, C. P. (1986). A solution of vehicle routing problems in a multiple objective environment. Engineering Costs and Production Economics, 10(1), 121–132. [http://doi.org/10.1016/0167-188X\(86\)90033-9](http://doi.org/10.1016/0167-188X(86)90033-9).
- Peker, G., & Eliiyi, D. T. (2022). Shuttle bus service routing: A systematic literature review. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(1), 160–172.
- Perugia, A., Moccia, L., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2011). Designing a home-to-work bus service in a metropolitan area. Transportation Research Part B: Methodological, 45(10), 1710–1726. <http://doi.org/10.1016/j.trb.2011.05.025>.
- Pitakaso, R., Sethanan, K., & Srijaroon, N. (2019). Modified differential evolution algorithms for multi-vehicle allocation and route optimization for employee transportation. Engineering Optimization, 52(7), 1225–1243. <http://doi.org/10.1080/0305215X.2019.1640691>.
- Purba, A. P., Siswanto, N., & Rusdiansyah, A. (2020). Routing and scheduling employee transportation using tabu search. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2217). <http://doi.org/10.1063/5.0000766>.
- Sa'Adah, S., Ross, P., & Paechter, B. (2004). Improving vehicle routing using a customer waiting time colony. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 3004, 188–198. http://doi.org/10.1007/978-3-540-24652-7_19.
- Tan, K. C., Chew, Y. H., & Lee, L. H. (2006). A hybrid multiobjective evolutionary algorithm for solving vehicle routing problem with time windows. Computational Optimization and Applications, 34(1), 115–151. <http://doi.org/10.1007/s10589-005-3070-3>.
- Wanigasooriya, J., & G I Fernando, T. (2013). Multi-Vehicle Passenger Allocation and Route Optimization for Employee Transportation using Genetic Algorithms. International Journal of Computer Applications, 64(20), 1–9. <http://doi.org/10.5120/10747-5712>.
- Wolfler Calvo, R., de Luigi, F., Haastrup, P., & Maniezzo, V. (2004). A distributed geographic information system for the daily car pooling problem. Computers and Operations Research, 31(13), 2263–2278. [http://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00186-2](http://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00186-2).
- Yalçındağ, S. (2020). Employee shuttle bus routing problem. Mugla Journal of Science and Technology. <http://doi.org/10.22531/muglajsci.691517>.



Bor Madeni ve Endüstriyel Uygulamaları

Ayşe İrem Zengin¹, Berra Aka¹, Selin Gençay¹, Muhammet Uzun^{1,2*}

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4196-6875, 0000-0002-4776-0846, 0000-0003-1739-9209), iremzengin888@gmail.com, berra.aka@hotmail.com, gencayselin25@gmail.com

^{2*} Marmara Üniversitesi, Nanoteknoloji ve Biyomalzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8669-7686), m.uzun@marmara.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 11 Aralık 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.919451)

ATIF/REFERENCE: Zengin, A.İ., Aka, B., Gençay, S., Uzun, M. (2023). Bor Madeni ve Endüstriyel Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 161-178.

Öz

Doğada elementel olarak bulunmayan bor, yer kabuğunda ise yaygın olarak bulunur ve periyodik tablonun 5. elementidir. Yaklaşık 230 farklı bor mineralinin bulunduğu bilinmektedir. Bununla birlikte farklı uygulamalarda bu çeşitlilik oldukça önemlidir. Türkiye, dünyadaki bor rezervlerinin en büyüğüne sahiptir. Buna ek olarak, Türkiye'nin bor rezervleri, diğer bor üreten ülkelere göre daha ekonomik, yüksek kalite ve üretim koşullarına sahiptir bu nedenle, bor ülkemiz için büyük önem taşır. Türkiye'nin bu kaynaklarla ulusal ekonomiye katkıda bulunabilmesi için yeni kullanım alanlarına ve endüstrilerin oluşturulmasına yönelik önemli bir talep vardır. Türkiye'deki bor rezervleri göz önüne alındığında, borun çevre dostu bir malzeme olarak kullanılması ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmalarına endüstrinin her alanında ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı sektörlerde de bor ile yapılan uygulamaların geliştirilmesi oldukça önemlidir. Türkiye'de bu amaçla BOREN (Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü) kurulmuştur ve başta bu kuruluş olmak üzere dünya genelinde farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu makale borun farklı disiplinlerde kullanımları ve bunları temel alarak hangi yeni uygulama alanlarında kullanılabilme potansiyeli içerdiği araştırılmıştır/özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bor, Bor lifi, Kompozit, Bor minarelleri, Bor bileşikleri.

Boron and Industrial Applications

Abstract

Boron is the fifth element in the periodic table and is not found elementally in nature. It is widely prevalent in the earth's crust. There are around 230 distinct boron minerals known, and this diversity is useful in various applications. Turkey possesses the world's greatest boron reserves. Furthermore, Turkey's boron reserves are more cost-effective, higher quality, and produced under better conditions than those of other boron producing countries, thus boron is very essential to us. There is a strong demand for new areas of use and the formation of industries in order for Turkey to contribute to the national economy using these resources. Given Turkey's current boron reserves, all divisions of industry recognize the necessity for more research and development on the use of boron as an environmentally benign element. BOREN (National Boron Research Institute) was formed in Turkey for this aim, and different studies have been conducted around the world, particularly by this organization. This article aims at the use of boron in different disciplines and the creation of new areas of application based on them. It is important to develop boron applications in different sectors

Keywords: Boron, Boron fiber, Composite, Boron minerals, Boron compounds.

* Sorumlu Yazar: m.uzun@marmara.edu.tr

1. Giriş

Toprakta, kayalarda ve suda yaygın olarak bulunan bor mineralleri, doğal haliyle toprakta ortalama 10-20 ppm'de, deniz suyunda 0,5-9,6 ppm'de ve tatlı suda 0,01-1,5 ppm'de bulunur. Bor elementi doğada kristal su içeren sodyum, kalsiyum ve magnezyum oksitlerine bağlı mineraller olarak bulunur [1].

Bor lifleri 1959'da keşfedilmiştir ve daha sonra 1960'larda ilk gerçek yüksek performanslı liflere dönüştürülmüştür. O zamana kadar, cam elyafı sürekli uzunluklarda mevcut olan tek yüksek mukavemetli elyafıdır ve sahip olduğu düşük cam modülü, yüksek performanslı yapılarda kullanımını ciddi şekilde kısıtlamıştır [2].

Bor kompozit yapıları birçok önemli hava aracında başarıyla kullanılmıştır. 1970'lerde F-14'te yatay dengeleyicilerin dış görünümünde, yatay F-15'te dikey dengeleyicilerinde ve dümenlerinde kullanılmıştır [2].

Yukarıda da bahsedildiği üzere bor uzay teknolojisinde kullanılabildiği gibi deterjan sektöründen tarım sektörüne kadar yüzlerce farklı alanda kullanım alanına sahip bir element olup özellikle Türkiye için de kullanımı doğru yapılırsa stratejik anlamda oldukça önemlidir.

2. Borun Tarihçesi

Bor ve bileşikleri uzun zamandır bilinmekte ve kullanılmaktadır. Babil'in 4000 yıl önce altın endüstrisi için Uzak Doğu'dan bor ithal ettiği ve boraksın Eski Mısır'da mumyalama, işleme ve metalurjik uygulamalar için kullanıldığı düşünülmektedir [1].

Boraksın 8.yüzyılda Mekke ve Medine çevresinde kullanıldığı ve mineralin Arap tüccarlar tarafından getirildiği bilinmektedir ve Arapların 875 yılında bor tuzlarından ilaç ürettiği bulgularına rastlanmıştır. Boraks için en eski kaynağın Tibet gölleri olduğuna ve boraksın Hindistan'a taşındığına inanılmaktadır. Koyunlu Himalayalar ve cevherin 13.yüzyılda Marco Polo tarafından Tibet'ten Avrupa'ya getirildiği düşünülüyordu. Sassolite'nin (H_3BO_3) 1771'de İtalya'nın Toskana bölgesinin gayzerlerinde bulunduğu anlaşılmıştır. İlk borik asit üretimi 1830'da İtalya'da başlamıştır ve endüstriyel anlamda boraks madenciliğinin ilk örneği 1852'de Şili'de görülmüştür. 1864'te Kaliforniya'da ve Nevada'da, Patiska Dağlarında ve Kramer'de birikintilerin keşfinden sonra ABD, dünyanın bor ihtiyaçlarını karşılayan ana ülke olmuştur. Potasyum ile reaksiyona borik asit (H_3BO_3) koyarak elemental bor izolasyonu on dokuzuncu yüzyılın başlarında Fransız bilim adamları Joseph Louis Gay-Lussac ve Louis Jacques Thenard ve aynı zamanda İngiliz bilim adamı Sir Humphrey Davy tarafından samedate etrafında elde edilmiştir. Bugün, bor genellikle boraks ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) karbon ile ısıtılarak elde edilir [1].

3. Borun Türkiye'deki Durumu

Dünyanın bilinen bor rezervlerinin %72'sine sahip olan Türkiye'nin bilinen bor yatakları, özellikle Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya bölgelerinde bulunmaktadır [3].



Şekil 1. Türkiye Bor Madeni Yatakları Haritası [4] (Figure 1. Map of Boron Mineral Deposits in Turkey)

Bor elementi 8B, 10B, 11B, 12B, 13B izotoplarından meydana gelmektedir. Bunların içindeki en kararlı izotopları 10B ve 11B'dir. Tabiatta bulunma oranları ise sırasıyla %19,1-20,3 ve %79,7-80,9'dur. En yüksek termal nötron tutma özelliğine sahip olan 10B izotopu, nükleer malzemeler ve nükleer enerji santrallerinde kullanılabilmektedir. Türkiye'de de 10B izotop oranı yüksek olan bor rezervleri bulunmaktadır. Türkiye dışındaki bor rezervlerinin ömrünün sadece 50 yıl süreceği bilinmektedir. Öte yandan Türkiye, 450-500 yıl boyunca tüm dünyanın taleplerini karşılayabilecek bor rezervlerine sahiptir. Bu rezervler ve bu rezervlerin tüketimlerdeki artışlar göz önüne alındığında, Türkiye'nin bor rezervlerinin 50- 80 yıl içinde dünyadaki tek bor kaynağı haline gelmesi muhtemeldir. Türkiye'de bor rezervlerinin 1978 yılında yaklaşık 600 milyon ton olduğu düşünülürken, son araştırmalar sonucunda Türkiye'nin yaklaşık 3 milyar ton bor rezervine sahip olduğu tespit edilmiştir [1].

Tablo 1. Dünyadaki Bor Rezervlerinin Oranları [1] (Table 1. Ratios of Boron Reserves in the World)

ÜLKE	TOPLAM REZERV (Bin ton B ₂ O ₃)	TOPLAM REZERV (% B ₂ O ₃)
Türkiye	953.300	72,8
Rusya	100.000	7,6
A.B.D.	80.000	6,1
Çin	47.000	3,6
Şili	41.000	3,1
Sırbistan	24.000	1,8
Peru	22.000	1,7
Bolivya	19.000	1,5
Kazakistan	15.000	1,1
Arjantin	9.000	0,7
TOPLAM	1.310.300	100,0

4. Borun Kullanım Alanları

Bor minerallerinin en sık kullanıldığı alan (%52) cam endüstrisidir. Borik oksit; borosilikat cam, tekstil cam elyafı ve izolasyon tipi cam elyafın önemli bir bileşenidir. Antiseptik, su yumuşatma ve ağartma etkileri nedeniyle sabun ve deterjanlara bor mineralleri eklenir [1].

Boratlar, ahşap, selülozik yalıtım, PVC ve tekstil gibi çeşitli malzemelerde alev geciktirici olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bor, yanma malzemesinin yüzeyini oksijenle temasını bozacak şekilde kaplayarak yanmayı bastırır. Sebzelerin beslenmesi ve fizyolojisi üzerine yapılan çalışmalar, borun sebzelerin büyüme hızını ve kalitesini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Bunun dışında kimyasal yapılarında da herhangi bir bozulma gözlenmemesi boru bu alanda tercih edilen bir malzeme olarak ön plana çıkarmaktadır. Bor, meyve ağaçları için çiçeklenme, meyve verimi ve meyve kalitesi açısından vazgeçilmez bir mikrobeseindir. Son çalışmalarda, yapraklara bor püskürtmenin bazı meyve ağaçlarında meyve verimini artırdığı görülmektedir [1].

Bor içerikli kompozitler, bor lifleri ile güçlendirilmiş polimer reçinelerden oluşur ancak bor liflerinin yüksek maliyetleri kullanım alanlarını sınırlar. Üretilen, ticari olarak kullanılan ve hidrojenin iyi bir taşıyıcı ve depolama aracı olarak bilinen en önemli borohidrit olan sodyum borohidrit, şu anda kâğıt stoğunun ağartılması, tekstil atıklarının azaltılması ve atık suların ağır metallere uzaklaştırılması olmak üzere birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır.

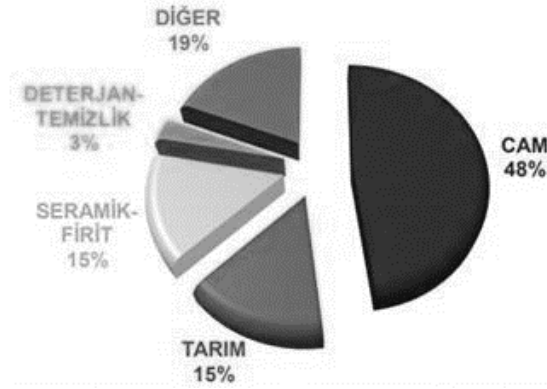
Bor, yüksek tutuşma sıcaklığı (510-525°C) gibi üstün bir özelliğe sahiptir. Borun alev geciktirici etkisi pek çok çalışmaya konu olmuştur. Çinko borat, borik asit ve floroborat en çok kullanılan alev geciktirici bor bileşikleridir. Bor bileşikleri alev geciktirici olarak kullanıldıklarında çevre dostu özelliklere sahiptir. Toksik gaz salınımına neden olmazlar ve düşük uçuculuk değerine sahiptirler. Bor esaslı alev geciktiriciler, polimer zincir oksidasyonu için bariyer görevi gören bir cam koruma tabakasının oluşumuna neden olur. Yanan malzemeyi kaplarlar, oksijenle temasını keserler ve yanmayı da bastırırlar. Bor bileşiklerinin tekstilde alev geciktirici olarak kullanılması gün geçtikçe artmaktadır [3].

Günümüzde artan sanayileşme, toplu yerleşim alanları ve gelişen teknoloji yangın risklerini artırır ve bu da alev koruyucu tekstillerin kullanılmasına sebep olur. Bu nedenle, alev geciktirici tekstil kumaşlarına olan talepler artmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda, bor bileşiklerinin kumaşın alev geciktirici kalitesini artırdığı ve boraksın en etkili sonucu sağladığı sonucuna varılmıştır. Selülozik kumaşlara azot ile birlikte bor bileşiklerinin uygulandığı çalışmalarda alev geciktiriciliğin kalitesinin oldukça etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Başka bir çalışmada, propilen kompozitlere ve epoksi bazlı kompozitlere yangın geciktirici özellikler vermek amacıyla farklı bor bileşikleri kullanılmış ve etkileri araştırılmıştır.

Polimerler [polistiren, poli (vinil alkol) epoksi (Etilen-Ko-vinil alkol)] bor içeren reaktif gruplarla modifiye edilmiş ve bunun sonucunda yangın geciktirme özelliklerinin iyileştirildiği ve LOI indeks değerlerinin arttığı görülmüştür [3].

Bazı çalışmalarda bor bileşiklerinin antibakteriyel özellikleri kullanılmıştır. Bu amaçla pamuklu kumaşlara sodyum pentaborat pentahidrat ve triklosan solüsyonu uygulanmıştır. Tekstillerin antimikrobiyal aktivitesi, bakteriler, mantarlar ve küfler de dahil olmak üzere çeşitli mikroorganizmalara karşı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, modifiye tekstil ürünleri çok daha iyi antimikrobiyal ve antiviral özelliklere sahiptir. Bu nedenle, sodyum pentaborat pentahidrat ve triklosan çözeltisi ile işlenen tekstillerin antimikrobiyal ve antiviral tekstil yüzeylerinin geliştirilmesinde dikkate alınabileceği önerilmiştir [2].

Tekstil endüstrisinde atık suyun yeniden kullanımı için bisülfid katalizörlü sodyum borohidrit ile indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Sodyum borohidrit ile indirgeme işleminin, suyun yeniden kullanılması için gerekli kriterleri yeterince karşılamamasına rağmen, rengin giderilmesinde başarılı olduğu bildirilmiştir.



Şekil 2. Bor Tüketiminin Nihai Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı (2019) [5] (Figure 2. Distribution of Boron Consumption by Usege Areas)

Çevre dostu özellikleri ve bu konudaki çalışmaları nedeniyle, çevreye zararlı çeşitli maddelerin yerine bor bileşiklerinin kullanıldığı ve bu konuda yapılan çalışmaların giderek daha fazla önem ve destek kazandığı bilinmektedir. Bor bileşikleri sadece çevre dostu değil, aynı zamanda tekstil endüstrisinde kullanımını destekleyecek indirgeme, ağartma, alev geciktirici ve antibakteriyellik gibi önemli özelliklere de sahiptir. Borun bu özelliklerinden yararlanmak için bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Tekstil sektörü Türkiye'nin önde gelen sektörlerinden biridir. Bor bileşiklerinin, özellikle tekstil terbiye işlemlerinde sürece dahil edilmesi, sadece Türkiye'de değil, tüm dünyada da bor kullanımını artıracaktır. Türkiye'deki büyük bor rezervleri göz önüne alındığında, bor bileşiklerinin tercihi, artan çevre bilincinin yanı sıra ülke ekonomisine de katkıda bulunacaktır.

4.1. Bor Lifi

Tek filamentli reaktörlerde kimyasal buhar biriktirme (CVD) ile üretilen bor elyafı, yüksek mukavemetli, yüksek modüllü ve geniş çaplı benzersiz bir kombinasyon sergiler. Elemental bor, ince bir tungsten tel substrat üzerine biriktirilir ve 4,0-mil (102-mikron) ile 5,6-mil (142-mikron) çaplarında üretilir. Elde edilen lif esas olarak tamamen borid-tungsten çekirdekli amorf bordur.

Dokulu yüzey, reçine matrisli kompozitlerde mükemmel bir arayüz sağlar ve boyutlandırma işlemlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır [6].

Yoğun bir tungsten borid çekirdeğinin varlığı nedeniyle bor liflerinin çapı, lif yoğunluğunu en aza indirmek ve lifin özelliklerinin çekirdeğin özelliklerinden büyük ölçüde etkilenmemesini sağlamak için karbon liflerinden önemli ölçüde daha büyüktür. Lifler şu anda 100 ve 140-1 x m çaplarında üretilmektedir ve bu nedenle bor lifleri çok yüksek bir bükülme sertliğine sahiptir [2].

İlk olarak 1960 yılında yapısal uygulama için bildirilen bor lifleri veya yaygın olarak bilinen bor filamentleri, yüksek mukavemetli ve yüksek modüllü inorganik malzemelerden biridir [7].

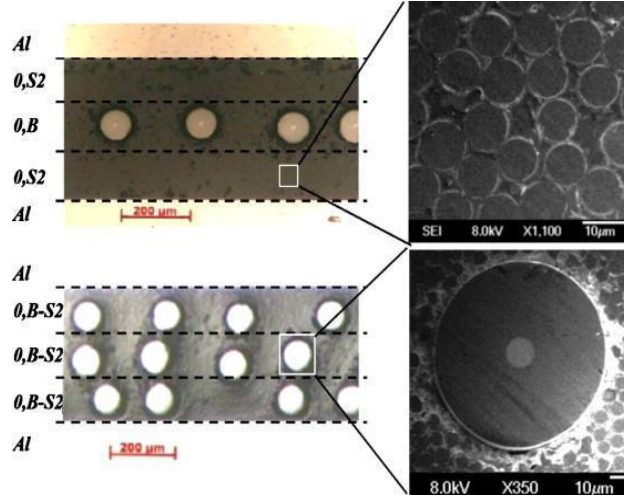
Bor liflerinin sahip olduğu büyük çapı, bu liflerin cam, kevlar ve karbon liflerinin yapabileceği gibi bir kumaşı örmenin neredeyse imkânsız olduğu anlamına gelir.

Bununla birlikte, kuru tek yönlü bir preform oluşturmak için paralel bor liflerini bir polyester atkı ipliği ile tutmak mümkündür [2].

102 mikron ve 142 mikron ("Bor") nispeten büyük çapları gösterir. Özellikle yüksek mukavemet, yüksek modül ve düşük yoğunluğun eşsiz kombinasyonu nedeniyle farklı kompozit malzemelerin bileşeni olarak kullanılan havacılık uygulamalarında yeni malzemeleri keşfetmek için geliştirilmiştir [7].

Bor filamentleri lazer destekli kimyasal buhar biriktirme (CVD) tekniği kullanılarak üretilir, bu nedenle grafitten daha pahalıdır. Amorf bor lifleri ve kristal bor yayları gibi karmaşık üç boyutlu sarmal yapılar, lazer ışını ile hassas bir şekilde kontrol edilerek elde edilebilir ve en küçük yapılaraya sahip bir mikro konumlandırma sistemi yaklaşık 1 µm'dir.

1959'da Texaco'daki işçiler ilk olarak kimyasal buhar biriktirme yoluyla sürekli yüksek mukavemetli ve yüksek modüllü bir elyaf yapma eğilimi göstermişlerdir. Çok çeşitli havacılık uygulamalarına ek olarak, golf sopası mili, seramik takviye vb. gibi spor malzemeleri uygulamaları şeklinde bor için farklı özel uygulama alanları bulunabilir. Bor lifinin eşsiz bir özelliği, kaba mısır koçanı yapısıdır. Lif ve reçine arasındaki mekanik kavramayı artırır [8].



Şekil 3. Bor Lifinin Mikroskop Altındaki Görüntüsü [9] (Figure 3. The View of Boron Fiber Under the Microscope)

4.2. Bor Lifinin Üretimi

Kimyasal buhar biriktirme ile bor elyafı üretimi bir borosilikat cam reaktörde gerçekleşir. 0.0005 inç (12 μm) çaplı bir tungsten substrat, cıva sızdırmaz bir gaz girişinden sokulur ve reaktörden çekilir. Substrat, bir DC güç kaynağı ile 1300°C'ye dirençli bir şekilde ısıtılırken, reaktörün tepesine bor triklorür ve hidrojen enjekte edilir. Tungsten, reaktörden geçerken bor triklorürün hidrojen indirgemesi ile substrat üzerinde bor oluşur. Kullanılmayan bor triklorür, Hidrojen klorür yan ürünü ve reaksiyona girmemiş hidrojen gazları, reaktörün altındaki bir çıkış portundan boşaltılır. Bu gazlar daha sonra gelecekteki üretim kullanımı için temizlenir veya geri dönüştürülür. Tipik olarak 0.004 inç (100 μm) çapında olan bor filamenti, reaktörden çıkarken başka bir cıva contasından geçer ve bir alma makarasına sarılır. Dahili optik tarayıcılar, çekmeden önce fiber çapını izler ve çapın istenen spesifikasyona uygun olduğundan emin olmak için geri besleme döngüsü tarafından gerektiğinde hızı arttırmak veya yavaşlatmak için ayarlamalar yapılır [8].

Bor elyafı, bor buharlarının ince (yaklaşık 12 μm çaplı) tungstenor karbon tel (çekirdek) veya karbon filament üzerine biriktirildiği kimyasal bir buhar biriktirme işlemi ile yapılır.[10] Sonuç olarak, bor lifleri nispeten büyük bir çapa sahiptir-100200 μm-. Son derece kırılabilir ve yüzey hasarına karşı hassastır. Esas olarak metal matris kompozitlerinde kullanılan bor lifleri, işleme için gerekli olan sıcaklıkta (500 °C'nin üzerinde) alüminyum veya titanyum matrislerle temas ettiğinde ayrışır. Bu bozulmayı önlemek için, lif yüzeyini yaklaşık 5 μm kalınlığında silisyum karbür, SiC (bu tür lifler Borsik olarak adlandırılır) veya bor karbür, B4C ile kaplamak için kimyasal buhar birikimi kullanılır.

Bor lifleri çelikten beş kat daha güçlü ve iki kat daha serttir. Bor, mukavemet, sertlik ve hafiflik sağlar ve mükemmel sıkıştırma özelliklerine ve burkulma direncine sahiptir [10].

4.3. Bor ve Tekstil Sektörü

Pamuklu kumaş, çeşitli özellikleri nedeniyle birçok uygulamada büyük ölçüde tekstil malzemesi olarak kullanılmaktadır [11]. Bununla birlikte, hidrofilik yapıya sahip olması ve doğal yanıcılık davranışları sebebiyle, geniş bir uygulama alanında son kullanımlarını kısıtlar ve sınırlar [12]. Özellikle alev geciktirici ve su geçirmez özellikler talep edenler [13] örneğin ev, otomotiv, ofis, koruyucu giysiler vb. iyi bir alev geciktirici (FR) ve su itici pamuklu kumaşın gerekli olduğu yerlerde tercih edilmektedir. Pamuklu kumaşın alev geciktirici ve hidrofobik özelliklerini iyileştirmek için çok katmanlı kaplama/çöktürme [14], kimyasal aşılama [15], plazma [16] ve sol-jel yöntemi [17] gibi birçok teknik kullanılmıştır.

Bu yöntemler kumaşın alev geciktirici ve termal stabilite [18], hidrofobik/oleofobik [19], antibakteriyellik [20], UV engelleme ve antistatiklik gibi özelliklerinin yanı sıra mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde de kullanılır [21, 22]. Son yıllarda, sol-jel yöntemi kullanılarak FR ve su itici tekstil terbiye işlemleri önem kazanmıştır [23, 24]. Ayrıca, halojen içeren (klorür, bromür), azot içeren (melamin, üre), bor ve fosfor bileşikleri gibi sol-jel yöntemi ile pamuklu kumaş terbiye için tek tek veya kombine edilerek uygulanan birçok FR ajanı vardır [25, 26]. Günümüzde çevre dostu, ekolojik, toksik olmayan ve formaldehit içermeyen alev geciktiriciler çevre için kesinlikle gereklidir. Son zamanlarda, bor bileşikleri, ekolojik yararları nedeniyle tekstil alanında FR olarak büyük önem kazanmıştır [27]. Buna ek olarak, literatürde bor bazlı malzemelerin özellikle FR olarak borik asidin uygulanmasının diğer FR ürünlerine kıyasla mekanik özellikler üzerinde koruma verimliliği, nötr pH ve daha düşük etki sağladığı belgelenmiştir [28].

Daha önceki bazı çalışmalarda tekstil kumaşının fonksiyonel bir katkı maddesi olarak bor bazlı öncüler kullanılarak sol-jel yöntemi ile işlenmesinin gelişmiş bir antimikrobiyal özellik ve fotokatalitik aktivitenin [29] yanı sıra alev geciktirici ve termal stabilite de sağlayabileceği ortaya çıkmıştır. Bora dayalı transkranyal manyetik stimülasyon (TMS) etki mekanizması borun yüzey ısı transferini önlemek için ısı yalıtım bariyeri olarak hareket edebilen koruyucu bir katman olan bileşikler gerçeği ile açıklanabilir ve/veya yanıcı ayrışmayı ve yayılmayı önlemek, yüzeye ulaşmak ve oksijenle teması önlemek için fiziksel bir bariyer olarak kullanılır [30, 31].

Ek olarak, önceki bazı çalışmalar titanyum esaslı bileşiklerin genellikle UV koruması, antibakteriyel, fotokatalitik ve kendi kendini temizleme aktivitesi için uygulandığını bildirmiştir [32, 33]. Yukarıda belirtilen özelliklerden daha fazlası titanyum bazlı malzemeler de umut verici bir beklenti göstermiştir ve iyi kimyasal stabilitesi, iyi ısı direnci, toksik olmayan ve nispeten düşük fiyatı nedeniyle tekstil terbiyesi için bir FR olarak kullanılabilir [27-33] [34]. En önemlisi, TiO₂, ısıya, kütle transferine ve oksijene karşı yoğun bir koruyucu fiziksel bariyer üretimini teşvik etme kabiliyeti nedeniyle en umut verici FR uygulamalarından biridir. Bu nedenle, yanıcı ve uçucu türlerin serbest bırakılmasını önler [35].



Şekil 4. Borax Fiberglas [36] (Figure 4. Borax Fiberglass)

4.4. Bor ve Cam Sektörü

Günümüzde B₂O₃'ün cam, emaye ve seramik sırlarda iyi bilinen kullanımının, bu sanatları geliştiren eski medeniyetler tarafından da bilindiği varsayılmaktadır. Efsaneye göre Babilliler dört bin yıldan fazla bir süre önce kuyumcular tarafından kullanılmak üzere Uzak Doğu'dan boraks getirmişler ve yazılarda genellikle eski Mısırlıları metalurji, tıp ve mumyalama alanlarında boraks kullanıcıları olarak adlandırmışlardır. Ancak bunların hiçbiri doğrulanmamıştır. Yunanlıların nitron Baurakları, İbranilerin boritleri, Arapların baurakları, Perslerin borekleri, Türklerin burakları, Romalıların Borakları-hepsi aynı maddeyi ifade ediyor gibi görünebilir- Soda Borat. Bununla birlikte, bu isimlerin bugün boraks olarak bildiğimiz maddeyi ne zaman veya nasıl tanımladığını destekleyecek çok az bulgu vardır. Boraks isminin türetildiği bu kelimeler, Arapça'da parıltı anlamına gelen farklı türevleridir [37].

Tincal Trail'de [37], Norman Travis ve John Cocks boraks ile ilişkili gibi görünen minerallerin eski metinlerindeki yazılarını düşünürler, ancak yazarların boratlar dışındaki cevherlere, çoğunlukla soda külüne veya trona'ya atıfta buldukları sonucuna varırlar. Bununla birlikte, otantik boraksın MS 800'den önce büyük İslam medeniyetinin zanaatkarları, akademisyenleri ve simyacıları tarafından bilindiği ve kullanıldığı iddia edilmiştir fakat kaynağı belirsizdir. Ayrıca, Harun-al Rashid'in tüccarlarının t'ang hanedanlığının ikinci bölümünde (MS 618-907) Borat'ı Çin'e götürmüş olmaları da mümkündür. Ancak sadece Orta Çağ'da, boraks Tiproc'un uzak bölgelerinden gelmiştir. Üretim yöntemi bir sır olarak korunurken kaynağı onsekizinci yüzyılın ikinci yarısına kadar bir gizem olarak kalmıştır. 1500'lerde cam yapımında kullanılmasıyla B203'ün erken tarihi başlamıştır. Kuzey Avrupa'da yaygın olarak uygulanmıştır ancak boraks kullanımına atıfta bulunulmamıştır. Boraksın camdaki ilk kullanımını düzeltmeye çalışırken ondokuzuncu yüzyıldan önce cam ve ilgili teknolojinin birçok hikayesinin bu sanatta yer almayan bilim adamları ve gözlemciler tarafından yazıldığı unutulmamalıdır. Sırlar ağızdan ağıza ve pratik talimatlarla aktarılmıştır [37]. Bugüne kadar camda boratın erken kullanımını destekleyen analitik bir kanıt yoktur. Arapların ve diğerlerinin cam yapımı hakkında raporları şöyledir [38]: "Boraks, camın en şiddetli termal aşırılıklara dayanması ve çatlamaması için eklenir." Camdaki Boraksın hakkındaki en eski Avrupa sözü, 1679'da Johann Kunckel'in yapay değerli taşlar yapmak için kullanılan birkaç cam bileşiminin tanımında boraks içeren bir Alman çalışmasında ortaya çıkmıştır [39].

Boraksın Avrupa'daki cam endüstrisinde on sekizinci yüzyıla kadar ve daha sonrasında çok sınırlı bir şekilde kullanılması pek olası görülmemiştir. Almanya'da 1739'da Johann Cramer, kristal cam için 3 parça önermiş; çakmaktaşı (silika), 1 parça saf alkali tuz (potas) ve 1 parça yanmış boraks (boraks) [40]. 1758'de Robert'e, en iyi görünümlü cam plakaların %56 beyaz kum, %23-5 inci külü (potas), %14 güherçile ve %6-5 boraks içerdiğini bildirmiştir. Ayrıca boraksın camın belirli renkleri almasına yardımcı olduğunu da belirtmiştir [41].

Bugün dünyadaki en büyük borat kullanımı yalıtım alanında ve tekstil cam elyafı üretimindedir [42]. Fransız fizikçi Rene Antoine Ferchault de Reaumur (1683-1757), "Örümcek ağları kadar ince cam iplikler yapmayı başarırlarsa dokuma malzemelerin yapılabileceği cam ipliklere sahip olacaklar." demiştir [43]. Ayrıca, bir cam çubuktan değil, erimiş bir cam havuzundan doğrudan dönen bir tekerleğe lifler çekmiş gibi görünür. Ancak bu cam bir yenilikten başka bir şey değildir. 1893'te Edward Drummond Libbey, Chicago'daki Kolomb sergisinde cam elyaf ve ipekten yapılmış bir elbise sergilemiştir. Aynı zamanda Paris'teki küçük bir atölye ipek veya pamuğu cam elyafı ile birleştirerek metre başına 100 Frank'a sattığı tekstiller üretiyordu. Bu lüks merakların büyük bir pazara dönüşmesi muhtemel olmasa da yine de cam elyafı üretilebileceğini ve belki de kullanılabilirliğini göstermiştir. Daha sonra Birinci Dünya Savaşı sırasında Almanlar, bir delikten çekilen tek iplikçiklere dayanan cam elyafı üretmek için bir yöntem geliştirdiler. Daha sonra, 1930'larda, Amerika Birleşik Devletleri'nde ısıtılmış bir platin kutudan veya çok sayıda küçük deliğe sahip bir burçtan ekstrüde edilen birkaç cam ipliğinden sürekli bir filament oluşturulduğu bir süreç geliştirilmiştir. Bu lifler genellikle A tipi cam olarak bilinen ve zayıf dayanıklılığa sahip olan soda-kireç silika camından yapılmıştır.

Cam şekillendirme sistemlerinde faz dengesi hem yüksek elektrik direnci hem de düşük yüzey iletkenliği şeklinde olmalıdır. Yüksek sıcaklık, elektrik ve yalıtım uygulamaları için uygun kompozisyonlara yol açan yöntemler 1930'lu yıllarda geliştirilmiştir. Bu, alkali oranı düşük yani %1,0'dan daha az bir cam gerektirmektedir. Bu düşük alkali formülasyonu daha kolay işlenmiştir ve daha önceki tip A tekstil camında eksik olan dayanıklılık problemlerini çözmüştür. Bu yüksek sıcaklıktaki camdaki akışkanlık, alkali yokluğunda B_2O_3 ve F_2 'ye bağlıdır. E-cam elyafı, diğer birçok elektrik dışı takviye uygulamasına hızla benimsenmiştir. 1935'te oda sıcaklığında sertleşen termoset reçineleri örneğin polysterleri kapsayan ilk patentler ortaya çıkmıştır. Bunlar E-cam elyafı ile takviye edildiğinde yapısal şekiller için kullanılabilmiş ve 1940'ların başında takviyeli plastik endüstrisine yol açmıştır. Takip eden yıllarda bir dizi değişiklik yapılmıştır. E-cam "621", o sırada kullanılan refrakterlerden zirkonyum oksidin çözünmesinin liquidus sıcaklığı üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu tespit edildiğinde formüle edilmiştir [44]. Bu sorunu aşmak için, tüm MgO 'ler CaO ile değiştirilmiş ve refrakter türetilmiş zirkonyum okside uyum sağlamak için yeterince düşük bir liquidus sıcaklığı verilmiştir [45]. Daha yakın yıllarda refrakterler ve lif oluşturan burçlar, tipik olarak %6 ila %8 olmak üzere veya biraz daha düşük B_2O_3 seviyelerinin kullanılmasına izin verdiğinden daha yüksek fırın sıcaklıklarında çalışmak mümkün hale gelmiştir. Kompozisyon "816" (Kanada'da 8525 cam olarak bilinir), bir E-Cam yerine amaçlanan ama B_2O_3 içermeyen bir camın örneğidir ancak bu cam yüksek bir liquidus sıcaklığına sahiptir ve bugünün geleneksel E-Camına kıyasla çok daha az ekonomik avantaja sahip olduğu görülmektedir. Bu B_2O_3 içermeyen camların üretimi küçüktür ve gerçek bir 'E-cam' değildir ancak özellikle betonda bazı takviye uygulamaları için uygun olabilir. Hammadde maliyeti ve fırından kaynaklanan uçuculuk nedeniyle daha düşük B_2O_3 bileşimlerine doğru eğilimler olmuştur. C-Glass (kimyasal) olarak bilinen bir başka tekstil fibreglas türü, özellikle asitlere karşı daha fazla kimyasal direnç için geliştirilmiştir [46].



Şekil 5. Bor ve Cam Endüstrisi [46] (Figure 5. Boron and Glass Industry)

4.5. Bor ve Tarım Sektörü

Bor, metal olmayan, bitkiler için gerekli bir mikrobesindir ve üçüncü periyodik gruba aittir [47,48]. Bor, temel elementler arasında benzersizdir çünkü normalde toprak çözeltisinde iyonize olmayan moleküler (H_3BO_3) olarak bulunan tek elementtir. Bor ne bir enzim bileşenidir ne de enzim aktivitelerini doğrudan etkilediğine dair ikna edici kanıtlar vardır ancak lignifikasyonlarda, RNA metabolizmasında büyük rol oynar [47].

Bor, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için de gereklidir, su ve toprakta bulunması tarımsal üretimin kilit bir faktörüdür [49]. Bazı bilim adamları, bitkilerin hücre duvarlarında borun yaklaşık %90'ının bulunduğunu kaydetmişlerdir [50].

Bitkiler, büyümeyi ve gelişmeyi sürdürmek için sürekli bir bor kaynağına (B) ihtiyaç duyarlar [48,51]. Bor, hücre duvarı oluşumu ve stabilizasyonundan, polen çimlenmesi ve polen tüpü büyümesinden, lignifikasyonlar ve ksilem farklılaşmasından sorumludur. Bitkilere kuraklık toleransı kazandırır. Bor eksikliği karnabaharda kahverengi kafa ve kutsal gövdeye neden olur. Patates, şeker pancarı vb. gibi yumru bitkilerinde K/Ca oranını ve şeker translokasyonunu düzenler. Hücre bölünmesi ve protein sentezi için gereklidir. Koruma hücrelerinde potasyumun taşınmasını kolaylaştırır [47].

Bor, çiçeklenme, tohum oluşumu, tozlaşma ve meyve kalitesi için gerekli olan önemli bir besindir. Yeterli bor alımı, polen tüpü oluşumunda ve polen çimlenmesinde rol oynadığından döllenmeye ve meyve tutumuna yardımcı olacaktır [52]. Bu nedenle bor arzi yetersiz ise bitki zayıf çiçek açacak, meyve tutum oranı düşük olacak ve verim etkilenecektir. Plazma zarının işlevlerinin ve yapısının korunması için borun zorunlu olduğuna dair artan veriler de vardır [53, 54]. Glikolipitler ve glikoproteinler gibi hidroksile iyonlara sahip az sayıdaki zar molekülünün, plazma zarlarında olası bir bor etkisi için iyi rakipler olduğu öne sürülmüştür [55]. Bitkide cinsel üreme, vejetatif büyümeden daha düşük düzeyde bora karşı daha hassastır. Bitkilerin mineral beslenmesi, bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini kontrol etmek için önemlidir. Önemli araştırma faaliyetleri, borun bitki büyümesi ve gelişimindeki fizyolojik ve biyokimyasal rolünü vurgulamayı amaçlamıştır [51].



Şekil 6. Yetersiz (Solda) ve Yeterli (Sağda) Bor Gübreleme Kaynağı ile Yetiştirilen Yonca Bitkileri (Nezaket: A. Yazıcı ve I. Çakmak). (Figure 6. Alfalfa Crops Grown with Insufficient (Left) and Sufficient (Right) Boron Fertilization Source)

Bor, bitkiler için karbonhidratların taşınmasında ve metabolizmasında temel rol oynamaktadır. Sürgün büyümesi, yaprak yüzeylerinin bariyer fonksiyonu, damar oluşumu, fotosentez ve kök büyümesi gibi önemli parametreler bor eksikliğinden önemli etkilenecektir. Öte yandan borik asit doğrudan fosfolipit bilayerlerden kolayca geçebilir böylece bor daha yüksek konsantrasyonlarda bitkiler için toksik özellik gösterir. Bu nedenle toprakta mevcut bor bitkisinin belirlenmesi, modern tarım için önemli bir çalışma alanıdır [48].

Frankia cinsi aktinomisetlerin veziküllerinde olduğu gibi, çok sayıda çalışma da borun nitrojen fiksasyonu için önemine işaret edilmiştir [56]. Bu mikroorganizma, inaktivasyondan gelen oksijenle nitrojenazı koruyan zarfların sağlamlığı için bora ihtiyaç duyar. Bor, aynı zamanda bakteroidin bir nitrojen sabitleme biçimine farklılaşması için gösterge olarak gerekli olan glikoproteinlerin düzenlenmesi için de gereklidir [57]. Borun bitkilerde oksidaz aktivitesi, kök uzaması, şeker translokasyonu, polen tüpü büyümesi, karbonhidrat metabolizması ve nükleik asit sentezi gibi çeşitli süreçlerde yer aldığı iyi bilinmektedir [55].

Eksikliği belli süreçlerde değişikliklere, bitki büyümesinin ve veriminin bozulmasına neden olabilir. Bor, normal bitki büyümesi için gerekli olan mineral besinlerden biridir. Borun temel işlevleri hücre duvarı gücü ve gelişimi, hücre bölünmesi, meyve ve tohum gelişimi, şeker taşınması ve hormon gelişimi ile ilgilidir. Borun bazı fonksiyonları bitkide azot, fosfor, potasyum ve kalsiyum ile ilişkilidir. Bitkilerde borun en önemli işlevlerinin hücre duvarı gelişimindeki yapısal rolü olduğu düşünülmektedir [38].

Bor, kök uçları, yeni yaprak ve tomurcuk gelişimi gibi bitkilerin aktif olarak büyüyen bölgeleri için gerekli olarak kabul edilir [51]. İnsanlar, hayvanlar ve bitkiler için önemli bir unsur olarak kabul görür.

Bor, polihidroksil polimerleri, pektinler ve polioller gibi hücre duvarı bileşenleri ile kompleksler oluşturabilir [52, 55]. Bu nedenle bor, hücre duvarının cis -diol bileşenleri ile esterler yaparak hücre duvarının stabilitesi ve senteziyle ilişkilendirilir. [50] Bu, hücreye şekil, güç ve sertlik sağlanmasına yardımcı olur. Boratlar ayrıca hidroksil gruplarına sahip biyolojik bileşiklerle bağlantı oluşturabilir [56]. Borat esterin oluşturulması, gerilme mukavemetinin ve hücre duvarı geçirgenliğinin kontrolünde [54] rol oynadığından dolayı hücre duvarı işlevi ve yapısı için gereklidir [58]. Örneğin, bor eksikliği anormal derecede şişmiş hücre duvarları ortaya çıkarmıştır [57,59]. Bu arada, Noguchi ve ark. aynı zamanda bor eksikliği altındaki yabancı tip bitkilere kıyasla Arabidopsis bor1-1 mutantının hücre duvarlarında daha az çapraz bağlanma eylemini tanımlamışlardır [60].

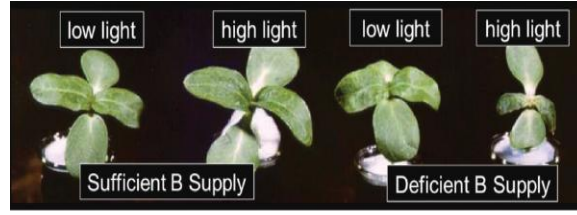
Toprak tipine, organik madde miktarına ve yağış miktarına bağlı olarak 10 ila 300 mg kg⁻¹ arasında değişen konsantrasyonlarda topraklarda oluşur [61].

Bitki bor mineralini, borik asit şeklinde topraktan alır. Yüklü olmayan bir molekülün bir sonucu olarak, borik asit lipid çift tabakalarına karşı oldukça geçirgendir ve bu nedenle geçiş, konsantrasyon gradyanına orantılı olarak bağlıdır. Bitkinin yer üstü kısımlarına ulaşmak için, B'nin ksilem yüklemesi ve terleme hızı ile yukarı doğru orantılı olarak taşınması gerekir. Bor, çoğunlukla olgun yaprakların uçları ve kenarları olan varış noktasında birikir. Toprak pH'ı 4'ten 9'a yükseldiğinde ve ışık yoğunluğunda bir artış ile arttığında emilim azalır; bor emilim oranı 10 ila 30°C arasında değişen sıcaklıklarda hızla artar ve 35°C'nin üzerinde keskin bir şekilde azalır [61].

Bitkiler genel olarak toprakta %5'ten az bor kullanır. Toleranslı bitkiler, çok az etkiye sahip çok çeşitli bor konsantrasyonlarına dayanırlar ve hassas bitkiler, çok fazla veya çok az bor için güçlü bir reaksiyon sergilerler [61]. Bor ilk dağıldığı organlarda kalma eğiliminde olduğundan diğer dokulara yeniden aktarılamaz yani bor alımı pasif bir süreçtir bu nedenle normal ve verimli tarımsal üretim için sürekli borik asit tedarikini sürdürmek önemlidir [61,62].

Borun topraktaki mevcudiyeti, yüksek yağış ve mevsimsel su mevcudiyeti ile dünyanın birçok bölgesinde sınırlıdır. Aksine kurak ve yarı kurak bölgelerde, yeraltı suyu kılcal etki ile üst toprağa ulaşır ve toprakta çözünenler bırakmak için buharlaşır. Yüksek bor yeraltı suyuna sahip bölgelerde, üst topraktaki bor konsantrasyonu bitkiler için toksik bir seviyeye ulaşır ve mahsul verimini azaltır. Güney Avustralya, Mısır, Irak, Ürdün, Libya, Fas, Suriye, Türkiye, Kaliforniya ve Şili, tarım arazilerinde bor toksisitesi sorunları olan bölgeler/ülkelerdir [61].

Bor toksisitesi, bor bakımından zengin tarımsal topraklarda ürün verimliliğini sınırlayabilir. Kurak mevsimlerde / koşullarda topraktan köke kütle akışının azalması nedeniyle köklerde bor kaynağı azalır [61]. Bor eksiklik belirtileri ilk önce genç yapraklarda veya terminal sürgünlerinde şekilsiz, buruşuk, kırılğan ve bazen koyu mavimsi renkle kalınlaşmış bir görünümle ortaya çıkar [47]. Belirtileri ise çoğunlukla üreme evrelerinde, meyve oluşumunun ihlali ve tohum sayısının azalması ile gözlenir. Bor eksikliği, kalsiyum eksikliğine neden olan indol asetik asit (IAA) üretiminde kayda değer bir azalmaya neden olur [47].



Şekil 7. Soya Fasulyesi ve Kanola Bitkilerinin Düşük ve Yeterli Bor Kaynağı Olan Sürgün ve Kök Büyümesi (Nezakat: Y. Ceylan ve I. Çakmak) (Figure 7. Shoot and Root Growth of Soybean and Canola Crops with Low and Sufficient)

Örnek olarak pamukta bor eksikliği 4 haftalık büyümeden sonra ortaya çıkar, görünür semptomlar ise kırılğan genç yaprakların klorotik yamaları ile yaklaşık 45-50 günlük ürün büyümesi ile ortaya çıkar. Aynı zamanda Orta yapraklar içe doğru çukurluk gösterir [47].

Bor eksikliği, hücre duvarının plastisitesinde bir azalmaya neden olur, yeni bölünmüş hücrelerin büyümesinde etken değildir bunun yanı sıra üreme büyümesini sınırladığı bildirilmiştir [51].

Birçok ülkede, toprakta bor eksikliği bitkilerde eksiklik sorunlarına neden olur. Bununla birlikte, Türkiye'de yüksek seviyeler toksisitede daha sık görülür. Yapılan çalışmalara göre bitkilerde bor eksikliğinin belirtileri arasında kök ve yaprak büyümesinin kesilmesi, yaprak primordia ve birincil kök uçlarının nekrozu, kök ve yaprak floeminin nekrozu, kabuk bölünmesi, enzim reaksiyonlarının gecikmesi, polen çimlenmesinin azalması ve hatta ölüm sayılabilir. Büyüme ortamına bor eklenirse normal büyüme genellikle devam eder [61]. Bor eksikliği, nemli bölgelerde kaba dokulu topraklarla dünya çapında birçok ülkede görülür [47].

Bor, bitkiler için büyük önem taşır. Ancak gerekli miktar çok azdır. Bitkilerin büyümesi için yararlı olan bor miktarı 0,5 ila 2,0 mg L⁻¹ arasında değişir. Tipik olarak, 0,5 mg L⁻¹'den az bor içeren topraklar bor açısından zayıftır ve bitkilerde bor eksikliği belirtileri görülebilir. Bor oranının 2,0 mg L⁻¹'in üzerinde olduğu toprakta bor kirliliği vardır ve bunun sonucunda üretimde azalma ve ürünlerdeki kusurlar görülebilir [61].

Bor eksikliği ve toksisite arasında çok dar bir aralık vardır çünkü 5,00 mg'dan fazla L⁻¹ mevcut bor birçok tarımsal ürün için toksik olabilir. Bor eksikliği genellikle yem baklagillerinin (yonca vb.) ve bazı sebze bitkilerinin üretimini sınırlar. Hoşgörülü türlerde yonca, pancar, buğday, arpa, sorgum, yulaf, şeker pancarı ve domates vardır. Orta derecede dayanıklı türler; Arpa, lahana, kereviz, mısır, kabak, tatlı yonca ve şalgam ve orta derecede hassas türlerde brokoli, havuç, salatalık, bezelye, biber, patates ve turp vardır. Hassas türler avokado, fasulye, üzüm, greyfurt, limon, portakal ve buğdaydır. Bor takviyesi olmayan bir ortam altında yetiştirilen Vicia Faba'nın büyümesi azalır ancak bor tedariki ile bir iyileşme meydana gelir. Daha yüksek konsantrasyonlarda mevcut olduğunda zehirlidir. Bu nedenle, ortam/topraktaki bor konsantrasyonunun maksimum verim için uygun bir aralıkta tutulması esastır [61].

Eksiklik semptomlarının aksine, tipik bor toksisitesi semptomları olgun yaprakların marjinal bölgesinde ortaya çıkar ve bu kısımlar klorotik veya nekrotik hale gelir [61].

Bor eksikliği olan topraklarda mahsullerde bor eksikliğinin önlenmesi ve düzeltilmesi; lifler, tahıllar, bakliyatlar, yağlı tohumlar, sebzeler, narenciye ve yonca dahil olmak üzere birçok mahsulün verimi ve kalitesini önemli ölçüde etkiler. Bor gübresinin kaynağı, hızı, formülasyonu, zamanı ve yöntemi ve borun topraktaki diğer besinlerle doğru dengelenmesi, bor eksikliği olan topraklarda mahsul verimini etkiler. Borun hem toprak hem de yaprak uygulama yöntemleri, ürün veriminin, ürün kalitesinin iyileştirilmesinde etkilidir [47].

Bor eksiklikleri, diğer eser elementlerin eksikliklerine kıyasla çok daha geniş bir toprak ve bitki yelpazesinde ortaya çıkmaktadır. Daha sağlıklı bir bitki büyümesi için yeterli miktarda bor kaynağı sağlamak için farklı gübre kaynakları kullanılır [62].

Topraktaki bor eksikliği bitkilerde bazı sorunlara neden olsa da bor fazlalığı da çeşitli fiziksel ve biyokimyasal sorunlara neden olur. Bu etkiler bitkilerin meyvelerinde ve yapraklarında kusurlara neden olur. Son çalışmalarda, yüksek pH'nın bor alımını sınırlayabileceği bildirilmiştir [61].

Gübre tavsiyesine bor dahil etme ihtiyacı, ürün gereksinimi ve toprak bor test seviyesi ile belirlenir. Kil tipi topraklar, yüksek su pH'sı olan topraklar, kalsiyum içeriği ve/veya organik madde içeriği için yüksek bor oranı gerekebilir [47]. Çeşitli ürünler için bor ihtiyacının, bor gübresinin verimli ve rasyonel kullanımı için doğal bir ön koşul olduğu bulunmuştur [47]. İki tür bor gübre kaynağı vardır hem çözelti içinde hem de katı madde olarak rahat bir şekilde uygulanabilen rafine edilmiş tamamen çözünür malzemeler ve değişik kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip ezilmiş cevherler [62].

Topraktaki B seviyesi 1,0 ppm olduğu zaman bor yeterli olduğu anlamına gelir ve 5 ppm üzerinde olduğunda, toprak üzerinde toksik etkisi olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, gübreyi oldukça adil bir miktarda uygulamak gerekir. Toprakta yeterince bulunmayan ve toksik olmayan bir seviyede ek bor gübresi uygulamak gereklidir. Araştırmacılar tarafından bor gübresi üzerine yapılan çalışmaların sonuçları, bor gübresinin önemini göstermektedir. Çeşitli bitkilerin bor alımında farklılıklar olmuştur. Bor gübresi uygulaması bitki verimliliğini ve kalitesini artırır [63].



Şekil 8. Bor Gübresi (Figure 8. Boron Fertilizer)

Tarımsal üretimde ve içeriğinde uygulanabilecek farklı bor kaynakları vardır ve bunların özellikleri farklıdır. Bor gübrelere çözünürlüğü ve reaktivitesi, bitkinin uygulanan gübreden yararlanmasını etkiler. Ayrıca toprak yapısı bor emilimini etkileyen önemli bir faktördür. Bitkilerin bor bileşiminden yararlanabilmesi için, toprağın özelliklerine uygun bir bor gübresi uygulamak ve etkili bor türlerini seçmek, bitki verimliliğini artırmak ve çevre kirliliğini azaltmak için yararlı olacaktır [63].

4.6. Bor ve Kompozitler Yapılar

Gelişmiş kompozitlerin ana özellikleri, yüksek mukavemet ve sertliğe sahip lifler tarafından sağlanmaktadır. Günümüzde takviyeli kompozit malzemelerde cam, mineral, karbon, organik, bor, seramik ve metal lifler kullanılmaktadır.

Bor lifleri bir epoksi reçine gibi organik bir matris ile birleştirildiğinde, yüksek performanslı bir kompozit yapı oluşturulur. Bu ara yüzey bölgesinin optimizasyonu, kompozit malzemelerin mekanik davranışını etkilemede kritik bir rol oynar ve önemli endüstriyel özelliklere sahiptir [64].

Alternatif bir elyaf, karbon fiberlere kıyasla üstün bir mukavemet-ağırlık oranı sunan uçak ve uzay endüstrilerinde daha zorlu uygulamalar için kullanılan bordur. Bor kompozit malzemelerin başarılı bir şekilde uygulanması, elyafın matrise iyi yapışmasına bağlıdır. Daha zorlu uygulamalarda, fiber/matris yapışmasının iyileştirilmesinin gerekli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu uygulamalar için bor- kompozit mekanik özelliklerini geliştirmek için ara yüzey bölgesinin optimizasyonu gereklidir. Bor kompozitlerinin kullanımı, balıkçılık çubukları, golf sopası milleri, kayaklar ve bisiklet çerçeveleri gibi spor malzemelerinden, uçak tamir yamaları gibi çeşitli havacılık uygulamalarına kadar uzanır [65].

Bor kompozitleri tipik olarak büyük lif çapı nedeniyle yüksek basınç dayanımına sahiptir ve bu, karbon kompozitlere kıyasla ayırt edici özelliklerinden biridir. Sertleştirilmiş bor kompozitlerinin yoğunluğunun karbon kompozitlerden daha yüksek olmasına rağmen alüminyum ve titanyumdan önemli ölçüde daha düşük olduğu da görülmektedir [66].

4.7. Bor ve Temizlik Sektörü

Boratlar (birçok biçimde) çamaşır deterjanları, ev tipi veya endüstriyel temizleyiciler ve el sabunları üretmek için kullanılır. Boratlar veya perboratlar birçok ev ve endüstriyel üründe metalleri, camları, lavaboları, küvetleri, tuvaletleri, yerleri ve makineleri temizlemek için kullanılır. Borat seçimi, nihai ürünün türüne, bileşimine ve kalitesine bağlıdır. Boratların benzersiz özellikleri çok sayıda fayda sağlar:

- Leke çıkarma ve ağartmayı geliştirme
- Enzimleri stabilize etme
- Boya transferini engelleme
- Alkali tamponlama sağlama
- Kontrol viskozitesi
- Mumları ve yağları emülsifiye etme
- Suyu yumuşatma
- Sürfaktan performansını artırma
- Bakterileri ve mantarları kontrol etmeye yardımcı olan bir biyostat görevi görür (EPA kaydı gereklidir.)

100 yıldan fazla bir süredir boratlar, çeşitli ev tipi ve endüstriyel çamaşır deterjanı formülasyonlarında kullanılmaktadır. Dünyadaki giysilerin büyük çoğunluğu hala elde yıkanmaktadır. Çamaşır sabunu kalıpları üzerinde yapılan yeni denemeler, boratların temizleme etkisini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve kirin yeniden birikmesini azalttığını gösteriyor. Bu da daha parlak, daha temiz çamaşırlara yol açıyor. Toz deterjanda boratlar, temizleme gücünü artırmak için doğrudan dahil edilebilir veya ağartma etkisi için sodyum perborat olarak eklenebilir. Boratlar ayrıca sıvı deterjanlarda da kullanılır. Leke çıkarma enzimlerinin sıvılarda stabilize edilmesi gerekir ve boratların bu amaç için son derece etkili olduğu kanıtlanmıştır.

Tablo 2. Temizlik ürünlerinde kullanılan Bor bileşikleri [68] (Table 2. Boron compounds used in cleaning products)

İsim	Yapı
Borik Asit	H_3BO_3
Sodyum Perborat Monohidrat	$NaBO_3CH_2$
Sodyum Perborat Tetrahidrat	$NaBOC_4H_2O$
Sodyum Tetraborat Dekahidrat (Borax)	$Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$

Değerleri, içinde buldukları formülasyona bağlıdır ancak pH kontrolü, yağların emülsiyonlaştırılması, yumuşak aşındırıcı nitelikler ve viskozite kontrolü (polihidroksi malzemelerle birleştirildiğinde) merkezi niteliklerin tümüdür.

Toprağın Kaldırılması ve Yeniden Birikimin Önlenmesi;

Boratlardan üretilen alkali deterjan likörleri yağlı kirlerin çıkarılmasına ve emülsiyon haline getirilmesine yardımcı olur. Ancak boratlar ve perboratlar, yüzey yükü üzerindeki özel etkileri sayesinde yalnızca pH'ın yarattığı etkinin ötesinde partiküllü toprak birikimini de engeller.

Alkali Tampon ve pH Kontrolü Olarak;

Yıkama suyundaki yüksek alkalinite, deterjanı artırır ve temizleme sürecine yardımcı olur. Boratlar mükemmel pH tamponlarıdır (pH 9,1 ila 9,3, doğal pH değerleri). Perboratlar daha alkalindir (%1,0 çözelti için pH 10,4) ve ayrıca mükemmel tamponlama kapasitesine (pH 9 ila 10) sahiptir.

Mükemmel Ağartma;

Deterjanda ağartma, kumaşların kimyasal yollarla beyazlatılması, aydınlatılması ve parlatılması işlemi olarak anlaşılabilir. Etkili ağartıcılar olan ancak yıkama tozlarına doğrudan katılım gerçekleştiremeyen hidrojen peroksit ve klorinin aksine, perboratlar mükemmel ağartma özelliklerine sahiptir ve deterjan tozlarında çok kararlıdır. Oksitleyici bir ağartıcı olarak etkilidirler ancak giysilere karşı hassastırlar ve genel temizliğe yardımcı olurlar. Hızla çözülen bir versiyonu olan perborat monohidrat, özellikle soğuk veya kısa yıkama döngülerinde kullanışlıdır.

Su Yumuşatma ve İyileştirilmiş Yüzey Aktif Madde Performansı;

Kalsiyum ve diğer metallerin azaltılması, su sertliğinin iyileştirilmesine yardımcı olur ve deterjanların iyi çalışmasını sağlar. Boratlar ve perboratlar, kalsiyum iyonları ile çözünür kompleksler oluşturan bileşenler oluşturarak kalsiyumun istenmeyen etkisini kumaşlar üzerinde sert his birikintileri bırakmadan ortadan kaldırarak bu görevi gerçekleştirir.

Borat Metal Temizleyicileri;

Çeşitli metal işleme işlemlerinden sonra metal yüzeyler temizlenmelidir. Örneğin, talaşlı imalat işlemlerinden elde edilen parçalar, metal tozlarını, artık kesme yağını ve kiri çıkarmak için temizlenir. Benzer şekilde, sac metalin yüzeyi (haddeleme işlemlerinden elde edilen) son indirgemenin sonra ve sulu kar yağları veya kaplama yağlarının uygulanmasından önce temizlenir [67].

Boratlar pH kontrolü sağlar ve yağların ve kirlerin daha iyi uzaklaştırılmasına katkıda bulunur. Hafif veya orta dereceli aşındırıcı özellikleri, su yumuşatma yetenekleri ve korozyon önleyici özellikleri, metal yüzeyleri temizlemek için onları mükemmel seçenekler haline getirir. Organik malzemelerle, seyreltik tuz çözeltileriyle veya gıda ürünleriyle daha önce temas etmiş olan paslanmaz çelik üzerinde ferritik parçacıklar, oksitler ve korozyon ürünleri oluşması muhtemeldir. Bu, korozyonun giderilmesine ve pasifleşmenin geri kazanılmasına yardımcı olan Optibor ile etkili bir şekilde tedavi edilebilir.

Borat veya perborat temizleme solüsyonlarının yağ birikintilerinin giderilmesinde, kararmayı ve korozyonun önlenmesinde ve çeşitli metal yüzeylerde ve öğelerde etkili olduğu bulunmuştur:

- Gıda endüstrisinde kullanılan, kalay kaplı demirli metallere yapılabilen kaplar
- Çelik saclar ve alüminyum iş parçaları ve alaşımları
- Gümüş ve gümüş kaplama
- Diş aletlerinde metal parçalar
- Karbon çeliği
- Bakır
- Alüminyum
- Teneke kutular

Sodyum Boratlar: Sert Yüzey Temizleyicileri;

Sodyum boratlar içeren su bazlı alkali temizleyiciler (diğer bileşenlerin yanı sıra) endüstriyel ve kurumsal pazardaki sert yüzeylerden yağ, gresi, pası, tortuyu ve diğer partikülleri temizlemek için öncelikle hastaneler, okullar ve restoranlarda kullanılır. Bu pazar için çok amaçlı bir sıvı deterjan, boraks dekahidrat (veya Neobor boraks pentahidrat), yüzey aktif madde, alkil aril sülfonik asit, tetrapotasyum pirofosfat, sodyum hidroksit ve sudan yapılıdır.

Yiyecek ve içecek endüstrileri, suyla sürekli temas halinde olan, suyla doldurucular, konveyör zincirleri, püskürtme nozulları, pastörizatörler ve sterilizatörler gibi ekipman kullanır. Bu endüstrilerdeki pas ve korozyon, bakım departmanları tarafından daha yakın kontroller, daha sık onarımlar ve daha kısa ekipman ömrü gerektirir ve bu da üretim maliyetlerini artırır. Ancak güçlü alkalilerin kullanımı, camın yumuşaması, litografi ile yazılmış renklerin bozulması ve ciltle temas halinde aşındırıcı etki gibi potansiyel olarak zararlı etkiler nedeniyle yasaktır. Orta derecede bir alkali gereklidir ve boratlarda mevcuttur. Boratların alkali mukavemeti açısından %0.1 ila %5.0 konsantrasyon aralığında değişmeye karşı direnci, onu kostikten daha zayıf ve içecek uygulamaları için daha uygun hale getirir.

2016 yılında, küresel ev temizleyicileri pazarı yaklaşık 25,5 milyar ABD doları değerindeydi. Ev tipi sert yüzey temizleyicileri, toplam ev temizleyicilerinin %40' ından biraz daha azını oluşturur. Ev tipi sert yüzey temizleyici üreticileri, müşterilerin özel ihtiyaçlarını karşılamak için ürünlerini sürekli olarak yeniden formüle etmektedir. Örneğin, jelleşmiş veya katılaşmış bir borat süspansiyonuna dayanan yavaş çözülen bir temizleme bloğu, suyu yumuşatabilir (kireci önleyebilir), koku giderebilir ve tuvaletlerdeki lekelerin birikmesini önleyebilir veya önleyebilir. Bu tür ürünler, bir hidrojel polimerine dönüştürülmüş sulu bir borat süspansiyonundan veya polietilen içinde erimiş borat glikol süspansiyonunun hazırlanması ve soğutulmasıyla üretilebilir. Az miktarda borun varlığı, mikrobiyal büyümeyi kontrol etmeye yardımcı olabilir. (EPA kaydı gereklidir.) Kirli liflerden veya kumdan idrarı çıkarmak için özel olarak tasarlanmış bir bileşim, suda çözünür sentetik bir yapıştırıcı, organik asitler, kurucu tuzlar ve yüzey aktif madde ile kaplanmış perboratlar ve diğer peroksit tuzlarını içerir. Sifonlu tuvaletler için bir temizleme ve ağartma ürünü, biri nötr tuz, deterjanlar, boya ve parfüm içeren ve diğeri nötr tuz, deterjanlar ve perboratlar içeren iki katı bloktan oluşur. Perboratlı tabletler, kemilüminesan bir bileşik ve bir halojen kaynağı her yıkamada güçlü bir mavi ışık verir.

Kâğıt, kumaş veya köpük, cam, deri, takma dişler ve daha fazlası için temizleme pedleri oluşturmak için perboratlar ve diğer bileşimlerle emprenye edilebilir. Dolaşım kuvvetleri için etkili bir perborat bazlı temizleyici mevcuttur; diğeri, perboratlar, bir metal iyonu veya başka bir bozunma katalizörü, kurucu maddeler ve bir yüzey aktif madde ile formüle edilmiş bir köpürtücü temizleyicidir. Temizlik ve korozyon korumasından, aşındırma maddelerine ve temizleyicilere, PTFE kaplı pişirme kaplarından karbonlaşmış kalıntıları gidermeye kadar perboratlar -diğer bileşenlerle birlikte- oldukça etkilidir.

Borik Asit: Cam ve Diğer Malzemeler;

Borik asit ve diğer bileşenleri içeren cam temizleme bileşimleri, özellikle düşük sıcaklıklarda motorlu taşıtların çalışması sırasında dış ortama maruz kalan ön camların ve diğer cam yüzeylerin temizlenmesinde kullanılmak üzere uyarlanmıştır. Neobor içeren bir başka cam temizleme bileşiği, özellikle soğuk suda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Diğer cam temizleme formülasyonları boraks dekahidrat, Neobor ve borat olmayan bileşenler içerir.

Birkaç kanal temizleyici de diğer bileşenlerle birlikte perboratlara dayanmaktadır.

Bulaşık Deterjanları;

Geleneksel bulaşık yıkama deterjanları büyük ölçüde sodyum metasilikat ve sodyum tripolifosfat bazlıdır ve lekeleri çıkarmak ve bakterileri öldürmek, yağ ve gresi sabunlaştırmak, kopmuş toprağı askıya almak ve yeniden konumlandırılmasını önlemek, iç parçaların aşınmasını önlemek için sodyum dikloroizosiyanat gibi klor salan kimyasallar içerir. Bununla birlikte, sodyum silikatların ve klor salıcı ajanların aşındırıcı doğası ve çevresel kaygılar nedeniyle fosfatları azaltma arzusu, toz ve sıvı otomatik bulaşık yıkama deterjanları için yeni formülasyonların geliştirilmesine yol açmıştır. Bu yeni ürünler, önceki versiyonlara göre daha düşük sıcaklıklarda leke çıkarmada daha etkilidir. Boratlar ve perboratlar, uzun bir raf ömrüne sahip olmanın yanı sıra, aşağıdaki nedenlerle bu tür otomatik bulaşık yıkama deterjan bileşimlerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır:

- Perboratlar, klor salan bileşiklere alternatif ağartma maddeleri olarak işlev görür
- Boratlar çini sır koruyuculardır
- Boratlar orta derecede alkali tamponlama sağlar
- Perboratların biyosidal özelliği vardır (EPA kaydı gereklidir.)
- Boratların birçok temizleme işlevi olduğu bilinmektedir.

Geçmişte, otomatik bulaşık yıkama deterjanlarında boratların ana işlevleri peroksi ağartma, sır koruması ve daha az ölçüde topaklanmayı önleme idi. Perboratların kullanımı yeni enzimatik otomatik bulaşık yıkama deterjanları sistemi altında gelişirken, sır koruyucu ve topaklanma önleyici maddeler olarak borik asit ve 20 Katır Takım Boraks borik oksit kullanımı gelişmemiştir.

Boraks dekahidrat sabunlar, deterjanlar ve kişisel bakım ürünlerinde kullanılacak kadar naziktir [67].

Kirli pamuk üzerinde yapılan testlerde, perborat deterjanlar çeşitli lekeler üzerinde perkarbonat deterjanlardan daha iyi performans göstermiştir:

- Kil

- Kil ve sebum
- Karbon siyahı / zeytinyağı
- Karbon siyahı / mineral yağ

4.8. Bor ve Kozmetik Sektörü

Kozmetik endüstrisi şu anda avantajlar sunan ve müşterilere çekici gelen malzemeleri araştırmıştır. Seramik malzemeler kozmetikte yaygın olarak kullanılmaktadır ve seramik tozu işleme, sol-jel teknolojisi ve çökeltme solüsyonları ile üretilmektedir. Bor nitrid, kimyasal formülü (BN) olan bir seramik malzemedir [69,70].

H-BN nanoyapı sentezi için kullanılan parametrelerdeki yeni araştırmalarla ilgili olarak, üretkenliği, kaliteyi artırmayı ve sentezlenmiş parçacıkların boyutunu kontrol etmeyi amaçlamaktadır. Son zamanlarda birçok çalışma, bor nitridin nanoyapılarının nanotüpler [71,72], nanokapsüller [73], nanokajlar [74] gözenekli yapılar [75], içi boş küreler [76] ve nanolifler gibi özel morfolojilere sahip hazırlandığını bildirmiştir [77].

Geleneksel olarak h-BN, 2000°C civarında bir sıcaklıkta karbon ve nitrojen / amonyak ve üre ile B₂O₃, borik asit veya boraksın reaksiyonunu içeren klasik yüksek sıcaklık sentez yollarıyla hazırlanır [78]. Öte yandan, özel BN nano yapıların sentezi için lazer ablasyonu, kimyasal buhar fazı, B₂O₃ ve B₄C'nin karbotermal indirgenme tepkimesi ve diğer yöntemler geliştirilmiştir [79]. Bu yöntemlerin çoğu, yüksek verim ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır ve bu nedenle sentezinin anlaşılması hala zorlu bir konudur. Ayrıca farklı sentetik yöntemlerden elde edilen BN nanotüp, farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Sentezlenen nanotüplerin kalitesi, miktarı ve türü kullanılan sentetik yöntemle bağlıdır.

Kozmetik alanında, partikül boyutu önemlidir çünkü daha küçük çaplar yüzey alanında bir artışa ve kozmetik aktif maddelerinin kapsülleme olasılığına imkân verebilir. H-BN, yapının farklı oluşum aşamalarında manipülasyonuna ve sonuç olarak boyut ve spesifik yüzey alanının kontrolüne izin verdiği için, kozmetikte, özellikle güneş kremlerinde kullanım için avantajlar sunabilir yine de dispersiyonda mükemmel bir performansa sahiptir, toksik değildir, şeffaftır ve kimyasal olarak inerttir.

Güneş radyasyonunun cilt sağlığına zarar verdiği biliniyor ve kozmetik endüstrisi de etkili güneş kremlerinin araştırılmasına ve üretilmesine yatırım yapıyor. Normalde Dünya yüzeyine ulaşan ve fotomedine özel ilgi duyan güneş spektrumunun aralığı Ultraviyole B (UVB) ve Kızılötesi (IR) aralığıdır [80].

Ultraviyole ışınlarının etkisi cilt sağlığına zararlıdır ve kanser vakalarının artmasına, yaşlanmaya ve diğer istenmeyen cilt değişikliklerine neden olabilir. Ultraviyole B, güneş yanığı, kızarıklık ve iltihaplanmadan sorumludur. Kızılötesi ışınların etkileri bilimsel literatürde daha az tanımlanmıştır ancak bu ışınların ultraviyole ışınlarının [81], erken yaşlanmanın [82,83] ve kızılötesi radyasyonun neden olduğu cilt üzerindeki hasarları artırdığı bilinmektedir [84].

Güneş kremleri uzun süredir araştırılmış ve şu anda ultraviyole ışınlarına karşı güneş koruyucu olarak kullanılan önemli bir kozmetik olan titanyum dioksit gibi nanobilim ve nanoteknoloji bilgisi kullanılarak geliştirilmiştir. Bununla birlikte, kızılötesi radyasyona karşı koruma için çok az araştırma yapılmıştır. Piyasada titanyum dioksit (TiO₂) ve ultraviyole radyasyonun etkilerini bloke edebilen çinko oksit (ZnO) bulunmaktadır. Bu malzemeler şu anda daha küçük boyutlara sahiptir ve radyasyon fenomeni yayıldığından ve dolayısıyla deri altında beyaz bir renk olduğundan geleneksel ürüne göre avantajları vardır [85]. Bu bağlamda, kızılötesi ışınların yanı sıra ultraviyole ışınlarına karşı koruma sağlayabilen güneş koruyucu formülasyonlarının yaratılmasına büyük ihtiyaç vardır. Bor nitrid nanoyapı, güneş kremlerinde kullanılması önemli bir faktör olan boyutunu manipüle etmek mümkün olduğu için bu amaç için potansiyel bir malzemedir, böylece yüksek bir termal iletkenliğe sahip olduğu için yağlı ciltteki parlaklığı azaltır.



Şekil 9. Bor ve kozmetik [86] (Figure 9. Boron and cosmetics)

4.9. Bor ve Sağlık Sektörü

Bor, hayvan ve insan biyolojisi için çok önemli olan dinamik bir besindir. Son araştırmalar, hayvan ve insan sağlığı için önemli alanlarda bu mineraller için şimdiki kadar sürpriz eylemler ortaya çıkardıkça bu durum giderek daha açık hale geldi. Bor, esas olarak okyanuslarda ve topraklarda [87] inorganik boratlar formunda bulunur ve kendiliğinden birleşen RNA molekülünün önemli bir bileşeni olan ribozu stabilize eder ve daha önce DNA'ya sahip olabilir [88].

Borun fizyolojik miktarları, büyüme ve gelişme ile ilgili çeşitli maddelerin metabolizmasını ve tüketimini değiştirebilir. [89] Bu nedenle bor, genellikle cilt, beyin, sindirim sistemi, iskelet ve bağışıklık organları ve sistemleri dahil olmak üzere çeşitli organları ve vücut sistemlerini etkiler. Omurgalılarda, boratlar benzersiz bağlanma ve yapısal özellikleri için gereklidir [90]. Bu işlev, hayvanlarda artrit, osteoporoz ve koroner kalp hastalığı gibi bazı durumları hafifletmeye hizmet eder [91, 92].

Bor ayrıca domuz, tavuk, sığır, devekuşu ve test edilen diğer bazı türler gibi hayvanlarda farklı metabolik parametreleri değiştirir [92, 93, 94, 95].

Ayrıca kalsiyum, D vitamini ve magnezyum ile etkileşimi nedeniyle farklı organlar için faydalıdır [96, 97, 98]. Bu nedenle boratlar, farklı diyet takviyeleri ve ilaçlarda endüstriyel ölçekte kullanılmaktadır.

Bor, çeşitli biyolojik işlevleri yerine getiren canlı organizmaların tüm şubelerinde bir bileşendir. Bor, bakteriyel çekirdek algılayıcı sinyal molekülünde, oto-indükleyicide (AI-2) [99] ve vibrioferrinde bulunan boromisin [100] gibi mikrobiyal antibiyotiklerin bir bileşenidir. Bazı deniz bakterileri boron içeren siderofor üretmiştir [101]. Ayrıca bor, algal kamçı ve deniz siyanobakteri türleri için önemli bir elementtir [100, 102]. Son zamanlarda iyi korunmuş Jura kırmızı algleri *Solenopora jurassica*'da borolithokrom içeren özel bir grup bor bileşiği bulunmuştur. Borolithokromlar, fenolik kısımlara sahip kompleks spiroboratlar (borik asit esterleri) ve ayırt edici bir fosil organik pigment sınıfını temsil ederler [102]. Dahası, ATR1 tarafından kodlanan çoklu ilaca dirençli taşıyıcıdan dolayı yüksek bor dayanıklılığı, onu pişirme ve fermantasyonda yer alan en faydalı maya türü yapar. Bu gen aynı zamanda bazı bakteriler, mantarlar ve düşük ökaryotlarda dağılır ve bor maruziyetinde aktive olur [103].

Bacillus boroniphilus büyümesi için bora ihtiyaç duyar ve 450 mm'den fazla bor dayanabilir [104]. Azotobakter Nitrojen fiksasyonunda görev alan, bu aktivite için bor'a da ihtiyaç duyar. Mavi-yeşil algler ve *Frankia* cinsi mikroorganizmalar da büyümeleri için bora ihtiyaç duyar. Dahası, borun heterosistlerin glikolipidlerini etkilediği ve stabilize ettiği bildirilmiştir [105, 106, 107, 108].

Son zamanlarda, borun muhtemelen hayvan ve insan sağlığı için gerekli olduğu düşünülmektedir. Bor, çeşitli reaksiyonların sentezinde ve metabolizmasında rol oynayan hidroksilasyon reaksiyonlarına katılıyor gibi görünmektedir [109].

Bor, artrit için etkili bir tedavi seçeneğidir ve kemik, eklem ve kırıkdağa kalsiyum entegrasyonunu etkin bir şekilde artırarak vakaların %95'inde görülen kemik gelişiminde önemli iyileşmeye neden olur. Ayrıca, testosteron ve östrojeni içeren birkaç hormonu da etkiler [110]. Kanser tedavisi, bor nötron yakalayıcı maddeler ile sağlanabilir. Borik asit, in vitro olarak meme kanseri hücrelerinin üstesinden gelmek için çok faydalıdır [111].

Borun vücuttaki bazı kan pıhtılaşma faktörlerini etkileyebileceği tahmin edilmektedir. Bor, konjestif kalp yetmezliği durumlarının neden olduğu sorunları belirgin bir şekilde hafifletebilir. Lipid birikimini azaltmaya yardımcı olur ve çeşitli yollarla kolesterolün atılmasına izin verir, bu nedenle kan pıhtıları ve ateroskleroz gibi durumların gelişme riskini en aza indirir ve vücudu kalp krizi ve felçlere karşı korur [112]. Ancak bu sonucu doğrulamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır, bu da kalp hastalığına karşı mücadelede önemli bir yer alır. Karmaşık yapı ve bağlanma özellikleri nedeniyle boratlar, aldehytler dehidrojenaz, nitrik oksit sentaz, peptidaz, ksantin oksidaz ve proteazlar gibi enzimler üzerinde inhibe edici etki göstermiştir [113]. Bor, testosteron, östrojen, glikoz ve insülin metabolizmasını etkiler. Glikoproteinler, glikolipidler ve hidroksil grubuna sahip diğer moleküller borik asit ile kompleks oluşturabilir ve membranın bütünlüğünü değiştirebilir [114, 115].

Boratlar ayrıca kanserde, yara iyileşmesinde, hastalıkları kontrol etmede, genotoksisiteyi azaltmada ve mitokondriyal membran aktivitesini aktif etmede anti-enflamatuar ve antioksidan bir ajan olarak fayda sağlar [116, 117]. Ek olarak, borik asit, pestisitler tarafından baskılanan [115] ve ayrıca vücudu CCL₄ ve diğer ajanların [116] indüklediği oksidatif stresten koruyan asetilkolinesterazın işini elden geçirmiştir [118]. Gerekli bor miktarları türe özgüdür ve ayrıca oldukça değişkendir. İnsanlar dahil çoğu türde, gerekli bor miktarı tam olarak belirli hale getirilmeye devam ediliyor.

5. Sonuç

Bu çalışmada incelediğimiz makalelerde deterjan sektöründen uzay teknolojisine kadar yüzlerce farklı alanda kullanılan bor elementinin özellikle Türkiye için büyük stratejik önemi vardır. Borun Türkiye dışındaki rezervlerinin kullanım ömrünün yaklaşık 50 yıl süreceği tahmin ediliyor. Öte yandan Türkiye 450-500 yıl tüm dünyanın bor taleplerini karşılayabilme kapasitesine sahiptir. Bor bileşiklerinin, özellikle tekstil terbiye işlemlerinde sürece dahil edilmesi, sadece Türkiye'de değil, tüm dünyada da bor kullanımını artıracaktır. Türkiye'deki büyük bor rezervleri göz önüne alındığında, bor bileşiklerinin tercihi, artan çevre bilincinin yanı sıra ülke ekonomisine de katkıda bulunacaktır. Bor, yüksek tutuşma sıcaklığı gibi üstün bir özelliğe sahiptir. Borun alev geciktirici etkisi pek çok çalışmaya konu olmuştur. Çinko borat, borik asit ve floroborat en çok kullanılan alev geciktirici bor bileşikleridir. Bor bileşikleri alev geciktirici olarak kullanıldıklarında çevre dostudur. Toksik gaz salınımına neden olmazlar ve düşük uçuculuk değerine sahiptirler. Bor bileşikleri sadece çevre dostu değil, aynı zamanda tekstil endüstrisinde kullanımını destekleyen, indirgeme, ağartma ve alev geciktirici gibi diğer önemli özelliklere ve antibakteriyel özelliklere de sahiptir. Borun fizyolojik miktarları, büyüme ve gelişme ile ilgili çeşitli maddelerin metabolizmasını ve tüketimini değiştirebilir. Bu nedenle bor, genellikle cilt, beyin, sindirim sistemi, iskelet ve bağışıklık organları ve sistemleri dahil olmak üzere çeşitli organları ve vücut sistemlerini etkiler. Omurgalılarda, boratlar benzersiz bağlanma ve yapısal özellikleri için gereklidir. Bor çiçeklenme, tohum oluşumu, tozlaşma ve meyve kalitesi için gerekli olan önemli bir besindir. Yeterli bor alımı, polen tüpü oluşumunda ve polen çimlenmesinde rol oynadığından, artan dölleme ve meyve tutumuna yardımcı olması gibi birçok konu önemli görülmüştür. Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerden meydana gelen farklı özellikleri sebebiyle, bor esaslı bileşiklerin birçok endüstride kullanılması konusunda sağladığı avantajlar oldukça fazladır. Bor, moleküllerinin kimyasal tepkimeye girmesi sonucunda oluşan bileşikler tıpkı grafen, karbon gibi elektrik iletkenlik özellikleri yüksek olan ürünler oluşturmaktadır. Aynı zamanda kristalize yapıdaki bor, görünüm ve optik özellikleri bakımından elmas yapısına benzer ve neredeyse onun kadar serttir. Mukavemetli yapısıyla da son yıllarda oldukça öne çıkan malzemelerden biridir. Gerek konvansiyonel ham malzemelerde oluşan yetersizlik, gerekse sürdürülebilir bir üretim akışı için bor kaynaklı ürünlerin kullanımı çok stratejiktir. Çalışma kapsamında ele

alınan kullanım alanlarının daha da yaygın olacağı öngörülmektedir. Bor bileşiklerinin olumlu çevresel etkisi ve uzun süreli yaşam döngüsü bor esaslı malzemelerin önemli avantajlarından. Yapılan araştırmalar ve literatürde yer alan makaleler ışığında bor madenin yıkama maddesi, kompozit dolgu maddesi ve tarım yardımcı kimyasalı olarak kullanımının olumlu sonuç verebileceği düşünülen temizlik, kozmetik, sağlık, otomotiv sektörleri içerisinde yer alabilmesi bakımından detaylı araştırmaların ve laboratuvar çalışmalarının yapılması önerisi sunulabilir.

Kaynakça

- [1]. Sokmen N., Büyükkakinci B. Y., The Use Of Boron / Boron Compounds In The Text Industry And Their Use In Turkey, Cbu International Innovation Conference Science And Education, March 21-23, 2018, Prague, Czech Republic
- [2]. Baker A., Dutton S., Kelly D., Composite Materials For Aircraft Structures, Properties Of Composite Systems, American Institute Of Aeronautics And Astronautics, Inc. 1801 Alexander Bell Drive, Reston, Va 20191-4344
- [3]. Gelgeç, E., Yildirim, F. F., Tümru, Ş., Çerekcioğlu, M., Developing Flame Retardant Properties Of Cotton Factories With Boron Compounds, Mcbü Soma Profession School Of Technical Science Journal Of The Year: 2018 Issue: 26 Volume: II, Jain, A., Anthonysamy, S., Ananthasivan, K., & Gupta, G. S. (2010). Studies on the ignition behaviour of boron powder. *Thermochimica Acta*, 500(1-2), 63-68.
- [4]. Where Are Boron Mines Located And What Are Their Uses. (2020). Milliyet Newspaper (20.09.2020).
- [5]. General Directorate Of Eti Mining Enterprises, Boron Sector Report, May 2020 Strategy Development Department
- [6]. Y.F. Li, Z. Zhou, J. Zhou *Journal of Chemical Physics*, 127 (2007), p.184705
- [7]. Hunter, H., Hassanin, A., Hamouda, T., Kılıç, A., A Review On The Current State Of Art And Future Problems, *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Eskisehir Osmangazi University*, *HighPerformance Fibers*: 27, 130-155, 2
- [8]. Foltz, T. (2020). Business Development Director, Composites World, Specialty Materials, Boron Fiber: Original High Performance Fiber
- [9]. M. Hagenbeek, C. Van Hengel, O.J. Bosker, G.A.J.R. Vermeeren *Applied Composite Material*, 10 (2003) pp. 207-222
- [10]. Materials And Processes: Fibers For Composites. (2016, 17 March). Erişim adresi <https://www.compositesworld.com/articles/the-fiber>
- [11]. Elmogahzy Y, Farag R (2018) Tensile Properties Of Cotton Fibers: Their Importance, Research And Limitations. In: Handbook Of The Properties Of Textile And Technical Fibers, 2. Edn. Elsevier, P. 223-273
- [12]. Horrocks Ar (1996) Advances In Heat And Fire Resistant Flame Retardants Textiles— The Role Of Char Formation And Intumescence. *Polym Degrad Stab* 54(2-3):143-154
- [13]. Xue C-H, Zhang L, Wei P, Jia S-T (2016) Fabrication Of Superhydrophobic Cotton Textiles With Flame Retardancy. *Cellulose* 23 (2):1471- 1480.
- [14]. Qiu X, Li Z, Li X, Zhang Z (2017) Flame Retardant Coatings Prepared By Layer By Layer Assembly: A Review. *Chem Eng J* 334: 108-122
- [15]. Ma Y, Cao C, Hou C (2018) Preparation Of Super-Hydrophobic Cotton Fabric With Crosslinkable Fluoropolymer. 477:955-962.
- [16]. Tsafack Mj, Levalois-Grützmacher J (2006) Flame Retardancy Of Cotton Textiles By Plasma-induced Graft-Polymerization (P1gp). *Surf Coat Technol* 201 (6): 2599-2610
- [17]. Zhang D, Williams Bl, Shrestha Sb, Nasir Z, Becher Em, Lofink Bj, Santos Vh, Patel H, Peng X, Sun L (2017) Flame Retardant And Hydrophobic Coatings On Cotton Fabrics Via Sol-Gel And Self-assembly Techniques. *J Colloid Interface Sci* 505: 892-899. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.06.087>
- [18]. Vasiljević J, Tomšič B, Jerman I, Et Al. (2014) Novel Multifunctional Water-And Oil-repellent, Antibacterial, And Flame-retardant Cellulose Fibers Created By The Sol-Gel Process. *Cellulose* 21(4): 2611-2623
- [19]. Castellano A, Colleoni C, Iacono G, Et Al. (2019) Synthesis And Characterization Of A Phosphorous/Nitrogen Based Sol-Gel Coating As A Novel Halogen-And Formaldehyde-Free Flame Retardant Finishing For Cotton Fabric. *Polym Gradient Stab* 162:148-159
- [20]. Luo X, Weng Y, Wang S, Et Al. (2019) Superhydrophobic And Oleophobic Textiles With Hierarchical Micro-Nano Structure Constructed By Sol-Gel Method. *J Sol-Gel Sci Technol* 89: 820- 829
- [21]. Poly R, Colleoni C, Calvimontes A, Et Al. (2015) Innovative Sol-Gel Route In Neutral Hydroalcoholic Condition To Obtain Antibacterial Cotton Finishing By Zinc Precursor. *J Sol-Gel Sci Technol* 74: 151-160
- [22]. Camlibel No, Arik B (2017) Sol-Gel Applications In Textile Finishing Processes. In: *Recent Applications In Sol-Gel Synthesis*. Recent Appl Sol-Come Synth Intechopen Ltd Uk, Pp 253- 281
- [23]. Rivero P, Goicoechea J (2016) Sol-Gel Technology For Antimicrobial Textiles. In: *Antimicrobial Textiles*. Elsevier, Cambridge, Pp 47-72.
- [24]. Boukhriss A, Gmouh S, Hannach H, Roblin J-P, Cherkaoui O, Boyer D (2016) Treatment Of Cotton Fabrics By Ionic Liquid With Pf6—Anion For Enhancing Their Flame Retardancy And Water Repellency. *Cellulose* 23 (5):3355-3364. <https://doi.org/10.1007/S10570-016-1016-9>
- [25]. Bentis A, Boukhriss A, Grancaric Am, El Bouchti M, El Achaby M, Gmouh S (2019) Flammability And Combustion Behavior Of Cotton Fabrics Treated By The Left Gel Method Using Ionic Liquids Combined With Different Anions. *Cellulose*
- [26]. Boukhriss A, Boyer D, Hannache H, Roblin J-P, Mahiou R, Cherkaoui O, Therias S, Gmouh S (2015) Sol-Gel Based Water Repellent Coatings For Textiles. *Cellulose* 22 (2): 1415-1425
- [27]. Bentis A, Boukhriss A, Boyer D, Gmouh S (2017) Development Of Flame Retardant Cotton Fabric Based On Ionic Liquids Via Sol-Gel Technique. Iop Publishing, Uk, P 122001

- [28]. Deh S, Gähr F, Buchmeiser Mr (2016) Synergistic Effects In The Pyrolysis Of Phosphorus-Based Flame-Retardants: The Role Of Si-And N-Based Compounds. *Polym Gradient Stab* 130: 155-164
- [29]. Rosace G, Castellano A, Trovato V, Et Al. (2018) Thermal And Flame Retardant Behavior Of Cotton Fabrics Treated With A Novel NitrogenContaining Carboxyl-Functionalized Organophosphorus System. *Carbohydrin* 196:348- 358
- [30]. Axit A, Onar N, Kutlu B, Et Al. (2016) Synergistic Effect Of Phosphorus, Nitrogen And Silicon On Flame Retardancy Properties Of Cotton Fabric Treated By Sol–Gel Process. *Int J Cloth Sci Technol* 28: 319-327
- [31]. Grancaric Am, Colleoni C, Guido E, Botteri L, Rosace G (2017) Thermal Behavior And Flame Retardancy Of Monoethanolaminedoped Sol–Gel Coatings Of Cotton Fabric. *Prog Org Coat* 103: 174-181
- [32]. Zhang Q-H, Zhang W, Chen G-Q, Xing T (2015) Combustion Properties Of Cotton Fabric Treated By Boron Doped Silica Sol. *Therm Sci* 19: 1345-1348
- [33]. Zhang Q, Gu J, Chen G, Xing T (2016) Durable Flame Retardant Finish For Silk Fabric Using Boron Hybrid Silica Sol. *Appl Surf Sci* 387: 446-453
- [34]. Levan Sl, Tran Hc (1990) The Role Of Boron In Flame-Retardant Treatments. In: First International Conference On Wood Protection With Diffusible Preservatives:... Nashville, Tennessee. Forest Products Research Society, Madison, W1, Pp 39-41
- [35]. Dogan Gbb (2018) Nano-Boron For Textiles. U.S. Patent Application No. 15/762,477
- [36]. B. Walter Rosen, "Mechanics of Composite Strengthening," *Fiber Composite Materials*, American Society for Metals (1964).
- [37]. N. J. Travis & E. J. Cocks, *Tincal Trail*, (Harrap Limited, London, 1984).
- [38]. J. Steiner, *Glastech. Ber.* 66 (6/7) (1993), 165
- [39]. J. Kunckel, *Ars Vitaria Experimentalis* (Frankfurt And Leipzig, 1679), Part I, P. 206; Part Ii P.57-9.
- [40]. J. Cramer, *Elementa Artis Documasticae* (Leyden, 1739). English Translation *Elements Of The Art Of Metal Analysis* (London, 1741), P 440, N. 33.
- [41]. R. E, *Handmaid Ofthe Arts* (London, 1796), New Edition, Vol N, Pp 171,188-9 Op. Fence. Proa Second Int. Conf. Glasses On Borates, Crystals And Melts 321
- [42]. K. L. Loewenstein, *Manufacturing Technology Of Continuous Glass Fibers*, *Glass Science And Technology* 6, 3. Edition, (Elsevier 1993).
- [43]. A. De Dani, *Monthly Newsletter For The Glass Industry*, C. E. Ramsden & Co. Co., 370 May (1965).
- [44]. P. F. Aubourg & W W Wolf, In: *Commercial Glasses, Advances In Ceramics Voll8*, Eds. C. Boyd & J. F. Macdowell (Amer. Ceram S, Oc, Oh, Io, 1986), 51.
- [45]. R. L. Tiede & F. V Tooley, *Us Patent* 2,571,074 (1951), Owens-Corning
- [46]. U. E. Bowes, *U. S. Patent* 2,308,857 (1943), Owens-Corning
- [47]. A. Krishna Chaitanya, Biplab Pal, Sajal Pati And Shrikant Badole, *The Role And Management Of Boron In Plant Production, Popular Kheti*, 2014
- [48]. Çetinkaya, E., Dönmez, K. B., Deveci, S., Doğu, M., Şahin Y. (2014). Determination Of Plant Available Boron In Agricultural Soil By Using Voltammetric Method, *Eurasian Soil Science*
- [49]. Tanaka M, Fujiwara T (2008) Physiological Roles And Transport Mechanisms Of Boron: Perspectives From Plants. *Eur J Physiol*
- [50]. Goldbach He, Wimmer Ma (2007) Boron In Plants And Animals: Is There A Role Beyond Cell Wall Structure? *J Plant Nutr Soil Sci*
- [51]. Waqar Ahmad, A. Niaz, P. Kanwal, Rahmatullah And M. Khalid Rasheed, *The Role Of Boron In Plant Growth: A Review, Journal Of Agricultural Research*, January 2009
- [52]. Kohorn Bd, Kobayashi M, Johansen S, Friedman Hp, Fischer A, Byers N (2006) WallBound Kinase 1 (Wak1) Is Cross-Linked In Endomembranes And Its Transport To The Cell Surface Requires Accurate Cell Wall Synthesis. *J Cell Sci*
- [53]. Barranco Wt, Eckhart Cd (2004) Boric Acid Inhibits Human Prostate Cancer Cell Proliferation. *Cancer Lett*
- [54]. Ryden P, Sugimoto-Shirasu K, Smith Ac, Findlay K, Reiter Wd, Mccann Mc (2003) Tensile Properties Of Arabidopsis Cell Walls, And Ksilogluka Cross-Linked Borate Complex Depends On Both The Network Mikrofibri Ramnogalakturonan Ii. *Plant Physiol*
- [55]. Brown Ph, Bellaloui N, Wimmer Ma, Bassil Es, Ruiz J, Hu H, Pfeffer H, Dannel F, Römheld V (2002) Boron In Plant Biology. *Plant Biol* 4
- [56]. Ma, Ishii T, Albersheim P, Darvill Ag (2004) Rhamnogalacturonan Ii: Structure And Function Of Borate Cross-Linked Cell Wall Pectic Polysaccharide. *Ann Rev Plant Biol*
- [57]. Noguchi K, Ishii T, Matsunaga T, Kakegawa K, Hayashi H, Fujiwara T (2003) Biochemical Properties Of The Cell Wall In Boridopsis Mutant Bor1–1. *J Plant Nutr Soil Sci*
- [58]. Ishii T, Matsunaga T, Iwai H, Satoh S, Taoshita J (2002) Germanium Does Not Replace Boron In The Crosslinking Of Ramnogalacturonan Ii In Pumpkin Cell Walls. *Plant Physiol*
- [59]. O'neill M, Eberhard S, Albersheim P, Darvill A (2001) Borate Cross-Binding Of Cell Wall Ramnogalacturonan Ii For Arabidopsis Growth.
- [60]. Goldbach He, Yu Q, Wingender R, Schulz M, Wimmer M, Fineklee P, Baluska F (2001) Rapid Response Reactions To Boron Absence Of Roots. *J Plant Nutr Soil Sci* 164
- [61]. Ozturk, M., Sakcali, S., Gucel, S., and Tombuloglu, H., *Boron And Plants*, March 2010
- [62]. M. Saleem1, P.M. Khanif, C.I. Fauziah, A.W. Samsuri And B. Hafeez1, Efficiency Of Crushed Ore Colemanite As Boron Fertilizer For Rice Grown Under Calcareous Soil Conditions, *Pak. J. Pain. Sci.*, Vol. 50(1), 37-42; 2013
- [63]. Sahin, S. (2014). Effect Of Boron Fertilizer Applications On The Growth And B, N Uptake Of Maize (*Zea Mays L.*) Under The Different Soils, *Journal Of Food, Agriculture & Environment* Vol.12 (2): 1323-1327.

- [64]. Hosakere Shivanna Kumaraswamy^{1*}, Vinjamuri Bharat², T. Krishna Rao², Effect Of Boron Fiber Powder And Graphite Supplements On Physical And Mechanical Properties Of Aluminum 2024 Alloy Manufactured By Mixing Casting, *Journal Of Minerals And Materials Characterization And Engineering*, 2019, 7, 103-116
- [65]. N. Brack¹, A. N. Rider², B. Halstead¹ And P. J. Pigram¹, Surface Modification Of Boron Fibers To Increase Strength In Composite Materials, *J. Adhesion Sci. Technol.*, V.Be. 19, No. 10, P. 857- 877 (2005)
- [66]. Fatih Euphrates, Gas Phase Reaction Requirements For A Master's Degree In Chemistry In Boron Fiber Production, *Partially Engineering*, June 2004
- [67]. Sturwold, R.J. Cincinnati-Vulcan Co., U.S. Patent, 4,675,125, 1987.
- [68]. 1998 The Soap and Detergent Association, Boron
- [69]. Jy Huang And Yt Zhu, "Advances In The Synthesis And Characterization Of Boron Nitride" *Defect And Diffusion Forum*, Vol. 186-187, No. 1, 2000, Pages 1-32.
- [70]. Wj Yu, Wm Lau, Sp Chan, Zf Liu, And Qq Zheng, "An Initial Study Of Phase Transformations In Boron Nitride," *Physical Review B*, Vol. 67, No. 1, 2003, P. 14108-14116. Doi: 10.1103 / Physrevb.67.014108
- [71]. Y. Chen, M. Conway, J. S. Williams, And J. Zou, "Large Quantity Production Of High-Yield Boron Nitride Nanotubes", *Journal Of Materials Research*, Vol. 17, No. 8, 2002, P. 1896-1899. Doi: 10.1557 / Jmr.2002.0281
- [72]. C. Zhi, Y. Marching Band, C. Tang And D. Golberg, " Boron Nitride Nanotubes, " *Materials Science And Engineering R*, Vol. 70, No. 3-6, 2010, P. 92-111. Doi: 10.1016 / J.Mser.2010.06.004
- [73]. S. Komatsu, Y. Shimizu, Y. Moriyoshi, K. Okada And M. Mitomo, " Preparation Of Boron Nitride Nanocapsules By Plasma-Assisted Pulsed Laser Deposition, " *Journal Of Applied Physics*, Vol. 91, No. 9, 2002, P. 6181-6184. Doi: 10.1063 / 1.1461889 [Citation Time: 1]
- [74]. T. Read, M. Kuno And H. Kitahara, " Formation, Atomic Structures And Properties Of Boron Nitride And Carbon Nanosage Fullerene Materials, " *Internacional Journal Of Inorganic Materials*, Vol. 7, 2001, Page 597-612. Doi: 10.1016 / S1466-6049 (01) 00169-6
- [75]. P. Dibandjo, L. Bois, F. Chassagneux And P. Miele, " Thermal Stability Of Mesogespacific Boron Nitride Template With Cationic Surfactant", *Journal Of The European Ceramic Society*, Vol. 27, No. 1, 2007, P. 313-317. Doi: 10.1016 / J.Jeurceramsoc2006.04.178 [Citation Time: 1]
- [76]. Ly Chen, Yi Gu, L. Shi, Zh Yang, Jh Ma, And Yt Qian, "Room Temperature Approach To Boron Nitride Hollow Spheres", *Solid State Communication*, Vol. 130, No. 8, 2004, P. 537-540. Doi: 10.1016 / J.Ssc.2004.03.009 [Citation Time: 1] 10.1007 / S13233-010-0601-2 [Citation Time: 1]
- [77]. H. J. Hwang, Nam Barakat, Ma Kanjwal, Fa Sheikh And Hy Kim, "Boron Nitride Nonofibers With Electrospinning Technique," *Macromolecular Research*, Vol. 18, No. 6, 2010, P.551-557. Doi: 10.1007 / S13233-010-0601-2 [Citation Time: 1]
- [78]. Rs Galleoncu, " Bn Powder Synthesis At Low Temperatures " *Ceramic Engineering And Science Proceedings*, Vol. 6, No. 9-10, 1985, P. 1356-1363. Doi: 10.1002 / 9780470320297. Ch18 [Citation Time: 1]
- [79]. L. Gao And J. Li, " Preparation Of Nanostructured Hexagonal Boron Nitride Powder", *Journal Of The American Ceramic Society*, Vol. 86, No. 11, 2003, P. 1982-1984. Doi: 10.1111 / J.1151- 2916.2003.Tb03596.X [Citation Duration: 1]
- [80]. J. E Costa And E. Lascaz, " Fotoprotectores " *Medicina Cutánea Ibero-Latino Americana A*, Vol. 29, No. 3, 2001, P. 145-152. [Citation Time: 1]
- [81]. Lh Kligman, " Intensification Of Ultraviolet-Induced Skin Damage By Infrared Radiation, " *Archives Of Dermatological Research*, Vol. 272, No. 3-4, 1982, Pp. 229-238. Doi: 10.1007 / Bf00509050 Doi: 10.1007 / Bf00509050 [Citation Period: 1]
- [82]. S. Cho, Mh Shin, Yk Kim, Je Seo, Ym Lee, Ch Park, And Jh Chung, "Effects Of Infrared Radiation And Heat On Human Skin Aging In Vivo", *Journal Of Investigative Dermatology Symposium Proceedings*, Vol. 14, No. 1, 2009, P. 15-19. Doi: 10.1038 / Jidsymp.2009.7
- [83]. C. Calles, M. Schneider, F. Macaluso, T. Benesova, J. Krutmann And P. Schroeder, " An Infrared Radiation Affects Skin Fibroblast Transcriptoma: Mechanisms And Results, " *Journal Of Investigative Dermatology*, Vol. 130, No. 6, 2010, P. 1524-1536. Doi: 10.1038 / Jid.2010.9
- [84]. Sm Schieke, P. Schroeder And J. Krutmann, " Cutaneous Effects Of Infrared Radiation: From Clinical Observations To Molecular Response Mechanisms, " *Photodermatology Photoimmunology & Photomedicine*, Vol. 19, No. 5, 2003, P. 228-234. Doi: 10.1034 / J.1600-0781.2003.00054.X [Citation Duration: 2]
- [85]. J. Flor, M. R. Davolos And M. A. Correa, "Protectores Solares," *Química Nova*, Vol. 30, No. 1, 2007, P. 153-158. Doi: 10.1590 / S0100- 40422007000100027 [Citation Period: 1]
- [86]. Ansell, JM, Ito, K. Report for International Cooperation of Cosmetic Regulation. Associations Survey of Nanomaterials Used in Cosmetic Products. 2011.
- [87]. Devrian Ta, Volpe SI (2003) Physiological Effects Of Dietary Pipe. *Crit Rev Food Sci* 43
- [88]. Ricardo A, Carrigan Ma, Olcott An, Benner Tu (2004)
- [89]. Naghii MR, Samman S. The effect of boron supplementation on its urinary excretion and selected cardiovascular risk factors in healthy male subjects. *Biol Trace Elem Res*. 1997;56(3):273-286.
- [90]. Smith Ra, Mcbroom Rb (2000) Boron Oxides, Boric Acid And Borates. *Kirk-Othmer Chemical Tecnology Encyclopedia*
- [91]. Mogoşanu Gd, Biţă A, Bejenaru Le, Bejenaru C, Croitoru O, Rău G, Rogoveanu Oc, Florescu Dn, Neamţu J, Scorei Id, Scorei Rı (2016) Calcium Fructoborate For Bone And Cardiovascular Health. *Biol Trace Elem Res*
- [92]. Kurtoğlu F, Kurtoğlu V, Celik I, Kececi T, Nizamlioğlu M (2005) Adequate Or Insufficient Cholecalciferol (Vitamin D3) Content Of Dietary Boron Supplements. *Br Poult Sci*
- [93]. Kabu M, Civelek T (2012) Effects Of Propylene Glycol, Methionine And Sodium Borate On Metabolic Profile During Periparturient Period In Dairy Cattle. *Rev Med Vet* 163 (8): 419-430

- [94]. Haseeb K, Wang J, Xiao K, Yang Kl, Sun Pp, Wu Xt, Song H, Liu Hz, Zhong Jm, Peng Km (2017) Effects Of Boron Supplementation On Hsp70 Expression In The Spleen Of African Ostrich
- [95]. Nielsen Fh, Shuler Tr (1992) Studies On The Interaction Between Boron And Calcium In Rats And Its Modification By Magnesium And Potassium.
- [96]. Volpe Sl, Taper Lj, Meacham S (1993) The Relationship Between Boron And Magnesium Status In Humans And Bone Mineral Density: A Review. *Magnes Res*
- [97]. Ghanizadeh G, Babaei M, Naghii Mr, Mofid M, Torkaman G, Hedayati M (2014) The Effect Of Increased Intake Of Calcium, Vitamin D, Boron And Fluoride On Bone Mechanical Properties And Metabolic Hormones In Rats. *Toxicol Ind Health* 30
- [98]. Zanka T, Sigler K (2008) Biologically Active Compounds Of Semi-Metals. *Breeder Nat*
- [99]. Chen X, Schauder S, Potier N, Van Dorsselaer A, Pelezer I, Bassler Bl, Hughson Fm (2002) Structural Identification Of A Boron-Containing Bacterial Majority Detection Signal.
- [100]. Amine Sa, Kupper Fc, Green Dh, Harris Wr, Carrano Cj (2007) Boron Binding By A Siderophore Isolated From Marine Bacteria Associated With The Toxic Dinoflagellate *Gymnodinium Catenatum*. *J Am Chem Soc*
- [101]. Bolanos L, Lukaszewski K, Bonilla I, Blevins D (2004) Why Bor? *Plant Physiol Biochemistry*
- [102]. Wolkenstein K, Gross Jh, Falk H (2010) Boron-Containing Organic Pigments From Jurassic Red Algae. *Proc Natl Acad Sci*
- [103]. Miwa K, Fujiwara T (2010) Boron Transport In Plants: Coordinated Regulation Of Shippers.
- [104]. Ahmed I, Yokota A, Fujiwara T (2007) A New High Boron-Tolerant Bacterium, *Bacillus Boroniphilus* Sp. November, Isolated From Soil, Requiring Boron To Grow. *Extremophiles* 11
- [105]. Bolaños L, Redondo-Nieto M, Bonilla I, Wall Lg (2002) Boron In The Symbiotic Relationship Of *Discaria Trinervis* (Rhamnaceae) And *Frankia*. *Frankia Bcu110501 Growth And Its Importance For Nitrogen Fixation*
- [106]. Bolaños L, Redondo-Nieto M, Rivilla R, Brewin Nj, Bonilla I (2004) Cell Surface Interactions Of *Rhizobium* Bacteroids And Other Bacterial Strains With Symbiosomal And Peribacteroid Membrane Components From Pea Nodules. *Mol Plant-Microbe Interact*
- [107]. Bonilla I, Garcia-González M, Mateo P (1990) Possible Role Of Boron In The Early Evolution Of Photosynthetic Organisms In Cyanobacteria.
- [108]. Hunt Cd (2003) Dietary Boron: An Overview Of The Evidence For Its Role In Immune Function. *J Trace Elem Exp Med*
- [109]. Moustafa Sr (2015) Clinical Relationship Between Boron, Caesium, Rhenium And Rubidium Changes And The Pathogenesis Of Atherosclerosis.
- [110]. Söğüt I, Paltun So, Tuncdemir M, Ersoz M, Hurdag C (2017) Antioxidant And Anti-Apoptotic Effect Of Boric Acid On Hepatotoxicity In Chronic Alcohol-Fed Mice. *Can J Physiol Pharmacol*
- [111]. Coates Pm, Blackman M, Betz Jm, Cragg Gm, Levine Ma, Moss J, White Jd (2010) Boron: In The Encyclopedia Of Dietary Strategies.
- [112]. Nielsen F. H. (2008). Is Boron Nutritionally Relevant? *Nutrition Reviews®* Vol. 66(4):183–191 183, <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2008.00023.x>
- [113]. Henderson K, Stella Sl, Kobylewski S, Eckhart Cd (2009) Receptor-Active Ca (2+) Signaling Is Inhibited By Boric Acid In Prostate Cancer Cells. *Plos*
- [114]. Willow I, Capricorn A, Kartkaya K, Ol Kk, Willow Ms, Kanbak G, Inal Me (2015) The Effect Of Boric Acid On Oxidative Stress In Fetal Alcohol Syndrome. *Experiment Med* 9
- [115]. Üstündağ A, Behm C, Follmann W, Duydi Y, Degen Gh (2014) Protective Effect Of Boric Acid On Lead And Cadmium-Induced Genotoxicity In V79 Cells. *Arch Toxicol* 88
- [116]. Çoban Fk, Ince S, Küçük Kurt I, Demirel Hh, Hazman O (2015) Boron Reduces Malathion-Induced Oxidative Stress And Acetylcholinesterase Inhibition In Mice. *Drug Chem Toxicol* 38
- [117]. Ince S, Keles H, Erdoğan M, Hazman O, Küçük Kurt I (2012) Protective Effect Of Boric Acid Against Carbon Tetrachloride-Induced Hepatotoxicity In Mice. *Drug Chem Toxicol* 35
- [118]. Ince S, Küçük Kurt I, Liğerci Ih, Fatih Fa, Eryavuz A (2010) Effects of Dietary Boric Acid And Borax Treatments On Lipid Peroxidation, Antioxidant Activity And Dna Damage In R.



Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyelinin Sayısal Hava Tahmin Sistemi ile Simülasyonu ve Analizi*

Fahrettin Fırat Özdemir^{1†}, Abdulla Sakallı²

^{1*} İskenderun Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, İskenderun-Hatay, Türkiye, (ORCID: [0000-0002-3060-5014](https://orcid.org/0000-0002-3060-5014)), fozdemir.ee20@iste.edu.tr

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Doğa ve Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İskenderun-Hatay, Türkiye, (ORCID: [0000-0002-2488-7318](https://orcid.org/0000-0002-2488-7318)), abdulla.sakalli@iste.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 20 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 11 Ocak 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1191826)

ATIF/REFERENCE: Özdemir, F.F. & Sakallı, A. (2023). Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyelinin Sayısal Hava Tahmin Sistemi ile Simülasyonu ve Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 179-192.

Öz

Dünya genelinde enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Kullanılan fosil temelli yakıtlar, dünya üzerinde yeryüzü sıcaklığındaki yükselmelere, ozon tabakasında oluşan yıkımlara, iklim değişikliklerine sebep olduğu bilinmektedir ve sonucunda geri dönüşmesi zor hasarlar meydana getirmektedir. Rüzgâr enerjisi gibi çevreci ve yenilebilir enerji kaynakları her yıl daha da gelişmekte, kara ve su üzerinde kullanılarak, etkileyici bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte atmosferin stokastik ve tahmin edilmesi zor yapısı, rüzgâr hızında rastgeleliklere ve kesintilere ve sonucunda rüzgâr gücündeki dalgalanmalara sebep olmaktadır. Bu nedenle enerji piyasalarında, rüzgâr gücünün etkili, güvenilir ve kararlı bir yapıda kullanılabilmesi için kısa vadede yapılan tahminler büyük önem arz etmektedir. Atmosferin yapısının sayısal denklemlerle ve WRF-ARW (Weather Research and Forecasting Model) modellemesiyle iyi temsil edilmesi ile bu sorun günümüzde daha kolay bir hale gelmiştir. Yine de model parametreleri, başlangıç koşulları doğru bir şekilde seçilmelidir. Türkiye'de altı farklı bölgede yaptığımız ayrıca tüm Türkiye'yi kapsayan sıcaklık, yağış ve rüzgâr hızı tahminleri ve eğri eşitleme metodu ile Türkiye'nin 2,3 MW (megavat) ve 3 MW'lık rüzgâr gücü üretim potansiyeli tahminlerimiz, orta ve uzun vadede uygulanabilir enerji yatırımları için uygun bir alternatif kaynak sağlayabilir. Bu çalışmada Çanakkale bölgesinde yıllık rüzgâr hızı tahminlerinde sırasıyla 1,35 MAE (Mean Absolute Error) ve d (0,87), IOA (Index of Agreement) değerlerine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, Sistem simülasyonu, WRF, Matematiksel modelleme, Yöneylem araştırması.

Simulation and Analysis of Turkey's Wind Energy Potential with Numerical Weather Forecasting System

Abstract

Energy requirements are increasing all over the world. The fossil-based fuels used are known to cause rises in the earth's temperature, destruction of the ozone layer, and climate changes, and as a result, they cause irreversible damage. Environmental and renewable energy sources such as wind energy are developing more and more each year and have an impressive potential by being used on onshore and offshore. However, the stochastic and difficult-to-predict structure of the atmosphere causes randomness and interruptions in wind speed and consequently fluctuations in wind power. For this reason, short-term forecasts have a great value in order to use wind power in an effective, reliable and stable structure in energy markets. This problem has become easier today, as the structure of the atmosphere is well represented by numerical equations and WRF-ARW (Weather Research and Forecasting Model) modelling. However, the model parameters, initial conditions must be chosen correctly. With the temperature, precipitation and wind speed forecasts we made in six different locations in Turkey, as well as our 2.3 MW (megawatt) and 3 MW wind power generation potential forecasts covering the whole country using the curve equalization method, we can provide a suitable alternative source in medium and long term for feasible energy investments. In this study, the annual wind speed forecasting in Çanakkale was 1.35 MAE (Mean Absolute Error) and d (0.87), IOA (Index of Agreement) values, respectively.

Keywords: Wind energy, System simulation, WRF, Mathematical modeling, Operational research.

* Bu makale Fahrettin Fırat Özdemir 'in yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

^{1†} Sorumlu Yazar: fozdemir.ee20@iste.edu.tr

1. Giriş

Fosil yakıtlar hâlâ günümüzde bir bağımlılık olup, çevre ve doğaya verdiği zararlar bilinmektedir. Küresel ısınma ve karbon emisyonu dünya için ciddi bir tehdittir. Artan enerji talebi ve tükenen kaynaklar göz önüne alındığında yenilenebilir enerji sürdürülebilir bir alternatiftir (Guo ve Xiao, 2014).

Rüzgâr enerjisi tüm dünyada geçerliliği olan bir enerji kaynağıdır ve kullanımı, rüzgâr hızının sahip olduğu kinetik enerjiden mekanik enerjiye, bir türbini döndürme prensibi ile ve jeneratör vasıtasıyla bunu elektrik enerjisine dönüştüren bir yapı ile mümkün olur. Rüzgârın kararsız ve değişken doğası onun güç sistemleri üzerinde kullanılmasında duraksamalar ve zorluklar meydana getirir (Li ve ark., 2019). 2000 yılından hemen önceki yıllarda rüzgâr analizleri çevresel ve kamu politikalarının bir gereği olarak, potansiyel bir enerji kaynağı ve emisyon azaltma stratejileri gibi konularda daha çok ilgi görmeye başlamıştır (Teixeira ve ark., 2020).

2017 yılındaki verilere göre rüzgâr enerjisi ile elektrik üretiminin, yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki oranının %17 civarlarında olduğu tahmin edilmektedir. Fakat toplam kapasitesi %23'tür. Yaklaşık otuz yıl sonunda, kullanım oranının %40'a yaklaşması ve 4 Terawatt üzerinde bir güç sağlaması beklenmektedir, fosil yakıtlar ise %80'in üzerindeki kullanım ile hâlâ birinci kaynak olarak kullanılmaktadır (Salazar ve ark., 2021). Türkiye 2021 yılının ilk iki çeyreğinde toplam rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi oranı %9,22'ye ulaşmış, enerji sektörü içerisindeki büyümesini ve gelişmesini sürdürmüştür. Türkiye'nin batısındaki rüzgârlar ise potansiyelin önemli bir kısmını kapsamaktadır ve 2020 yılında bir önceki yıla göre toplam kapasitesi %15,19 büyüme göstermiştir (TWEA, 2021; GWEC, 2021).

Kara yüzeyindeki kurulumlar haricinde, su üzerinde yüzen ve kule bölümü suyun altında olmak üzere sabit tabanlı rüzgâr türbinleri mevcuttur. Bu kurulumlar daha karmaşık ve daha maliyetli olabilir, üretilen gücün aktarımı ise başka zorluklar doğurur. Yine de açık denizdeki kurulumların, kara kurulumlarına göre birçok avantajı da bulunmaktadır (Akdağ ve Yeroğlu, 2019).

Uygun bir rüzgâr gücü değerlendirmesi yatırımcılara yatırım maliyetleri için uygulanabilirliğin değerlendirilmesi ve risklerin minimuma indirilmesi için uygun analizi sağlar (Erduman ve ark., 2018). Rüzgârın yön, hız ve nihayetinde güç tahminleri için kullanılan istatistiksel, fiziksel, filtreleme, makine öğrenimi ve bunların bir arada kullanıldığı hibrit yöntemler mevcuttur. İstatistiksel yaklaşımlar, genellikle tarihsel verileri kullanır, tahmin eden ve edilen arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ele alır ve veriye çevirir (Groch ve Vermeulen, 2019). Bu konudaki sınırlılıklar dahilinde genellikle tek başına istatistiksel yöntemler kısa vadeli, sayısal yöntemler uzun vadeli tahminlerde daha başarılıdır. İstatistiksel yöntemler atmosfer fiziğini ve topografyadaki değişkenleri iyi temsil edemez fakat maliyet, zaman ve uygulama kolaylığı açısından tercih edilmektedir. Sayısal yöntemler rüzgârın doğasını daha iyi ele alır ve diferansiyel denklemler ile fiziksel özellikleri çözümler ve daha iyi temsil eder fakat başlangıç parametreleri ve sınır koşulları iyi ayarlanmalıdır. Sayısal yöntemler ile birlikte aykırı değerlerin ayıklanması, karar vericilerin belirlenmesi ve çıktıların filtrelenmesi için "Kalman Filtreleme, Analog Şemalar, Topluluk Modeli Çıktı İstatistikleri" vb. yöntemler ile makine öğrenme ve sinir ağları da kullanılmaktadır fakat hesaplama süresi ve maliyetleri kullanılacak yönteme göre dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. Rüzgârın kaotik doğası, zaman içerisinde doğrusal olmayan yönlere de sahiptir ve sinir ağları bu konuda yardımcı olabilir fakat aşırı uydurma, düşük yakınsama ve kısmi optimuma olan eğilimi gibi kusurları mevcuttur (Sayeed ve ark., 2020; Jiang ve ark., 2021; Salazar ve ark., 2021; Tan ve ark., 2021). Bunun gibi araştırmalarda son yıllarda kullanılan NWP (Sayısal Hava Tahmini) modelleri, kütle, momentum ve enerji korunumu gibi denklemleri ayrı bir şekilde yaklaşık olarak hesaplamak için kullanılan fizik denklemlerini içerir (Zhao ve ark., 2016). WRF-ARW (Hava Araştırma ve Tahmin Modeli – WRF Gelişmiş Araştırma), ARW çekirdeğini kullanan, ABD'deki Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi (NCAR) merkezli, hidrostatik olmayan ve sınırlı bir alanı kapsayan hava araştırma ve tahmin modelidir (Martínez-Arellano ve Nolle, 2013).

WRF modeli Yüzey Tabakası (SL), Gezegensel Sınır Tabakası (PBL), bulut ve radyasyon ışıması vb. gibi özellikleri temsil etmek için sahip olduğu parametreler ve şemaları kullanır. PBL ve SL ise rüzgâr hızının tutarlı tahminleri için en doğru temsile sahip olmalıdır. Arazi özelliklerinin yanlış temsil edilmesi, sinoptik durumlar ve atmosferik kararlılık nedeniyle tahmin sonuçlarını olumsuz etkileyebilir ve bu nedenle çok önemlidir. Bazı durumların model izgarasından küçük bir ölçekte, alt izgara süreçleri ile ele alınması gerekir. Model performansı ayrıca mevsimsel ve zamana bağlı olarak değişim gösterebilir ayrıca model çözünürlüğü arttıkça performans da artar fakat hesaplama süresi ve maliyet için de bu durum paralellik gösterir (Carvalho ve ark., 2014; Sayeed ve ark., 2020; Salfate ve ark., 2020; Dupuy ve ark., 2021).

Doğanşahin ve ark., 2019, bir yıllık bir rüzgâr verisi kullanarak Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonlarının performanslarını incelemiştir. Guo ve Xiao (2014) WRF-SLFN-OD ve WRF-SLFN-WD ile güç eğrisi ile WRF-SLFN modeline göre %40,74 bağlı hatada azalma sağlamıştır. Carvalho ve ark. (2014) WRF modelindeki, PBL ve SL parametrelerinin rüzgâr hızı, yönü ve enerji üretimi için duyarlılık analizini yapmışlar ve genelde ACM2 PBL ve PX SL şemalarını başarılı bulmuşlardır. Men ve ark. (2016) sinir ağı topluluk yöntemini (MDN) kullanmış, bu modeli NARX, ARMA ve GARCH yöntemleri ile karşılaştırmış, (RMSE) ortalama karekök hatası ve (MAE) ortalama mutlak hatada sırasıyla 1,9688 ve 2,0847 ile üstünlüğünü göstermişlerdir. Niu ve ark. (2018) NILA-WRF ve dalgacık ayrıştırma (WD) ile rastgele orman (RF), destek vektör makinesi (SVM) ve bir geri yayılım (BP) yöntemlerini karşılaştırmış ve (MAPE) ortalama mutlak yüzde hatası sırasıyla %5,78 ve %5,45 olmuştur. Li ve ark. (2019) WSTI-RNN modelini geliştirmiş, geleneksel makine öğrenme algoritmalarına karşılaştırmış, üstünlük ve zayıflıklarını göstermiştir. Altan ve Karasu, 2020, ayrıştırma yöntemlerinin LSTM ile yapılan rüzgâr hızı tahminlerine olan etkisini incelemiştir. Emeksiz ve Tan, 2021, benzer bir çalışmayı beş adımlı EEMD-EWT-PACF-BP hibrit bir model ile gerçekleştirmiştir. Wei (2020) çok katmanlı algılayıcı (MLP), derin özyinelemeli sinir ağlarını (DRNN'ler) ile yığılmış (LSTM) uzun-kısa süreli bellek ve sinir ağı modellerini karşılaştırmış ve yığılmış LSTM yönteminin MAE için sırasıyla 0,928 ve 1,528 ile daha üstün olduğunu göstermiştir. Salazar ve ark. (2021) çok değişkenli yöntemle (hız, yön, basınç, sıcaklık), tek değişkenli yöntemi, giriş katmanına kısmi olarak bağlı ve tamamen bağlı ilk gizli katmanlı

sinir ağı ile WRF ham çıktılarını karşılaştırmış ve MAE’de %27,72’ye varan gelişme sağladığını göstermişlerdir. Liu ve ark. (2021) Catboost, LSTM, LightBGM ve XGBoost algoritmalarını karşılaştırmış, Catboost ve LSTM algoritmalarının sırayla 7,504, 7,299 MAE değeri ile sırasıyla 9,2 ve 894 saniyede eğitildiğini göstermişlerdir. Sayeed ve ark. (2020) WRF sapmaları azaltmak için her bir parametre için ayrı bir model çalıştırmış, Weather – AI adında bir model geliştirmiş ve tahmin doğruluğunda IOA (Index of Agreement) %27’lik bir ortalama artış olduğunu göstermişlerdir. Xu ve ark. (2021) çok adımlı WRF-VMD-PCA-LSTM modelini tasarlamışlardır. Bu modeli altı farklı modelle karşılaştırılmış ve WRF-LSTM modeline göre %13,28 daha düşük MAPE oranına sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmamızdaki ana amaç ve hedeflerimiz, yukarıda da belirtilen sınırlılık ve sorunlar dahilinde, WRF ile iyi performans veren bir PBL şemasının seçilmesi ve gün öncesi piyasası için, kısa vadeli rüzgâr hızı ve gücü tahminleri ile nihayetinde rüzgâr enerjisi potansiyelinin en doğru şekilde değerlendirilebilmesidir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada bir WRF-ARW V3.9, sayısal NWP modeli ile rüzgâr hızı, sıcaklık ve yağış verileri tahmin edilerek bunların rüzgâr hızı ölçüm verisiyle olan ilişkileri incelenmiştir.

WRF ile atmosfer simülasyonu için sıcaklık, basınç, rüzgâr hızı vb. atmosferik verileri içeren üç boyutlu noktalar, ızgaralar kullanılmış, başlangıç ve sınır koşulları belirlenmiş ve bir saatlik zaman adımı kadar simülasyon ilerletilerek devam ettirilmiştir.

Bu model kullanılarak belirlenen koordinatlar aralığında, çeşitli parametrelerle ve fizik denklemleriyle ele alınan bölgeyi temsil eden değerler, yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Belirlenen model (Tablo 1), Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri (NCEP) Küresel Tahmin Sistemi (GFS)’ den elde edilen 0,25 x 0,25 ızgara çözünürlüklü başlangıç ve sınır koşulları ve bir saatlik veriler ile başlatılmıştır. Model, 2021-2022 yılları arasında, iki küçük ve bir büyük olmak üzere üç etki alanı üzerinde (Şekil 1), bir saatlik zaman adımlı tahminlerle ve altı farklı noktada, beş farklı şehirde ayrıca tüm Türkiye rüzgâr potansiyelini hesaplamak için çalıştırılmıştır. Kullanılan verilerin hangi firmalardan alındığı yasal nedenlerden dolayı paylaşılmamıştır. Türkiye için 2,3 MW (megavat) ve 3 MW’lık rüzgâr enerjisi güç üretimi potansiyeli haritası oluşturulmuştur. Bunun için model tarafından Türkiye’nin tamamını kapsayan ortalama rüzgâr hızı tahmin verileri ile üç parametrelili bir sigmoid fonksiyonu, gnuplot ile eğri eşitleme metodu ile bilinmeyen değişkenler hesaplanarak elde edilmiştir. Bu denklem ile rüzgâr gradyanının, yüksekliğe göre rüzgâr hızına olan etkisi de göz önünde bulundurulduğunda, model 10 m yükseklikte tahminleri gerçekleştirirken, rüzgâr türbinleri 90 m ve üzerindeki yükseklikleri ile farklı koşullara sahiptir. Thompson (2002)’un, bildirdiğine göre denklem 1 kullanılarak Hellmann üssü, insan yaşam alanlarının üzerindeki nötr ve dengesiz hava değerleri aralığında 0,3 olarak uygun kabul edilmiştir.

Ayrıca bu çalışmamızda geçmiş araştırmalarda ülkelere göre kullanılan PBL parametreleri ve hata değerleri Tablo 2’de verilmiştir, son zamanlarda yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulmuş, model parametreleri seçiminde başvuru bir kaynak olmuştur.

$$v_w(h) = v_{10} * \left(\frac{h}{h_{10}}\right)^a \quad (1)$$

Tablo 1. WRF-ARW V3.9 model konfigürasyonu (Table 1. WRF-ARW V3.9 model configuration)

Başlangıç Tarihi	1 Ocak 2021
WRF Versiyonu	V3.9
Tahmin Süresi	1 yıl
PBL Şeması	YSU
Mikrofizik	Ferrier
Yüzey Tabakası	Monin-Obukhov
Kara Yüzeyi Modeli	Termal Difüzyon
Uzun / Kısa Dalga Radyasyonu	RRTM/Dudhia
Kümüls	Kain-Fritsch
Dikey Seviye	42
Aerosol	Yok

Hata ve performans değerlendirmesi için MAE (Ortalama Mutlak Hata), MSE (Ortalama Kare Hata), RMSE (Kök Ortalama Kare Hata) yöntemleri ile Holley ve Guilford (1964)’in bildirdiği üzere denklem 2 kullanılarak hesaplanan IOA (Uzlaşma İndeksi) yöntemi kullanılmıştır.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}, \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (2)$$



Şekil 1. 25 km, 9 km ve 3 km ile model ızgaraları (Figure 1. Model grids with 25 km, 9 km and 3 km)

Tablo 2. Geçmiş araştırmalarda ülkelere göre kullanılan model parametreleri ve hata değerleri (Table 2. Model parameters and error values used by countries in previous studies)

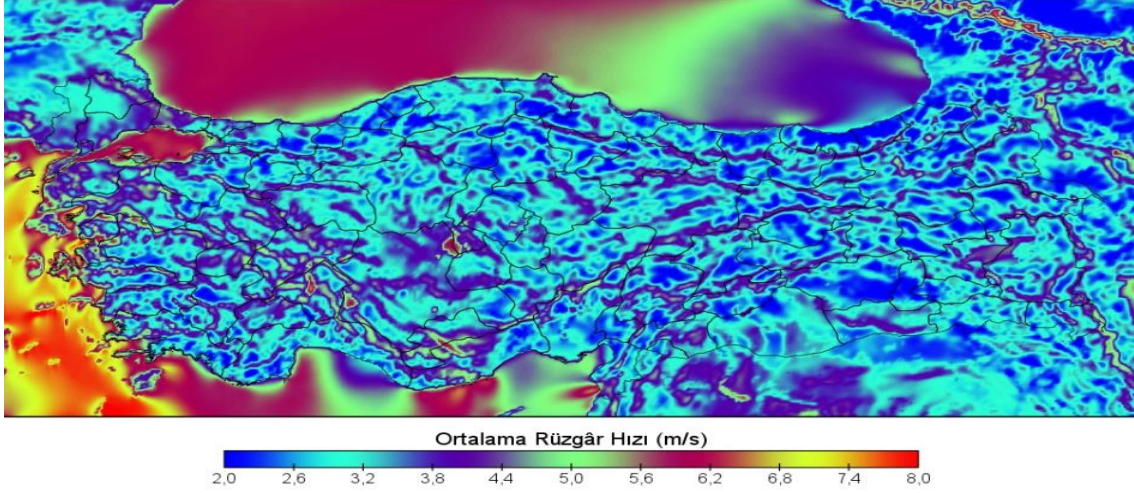
Parametre (boş=verilmemiş)	MAE (boş=verilmemiş)	RMSE (boş=verilmemiş)	Bölge	ATIF
YSU (WSM6)		3,09	Portekiz	(Carvalho ve ark. 2012)
ACM2-APP		1,91	Portekiz	(Carvalho ve ark. 2014)
MYNN2.5 (New Thompson, WSM3)	0,88-1,03	1,56	Kuzey denizi (su üzerinde)	(Giannakopoulou ve Nhili 2014)
MYJ (Eta)	0,86-4,72		Çin	(Zhao ve ark. 2016)
YSU (Monin-Obukhov)	1,92		Çin-Tayvan	(Men ve ark. 2016)
Mellor-Yamada-Janjic		1,76-4,61	Norveç	(Bilal ve ark. 2016)
MYJ (Eta)		3,22-3,37	Çin	(Zhao ve ark. 2017)
BouLac (NoahMP-BEPBEM)	1,8		Amerika	(Salamanca ve ark. 2018)
YSU (Goddard)		3,3	Çin	(Di ve ark. 2019)
MYJ, ACM2	1,68-1,73		Güney Afrika	(Groch ve Vermeulen 2019)
MYJ, ACM2	1,31		Çin	(Li ve ark. 2019)
MYNN2.5 (Eta)			Brezilya	(Teixeira ve ark. 2020)
YSU (WSM5)	1,092-1,362		Tayvan	(Wei 2020)
MYNN 2.5 (WSM6)	6,32-14,21		Türkiye	(Özen ve ark. 2021)
MYNN3 (ice)		2,45-2,68	Şili	(Salfate ve ark. 2020)
YSU(WSM3)	1,65-2,6		Türkiye	(Tan ve ark. 2021)
	0,29-0,48		Çin	(Jiang ve ark. 2021)
YSU (WSM6)	1,51-2,49		Çin	(Xu ve ark. 2021)
MYNN+YSU (Ferrier)		0,5548-0,7261	Amerika (su üzerinde)	(Bodini ve ark. 2021)
MYNN2.5 (WSM5)	1,80-3,21		İspanya	(Prieto-Herráez ve ark. 2021)
YSU (Lin)		2,33-3,0	Avusturya	(Oetl ve Veratti 2021)
ACM2 (WSM6)	1,92-2,40		Japonya	(Salazar ve ark. 2021)
QNSE (WSM6)	1,32		Fransa	(Dupuy ve ark. 2021)
	1,99-2,54		Yunanistan	(Christoforou ve ark. 2021)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

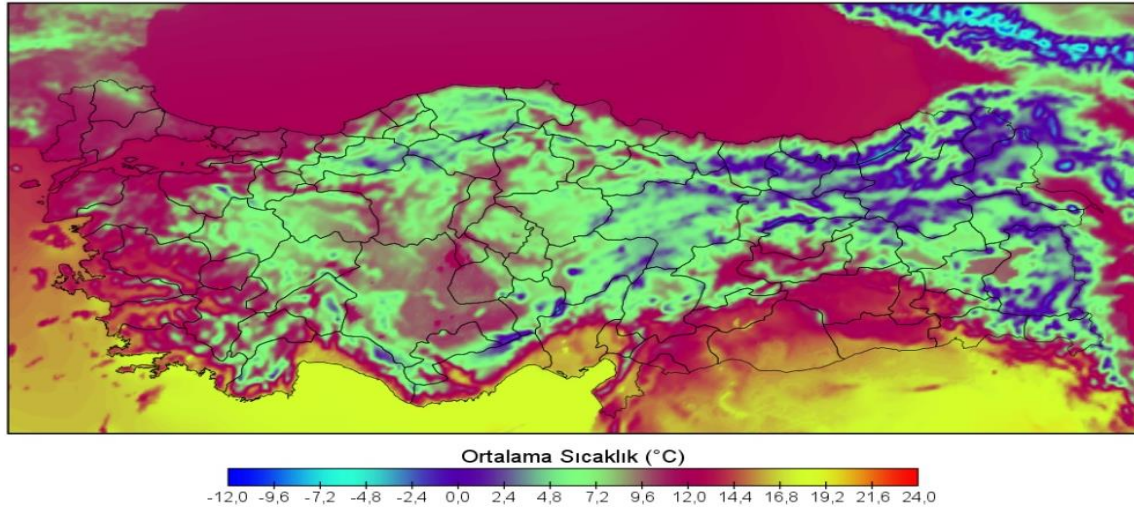
Tüm dünya genelinde hava durumu ve rüzgâr hızı tahminleri, rüzgâr enerjisi santrali kurulumları, bölgenin coğrafi konumu ve topografyası göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Model simülasyonlarının iyi temsil edilebilmesi için seçilen gezegensel

sınır tabakası ve mikro fizik parametreleri (Tablo 2) ile Türkiye'nin rüzgâr hızı potansiyeli haritasında görülen (Şekil 2), Çanakkale, Balıkesir, İzmir ve Manisa bölgelerinin, ortalamada yüksek rüzgâr hızlarına sahip olduğu tespit edilmiş ve bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda (Tablo 1) model parametreleri uygun olarak belirlenmiş ve bu durum performans değerlendirmelerine yansımıştır.

Aşağıdaki bölümde sırasıyla Türkiye'nin bir yıllık ortalama rüzgâr, sıcaklık ve toplam yağış model tahmin haritaları Şekil (2-4) incelendiğinde, Türkiye genelinde ağırlıklı olarak 3-5 m/s saniye ortalama rüzgâr hızları tahmin edilmiştir. Yıllık ortalamada, Akdeniz, İç Anadolu ve Ege bölgeleri, 4 m/s ve üzerinde rüzgâr hızlarına sahiptir ve bu durum güç üretimi için elverişlidir. Türkiye'nin güney ve batı bölgelerinin genel ortalama sıcaklıklarının üzerinde olduğu saptanmıştır. Kuzey ve iç bölgeler ağırlıklı olarak ortalamaya daha yakındır bununla birlikte doğu bölgelerinde model genel olarak daha soğuk tahminler üretmiştir.



Şekil 2. Türkiye yıllık ortalama rüzgâr hızı haritası (Figure 2. Turkey annual average wind speed map)

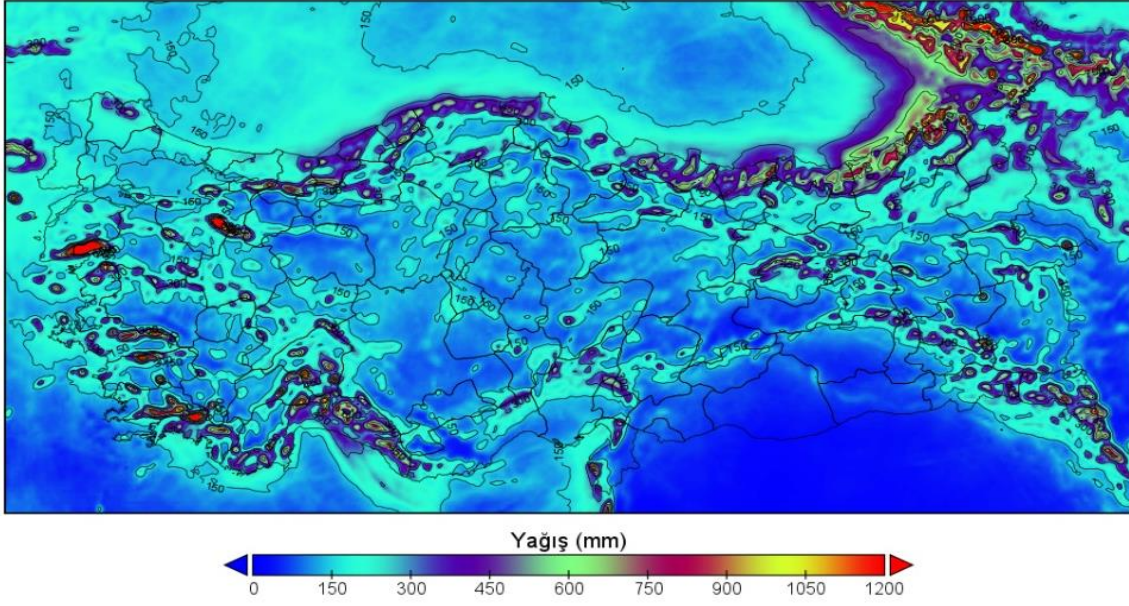


Şekil 3. Türkiye yıllık ortalama sıcaklık haritası (Figure 3. Turkey annual average temperature map)

Sıcaklığın arttığı bölgelerde yağışlar da görülebilmektedir. Türkiye'de yıllık toplam yağışlar (Şekil 4) m² başına en fazla sırasıyla Marmara, Ege ve Akdeniz bölgesinin bir bölümünde görülmekle beraber, ağırlıklı ortalamaya bakıldığında Karadeniz ve Akdeniz'in belirli bölgelerinde yoğunluk tespit edilmiştir. Bununla birlikte tahmin yapılan bölgelerin ortalama sıcaklıkları birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir (Tablo 3).

Bir yıllık süre zarfındaki ve saatlik ölçümlerde, bölgelerin rüzgâr hızı dağılımları (Şekil 5) görüldüğü üzere Manisa bölgesi haricinde tüm bölgeler, ağırlıklı olarak sırasıyla 0-3 m/s ve 3-6 m/s hızlara ev sahipliği yapan bir karakteristiğe sahip olduğu görülmüştür, diğer taraftan tespit edilen maksimum hız aralığı olan 12-21 m/s aralığına ölçümlerde sık rastlanılmamıştır. Şekiller incelendiğinde, Manisa'daki bölge haricindeki bölgelerin enerji üretimi için yeterli rüzgâr hızlarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Bir yıllık zaman dilimindeki Türkiye'nin farklı illeri ve bölgelerinin, saatlik rüzgâr hızı ölçüm verileri ile oluşturulmuş olan dağılım grafiğinde Hatay genel olarak diğer bölgelere göre daha homojen bir görüntüye sahiptir (Şekil 6) ve ortalamada daha yüksek hızlarla ilişkilendirilmiştir bununla birlikte model tahminlerinde, Hatay daha farklı bir görüntü sergilemektedir. Ölçümlerde ise Çanakkale Hatay ile benzer bir dağılım göstermektedir. Manisa bölgesindeki ortalama rüzgâr hızları (Tablo 4) yıl boyunca, en düşük hızlara sahipken ve hız yoğunlukları açısından değerlendirildiğinde sıralamanın sırasıyla, Çanakkale, Hatay, Balıkesir, İzmir-Güzelyalı, İzmir-Çeşme ve Manisa şeklinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Türkiye yıllık toplam yağış (Figure 4. Annual total precipitation in Turkey)

Tablo 3. Çalışma bölgelerinde yağış ve sıcaklık istatistik verileri (Table 3. Precipitation and temperature statistics data in the study regions)

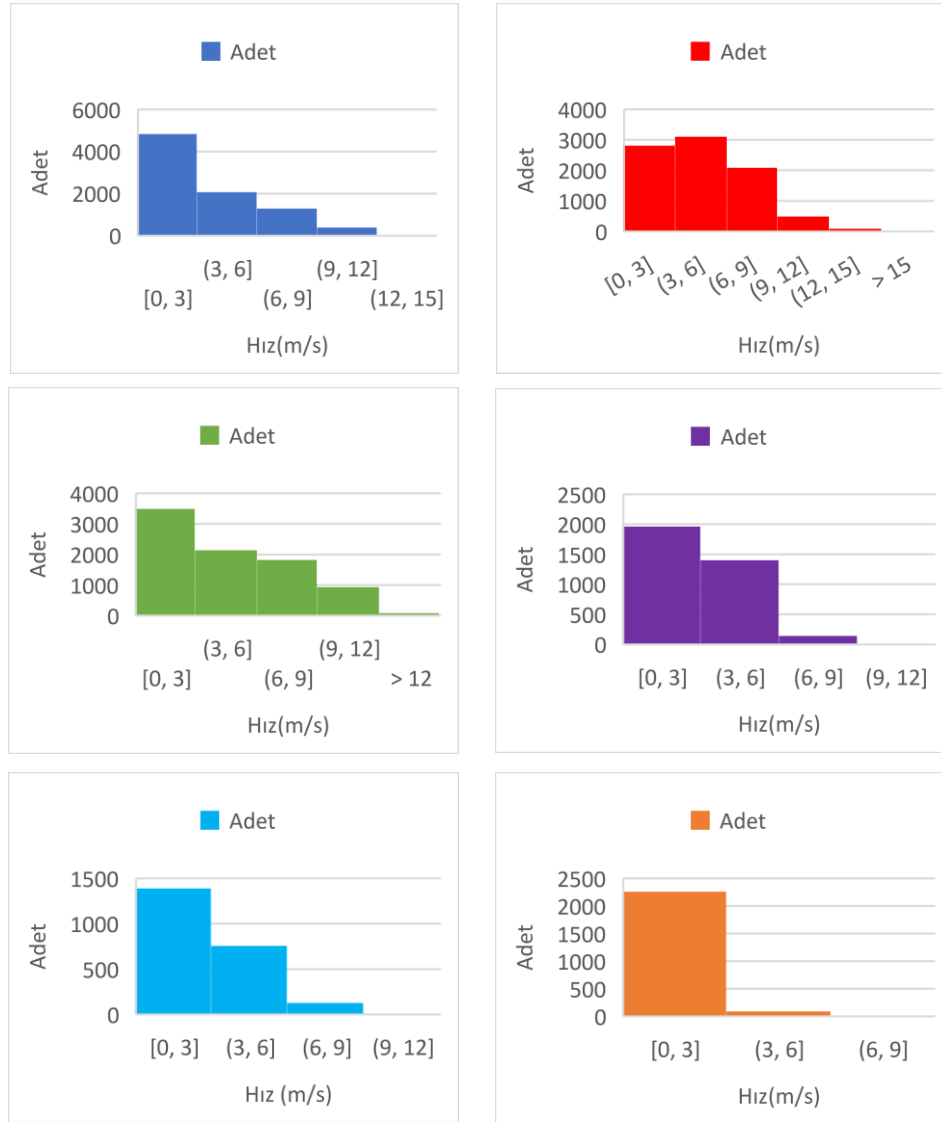
Bölgeler	Yağış Ortalama	Sıcaklık Ortalama	Yağış Varyasyon
Balıkesir	0,294	12,611	288,440
Çanakkale	0,515	13,058	343,432
Hatay	0,227	16,830	519,082
İzmir-Çeşme	0,565	15,090	493,199
İzmir-Güzelyalı	0,359	15,054	299,550
Manisa	0,544	12,522	281,546
Bölgeler	Yağış Standart Sapma	Sıcaklık Standart Sapma	Sıcaklık Varyasyon
Balıkesir	0,850	9,406	74,586
Çanakkale	1,771	8,947	68,521
Hatay	1,180	8,889	52,814
İzmir-Çeşme	2,787	8,145	53,976
İzmir-Güzelyalı	1,076	9,525	63,270
Manisa	1,533	9,109	72,746

Tablo 4. Bölgelerin saatlik rüzgâr hızı ölçüm verisi istatistikleri (Table 4. Hourly wind speed measurement data statistics of the regions)

Bölgeler	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon
Balıkesir	3,110	2,995	96,297
Çanakkale	4,647	2,774	59,694
Hatay	4,523	3,267	72,240
İzmir-Çeşme	2,770	1,661	59,966
İzmir-Güzelyalı	2,772	1,644	59,307
Manisa	0,836	0,948	113,391

2021-2022 yıllık saatlik ortalama rüzgâr hızlarına bakıldığında (Tablo 4) Çanakkale ve Hatay en yüksek değerlere sahiptir. Manisa ve İzmir ise en düşük standart sapma değerlerine sahiptir ve tüm iller aritmetik ortalamaya yakın veya yüksek bir değere sahiptir, bu sebeple rüzgâr hızı ölçüm verileri homojen bir görüntü sergilemektedir. Tablolara göre Manisa ve Balıkesir en yüksek varyasyon değerlerine sahiptir. Tüm veriler, aritmetik ortalama, standart sapma ve varyasyon ile değerlendirildikten sonra en iyi il

Çanakkale olarak gözükmetedir çünkü daha yüksek ortalama hıza, daha düşük standart sapma ve varyasyon değerlerine sahiptir. Tablo 5’de bölgelerin rüzgâr hızı ölçüm verisi ve model çıktısının hata değerlendirmesi ve performans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı ölçüm verisi ve model tahmin performansları bazı bölgelerde tatmin edicidir bununla birlikte bazı bölgeler ise yüksek hata değerlerine sahiptir.

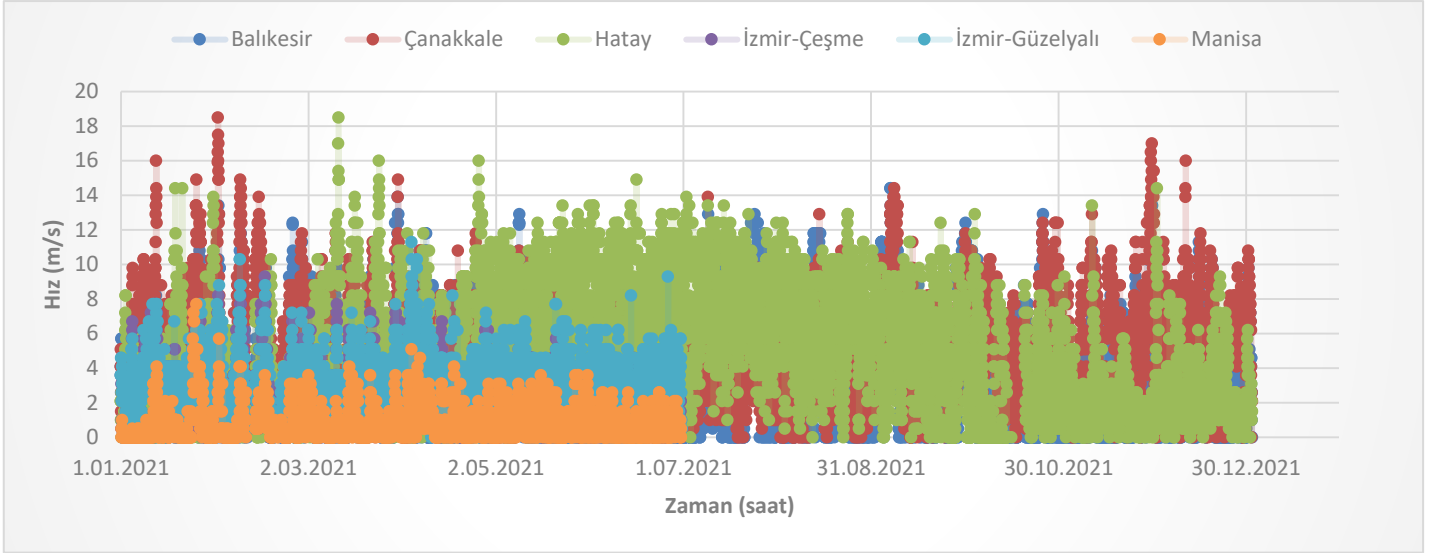


Şekil 5. Bölgelerin rüzgâr hızı ölçümünün dağılım adetleri (Figure 5. Distribution of wind speed measurement of regions)

Balıkesir’deki bölge, en yakın yerleşim yerine 2 km uzaklıkta ve deniz seviyesinden 98 m yüksekliktedir. Bölge açık bir alandadır, bu nedenle doğal veya yapay unsurlar bölgede daha az etkiye sahiptir. Fakat model ızgarasındaki bölgenin koordinatları içerisinde kalan alan, özellikle yakınlardaki insan yaşam alanlarındaki 50 m’ye varan yükseklik farklarına sahiptir ve sonuç olarak bu durumun dikey rüzgâr gradyanına etki etmesi kaçınılmazdır ve tahminleri etkiler (Şekil 7). Yine de WRF 1,46 MAE ile burada başarılı bir tahminde bulunmuştur (Bu bölge çoğunlukla ölçüm yüksekliğine yakın).

Çanakkale’deki bölge ise insan yaşam alanlarına daha yakındır ve deniz seviyesinden 8 m yüksektedir ayrıca ızgara içerisinde sahil, açık su yüzeyleri, dağlar ve ağaçlar bulunmaktadır. Bu durum benzer şekilde ~50 m’ye varan yükseklik farklarına neden olmakla beraber, sıcaklık ve basınç farklarına dolayısı ile rüzgâr hızında değişimlere sebep olmuş olabilir (Şekil 8).

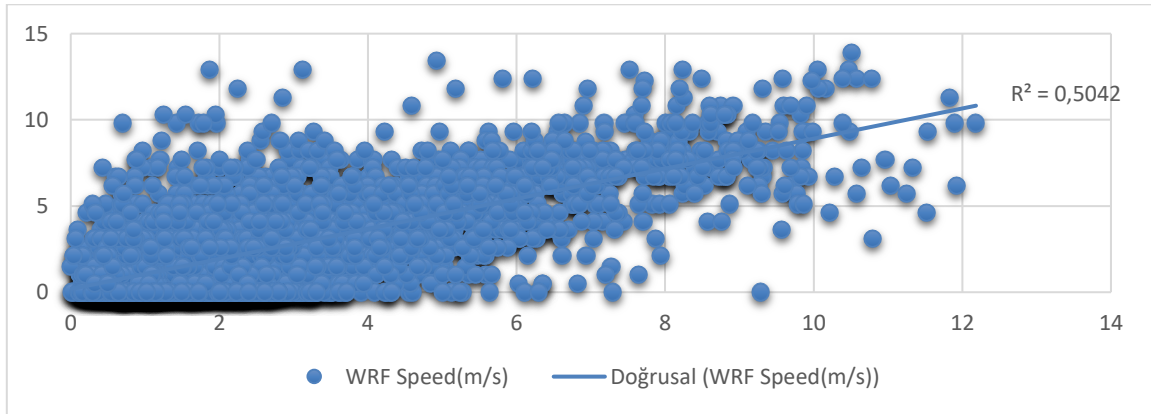
Hatay bölgesindeki konum deniz seviyesinden 8 m yüksekliktedir. Ölçüm noktası açık bir arazidir ve bu tip alanlarda yüzey sürtünmesi daha düşüktür ve bu nedenle daha yüksek rüzgâr hızları görülmesi beklenebilir. Bu bölgedeki nispeten kötü performansın sebebi olarak, ızgara içerisinde bulunan alandaki çokça ve yüksek dağların oluşturduğu yükseklik farkları ve ağaçlık bölgeler tespit edilmiş ve model tahminlerini etkilediği sonucuna varılmıştır. Burada WRF, rüzgâr hızında ölçümlere göre, ağırlıklı olarak daha düşük tahminler üretmiştir (Şekil 9).



Şekil 6. Bir yıllık zaman dilimindeki farklı illerdeki bölgelerin, saatlik rüzgâr hızı ölçüm verileri (Figure 6. Hourly wind speed measurement data of regions in different provinces in a one-year time period)

Tablo 5. Rüzgâr hızı hata ve performans değerlendirmesi (Table 5. Wind speed error and performance evaluation)

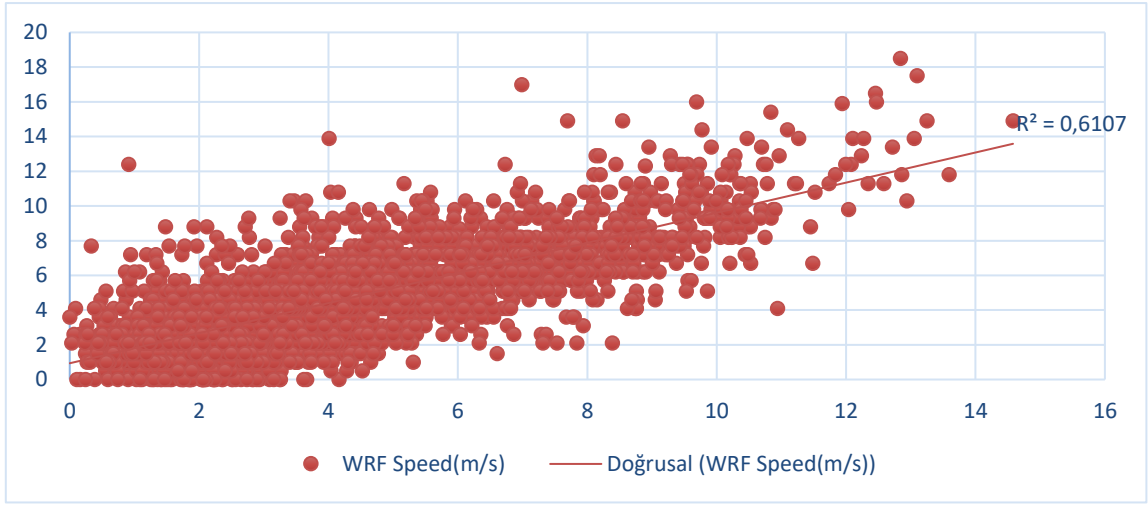
Bölgeler	MAE	MSE	RMSE	(d)
Balıkesir	1,469	3,853	1,963	0,829
Çanakkale	1,354	3,241	1,800	0,873
Hatay	2,284	9,701	3,114	0,637
İzmir-Çeşme	4,056	22,304	4,722	0,519
İzmir-Güzelyalı	1,450	3,751	1,936	0,671
Manisa	3,096	13,139	3,624	0,378



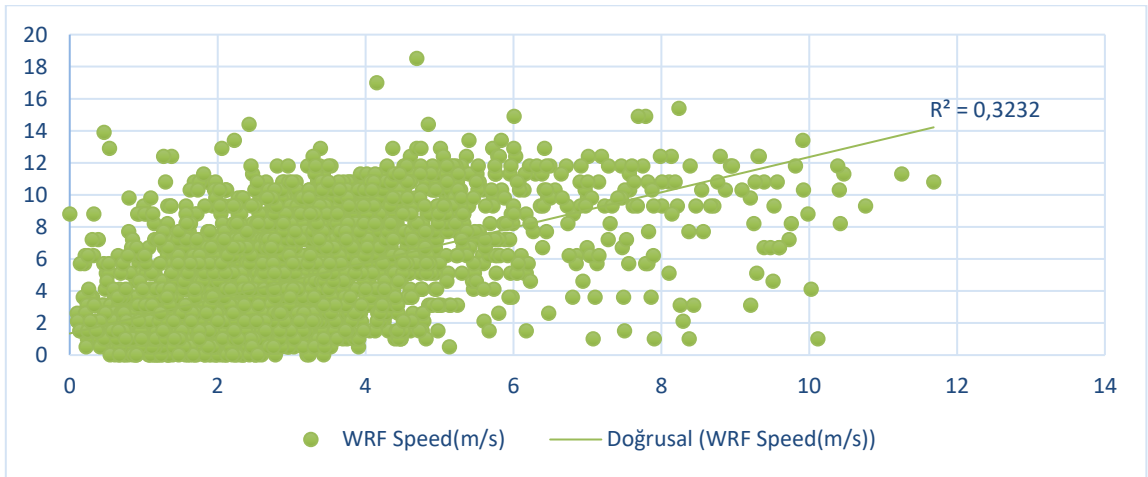
Şekil 7. Balıkesir ilinde WRF model tahmini ve ölçüm ilişkisi (Figure 7. WRF model estimation and measurement relationship in Balıkesir province)

İzmir-Çeşme'deki bölge deniz seviyesinden 52 m yükseklikte ve bölge açık arazidir. Bu bölgede, bölgesel türbülanslar, yüzey sürtünmesi ve konveksiyonların model tarafından iyi temsil edilememiş olduğu belirlenmiştir ayrıca ızgara içerisinde bulunan, sahil, açık su yüzeyi, dağlık ve ağaçlık bölgeler ile 110 m'ye varan yükseklik farkları, model tahminlerini etkiler. WRF bu sebeplerle bölgede genel olarak aşırı tahminler üretmiş olabilir (Şekil 10).

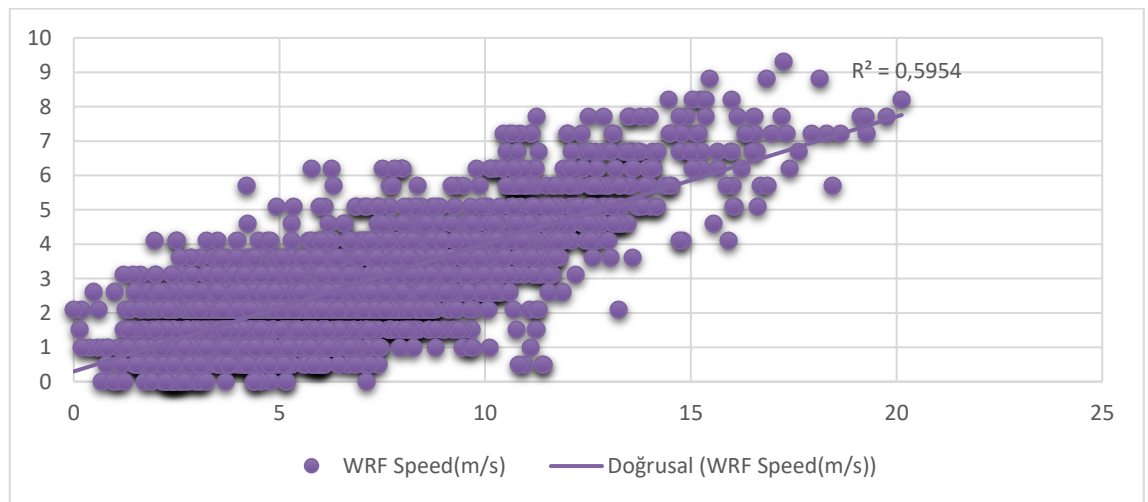
İzmir-Güzelyalı'daki ızgara konumunda, insan yaşam alanları, sahiller ve açık su yüzeyleri bulunmakla beraber, bölge içerisindeki yapılar ve ağaçlık bölgeler sebebiyle 80 m'ye varan yükseklik farklarının, model tahminlerini etkilediği sonucuna varılmıştır. Deniz seviyesine oldukça yakın olan bir bölgede bulunmaktadır. Yükseklik azaldıkça yüzey sürtünmesi ile rüzgâr hızında değişimler ve türbülanslar meydana gelebilir ve bu durum tahminleri genellikle olumsuz etkiler. Model 1,45 MAE ile bu bölgede iyi bir performansı göstermiştir (Şekil 11).



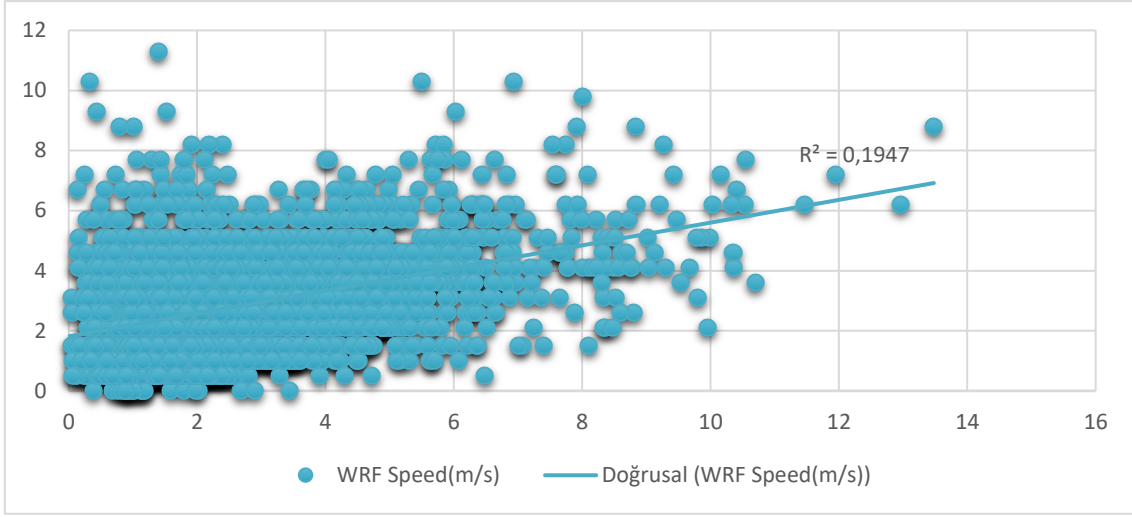
Şekil 8. Çanakkale ilinde WRF model tahmini ve ölçüm ilişkisi (Figure 8. WRF model estimation and measurement relationship in Çanakkale province)



Şekil 9. Hatay ilinde WRF model tahmini ve ölçüm ilişkisi (Figure 9. Relationship between WRF model estimation and measurement in Hatay province)

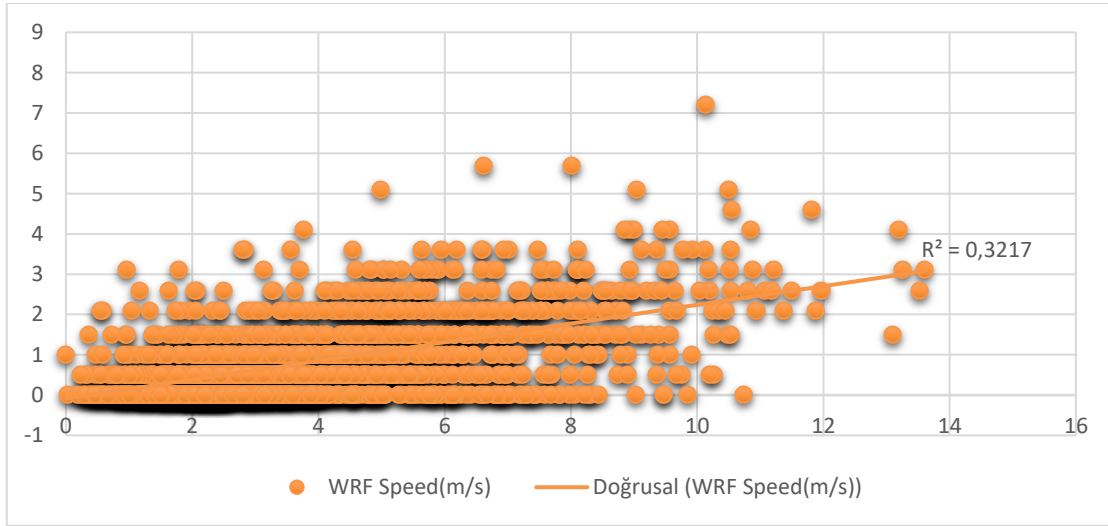


Şekil 10. İzmir-Çeşme'de WRF model tahmini ve ölçüm ilişkisi (Figure 10. Relationship between WRF model estimation and measurement in İzmir-Çeşme)



Şekil 11. İzmir-Güzelyalı’da WRF model tahmini ve ölçüm ilişkisi (Figure 11. Relationship between WRF model estimation and measurement in İzmir-Güzelyalı)

Manisa bölgesi denizden 62 m yüksekliktedir bununla birlikte ızgara içerisinde yer alan dağlık alanlar 390 m’ye varan yükseklik farkları oluşturmaktadır ayrıca insan yaşam alanları ve bölgedeki ağaçların sıklığı rüzgâr hızını önemli ölçüde etkilerken model simülasyonu tarafından coğrafyanın iyi temsil edilememesine ve ölçümlere göre normalden daha yüksek tahminler yapmasına sebep olmuş olabilir. Manisa, Çeşme’den sonra en kötü performansa sahiptir (Şekil 12).

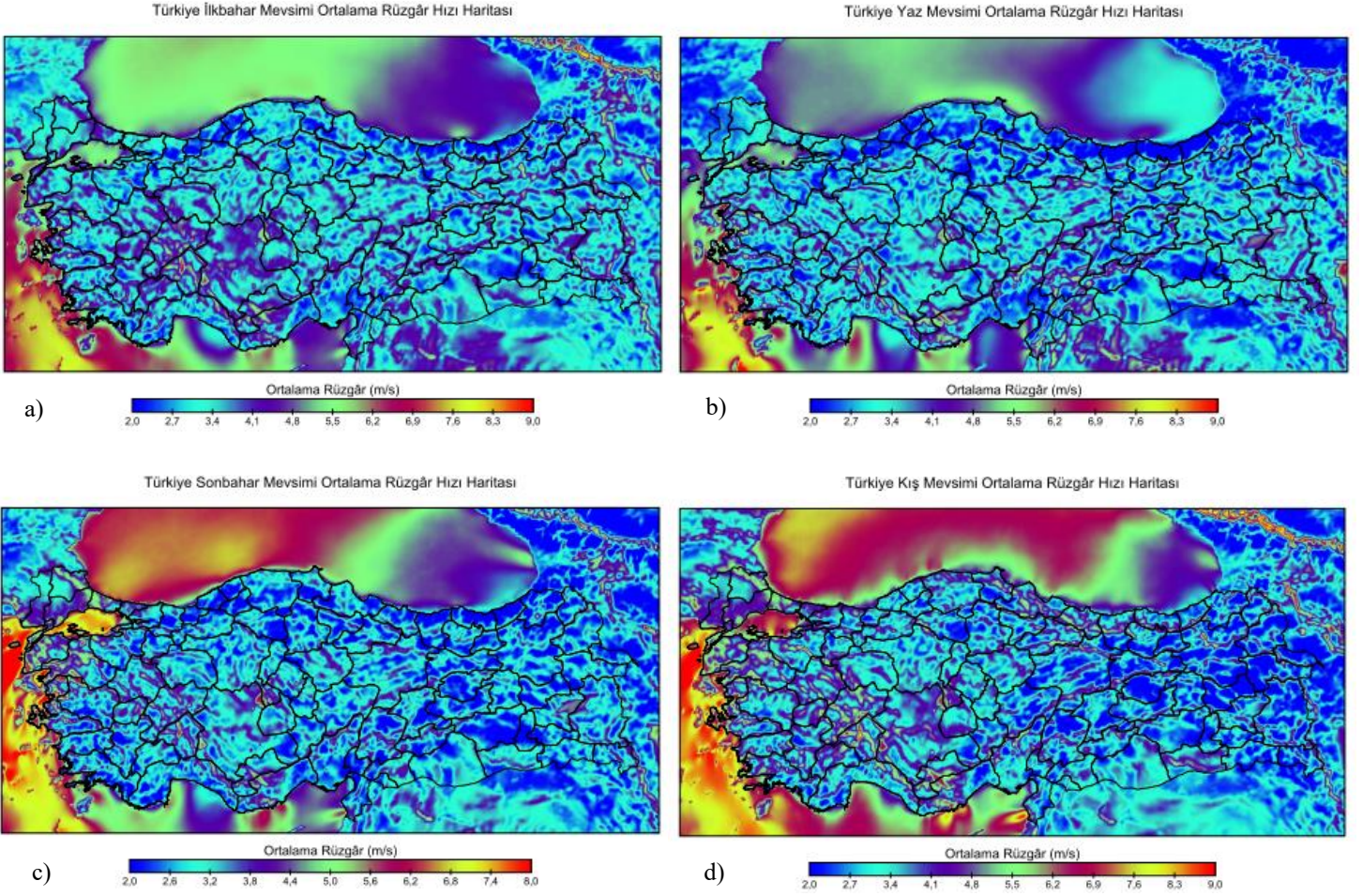


Şekil 12. Manisa ilinde WRF model tahmini ve ölçüm ilişkisi (Figure 12. Relationship between WRF model estimation and measurement in Manisa province)

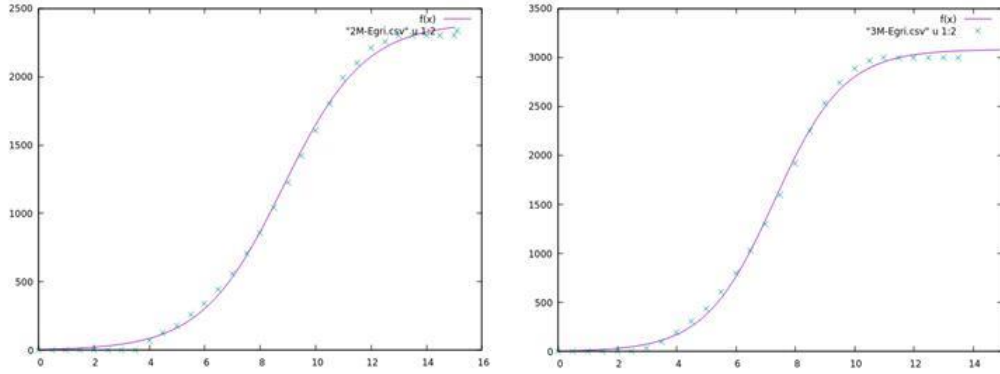
Model tahminleri ve rüzgâr hızları mevsimsel olarak da incelenmiştir. Karada, kış mevsimi, doğu bölgeleri ve Marmara Bölgesi için rüzgâr yoğunluğu daha homojen bir görüntüye sahiptir (Şekil 13). Yaz ve sonbahar mevsimlerinde ise Karadeniz’in uç bölgelerinde ortalama 4 m/s ve üzerinde rüzgâr hızları görülmesi beklenmektedir. İç Anadolu’da İlkbahar mevsimi etkisi ile rüzgârlar daha yoğun seyretmektedir. Açık sularda ise her mevsimde batı denizleri yüksek rüzgâr hızlarına sahiptir bununla birlikte Akdeniz ise en iyi performansı kış ve ilkbahar mevsimlerinde göstermiştir bununla birlikte Karadeniz için en iyi mevsimlerin sonbahar ve kış mevsimi olduğu saptanmıştır.

Üç parametrelili bir sigmoid fonksiyonu ile oluşturduğumuz 2,3 MW ve 3 MW’lık güç eğrileri (Şekil 14) verilen fonksiyonla doğru bir şekilde eşlendiği görülmüştür (Tablo 6 ve 7) ve bu eğriler ile Türkiye’nin rüzgâr gücü üretim potansiyeli haritası (Şekil 15 ve 16)’da oluşturularak sırasıyla 2,3 MW ve 3 MW ortalama güç üretim potansiyeli haritaları oluşturulmuştur, batı ve güney bölgeleri ve kıyı kesimlerinin ortalama rüzgâr gücü ile enerji üretimi için uygun olduğu saptanmıştır.

Güç eğrisi parametreleri incelendiğinde asimptotik standart hata (Tablo 6 ve 7) %1’in altında değerler almıştır. En yüksek korelasyon matris ilişkileri sırasıyla a, b ve a, c arasında olduğu saptanmıştır. En düşük ilişkinin ise b ile c parametreleri arasında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. Türkiye mevsimsel ortalama rüzgâr hızı haritası (Figure 13. Turkey seasonal average wind speed map)



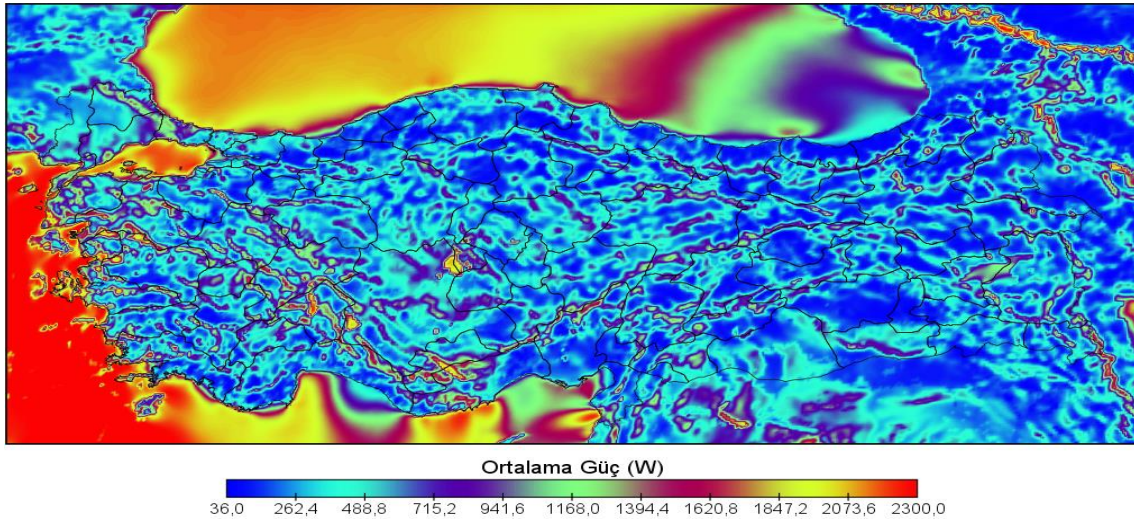
Şekil 14. Eşitlenmiş güç eğrileri (Figure 14. Fitted power curves)

Tablo 6. 2,3 MW güç eğrisi parametreleri ve hata değerleri (Table 6. 2.3 MW power curve parameters and error values)

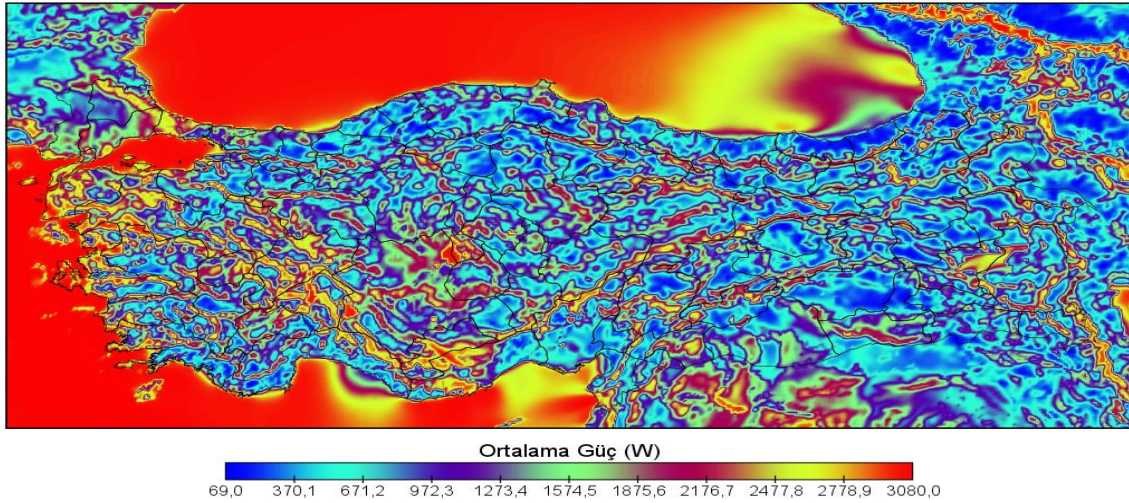
2,3 MW Güç Eğrisi	a	b	c
Ayarlanmış Parametre Değeri	2395,7	8,83299	1,47246
Asimptotik Standart Hata	+/- 20,37 (%0,8503)	+/- 0,04854 (0,5495%)	+/- 0,03793 (%2,576)
Korelasyon Matrisi a	1,000		
Korelasyon Matrisi b	0,756	1,000	
Korelasyon Matrisi c	0,672	0,508	1,000

Tablo 7. 3 MW güç eğrisi parametreleri ve hata değerleri (Table 7. 3 MW power curve parameters and error values)

3 MW	a		b		c	
Ayarlanmış Parametre Değeri	3080,29		7,30116		1,17229	
Asimptotik Standart Hata	+/- 22,96	(%0,7454)	+/- 0,03983	(%0,5455)	+/- 0,03284	(%2,801)
Korelasyon Matrisi a	1,000					
Korelasyon Matrisi b	0,653		1,000			
Korelasyon Matrisi c	0,587		0,382		1,000	



Şekil 15. Türkiye 2,3 MW rüzgâr gücü üretim potansiyeli haritası (Figure 15. Türkiye 2.3 MW wind power generation potential map)



Şekil 16. Türkiye 3 MW rüzgâr gücü üretim potansiyeli haritası (Figure 16. Türkiye 3 MW wind power generation potential map)

Mentes ve ark. (2012) Manisa bölgesinde WRF ve WindSim modellerini üç günlük bir zaman diliminde çalıştırmış 1,28–2,46 aralığına mutlak hataya sahip olduğunu göstermiştir. MISO yapay nöral ağ 0,92–0,98 korelasyon katsayısına sahiptir ve iki günlük bir eğitim süresine sahiptir. Kullanılan farklı veri setleri, model parametreleri, konum ve çalışma süresi, sonuçların farklı olmasına sebep olabilir. Tan ve ark. (2021) Manisa bölgesi için ECMWF datası kullanarak benzer bir çalışma ile üç güne kadar rüzgâr hızı ve gücü tahminleri gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışma rüzgâr hızında 0,89 ve 0,92 aralığında bir Index of Agreement performansına sahiptir. Ölçüm verilerindeki ve modeldeki farklılıklar sonuçları etkileyebilir. Devrim ve Sakallı (2021) Hatay bölgesinde WRF modeli ile bir aylık bir çalışma gerçekleştirmiş ve değerlendirmede 0,92 korelasyon katsayısına sahiptir. Zamansal çözünürlük, çalışma aralığı ve model parametresindeki farklılıkların sonuçlardaki farklılıklara sebep olduğu düşünülmektedir. Şahin ve ark. (2005) Doğu Akdeniz'deki rüzgâr verilerini WASP modeli ile incelemiştir. Hatay'ın bölgelerinde rüzgâr hızı ve güç üretim potansiyelini değerlendirmiştir. Samandağ bölgesinde rüzgâr hızının günün %72 'sinde 3 m/s ve üzerinde seyrettiğini tespit etmiştir.

Jacondino ve ark. (2021) Brezilya'da rüzgâr hızı için yaptıkları saatlik ölçümler ve aylık değerlendirmeler sonucunda 1,1 MAE değerine ulaşmıştır. Bu değer bizim yıllık 1,35 MAE değerimize yakındır. Coğrafi farklılıklar, model şemaları ve parametrelerdeki

farklılıklar her bölge için farklı tahminler üretebilir. Bu durum sonuçları etkilemektedir. Feroz ve ark. (2020) Pakistan’da yaptığı bir çalışmada 0,5 derecelik GFS başlangıç çözünürlüğüyle yaz ve kış aylarının ilk ayının, bir hafta süre aralığındaki iz etkilerini incelemiş, 1,20 ve 1,87 aralığında MAE değerlerine ulaşmıştır. Başlangıç koşulları, model parametreleri ve topoğrafyadaki farklılıklar sonuçları etkilemektedir.

4. Sonuç

Rüzgâr enerjisi yatırımları yüksek maliyetlere ulaşmaktadır. Bu konudaki en büyük zorluklardan biri de doğru ve kesintisiz rüzgâr hızı ölçüm verilerine erişmek ve bu verileri analiz etmektir. Ölçümler maliyet ve zaman yönüyle rüzgâr enerjisi yatırımlarını zorlaştırmaktadır ayrıca her bölgede ölçüm yapmak mümkün olamamaktadır. Bu nedenle ki rüzgâr bileşenlerinin doğru ve kısa sürede tahmin edilmesi, santral yatırımları ve enerji piyasaları için, rüzgâr hızına olan artarak ilerleyen rağbet ile daha da önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada seçtiğimiz başlangıç koşulları ve uygun parametreler ile yapılan WRF model tahminleri ile ölçüm verilerinin analizi sonucunda, Türkiye’de 2,3 MW ve 3 MW rüzgâr güç üretim potansiyeli mevcut olduğu tahmin edilmektedir. 2,3 MW’lık üretim alanları mevcut olmakla birlikte güç üretim haritaları incelendiğinde 3 MW’lık yatırımların uzun vadede çok daha iyi bir sonuç verebileceği saptanmıştır bununla birlikte kara üzerindeki kurulumlar haricinde su üzerindeki hibrit kurulumlar için de Türkiye’nin iyi bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Sonraki araştırmalarda bu potansiyel daha detaylı olarak incelenerek dalga ve akıntı, rüzâr ve güneş enerjileri için hibrit kurulumlara uygun konumlar tespit edilebilir.

Kaynakça

- Akdağ, O., & Yeroğlu, C. (2019). Offshore/Onshore Rüzgâr Santralinin Modellenmesi ve Şebekeye Bağlantısı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 505-520.
- Altan, A., & Karasu, S. (2020). Ayırıştırma yöntemlerinin derin öğrenme algoritması ile tanımlanan rüzgâr hızı tahmin modeli başarımına etkisinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 844-853.
- Bilal, M., Solbakken, K., & Birkelund, Y. (2016). Wind speed and direction predictions by WRF and WindSim coupling over Nygårdsfjell. *Journal of Physics: Conference Series* 753 (8): 082018.
- Bodini, N., Hu, W., Optis, M., Cervone, G., & Alessandrini, S. (2021). Assessing boundary condition and parametric uncertainty in numerical-weather-prediction-modeled, long-term offshore wind speed through machine learning and analog ensemble. *Wind Energy Science*, 6(6): 1363-1377.
- Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M., & Santos, C. (2012). A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy. *Environmental Modelling & Software*, 33: 23-34.
- Carvalho, D., Rocha, A.M.A. C., Gómez-Gesteira, M., & Santos, C.S. (2014). Sensitivity of the WRF model wind simulation and wind energy production estimates to planetary boundary layer parameterizations for onshore and offshore areas in the Iberian Peninsula. *Applied Energy*, 135: 234-246.
- Christoforou, E., Emiris, I.Z., Florakis, A., Rizou, D., & Zaharia, S. (2021). Spatio-temporal deep learning for day-ahead wind speed forecasting relying on WRF predictions. *Energy Systems*, 1-21.
- Devrim, M.A., & Sakalli, A. (2021). Estimation of wind speed and energy potential by atmospheric model for day-ahead market and wind power plants in Turkey. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1032 (1) 012042.
- Di, Z., Ao, J., Duan, Q., Wang, J., Gong, W., Shen, & C., Liu, Z. (2019). Improving WRF model turbine-height wind-speed forecasting using a surrogate-based automatic optimization method. *Atmospheric Research*, 226: 1-16.
- Doğanşahin, K., Uslu, A.F., & Kekezoğlu, B. (2019). İki Bileşenli Weibull Dağılımı ile Rüzgâr Hızı Olasılık Dağılımlarının Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 315-326.
- Dupuy, F., Duine, G.J., Durand, P., Hedde, T., Pardyjak, E., & Roubin, P. (2021). Valley winds at the local scale: Correcting routine weather forecast using artificial neural networks. *Atmosphere*, 12(2): 128.
- Emeksiz, C., & Tan, M., (2021). Geliştirilmiş EEMD-EWT Tabanlı Yapay Sinir Ağı Modeli Kullanarak Çok Adımlı Rüzgâr Hızı Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 165-173.
- Erduman, A., Kekezoğlu, B., & Durusu, A. (2018). Küçük Güçlü Rüzgâr Santrallerinin Kurulumu ve Şebekeye Etkilerinin Teknik ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi: Uygulama Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13), 112-117.
- Feroz, R.M.A., Javed, A., Syed, A.H., Kazmi, S.A.A., & Uddin, E. (2020). Wind speed and power forecasting of a utility-scale wind farm with inter-farm wake interference and seasonal variation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42: 100882.
- Giannakopoulou, E.M., & Nhili, R. (2014). WRF model methodology for offshore wind energy applications. *Advances in Meteorology*.
- Global Wind Energy Council, G.W.E.C. (2021). Global wind report 2021.
- Groch, M., & Vermeulen, H.J. (2019). Wind speed event forecasting using a Hybrid WRF and ANN model. In *2019 9th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES)* 1-6.
- Groch, M., & Vermeulen, J. (2019). Short-term ensemble nwp wind speed forecasts using mean-variance portfolio optimization and neural networks. In *2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)* 1-6.

- Guo, Z., & Xiao, X. (2014). Wind power assessment based on a WRF wind simulation with developed power curve modeling methods. *Hindawi Publishing Corporation Abstract and Applied Analysis*, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/941648>.
- Holley, J.W., & Guilford, J.P. (1964). A note on the G index of agreement. *Educational and psychological measurement*, 24(4): 749-753.
- Jacodino, W.D., da Silva Nascimento, A.L., Calvetti, L., Fisch, G., Beneti, C.A.A., & da Paz, S.R. (2021). Hourly day-ahead wind power forecasting at two wind farms in northeast Brazil using WRF model. *Energy*, 230: 120841.
- Jiang, P., Liu, Z., Niu, X., & Zhang, L. (2021). A combined forecasting system based on statistical method, artificial neural networks, and deep learning methods for short-term wind speed forecasting. *Energy*, 217: 119361.
- Li, F., Ren, G., & Lee, J. (2019). Multi-step wind speed prediction based on turbulence intensity and hybrid deep neural networks. *Energy conversion and management*, 186: 306-322.
- Liu, X., Zhang, L., Zhang, Z., Zhao, T., & Zou, L. (2021). Ultra Short Term Wind Power Prediction Model Based on WRF Wind Speed Prediction and CatBoost. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 838 (1): 012001.
- Martínez-Arellano, G., & Nolle, L. (2013). Genetic programming for wind power forecasting and ramp detection. In *International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence* 403-417.
- Men, Z., Yee, E., Lien, F. S., Wen, D., & Chen, Y. (2016). Short-term wind speed and power forecasting using an ensemble of mixture density neural networks. *Renewable Energy*, 87: 203-211.
- Mentes, S., Tan, E., Ozdemir, T., Unal, E., Unal, Y., Efe, B., & Borhan, Y. (2021.) Short term wind power forecast in Manisa, Turkey by using the wrf model coupled to a cfd model.
- Niu, D., Pu, D., & Dai, S. (2018). Ultra-short-term wind-power forecasting based on the weighted random forest optimized by the niche immune lion algorithm. *Energies*, 11(5): 1098.
- Oettl, D., & Veratti, G. (2021). A comparative study of mesoscale flow-field modelling in an Eastern Alpine region using WRF and GRAMM-SCI. *Atmospheric Research*, 249: 105288.
- Özen, C., Dinç, U., Deniz, A., & Karan, H. (2021). Wind power generation forecast by coupling numerical weather prediction model and gradient boosting machines in Yahyalı wind power plant. *Wind Engineering*, 45(5): 1256-1272.
- Prieto-Herráez, D., Frías-Paredes, L., Cascón, J.M., Lagüela-López, S., Gastón-Romeo, M., Asensio-Sevilla, M.I., & González-Aguilera, D. (2021). Local wind speed forecasting based on WRF-HDWind coupling. *Atmospheric Research*, 248: 105219.
- Salamanca, F., Zhang, Y., Barlage, M., Chen, F., Mahalov, A., & Miao, S. (2018). Evaluation of the WRF-urban modeling system coupled to Noah and Noah-MP land surface models over a semiarid urban environment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(5): 2387-2408.
- Salazar, A.A., Che, Y., Zheng, J., & Xiao, F. (2021). Multivariable neural network to postprocess short-term, hub-height wind forecasts. *Energy Science & Engineering*, 1–15. doi:[10.1002/ese3.928](https://doi.org/10.1002/ese3.928).
- Salfate, I., Marin, J.C., Cuevas, O., & Montecinos, S. (2020). Improving wind speed forecasts from the Weather Research and Forecasting model at a wind farm in the semiarid Coquimbo region in central Chile. *Wind Energy*, 23(10): 1939-1954.
- Sayed, A., Choi, Y., Jung, J., Lops, Y., Eslami, E., & Salman, A.K. (2020). A deep convolutional neural network model for improving WRF forecasts. *arXiv preprint arXiv: 2008.06489*.
- Şahin, B., Bilgili, M., & Akilli, H. (2005). The wind power potential of the eastern Mediterranean region of Turkey. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(2): 171-183.
- Tan, E., Mentes, S.S., Unal, E., Unal, Y., Efe, B., Barutcu, B., & Incecik, S. (2021). Short term wind energy resource prediction using WRF model for a location in western part of Turkey. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 13 (1): <https://doi.org/10.1063/5.0026391>.
- Teixeira, R.S., Santos Conterato, F., Maria, P., Dias, A., Kaore, Y., & Kitagawa, L. (2020). Hybrid model of wind speed prediction in short time range using wrf and artificial neural networks. *VI International Symposium on Innovation and Technology (SIINTEC)*.
- Thompson, R.D. (2002). *Atmospheric processes and systems*. Routledge.
- Turkish Wind Energy Association. (2021). *Turkish Wind Energy Statistics Report*.
- Wei, C.C. (2020). Development of stacked long short-term memory neural networks with numerical solutions for wind velocity predictions. *Advances in Meteorology*, 2020.
- Xu, W., Liu, P., Cheng, L., Zhou, Y., Xia, Q., Gong, Y., & Liu, Y. (2021). Multi-step wind speed prediction by combining a WRF simulation and an error correction strategy. *Renewable Energy*, 163: 772-782.
- Zhao, J., Guo, Z. H., Su, Z. Y., Zhao, Z. Y., Xiao, X., & Liu, F. (2016). An improved multi-step forecasting model based on WRF ensembles and creative fuzzy systems for wind speed. *Applied Energy*, 162: 808-826.
- Zhao, J., Guo, Y., Xiao, X., Wang, J., Chi, D., & Guo, Z. (2017). Multi-step wind speed and power forecasts based on a WRF simulation and an optimized association method. *Applied Energy*, 197: 183-202.



Kendi Kendine Yeterlilik ve İthalata Bağımlılık Açısından Tavuk Yumurtası Üretimini Değerlendirilmesi

Oktaç Tomar^{1*}, Alptekin Mert Yılmaz², Abdullah Çağlar³

^{1*} Kocaeli University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5761-7157), oktay.tomar@kocaeli.edu.tr

² Kocaeli University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7062-4770), alptekin.yilmaz@kocaeli.edu.tr

³ Kocaeli University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7216-8361), abdullah.caglar@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Kasım 2022 ve Kabul Tarihi 10 Ocak 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1208040)

ATIF/REFERENCE: Tomar, O., Yılmaz, A.M., Çağlar, A. (2023). Kendi Kendine Yeterlilik ve İthalata Bağımlılık Açısından Tavuk Yumurtası Üretimini Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 193-201.

Öz

Yumurta, birçok besin maddesini bünyesinde barındırdığından insan beslenmesinde oldukça önemli bir besin kaynağıdır. Hayvansal gıdalar, insan beslenmesinde protein ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda, kırmızı et fiyatlarının artış göstermesi tüketicilerin tavuk eti ve yumurtasına yönelmesine yol açmıştır. Fakat son yıllarda yaşanan ekonomik dalgalanmalar, tavuk yumurtası fiyatlarının da artış göstermesine yol açmakla birlikte gıda güvencesi açısından olumsuzluklar yaratmıştır. Bu durum tavuk yumurtasında kendi kendine yeterliliğin ve ithalata bağımlılığın belirlenmesiyle etkin politikalar oluşturulmasını gerekli kılmıştır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin tavuk yumurtasında kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık açısından değerlendirilmesidir. Bu amaçla, Türkiye İstatistik Kurumu ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nden tavuk yumurtası üretim, ihracat ve ithalat verileri, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü tarafından tavsiye edilen formüller kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, Türkiye'nin tavuk yumurtasında 2015-2021 yılları arasında kendi kendine yeterliliğinin ortalama %130,37, ithalata bağımlılığının ortalama %39,90 ve kişi başına tavuk yumurtası tüketiminin ortalama 11,09 kg/yıl olduğu tespit edilmiştir. Araştırma önerilerine göre, yem maliyetlerinin düşürülmesi, hayvan materyalinde ithalata bağımlılığın azaltılması, ıslah çalışmalarının yaygınlaştırılması ve geleneksel kafeslerde tavuk yetiştiriciliğine son verilmesi tavsiye edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tavukçuluk Sektörü, Tavuk yumurtası, İthalata bağımlılık, Kendi kendine yeterlilik, Gıda güvencesi

Evaluation of Hen Egg Production in Terms of Self-sufficiency and Import Dependence

Abstract

The egg is a very important source of nutrients for the human diet because it contains many nutrients. Animal foods play an important role in meeting the protein requirements of the human diet. In recent years, the increase in red meat prices has led consumers to turn to chicken meat and hen eggs. However, economic fluctuations in recent years have led to an increase in hen egg prices and have had a negative impact on food security. This situation necessitated an effective policy to determine self-sufficiency and dependence on imports of hen eggs. The objective of this study is to evaluate Türkiye in terms of self-sufficiency and import dependence in hen eggs. For this purpose, the data on production, export and import of hen eggs obtained from the Turkish Statistical Institute and the Food and Agriculture Organization of the United Nations were analyzed using the formulas recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations. From the research results, the average self-sufficiency rate of Türkiye in hen eggs in 2015-2021 is 130.37%, the dependence on imports is 39.90%, and the average per capita consumption of hen eggs is 11.09 kg/year. According to the research recommendations, it is recommended to reduce feed costs, reduce import dependency for animal materials, expand breeding studies, and end chicken farming in conventional cages.

Keywords: Poultry Industry, Hen Egg, Import Dependency, Self-Sufficiency, Food Security

* Corresponding Author: oktay.tomar@kocaeli.edu.tr

1. Giriş

Tavukçuluk sektörü, bilim ve teknolojinin en fazla kullanıldığı ve bu özelliğiyle en gelişmiş hayvancılık dallarından biri olarak adlandırılmaktadır (Yıldız, 2012). Türkiye’de de kanatlı sektörü oldukça gelişmiş durumdadır (Mızrak ve ark., 2012). Yumurtacı ve etçi olarak alt sektörlere ayrılan tavukçuluk sektörü kendi içinde oldukça farklı yapılara sahiptir. Ankara’da 1930 yılında Merkez Tavukçuluk Enstitüsü’nün kurulmasıyla birlikte, Türkiye’de tavukçuluk sektörüne ilişkin ilk adım atılmıştır. Bunu 1952 yılında gerçekleştirilen saf kültür tavuk ırklarının ithali izlemiştir. İlerleyen yıllarda hızla ivme kazanan ve yetiştiriciler açısından önemli bir üretim dalı olan tavukçuluk sektörü, Türkiye’de hayvancılık sektöründe modern teknolojilerin uygulanması ve entegre tesislerin mevcudiyeti ile en hızlı gelişen dallardan birisi haline gelmiştir (Yıldız, 2012). Türkiye’de yumurta tavukçuluğu genelde kafeste yapılmakla birlikte, Orta ve Batı Anadolu’da diğer bölgelerde kıyaslandığında daha yaygındır (Şamlı ve Okur, 2016). Yumurta tavukçuluğunda Ege bölgesi ve özellikle Afyonkarahisar ön plandadır (Anonim, 2022).

Hayvansal gıdalar insanların yeterli ve dengeli beslenmesinde oldukça önemli rol oynamaktadır. İnsan beslenmesinde önemli bir yeri olan proteinlerin günlük olarak yaklaşık yarısı hayvansal gıdalardan karşılanmalıdır. Tavuk yumurtası, aminoasit ve mineraller gibi birçok besin maddesini içermesi, ucuz ve lezzetli olması açısından oldukça değerli bir gıdadır (Tayar ve Yıbar, 2013; Flachowsky ve ark., 2017). Besleyici oluşundan ötürü yumurta, insan beslenmesinde kullanılmasının yanı sıra gıda endüstrisinde de hammadde olarak kullanılmaktadır (Vacaru-Opris, 2007). Türkiye’de kırmızı et maliyetlerinin ekonomik sebeplerden dolayı her geçen yıl artış göstermesinden dolayı üretim azalmakla birlikte hayvansal protein ihtiyacının karşılanmasında zorluklar yaşanmaya başlanmıştır. Bundan dolayı tavuk ürünleri insanların hayvansal protein ihtiyacının karşılanmasında ön plana çıkmıştır (Tayar ve Yıbar, 2013). Bir yumurtada 6,25 g protein bulunmakla birlikte bir bireyin günlük yağ ihtiyacının %7,5’ini ve kolesterol ihtiyacının %7’sini karşılayabilmektedir (Tayar ve Yıbar, 2013). Günlük 2 adet yumurta tüketilmesi halinde hayvansal protein ihtiyacının yarısı karşılanabilmektedir (Yıldız, 2012). İyi bir protein kaynağı olmasının yanında tavuk yumurtasının kalorisi oldukça düşüktür (Herron ve Fernandez, 2004). Gıda güvencesizliğinin yaygın olduğu gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde tavuk yetiştiriciliği, tavuğun sahip olduğu biyolojik özellikler ve besin değeri, üreme hızı, ürün miktarı, teknolojik gelişmeye ve sektördeki mekanizasyona elverişliliğinden dolayı hayvansal gıda üretiminde önemli üretim kaynakları arasında yer almaktadır (Yıldız, 2012). Gıda güvencesi, “tüm insanların, aktif ve sağlıklı bir yaşam için beslenme ihtiyaçlarını ve gıda tercihlerini karşılayan yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya her zaman fiziksel ve ekonomik erişimi” olarak tanımlanmaktadır (World Food Summit, 1996). Gıda güvencesinin; mevcudiyet, erişim, kullanım ve istikrar olmak üzere dört boyutu bulunmaktadır (FAO, 2006). Bir ülkede, gıda güvencesi ancak tüm boyutların sağlanması halinde söz konusudur (FAO, 2008). Fakat gıda güvencesi kavramı, gıdanın ithal edilip edilmediği veya yurt içinde üretilip üretilmediği arasında ayırım yapmamaktadır (Clapp, 2014). Gıdada kendi kendine yeterlilik kavramı gıda arzına odaklanmakla birlikte ülkenin kendi ihtiyacını karşılayacak düzeyde üretim kapasitesinin mevcut olması üzerinde durmaktadır (Clapp, 2017). Gıda güvencesi kavramıyla sıklıkla karıştırılsa da kendi kendine yeterlilik oranı, bir ülkenin yurtiçi üretimi ile tüketici ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini belirlemektedir (Slaboch ve ark., 2018).

Gıdada kendi kendine yeterliliğin belirlenmesine yönelik çalışmalar genelde pirinç, buğday, ayçiçeği ve mısır gibi belli başlı ürünler üzerinde yoğunlaşmıştır (Shifereaw ve ark., 2013; Unakitan, 2016; Demirbaş ve ark., 2017; Akkurt ve Demirbaş, 2021; Yılmaz ve Tomar, 2022). Bundan dolayı hayvansal gıdalarda kendi kendine yeterliliğin belirlenmesi oldukça önemlidir. Günümüzde Türkiye’nin yurtiçi ihtiyacının karşılanmasının yanında önemli bir ihracat kalemi olan tavukçuluk sektörü gıda güvencesi ve kendi kendine yeterlilikte önemli bir yer tutmaktadır. Artan nüfus ile birlikte insan beslenmesinin sağlanmasında kısa sürede ve düzenli periyotlarda hızlı ürün alınabilen tavukçuluk sektörü giderek önem kazanmaktadır. Dolayısıyla nüfus artışı ve küresel iklim değişikliğinin etkilerinden dolayı insan beslenmesinde önemli bir protein kaynağı olan tavuk yumurtasında kendi kendine yeterliliğin sağlanması oldukça önemli görülmektedir. Bu çalışmanın amacı 2015-2022 döneminde Türkiye’nin tavuk yumurtasında kendi kendine yeterliliğinin ve ithalata bağımlılığının değerlendirilmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmanın ana materyalini ikincil veriler oluşturmaktadır. Çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü’nden (FAO) elde edilen tavuk yumurtası üretim, ihracat ve ithalat verileri kullanılmıştır (FAO, 2022; TÜİK, 2022). Bu veriler kullanılarak tavuk yumurtası için kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık dereceleri FAO tarafından önerilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır (FAO, 2012). Ulaşılan sonuçlar literatür taramasıyla desteklenmiştir.

2.1.1. Metot

Çalışmada kendi kendine yeterlilik seviyesi (üretim*100)/(üretim+ithalat-ihracat) formülü ile hesaplanmıştır. İthalata bağımlılık seviyesi ise (ithalat*100)/(üretim+ithalat-ihracat) formülü ile tahmin edilmiştir (FAO, 2012). Kişi başına düşen yıllık tavuk yumurtası tüketimi ise (üretim+ithalat-ihracat)/nüfus formülü ile bulunmuştur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Dünya Tavuk Yumurtası Verileri

2020 yılında en fazla tavuk yumurtası üreten ülkeler Tablo 1’de verilmiştir. Buna göre 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası üreten 5 ülke sırasıyla Çin (37.281.000.000 kg), Hindistan (7.150.000.000 kg), Endonezya (7.006.104.188 kg), Amerika Birleşik Devletleri (6.973.331.250 kg) ve Brezilya’dır (3.575.503.500 kg). Bunu sırasıyla Meksika (3.556.555.000 kg), Rusya (2.781.462.188 kg), Japonya (2.742.585.438 kg) ve Pakistan (1.258.312.500 kg) izlemektedir.

Tablo 1. 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası üreten ülkeler (FAO, 2022) (Table 1. Countries producing the most hen eggs in 2020)

Ülke	Üretim Miktarı (kg)
Çin	37.281.000.000
Hindistan	7.150.000.000
Endonezya	7.006.104.188
Amerika Birleşik Devletleri	6.973.331.250
Brezilya	3.575.503.500
Meksika	3.556.555.000
Rusya	2.781.462.188
Japonya	2.742.585.438
Pakistan	1.258.312.500

2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ihraç eden 5 ülke Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ihraç eden 5 ülke sırasıyla Hollanda (415.326.000 kg), Türkiye (217.902.596 kg), Polonya (198.041.000 kg), Amerika Birleşik Devletleri (159.290.000 kg) ve Özbekistan (125.260.000 kg)’dir.

Tablo 2. 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ihraç eden 5 ülke (FAO, 2022) (Table 2. 5 countries exporting the most hen eggs in 2020)

Ülke	İhracat Miktarı (kg)
Hollanda	415.326.000
Türkiye	217.902.596
Polonya	198.041.000
Amerika Birleşik Devletleri	159.290.000
Özbekistan	125.260.000

2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ithal eden 5 ülke Tablo 3’te verilmiştir. Buna göre 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ithal eden 5 ülke sırasıyla Almanya (382.356.000 kg), Hollanda (260.822.000 kg), Çin (182.556.000 kg), Belçika (132.848.000 kg) ve Singapur (109.049.000 kg)’dur.

Tablo 3. 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ithal eden 5 ülke (FAO, 2022) (Table 3. 5 countries that import the most hen eggs in 2020)

Ülke	İthalat Miktarı (kg)
Almanya	382.356.000
Hollanda	260.822.000
Çin	182.556.000
Belçika	132.848.000
Singapur	109.049.000

3.2 Türkiye Tavuk Yumurtası Verileri

Türkiye’de yumurta üretimi büyük oranda (%80) modern kümeslerde gerçekleştirilmektedir. Yumurtanın ucuz ve sağlıklı oluşunun yanında pratik yemekler yapılmasına imkan sağlamasından ötürü tüketimi giderek artmaktadır (Yıldız, 2012). 2015-2022 yılları arasında Türkiye’nin yumurta üretim miktarı Şekil 1 ve Tablo 4’te verilmiştir. Buna göre 2015 yılında 1.045.469.000 kg olarak gerçekleşen tavuk yumurtası üretimi 2021 yılında 1.206.099.000 kg olarak gerçekleşmiştir. 2015 yılı ile kıyaslandığında 2021 yılında tavuk yumurtası üretiminin %13,31 arttığı tespit edilmiştir. 2022 yılının ilk 8 ayında tavuk yumurtası üretim miktarı ise 802.526.400 kg olarak ortaya konmuştur. Söz konusu periyotta en fazla üretim miktarı 1.243.633.000 kg ile 2019 yılında gerçekleşmiştir.

Tablo 4. Türkiye'nin Tavuk Yumurtası Üretim Miktarı (kg) (TÜİK, 2022) (Table 4. Hen Egg Production Amount in Türkiye)

Yıl	Üretim Miktarı (kg)
2015	1.045.469.000
2016	1.131.100.000
2017	1.205.075.000
2018	1.227.732.000
2019	1.243.633.000
2020	1.236.754.000
2021	1.206.099.000
2022*	802.526.400

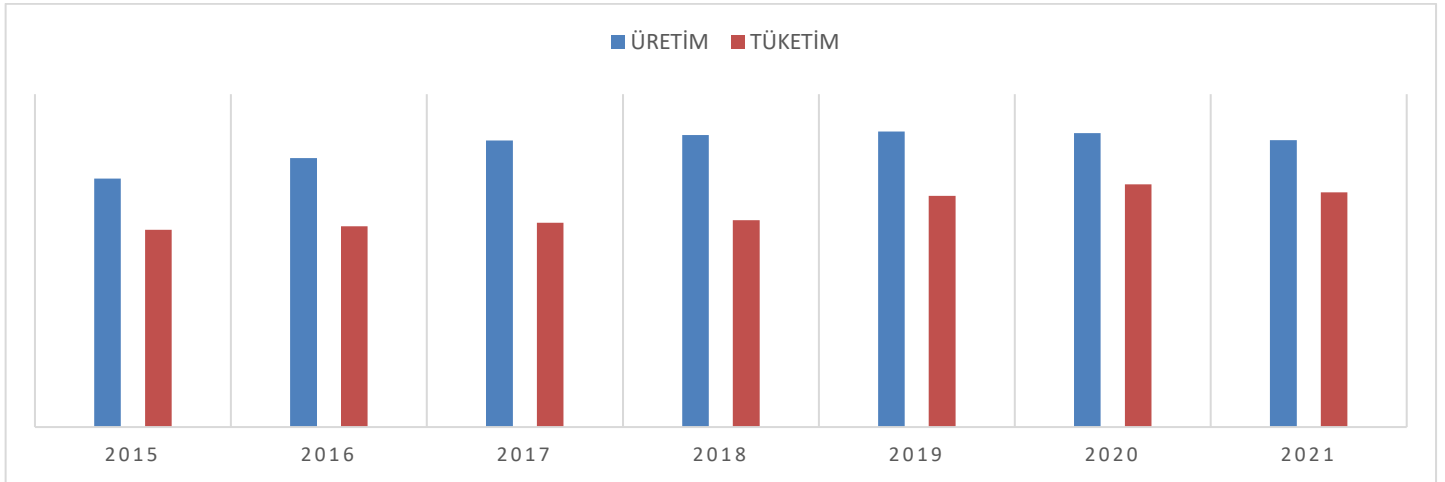
*2022 yılının ilk 8 ayına ait veriler dikkate alınmıştır.

Türkiye'nin 2015-2022 yılları arasında tavuk yumurtası tüketim miktarı Şekil 1 ve Tablo 5'te verilmiştir. Buna göre 2015 yılında 829.375.612 kg olarak gerçekleşen tüketim miktarı 2020 yılında 1.021.042.344 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de tavuk yumurtası tüketimi 2015-2020 yılları arasında giderek artış göstermiştir. Fakat 2021 yılında bir önceki yıla göre %3,37 azalış gösteren tavuk yumurtası tüketimi 987.528.616 kg olarak tespit edilmiştir. Tavuk yumurtası tüketiminde gerçekleşen bu azalış üzerinde COVID-19 pandemisinin etkili olduğu düşünülmektedir. 2022 yılının ilk 8 ayında ise tavuk yumurtası tüketimi 665.477.885 kg olarak bulunmuştur. Söz konusu periyotta en fazla tüketim miktarı 1.021.042.344 kg ile 2020 yılında gerçekleşmiştir.

Tablo 5. Türkiye'nin Tavuk Yumurtası Tüketim Miktarı (kg) (Table 5. Hen Egg Consumption Amount in Türkiye)

Yıl	Tüketim Miktarı (kg)*
2015	829.375.612
2016	843.791.241
2017	858.881.873
2018	869.938.520
2019	972.711.476
2020	1.021.042.344
2021	987.528.616
2022**	665.477.885

*TÜİK verileri kullanılarak yazar tarafından hesaplanmıştır. **2022 yılının ilk 8 ayına ait üretim, ithalat ve ihracat verileri dikkate alınmıştır.



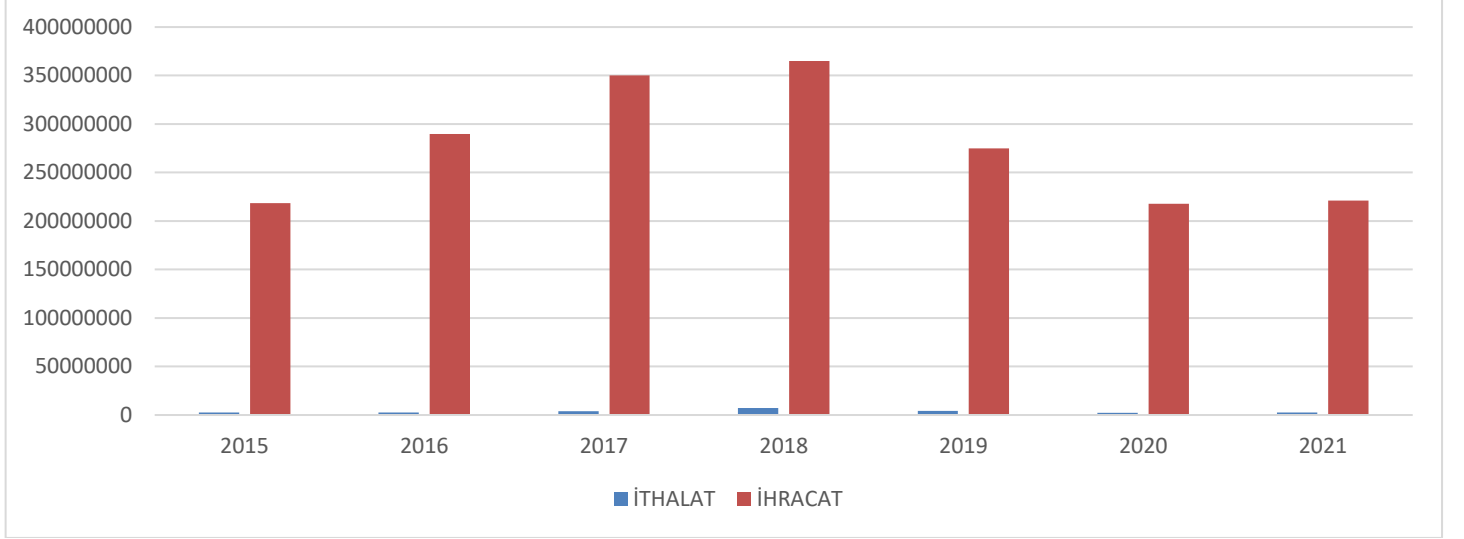
Şekil 1. Türkiye'nin Tavuk Yumurtası Üretim ve Tüketim Miktarı (kg) (Figure 1. Production and consumption of hen eggs in Türkiye)

Türkiye'nin 2015-2022 yılları arasında tavuk yumurtası ithalat ve ihracat miktarı Şekil 2 ve Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre ithalat ve ihracat miktarının 2015 yılından 2018 yılına kadar artış gösterdiği, 2018 yılından sonra ise azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Söz konusu dönemde en yüksek ithalat miktarına 2018 yılında 7.305.720 kg seviyesinde ulaşılmıştır. Aynı şekilde en yüksek ihracat miktarına da 365.099.200 kg ile 2018 yılında ulaşıldığı tespit edilmiştir. 2021 yılında 2018 yılıyla kıyaslandığında tavuk yumurtası ihracat miktarının %39,40, ithalat miktarının ise %63,80 azaldığı ortaya konmuştur. 2022 yılının ilk 8 ayında ise ihracat miktarı 138.714.803 kg, ithalat miktarı ise 1.666.288 kg olarak belirlenmiştir. Irak'ın yerli yumurta üretimini teşvik etmek amacıyla yumurta ithalatını yasaklaması sonrasında Türkiye'nin yumurta ihracat miktarı 2019 yılında bir önceki yıla kıyasla azalış göstermiştir. Aynı yılda Türkiye'nin ithalat miktarının azalış göstermesinin damızlık materyal ihtiyacının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 6. Türkiye'nin Tavuk Yumurtası İthalat ve İhracat Miktarı (kg) (TÜİK, 2022) (Table 6. Türkiye's Import and Export Quantity of Hen Eggs)

Yıl	İthalat Miktarı (kg)	İhracat Miktarı (kg)
2015	2.468.510	218.561.898
2016	2.507.278	289.816.037
2017	3.895.056	350.088.183
2018	7.305.720	365.099.200
2019	4.110.400	275.031.924
2020	2.190.940	217.902.596
2021	2.644.652	221.215.036
2022*	1.666.288	138.714.803

*2022 yılının ilk 8 ayına ait ithalat ve ihracat verileri dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Türkiye'nin Tavuk Yumurtası İthalat ve İhracat Miktarı (kg) (Figure 2. Türkiye's Hen Egg Import and Export Quantity)

Türkiye'nin 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ihracatı yaptığı ülkeler Tablo 7'de verilmiştir. Buna göre, 2020 yılında Türkiye'nin en fazla tavuk yumurtası ihraç ettiği 5 ülke sırasıyla Tacikistan (5.054.500 kg), Özbekistan (4.115.500 kg), Kuveyt (3.365.400 kg), Katar (2.488.100 kg) ve Irak (1.544.900 kg) olarak tespit edilmiştir.

Tablo 7. Türkiye'nin 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ihracatı yaptığı ülkeler (FAO, 2022) (Table 7. Countries to which Türkiye exports the most hen eggs in 2020)

Ülke	İhracat Miktarı (kg)
Tacikistan	5.054.500
Özbekistan	4.115.500
Kuveyt	3.364.400
Katar	2.488.100
Irak	1.544.900
Umman	1.485.300
Suudi Arabistan	930.000
Afganistan	796.600
Bahreyn	656.700
Azerbaycan	431.300
Rusya	257.300
Kazakistan	125.700
Libya	120.900
Gürcistan	108.700
Somali	73.100
Nijerya	49.100
Cibuti	25.700
Liberya	19.700
Birleşik Arap Emirlikleri	19.600
Sierra Leone	17.400
Suriye	16.800
Uganda	12.700
Lübnan	1.0500

Fildişi Sahili	9.100
Kenya	7.700
Maldivler	7.100
Madagaskar	6.300
İran	4.000
Ruanda	3.900
Türkmenistan	2.200
Kıbrıs	2.100
Gambiya	1.800
Gine	1.800
Senegal	1.200
Moritanya	1.100
Mauritius	600
Gana	200
Ürdün	200
Kongo	100

Türkiye'nin 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ithalatı yaptığı ülkeler Tablo 8'de verilmiştir. Buna göre Türkiye'nin 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ithal ettiği 5 ülke Birleşik Krallık (151.800 kg), Hollanda (18.200 kg), Moldova (13.000 kg), Ukrayna (11.100 kg) ve Irak (7.700 kg) olarak sıralanmaktadır.

Tablo 8. Türkiye'nin 2020 yılında en fazla tavuk yumurtası ithalatı yaptığı ülkeler (FAO, 2022) (Table 8. Countries that Türkiye imports the most hen eggs in 2020)

Ülke	İthalat Miktarı (kg)
Birleşik Krallık	151.800
Hollanda	18.200
Moldova	13.000
Ukrayna	11.100
Irak	7.700
Amerika Birleşik Devletleri	7.400
Macaristan	5.100
Özbekistan	2.300
Rusya	1.900
Almanya	500

Türkiye'nin 2015-2022 yılları arasında tavuk yumurtasında kendi kendine yeterlilik seviyesi Şekil 3 ve Tablo 9'da verilmiştir. Buna göre Türkiye'nin tavuk yumurtasında kendi kendine yeterlilik seviyesinin 2015-2021 yıllarında %121,12 ile %141,12 arasında değiştiği görülmektedir. 2022 yılının ilk 8 ayı itibariyle kendi kendine yeterlilik seviyesi %120,59 olarak tespit edilmiştir. En yüksek kendi kendine yeterlilik seviyesine 2018 yılında %141,12 düzeyinde ulaşılmıştır. Ayrıca 2015-2021 yılları kendi kendine yeterlilik seviyesi ortalama %130,37 olarak ortaya konmuştur. 2015-2022 yılları arasındaki kendi kendine yeterlilik seviyeleri incelendiğinde Türkiye'nin tavuk yumurtasında kendi kendine yeterli olduğu söylenebilmektedir. Türkiye'de tarımsal ürünlerde kendi kendine yeterliliğin hesaplandığı diğer çalışmalara örnek verilecek olursa 2020 yılı itibariyle buğdayda kendine yeterliliğin %96,90 olduğu, 2010-2020 döneminde ise ortalama %101,30 olduğu tespit edilmiştir (Yılmaz ve Tomar, 2022). Türkiye'nin mısır üretiminde kendi kendine yeterlilik seviyesi ise 2018 yılı itibariyle %70,3 olarak saptanmıştır (Akkurt ve Demirbaş, 2021).

Tablo 9. Türkiye'nin Tavuk Yumurtasında Kendi Kendine Yeterlilik Seviyesi (%) (Table 9. Türkiye's Level of Self-Sufficiency in Hen Eggs)

Yıl	Kendi Kendine Yeterlilik Seviyesi (%)*
2015	126,05
2016	134,04
2017	140,30
2018	141,12
2019	127,85
2020	121,12
2021	122,13
2022**	120,59

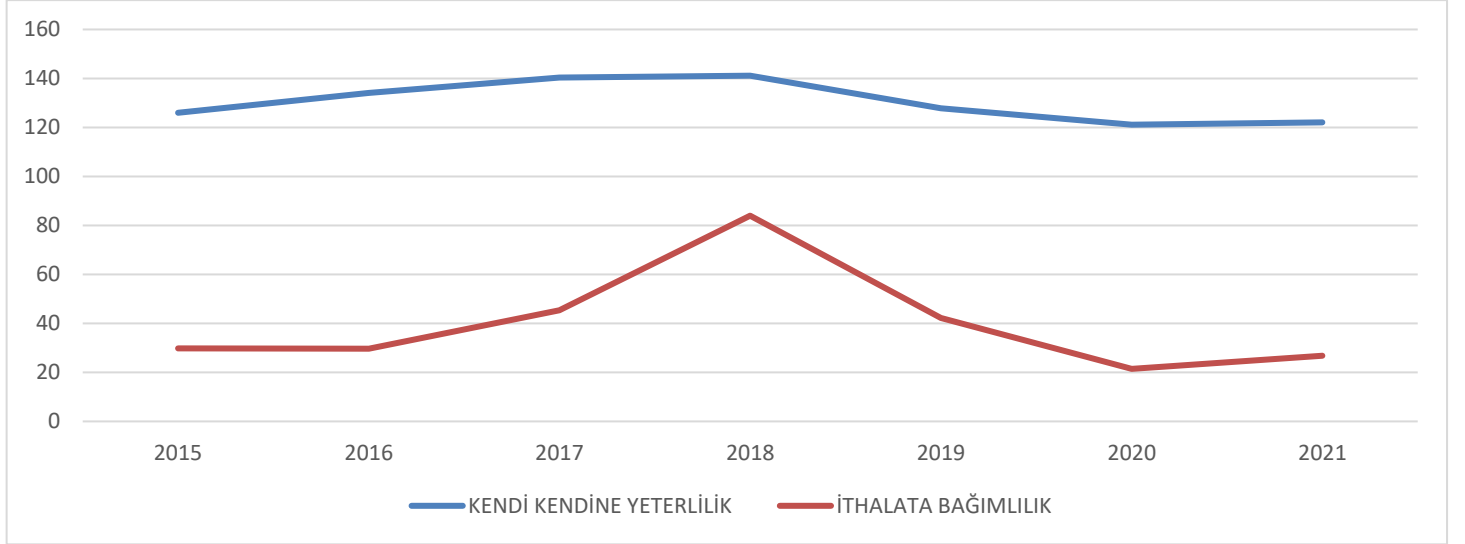
*TÜİK verileri kullanılarak yazar tarafından hesaplanmıştır. **2022 yılının ilk 8 ayına ait üretim, ithalat ve ihracat verileri dikkate alınmıştır.

Türkiye'nin 2015-2022 yılları arasında tavuk yumurtasında ithalata bağımlılık seviyesi Şekil 3 ve Tablo 10'da verilmiştir. Buna göre 2015-2021 yılları arasında en düşük ithalata bağımlılık seviyesi 2020 yılında %21,45 olarak, en yüksek ithalata bağımlılık seviyesi ise 2018 yılında %83,97 olarak tespit edilmiştir. 2022 yılının ilk 8 ayında ise ithalata bağımlılık seviyesi %25,03 olarak belirlenmiştir. Ayrıca 2015-2021 yılları arasında ithalata bağımlılık seviyesi ortalama %39,90 olarak ortaya konmuştur.

Tablo 10. İthalata Bağımlılık Seviyesi (%) (Table 10. Import Dependency Level)

Yıl	İthalata Bağımlılık Seviyesi (%) *
2015	29,76
2016	29,71
2017	45,35
2018	83,97
2019	42,25
2020	21,45
2021	26,78
2022**	25,03

*TÜİK verileri kullanılarak yazar tarafından hesaplanmıştır. **2022 yılının ilk 8 ayına ait üretim, ithalat ve ihracat verileri dikkate alınmıştır.



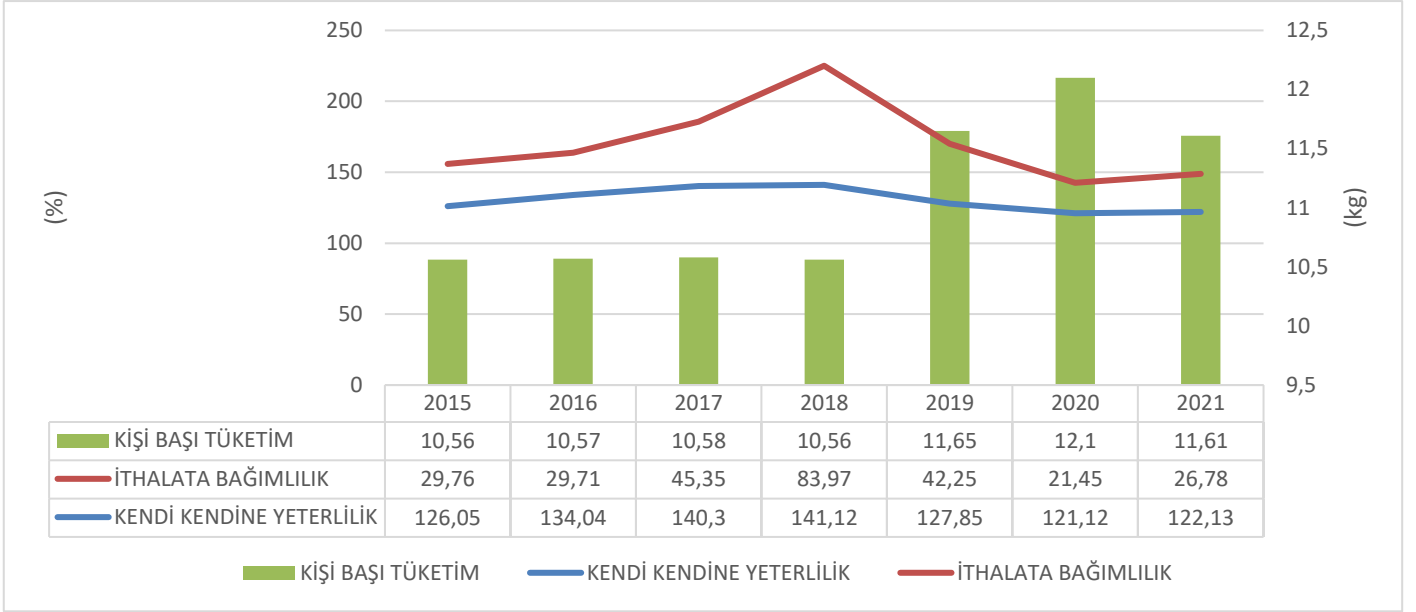
Şekil 3. Türkiye'nin Tavuk Yumurtasında Kendi Kendine Yeterlilik ve İthalata Bağımlılık Oranı (%) (Figure 3. Türkiye's Hen Egg Self-sufficiency and Import Dependence Rate)

Türkiye'nin 2015-2022 yılları arasında kişi başına düşen yıllık tavuk yumurtası tüketim miktarı Tablo 11'de verilmiştir. Buna göre yıllar itibarıyla kişi başına yıllık tavuk yumurtası tüketimi 10,56 kg ile 12,10 kg arasında değişmektedir. Ayrıca 2015-2021 yıllarında ortalama 11,09 kg kişi başı yıllık tavuk yumurtası tüketimi olduğu ortaya konmuştur. 2022 yılının ilk 8 ayında ise kişi başına düşen tavuk yumurtası tüketimi 7,77 kg olarak saptanmıştır.

Tablo 11. Kişi başına düşen yıllık tavuk yumurta tüketimi (kg) (Table 11. Annual hen egg consumption per capita)

Yıl	Kişi Başına Yıllık Tavuk Yumurtası Tüketimi (kg)*
2015	10,56
2016	10,57
2017	10,58
2018	10,56
2019	11,65
2020	12,10
2021	11,61
2022**	7,77

*TÜİK verileri kullanılarak yazar tarafından hesaplanmıştır. **2022 yılının ilk 8 ayına ait ithalat, ihracat ve üretim verisi dikkate alınmıştır.



Şekil 4. Türkiye'nin Tavuk Yumurtasında Kendi Kendine Yeterlilik ve İthalata Bağımlılık Oranları ile Kişi Başına Tüketim Miktarı (Figure 4. Türkiye's Hen Egg Self-Sufficient and Import Dependence Rates and Per Capita Consumption Amount)

Türkiye'nin tavuk yumurtasında kendi kendine yeterlilik oranı, ithalata bağımlılık oranı ve kişi başına yıllık tüketim miktarı karşılaştırmalı olarak Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre kişi başına düşen yıllık tüketim miktarının yıllar itibariyle artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca ithalata bağımlılık oranının 2018 yılında artış gösterdiği, ilerleyen yıllarda ise azalmaya başladığı görülmektedir. Bunun yanı sıra Türkiye'nin tavuk yumurtasında kendi kendine yeterli bir konumda olduğu söylenebilmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışma, nüfus, üretim, tüketim, ihracat ve ithalat bağlamında Türkiye'nin tavuk yumurtasında kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık seviyesini değerlendirmektedir. Tavuk yumurtası, besin içeriği ile insan beslenmesinde protein ihtiyacını karşılayan önemli gıda ürünleri arasında yer almaktadır. Türkiye'de tavuk yumurtası üretim miktarı 2015 yılında 2019 yılına kadar artış eğiliminde, 2019 yılından sonra ise azalış eğilimindedir. En yüksek tavuk yumurtası üretim miktarına 2019 yılında 1.243.633.000 kg seviyesinde ulaşılmıştır. Kendine kendine yeterlilik derecesi 2015 yılında %126,05 iken 2021 yılında %122,13 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ithalata bağımlılık seviyesi 2015 yılında %29,76 iken 2021 yılında %26,78 olarak belirlenmiştir. 2021 itibariyle kişi başına tavuk yumurtası tüketimi ise yıllık 11,61 kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca 2015 yılından 2021 yılına kadar kişi başı tavuk yumurtası tüketiminin giderek artış gösterdiği tespit edilmiştir. Türkiye'nin yumurta sektörü son yıllarda oldukça gelişme göstermiş, dünya ihracatında önemli konuma gelmiştir.

Özellikle son yıllarda kırmızı et fiyatlarının artış göstermesi tavuk etine ve yumurtasına olan talebin artış göstermesine yol açmıştır. Yakın gelecekte bu trendin devam edeceği tahmin edilmektedir. Türkiye'de tavuk yumurtası üretimi ve ihracatı belli yıllarda azalış gösterse de tavuk yumurtası üretimi ve ihracatı yıllar itibariyle artış göstermektedir. Buna rağmen tavukçulukta üretim maliyetleri arasında karma yemlerin yaklaşık olarak %75 lik paya sahip olması sonucunda yem maliyetlerinin artması ile üretim maliyetleri artmaktadır. Ayrıca tavukçulukta yem katkı maddeleri başta olmak üzere birçok maddede büyük oranda ithalata bağımlı olunması maliyetleri etkilemektedir. Bundan dolayı kanatlı sektöründe yem maliyetlerinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla yem içeriğinde en çok tercih edilen mısır ve soya gibi ürünlere yönelik politikalar geliştirilmesi gerekmektedir. Tavukçulukta yem katkı maddeleri yaygın olarak ithalat yoluyla tedarik edildiğinden dolayı bu ürünlerin üretimi teşvik edilmelidir. Kümes hayvancılığında hayvan materyali temininde de dünya genelinde hakim birkaç firma bulunmaktadır. Bu firmaların saf hat ve ebeveynlere sahip olması hibrit materyalin üretiminde kendilerine bağımlı olunmasına yol açmaktadır. Bundan dolayı ekonomik dalgalanmaların yaşandığı dönemlerde döviz ile tedarik edilen bu hayvan materyalinin temininde yaşanacak zorluklar tavuk yumurtası üretimini doğrudan etkileyecektir. Bu kapsamda Türkiye genelinde tavukçuluk sektörüne yönelik ıslah çalışmalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Türkiye'de tavuk yumurtası üretimi, tavuk eti üretiminin aksine yaygın olarak entegre tesislerde değil bireysel olarak bağımsız şekilde üretilmektedir. Bu durum yumurta tavukçuluğunda denetimlerin yetersiz kalmasına yol açmaktadır. Yumurta tavukçuluğunda bireysel üretimin yaygın olması gıda güvenliğini olumsuz etkileyen ilaç kullanımının yüksek olmasına ve denetimlerin yetersiz olmasına yol açmaktadır. Bundan dolayı bireysel olarak üretim gerçekleştiren yumurta tavukçuluğu yapan işletmelere yönelik denetimlerin artırılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca hayvan refahı konusunda Avrupa Birliği mevzuatları örnek alınarak geleneksel kafeslerde yetiştiriciliğe son verilerek modern kafeslerde yetiştiriciliğe geçilmelidir. Çeşitli çalışmalarda bazı yerel otların yem katkı maddesi olarak kullanılmasıyla yumurtaların kabuk kalınlığı, yumurta beyazı kalitesi ve depolama potansiyelinin etkilenebileceği tahmin edilmektedir. Bundan dolayı verimli yeni yemlerin geliştirilmesi ile tavuk yumurtası kalitesinin artırılacağı düşünülmektedir. Hanehalkı yumurta tüketimini artırmak amacıyla kamuoyu bilinci radyo, televizyon ve sosyal medya gibi kitle iletişim araçları kullanılarak artırılmalıdır. Ayrıca tavuk yumurtasının raf ömrü kısa olduğundan gelişmiş ülkelerde satılmakta olan işlenmiş tavuk yumurtası ürünlerinin Türkiye'de de üretilip pazarlanmasının tüketici davranışları üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Akkurt, Z. M. E., & Demirbaş, N. (2021). Türkiye'de Mısır Üretiminde Kendine Yeterliliğin Değerlendirilmesi.
- Anonim (2022). Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, Tarım Ürünleri Piyasaları Tavuk Yumurtası.
- Clapp, J. (2014). Food Security and Food Sovereignty: Getting Past the Binary. *Dialogues Human Geogr.* 4 (2), 106–211.
- Clapp, J. (2017). Food self-sufficiency: Making sense of it, and when it makes sense, *Food Policy* 66, 88–96.
- Flachowsky, G., Halle, I., Schultz, A.S., Wagner, H. & Dänicke, S. (2017). Long term study on the effects of iodine sources and levels without and with rapeseed cake in the diet on the performance and the iodine transfer into body tissues and eggs of laying hens of two breeds. *Landbauforschung – Applied agricultural and forestry research*, 67(3–4).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2008). An Introduction to the Basic Concepts of Food Security. Erişim Adresi: <http://www.fao.org/docrep/013/al936e/al936e00.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2006). Policy Brief, Food Security. Erişim Adresi: https://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitally/documents/pdf/pdf_Food_Security_Cocept_Note.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2012). FAO Statistical Yearbook 2012 – World Food and Agriculture. Erişim adresi: <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e00.htm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2022). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Erişim Adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/>
- Herron, K.L., Fernandez, M.L. (2004). Are The Current Dietary Guidelines Regarding Egg Consumption Appropriate? *J. Nutr.* 134: 187–190.
- Mızrak, C., Durmuş, İ., Kamanlı, S., Demirtaş, Ş. E., Kalebaşı, S., Karademir, E., & Doğu, M. (2012). Determination of egg consumption and consumer habits in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 36(6), 592-601.
- Shiferaw, B., M. Smale, H.-J. Braun, E. Duveiller, M. Reynolds, and G. Muricho. (2013). Crops that Feed the World 10. Past Successes and Future Challenges to the Role Played by Wheat in Global Food Security. *Food Security* 5 (3): 291–317.
- Slaboch J., I Kotyza P., Elisová K. (2018). Self-sufficiency in selected agricultural commodities in Central European countries, Agrarian perspectives XXVII. Food safety –food security proceedings of the 27th International Scientific Conference September 19-20, 2018 Prague, Czech Republic, 318-325.
- Şamlı, H. ve Okur A. (2016). Tüm Yönleriyle Yumurta, İstanbul Ticaret Borsası Yayınları. Yayın No: 208, İstanbul.
- Tayar, M. ve Yılbar A. (2013). Hayatın Kaynağı Yumurta, Yumurta Üreticileri Merkez Birliği, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022). <https://data.tuik.gov.tr/>
- Unakıtan, G. (2016). Analysis of self sufficiency in rice production in Turkey. *Ziraat Fakültesi Dergisi, Uludağ Üniversitesi*, 30(Special Issue), 123-130.
- Vacaru-Opris, I. (2007). *Treatise of Aviculture, Vol. I*, Ceres Publishing House, Bucharest.
- World Food Summit (1996). Rome Declaration on World Food Security.
- Yıldız, T. (2012). Tavukçuluk Sektör Analizi. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı, Belge No: 2012-RP-18/20.
- Yılmaz, A. M., & Tomar, O. (2022). Türkiye'de Buğdayın Kendi Kendine Yeterlilik ve İthalata Bağımlılık Açısından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 449-456.



Duygusal İştahın Beden Kütle İndeksi ve Basit Karbonhidrat Tüketimi Üzerine Etkisi

Ayda Smail^{1*}, Sabiha Zeynep Aydenk Köseoğlu²

^{1*} İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8889-8334), dyt.aydasmail@gmail.com

² İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7936-8462), sabiha.koseoglu@izu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Aralık 2021 ve Kabul Tarihi 7 Ocak 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

ATIF/REFERENCE: Smail A. & Köseoğlu S. (2023). Duygusal İştahın Beden Kütle İndeksi ve Basit Karbonhidrat Tüketimi Üzerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 202-208.

Öz

Sağlıklı beslenmenin kriterlerinden ve etkileyicilerinden en önemlilerinden birisi duygusal iştahtır. Duygusal iştah, birçok faktörden etkilendiği gibi birçoklarını da etkileyebilmektedir.

Duygusal iştah düzeyini belirlemede duygu durum ve günlük olaylar zincirinin önemli faktörler olduğu söylenebilir. Duygusal iştah tarafından düzenlenen faktörler arasında en önemlilerden biri beden kütle indeksi (BKİ) olup, basit şeker tüketiminin artmasıyla ilişkilendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda duygusal yeme eğiliminde olan kişilerin olumsuz duygu durum ve şartlarına bağlı olarak basit şeker tüketmeye yatkın olup, sonuç olarak BKİ'lerinde artışlar görülmektedir.

Bu derlemede duygusal iştahla ilişkili faktörler üzerinde durulmaktadır. Literatür ışığında; duygusal iştahın genel beslenme ve sağlıklı olma durumu ile ilişkisi incelenmektedir. İnceleme yazısının sonucunda elde edilen verilere göre; olumsuz duygu durumlarında duygusal iştahın beslenme üzerine etkisi ile ilgili olarak diyetisyenlerin diyet programlarında dikkatli olmaları gereken bir konu olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler Beslenme, duygusal iştah, beden kütle indeksi, basit karbonhidrat, duygu durumu.

Effect of Emotional Appetite on Body Mass Index and Simple Carbohydrates Consumption

Abstract

One of the most important criteria and influencers of healthy eating is emotional appetite. Emotional appetite can be affected by many factors and also it can effect on others.

It can be said that mood and the chain of daily events are important factors in determining the level of emotional appetite. One of the most important factors regulated by emotional appetite is body mass index (BMI), which is associated with increased consumption of simple sugars. Studies have shown that people who tend to eat emotionally are prone to consuming simple sugar depending on their negative mood and conditions, and as a result, increases in BMI are observed.

This review focuses on factors associated with emotional appetite. In the light of the literature; The relationship between emotional appetite and general nutrition and well-being is examined. According to the data obtained as a result of the review article; Regarding the effect of emotional appetite on nutrition in negative mood states, it is seen that dietitians should be careful in their diet programs.

Keywords: Nutrition, emotional appetite, body mass index, simple carbohydrates, emotional state.

* Sorumlu Yazar: dyt.aydasmail@gmail.com

1. Giriş

Yaşamın sağlıklı olarak devam edebilmesinde, beslenme ritüeli içerisinde yer alan yeme davranışı kişiye bir mutluluk kaynağı olmasının yanı sıra beslenmedeki yeterli ve dengeli beslenme ve yeme bozuklukları gibi sağlık problemlerine de yol açabilmektedir (Baysal, 2017).

Kişilerin sahip olduğu yeme alışkanlıkları ve kilo yönetimleri aslında kişilerin psikolojisi ile doğrudan bağlantılı olabilmektedir. Bu durum fazla kilolu, obez olan ve ideal vücut ağırlığına sahip olan kişiler dahil olmak üzere görülmektedir (Özkan & Bilici, 2018).

Günümüzde değişen beden algısı ve sosyal medyanın da etkisi ile kişileri oldukça yüksek oranda etkileyen duygusal iştah kavramı hakkında yapılan birçok araştırmada; kişilerin yeme tutumlarını ve vücut ağırlığını olumsuz yönde etkileyebildiği bildirilmiştir. Özellikle stres, üzüntü gibi negatif duygu durumlarının üstesinden gelinemediği düşünüldüğü noktalarda ya da çeşitli psikolojik baskı ve sebeplerde, uzun süre çeşitli diyet uygulayanlarda; yanlış beslenme alışkanlıkları ve bunlara bağlı olarak çeşitli sağlık sorunları da ortaya çıkabilmektedir. Genelde yapılan çalışmalarda duygusal yeme eğiliminde olan risk gruplarının; çocuklar ve ergenler, obez bireyler ve çeşitli psikosomatik semptomlar gösteren bireyler olabildiği gözlemlenmiştir. Duygusal yeme eğilimini; ebeveynlerin örnek alınması, öfke, can sıkıntısı, stres, depresyon gibi olumsuz duygu durumları ve mutluluk, huzur gibi olumlu duygu durumlarını etkileyebildiği gözlemlenmiştir (Serin & Şanlıer, 2018). Duygusal iştahın, duygu durumlarını etkilediği ve özellikle duygusal iştahı arttırması nedeniyle basit karbonhidratların fazla tüketimi sonucu BKİ değerlerinde önemli ölçüde artışlara rastlanılmaktadır. Bu derlemede de duygu durumlarının duygusal iştahı nasıl etkilediği, mekanizması ve doğurduğu sonuçlar ele alınmıştır.

2. Besin Seçimi

Besinlerin seçiminde kişilerin yeme isteğinin daha fazla uyarıldığı düşünülmektedir. Yeme arzusunun artmasının, sağlıksız yiyecek seçimine neden olduğu ve olumsuz ruh hali durumlarına karşıt yanıt olarak yeme durumunu değiştirmeye yol açtığı saptanmıştır. Yemeye dair bu dürtülerin varlığı, kişilerin genellikle sağlıklı besini tercih etmek yerine, tat tercihlerine dayalı olarak lezzet bakımından zengin olan sağlıksız besinlere yönelmeleri ile oluşmaktadır (Mantau ve ark.,2018).

3. Duygusal Açlık

Duygusal açlık, çeşitli duygu durumlarına karşı oluşan bir tepki olarak ani olarak ortaya çıkıp, hissedilen açlık durumu olarak tanımlanmaktadır. Kişilerin öğün zamanının gelmesiyle ya da açlık hissi yaşamıyla (fiziksel olarak açlık hissetme) değil, sadece duygu durumları nedeni ile ortaya çıkan bir yeme davranışı olup, fiziksel açlıkta yaşanan belirtileri göstermemektedir (Van, 2015).

Fiziksel açlığın belirtileri hissedilmeden, kişinin kendini ödüllendirme isteği, yeme arzusu ve yemek yemekten alınan zevk ile ortaya çıkan psikolojik belirtiler duygusal açlık olarak tanımlanmaktadır. Lezzetli yiyeceklere verilen, beynin belirli bölgelerinden kaynaklanan nöral ve algısal yanıtların artışı ile birlikte beyinin obezite ve uyumsuz yeme davranışları (örn. tıknırcasına yeme, sağlıksız atıştırma, aç olmadan yemek yeme) ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, duygusal açlık, yeme ve kilo problemleriyle ilişkili temel bir sebep olarak görülmektedir (Mason ve ark., 2020). Duygusal açlık kişinin, bulduğu her yiyeceği tüketmesine, çoğunlukla enerji değeri yüksek olan yağlı ve basit karbonhidrat oranı yüksek olan besinlere yönelmesine neden olmaktadır (Bast & Berry, 2014).

Genel olarak yapılan çoğu çalışmada duygusal iştaha sahip olan kişilerin yemek yeme davranışlarında yaşadıkları artışın; olumsuz duygu durumları ve olaylardan etkilendiği zamanlarda gerçekleştiği saptanmıştır (Santos ve ark.,2016).

Raporlar, kadınların yaklaşık %50'sinin, temel olarak kaygı belirtileriyle ilişkili bir tür yeme bozukluğuna sahip olduğunu göstermektedir (Santos ve ark.,2016). Fong ve arkadaşlarının uyguladığı bir çalışmada duygusal iştaha sahip olan kişiler, duygu durumlarından kaynaklı olarak yeme eğilimlerini kontrol etmekte zorlandıkları anlarda basit karbonhidratlar açısından zengin olan besinlerin olmayan besinler ile karşılaştırıldığında gözlerine daha lezzetli görüldüğü veya daha iştah açıcı koktuğunu ifade etmişlerdir. Duygu durum değişiklikleri, bireylerin besin seçimlerinde etkili olmaktadır. İştahın artması durumunda şeker oranı yüksek olan besinlerin (kek, çikolata ve bisküvi gibi) tüketiminde artışa neden olduğu yapılan araştırmalar sonucunda bildirilmiştir (Fong ve ark.,2019).

4. Duygusal Yeme Davranışı ve Mekanizmalar

Negatif duygu ve durumlarına yanıt olarak ortaya çıkan aşırı yeme eğilimi ile karakterize olan yeme bozukluğu duygusal yeme olarak tanımlanmaktadır. Yapılan ilk çalışmalarda bulimik hastalarda görülen aşırı yeme ile ortaya çıkan duygusal yeme, ilerleyen süreçlerde yapılan çalışmalar ile tıknırcasına yeme atakları ile de ilişkilendirildiği gözlemlenmektedir (İnalcaç & Arslantaş, 2018). Duygusal yeme, başlangıçta olumsuz duygulara tepki olarak yemek olarak tanımlansa da ayrıca olumlu duygu durumları gıda alımının artmasına neden olabileceğini gösteren birçok araştırma bildirilmiştir (Cardi ve ark., 2015). Bu nedenle, birçok araştırmacı artık olumlu duygularına da duygusal yemenin bir parçası olarak kabul etmekte ve olumsuz duygulara yanıt olarak yeme bozuklukları ortaya çıkabilmektedir. Kişilerin hızlı kilo kaybetme arzuları sonucu; tıknırcasına yeme ve depresyon gibi duygular oluşabilmektedir. İlaveten duygusal yeme, suçluluk duygularına yol açarak, geriye dönüşü olmayan durumlara da yol açabilir. Duygusal yeme kavramı basit anlamda düşünülse de çoğu zaman sanıldığı kadar basit değildir (Bongers & Jansen, 2016).

Negatif duygu ve durumlar ile ortaya çıkan aşırı yeme eğilimi; obezite, ortoreksiya, bulumia gibi yeme bozukluğuna sahip olan kişilerde bulunduğu bildirilmiştir. Sağlıklı yeterli ve dengeli beslenme, kilo verme gibi durumların düzenlenmesinde duygusal yeme eğilimlerinin kontrolü giderek elzem hale gelmektedir (İnalkaç & Arslantaş, 2018).

5. Yeme Bağımlılığı

Theron Randolph tarafından 1956 yılında ilk kez literatüre giren yemem bağımlılığı, 1980' lerde devam eden araştırmalar ışığında Anoreksiya Nervoza (AN) ve Bulimiya Nervoza (BN) ile ilişkilendirilmiştir.

BED (tıknırcasına yeme sendromu) ile obezite arasındaki ilişkilere 2000'li yıllarda yoğunlaşarak çalışmalar yapılmıştır. 2010 yılında insanlarda yeme bağımlılığı ile ilgili yapılan araştırmalarda 'duygusal aşırı yeme' konusunda depresyon ve streten kaynaklanan negatif duygu ve durumların üstesinden gelebilmek amacı ile besin tüketildiği gözlemlenmiştir. Besinlerin bu etkisinin tam olarak madde bağımlılığına benzer rolde olduğu vurgulanmıştır.

2011 yılında yapılan araştırmalar ile aşırı lezzetli besinler; şeker ve yüksek enerjili besinlerden doyun hale getirilmiş, tuz ve katkı maddesi bakımından da zengin olan bağımlılık yapıcı besinler olarak tanımlanmıştır (Dinçer,2019).

Yeme bağımlılığı kavramı, yüksek enerjili yiyeceklerin aşırı ve düzensiz tüketimi ile karakterize olunan belirli yiyeceklere olan aşırı ilgi ve davranışları ifade etmektedir.

Bununla birlikte, son yıllarda hem hayvan hem de insanlarda yapılan çalışmalar yeni yöntemler ve bilgileri içerdiğinden bu kavrama daha fazla dikkat çekilmektedir. İlk bulgular, aşırı kilo/obezite, yiyecek ve bağımlılık arasında bir ilişki olduğunu düşündürmüştü ve son zamanlarda ise bunların arasındaki ilişki yeme kavramı ve sistemini etkilemeleri bakımından ele alınmıştır.

Spesifik olarak, gıda bağımlılığı olan bireyler sıklıkla enerji yoğun ve şeker, yağ ve tuz oranı yüksek işlenmiş gıdaları tüketmektedir. Bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda, bu kadar lezzetli yiyeceklerin içerdiği tuz, şekerler ve yağların, beyindeki dopamin ödül sistemlerini aktive ederek bağımlılık potansiyeline sahip olabileceğini düşündürmektedir.

Yeme bağımlılığı ile ilişkili olarak tıknırcasına yeme sendromu olanlarda; belirli bir zaman diliminde normal kabul edilenden daha fazla miktarda yiyecek tüketmek, kontrol eksikliği duygusu, normalden daha hızlı yemek yemek, rahatsız edici bir şekilde tok hissetmesine rağmen yemeye devam etme, aç olmamasına rağmen yemek yeme, tek başına yemek yeme ve sonrasında kendinden iğrenme, depresyon veya suçlu hissetme gibi sorunlar bulunmaktadır. (Hauck ve ark.,2020).

7. Duygusal Şema Modeli

Leahy'nin oluşturduğu duygusal şema modelinde, bir dizi yorumlama süreci ve stratejisi tanımlanmakta ve hoşnutsuzluk verici duygu yaşanması ile beraber ortaya çıkmaktadır. İlk basamak duyguları fark etmeyi ve onları tanımlamayı içermekte olup (Leahy,2001), Leahy'in bu modelinde ikinci basamak ise; duygudan duygusal ve bilişsel kaçınmayı ele almaktadır. Disosiasyon, tıknırcasına yeme ve alkol kullanımı şeklinde ortaya çıkabilen bu kaçınma türleri bildirilmiştir (Leahy,2006). Depresyon, travma-sonrası stres bozukluğu, anksiyete, endişelenme, eş ilişkilerinde uyumsuzluk ve kişilik bozuklukları kaçınma türleri haricindeki olumsuz duygusal davranışlar olarak bildirilmiştir (Leahy,2002).

8. Duygusal Yeme Teorileri

Duygusal yeme ile ilgili birçok mekanizma ve teoriler bulunmaktadır.

8.1. Kısıtlama Teorisi

Sosyal medya ve çevrenin etkisiyle oluşturulan ve güzelelik algısı ile bağdaştırılan zayıf olma ideali, kişilerin kendi bedeninden memnun olmama durumu, katı diyetler uygulama eğiliminde artışı ve bunların sonucunda yaşanan olumsuz duygular ile başa çıkabilmek için duygusal yeme davranışı sergileyebilmekte oldukları bildirilmiştir.

Katı bir diyet uygulayan kişinin kısıtlama teorisine göre izin verildiği noktada diyetinin dışına çıkabilmektedir, bilinç altındaki besin yokluğu algısından dolayı ihtiyacından fazla besin alabilmektedir (Sevinçer & Konuk,2018).

8.2. İçsel-Dışsal Obezite Teorisi

Normal kilo aralıklarında olan kişilerin korku ve anksiyete gibi duygu durumlarında besin tüketim sıklıklarını azaltıcı etki gösterdiği bildirilmiştir. Bu durumun aksine obez olan kişilerde bu uyaranlara karşı yanıt oluşmamaktadır. Stres gibi duygu durumları yaşandığı esnada midede oluşan kasılma hareketleri azalır ve bu durum normal kilolu yeme davranışını azaltır, ancak obez kişilerde ise bu tam tersi etki göstermektedir. Obez kişiler içsel uyarıcıları anlamada yetersiz olduklarından dolayı yemeyi başlatma ve durdurma konusunda

dışsal uyarılara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu kişiler dışsal uyarılarına daha duyarlıdır ve açlık-tokluk hissindense bu dışsal uyarılara cevap olarak yeme eğilimindedirler (Ünal,2018).

8.3. Kaçış Teorisi

Başka bir teoride ise duygusal yemenin olumsuz ortamlardan bir kaçış mekanizması olarak kullanıldığı seklindedir. Bu teoride; kişinin davranış ve egosunu tetikleyen uyarılardan kaçmak ya da bu uyarılardan kişilerin dikkatini uzaklaştırma amacı ile ortaya çıktığı bildirilmektedir. Bu düşünceye göre egokışılığı tehdit eden bir uyarı ile karşı karşıya geldiğinde olumsuz duygular ve onun bu duyguların oluşturduğu caydırıcı etkilerden uzaklaştırmak için duygusal yeme duygusuna sahip olan kişileri kaçışa yönelttiği saptanmıştır.

Bütün olarak gözlemlendiğinde kişiler stres gibi negatif duyguların üstesinden gelebilme ve kurtulma yöntemi olarak duygusal yeme davranışı artmakta olduğu bildirilmektedir. Sonuç olarak bu davranışın daha karmaşık bir hale dönüştüğü söylenmektedir. Üstesinden gelebilme veya kurtulma için özellikle duygu yönelimli ve kaçınmayı kullanan stratejilere örnek olarak; diyet yapma, tıknircasına yeme ve bozuk yeme davranışlarından bahsedilmekte ve birbirleri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (MacCormack & Lindquist, 2018).

9. Duygu Durumu ve Basit Karbonhidratlar

Şeker ve yağ ile doyurucu hale getirilmiş, tuz ve/veya katkı maddesi bakımından da zenginleştirilmiş olan bazı besinler ‘lezzetli’ veya ‘aşırı lezzetli’ besinler olarak tanımlanmaktadır (Kalon & Honh,2016). Lezzetli besinlerin tüketimi ödül yaklaşımıyla tekrarlayıcı davranışlar haline gelmektedir. Bu tutumun sonucu olarak ‘besin/ beslenme bağımlılığı’ haline dönüştüğü gözlemlenmektedir (Turton & Chami & Treasure,2017).

Obezite, anksiyete ve duygudurum bozuklukları arasında bulunan ilişkilere dayanarak duygusal faktörlerin giderek daha önemli hale geldiği bilinmektedir. Şeker bağımlılığı, karbonhidrat özlemi ve duygusal yeme, obezite ve fazla kilolu olmakla ilişkilendirilmiştir. Bu, obezite, anksiyete ve duygudurum bozuklukları arasında güçlü bir ilişkinin kurulmasına yol açmıştır ve bunların tümü önemli halk sağlığı etkilerine sahiptir (Ventura ve ark., 2014). Bağımlılık yapıcı besinler, bireyler tarafından olumsuz duygu durumlarını gidermek için kullanılmaktadır. Kişilerin severek ve isteyerek tükettikleri bu besinler keyif verici olmaları ve ödül sistemi ile ilişkili olmaları sebebi ile pozitif duyguları ortaya çıkartarak ruhsal olarak iyilik haline sebep olan bir yönü de olmaktadır. Bu sebep ile kişilerin karbonhidrattan zengin içeriğe sahip olan aşırı lezzetli besinlerde özellikle basit şeker tüketimindeki artış, daha net ortaya konulmuştur. Karbonhidratların emiliminin sonucu serotonin sentezi ve salınımı gerçekleşmekte bu sayede de negatif duygu durumunu iyileştirmede etkili olduğu bildirilmiştir (Dinçer,2019). Kişilerin günlük olarak yaşadıkları olaylara bağlı olarak değişen duygu durumları ve özellikle basit karbonhidrat tüketimi üzerine yapılan çoğu araştırmada depresyon, iştah düzeylerinde artış ve karbonhidrat tüketiminin artışı ile ilişkili bulunmuştur (Şahin, 2014).

Tatlı atıştırma davranışlarının ruh hali değişiklikleri üzerindeki etkisi, büyük ölçüde bireysel özelliklere ve kaygı gibi farklı duygulara karşı duyarlılığa bağlıdır. Özellikle ergenler, kendi görünüşleri ve akranlarıyla olan sosyal temasları ile ilişkili stres nedeniyle duygusal yemeye maruz kalmaktadır. Ergenlerde olumsuz duygu durum indüksiyonu, karbonhidrat, atıştırma ve tatlı alımının artmasına neden olabilir ve bu tür yemeklerden sonra olumsuz duygular tükenebilir. Ancak gıda alımı stresli veya depresif durumlarda olumsuz sonuçlara neden olabilir. Özellikle obez bireylerde, aşırı yemenin neden olduğu suçluluk ve öfke duyguları nedeniyle yemekten sonra olumsuz duygular artabilmektedir. Bir yemekten sonra duygusal değişikliklere neden olmak için gerekli faktörün, etkilerine duyarlılık veya tam tersi, yiyeceklerin ödüllendirici özelliklerine karşı yetersiz duyarlılık olduğu görülmektedir. Bu durum, zayıf bireylere göre olumsuz duygulara tepki olarak daha fazla tüketime gereksinim duyan, fazla kilolu bireylerde özellikle önemlidir. Bunun nedeni, obez bireylerin koku veya görsel dürtüler gibi gıda duyasal ipuçlarının yanı sıra kaygı, can sıkıntısı, korku veya depresyon gibi içsel ipuçlarına daha duyarlı olmaları olabilir. Obez kadınlarda tatlı tadından gelen zevke uyum, zayıf kadınlara göre daha yavaş gerçekleşebilir, bu durum tokluk hissini gecikmesine, tüketim süresinin uzamasına ve bunun sonucunda aşırı yeme/kilo alımına neden olabilir. Üstelik kadınlar ruh hali değişiklikleri ve strese karşı daha savunmasız görünmekte ve stres ile baş etmek için en sık dondurma, çikolata ve kek gibi tatlıları tercih ederken, erkekler pizza, et gibi tuzlu atıştırma davranışları tercih etmektedirler (Pilska & Nesterowicz., 2016).

10. Duygu Durumu ve BKİ

Duygu durumu ve ona bağlı olarak oluşan duygusal iştah özellikle kişilerin beden kütle indekslerinde ve dolayısıyla obezite riskinde artışa sebep olmaktadır. Schneider ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada BKİ değeri yüksek olan bireylerin öfke ve kaygı duygularını karşılaştırılmış ve kaygı seviyesi yüksek olan bireylerin duygusal yemeye olan eğilimlerinin daha yüksek olduğu ortaya konmuştur (Schneider ve ark., 2010).

2021 yılında obez ve normal vücut ağırlığına sahip olan kişilerle yapılan başka bir çalışmada ise obez olan bireylerin duygusal iştah durumlarında istatistiksel olarak anlamlı olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır (Ayyıldız ve ark., 2021).

Araştırmalar, duygusal, dışsal ve kısıtlı yeme gibi yeme davranışlarının daha yüksek vücut kütle indeksi (BKİ) ve kilo alımı ile ilişkili olduğunu açıkça göstermektedir.

Genel olarak yapılan ileriye dönük kohort çalışmalarda, kişilerde bulunan duygusal yeme ve iştah davranışının, daha yüksek BKİ, bel çevresi ve vücut yağ yüzdesi ile doğrudan ilişkili olduğu bildirilmiştir.

Fransa'da yaşayan kişiler temel alınarak yapılan bir çalışmada, kişilerin BKİ değerleri üzerinde 2 yıllık değişikliklerle ilgili olmamasına rağmen, Hollanda, Finlandiya, Fransa, ABD ve Kore'de yürütülen başka ileriye dönük kohort çalışmaları göstermiştir ki, başlangıçta daha yüksek duygusal yemeye sahip yetişkinler zamanla daha fazla kilo alma eğilimindedir. Yapılan bu çalışmalar birlikte ele alındığında, epidemiyolojik kanıtlar, duygusal iştaha sahip

olan kişilerin; enerjisi yoğun gıdaları daha sık tükettiği ve bu sebeple de obezite görülme riskinin yüksek olduğu fikrini tutarlı bir şekilde desteklemektedir (Kontinen, 2020).

Yapılan başka bir araştırmada ise duygusal iştaha sahip olan kişilerin olumsuz duygu ve durumlarda problem çözme ve planlama becerilerindeki eksiklikler sebebi ile problemlerden kaçmaya çalışarak, kilolarını koruyamadıklarını dolayısıyla BKİ değerlerinde artış yaşadıkları bildirilmiş olup bu durumun özellikle kişilerin kendi duygularını dinleme, farkında olma, öz düzenleme ve güvenme yetenekleri ile ilişkilendirilmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu nedenle BKİ değerleri yüksek olan kişilerin beslenme tedavisi ile birlikte yemeğe itecek fiziksel arzu ve duygu durumlarını da göz önüne alarak psikolojik tedavi ile desteklenmeleri elzem olarak görülmektedir (Willem ve ark., 2019).

11.Sonuç

Duygusal yeme; depresyon ve Beden Kütle İndeksi artışı veya bireylerde kilo alımı durumuna sebep olabilmektedir. Özellikle yüksek enerji yoğunluğu, yüksek yağ ve şeker içeren gıdaların olumsuz duygusal uyaranlarla artan tüketimi arasındaki ilişki kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Stres, duygusal uyarım ve kilo alımı arasında önemli bir ilişki olduğu yapılan çalışmalar sonucu belirlenmiştir.

Vücut kitle indeksinin artışına bağlı olarak bireylerde oluşabilecek obezite veya çeşitli kronik hastalıklar (insülin direnci, hipertansiyon vb.) için yeterli ve dengeli bir diyet tedavisi yaklaşımı bireysel yeme tarzına uygun bir şekilde getirilerek oluşturulmalıdır. Bununla beraber duygu durum değişikliklerinde kişilerin beslenme düzenleri ve öğün planlamaları sağlıklı, yeterli ve dengeli bir şekilde planlamalı, ana öğün ve ara öğünleri düzenlemeli, yeterli sıvı alımı sağlanarak karbonhidrat ve yağdan zengin beslenmeye yönelimi azaltmaya veya ortadan kaldırılmaya çalışılmalıdır.

Bu sayede daha kalıcı kilo kaybı veya vücut ağırlığının korunması sağlanabilir. Bununla beraber yeterli ve dengeli beslenme ve düzenli olarak gerçekleştirilen fiziksel aktivenin kişilere hem fizyolojik hem de duygusal olarak pozitif yönde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Gerekli görülen durumlarda doktor, diyetisyen ve psikologların dahil edildiği bir grupla beraber çalışma önerilebilir.

Kaynakça

- Altıntaş M., Özgen U. Kişilik yapısının yeme biçimleri üzerindeki etkisi. *International Journal of Social Sciences and Education Researc.* 3(5): 1797- 1810, 2017.
- ARSLAN, M., KALKAN, İ., & AYDEMİR, İ. (2019). Karbonhidrat Sayımı Uygulayan Tip1 Diyabetli Yetişkin Bireylerin, Duygusal İştah Durumlarının Değerlendirilmesi ve Vücut Kütle İndeksi ile İlişkinin Belirlenmesi. *Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi*, 3(3), 137-143.
- Ayyıldız, F., Ülker, İ., & Yıldırım, H. (2021). Hedonik Açlık ve Yeme Davranışı İlişkinin Farklı Beden Kütlelerine Yansımaları. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 49(2), 9-17.
- Bast, E., Berry, E. (2014). Laugh Away the Fat? Therapeutic Humor in the Control of Stress-induced Emotional Eating. *Rambam Maimonides Medical Journal*, 3-4.
- Baysal A. Beslenme. *Hatiboğlu Yayınevi*, 17.Baskı, Ankara, 2017.
- Bongers, P., & Jansen, A. (2016). Emotional eating is not what you think it is and emotional eating scales do not measure what you think they measure. *Frontiers in psychology*, 7, 1932.
- Büyüksulu, N. (2019). İştah-Doygunluk Metabolizmasını Etkileyen Faktörler. *Klinik Tıp Dergisi*, 22-28.
- Demirel B, Yavuz KF, Karadere ME, Safak Y, Turkcapar MH. Duygusal İştah Anketi'nin Türkçe Geçerlik ve Güvenilirliği, Beden Kütle İndeksi ve Duygusal Şemalarla İlişkisi. *Bilişsel Davranışçı Psikoterapi ve Araştırmalar Dergisi*. 2014; 3: 171- 181
- Derya, D. (2020). Yetişkin bireylerde tatlı tüketimi ve duygudurum değişiklikleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi (Master's thesis, İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Dinçer, R. (2019). Üni versite Öğrencileri nde Yeme Bağımlılığı ve Duygusal Yeme Eğiliminin Değerlendirilmesi (*Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Ensti tüsü Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı*). Ankara.
- Erol, A., Toprak, G., Yazıcı, F. ve Erol, S. (2000). Üniversite öğrencilerinde yeme bozukluğu belirtilerini yordayıcı olarak kontrol odağı ve benlik saygısının karşılaştırılması. *Klinik Psikiyatri*, 3, 147-152
- Fong M, Li A, Hill AJ, Cunich M, Skilton MR, Madigan CD, Caterson ID. (2019). Mood and appetite: Their relationship with discretionary and total daily energy intake. *Physiology & Behavior*. 2017: 122-131.
- French SA, Epstein LH, Jeffery RW, Blundell JE, Wardle J. Eating behavior dimensions. Associations with energy intake and body weight. A review. *Appetite*. 59(2): 541-549, 2012.
- Goldschmidt, A. B., Crosby, R. D., Engel, S. G., Crow, S. J., Cao, L., Peterson, C. B., & Durkin, N. (2014). Affect and eating behavior in obese adults with and without elevated depression symptoms. *International Journal of Eating Disorders*, 47(3), 281-286.

- Güray, A. (2019). Duygu durum bozukluğu olan hafif şişman ve şişman bireylerin beslenme alışkanlıkları, diyet kalitesi ve iştah durumlarının değerlendirilmesi (Master's thesis, Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Harrison, A., Sullivan, S., Tchanturia, K. ve Treasure, J. (2010). Emotional functioning in eating disorders: attentional bias, emotion recognition and emotion regulation. *Psychological Medicine*, 40(11), 1887-1897.
- Hauck, C., Cook, B., & Ellrott, T. (2020). Food addiction, eating addiction and eating disorders. *Proceedings of the Nutrition Society*, 79(1), 103-112.
- Ibrahim M, Thearle MS, Krakoff J, Gluck ME. Perceived stress and anhedonia predict short-and long-term weight change, respectively, in healthy adults. *Eating behaviors* 2016; 21: 214-9.
- İnalkaç, S., & Arslantaş, H. (2018, January 28). Duygusal Yeme. Retrieved from
- Kalon E, Hong JY, Tobin C et al. Chapter Four-Psychological and Neurobiological Correlates of Food Addiction. *International Review of Neurobiology* 129: 85-110, 2016.
- Kamphuis CB, Bekker-Grob EW, van Lenthe FJ. (2015). Factors affecting food choices of older adults from high and low socioeconomic groups: A discrete choice experiment *Am J Clin Nutr* 101:768-74.
- Kelly, L. E. (2013). The Relationship Between Emotional Eating, Depression, and Body Mass Index (Doctoral dissertation).
- Kontinen, H. (2020). Emotional eating and obesity in adults: the role of depression, sleep and genes. *Proceedings of the Nutrition Society*, 79(3), 283-289.
- Leahy, R. L., (2001). *Overcoming Resistance in Cognitive Therapy*, New York: The Guilford Press.
- Leahy, R. L., (2006). "Emotional schemas and resistance to change in anxiety disorders", *Cognitive and Behavioral Practice*, sayı:9, ss. 177-190.
- Leahy, Robert L., (2002). "A model of emotional schemas", *Cognitive and Behavioral Practice*, sayı 9, sayı 3, s. 177-190.
- López-Taboada, I., González-Pardo, H., & Conejo, N. M. (2020). Western diet: implications for brain function and behavior. *Frontiers in Psychology*, 11, 2895.
- MacCormack, J. K., & Lindquist, K. A. (2019). Feeling hangry? When hunger is conceptualized as emotion. *Emotion*, 19(2), 301.
- Mantau, A., Hattula, S., & Bornemann, T. (2018). Individual determinants of emotional eating: A simultaneous investigation. *Appetite*, 130, 93-103.
- Mason, T. B., Dunton, G. F., Gearhardt, A. N., & Leventhal, A. M. (2020). Emotional disorder symptoms, anhedonia, and negative urgency as predictors of hedonic hunger in adolescents. *Eating behaviors*, 36, 101343.
- Meule A, Hermann T, Kübler A. (2015). Food addiction in overweight and obese adolescents seeking weight-loss treatment. *European Eating Disorders Review* 23(3): 193-198.
- Nolan, L. J., Halperin, L. B., & Geliebter, A. (2010). Emotional Appetite Questionnaire. Construct validity and relationship with BMI. *Appetite*, 54(2), 314-319.
- Olan İlişkisi (Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversi tesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Psi koloji Anabi li m Dalı). İstanbul.
- Öktem Güngör, E. (2019). Sağlıklı beslenmede bireysel ve grup eğitiminin bireylerin beslenme alışkanlıkları ve besin seçimi üzerine etkisi.
- Özdemir, G. (2015). Duygusal Yemeyi n Depresyon, Anksi yete ve Stres Beli rti leri İle
- Özkan, N. ve Bilici, S. (2018, 10 Haziran). Yeme Davranışında Yeni Yaklaşımlar: Sezgisel Yeme ve Yeme Farkındalığı.
- Pilska, M., & Nesterowicz, J. (2016). Emotional determinants of sweets consumption. *J Nutr Health Sci*, 3(10.15744), 2393-9060.
- Sabuncu, T., Bayram, F., Kıyıcı, S., Satman, İ., Yumuk, V., İzol, A. N., ... Gönenir Erbay, L. (2018). OBEZİTE Tani ve TEDAVİ Kilavuzu (6. ed.). Ankara: *Grafik Tasarım ve Yayın Hizmetleri*.
- Santos, M. V. L. D., Melo, C. M. D., Rosa, J. P. P., Silva, E. V. A. D., Lima, G. H. O., Del Re, M. P., ... & Mello, M. T. D. (2016). Emotional eating is related to carbohydrate intake in active women. *Motriz: Revista de Educação Física*, 22, 0346-0352.
- Schneider, K. L., Appelhans, B. M., Whited, M. C., Oleski, C. & Pagoto, S. L. (2010). Trait anxiety but not trait anger predisposes obese individuals to emotional eating. *Appetite*, 55, 701-706.
- Serin, Y. ve Şanlıer, N. (nd). *Duygusal Yeme, Besin Alımını Etkileyen Faktörler ve Temel Hemşirelik Yaklaşımları*. 2018.
- Sevinçer, G. M. & Konuk, N. (2013). Emosyonel yeme. *Journal of Mood Disorders*, 3, 171-178.
- Şahin MA., (2014). Yetişkin bireylerde diyet kalitesi ile yaşam kalitesi arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı, Ankara
- Tan CC, Chow CM. (2014). Stress and emotional eating: The mediating role of eating dysregulation. *Personality and Individual Differences*. 66: 1-4.
- Tanrıverdi, E. (2020 OCAK). Üni versi te Öğrenci leri ni n Duygusal Yeme Davranışlarının ve Duygusal İştahlarının İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, ÇağÜni versi tesi Sosyal Bi li mler Ensti tüsü Psi koloji Ana Bi li m Dalı). Mersin.
- Thompson S, Thompson SH, Romeo S. Gender and racial differences in emotional eating, food addiction symptoms, and body weight satisfaction among undergraduates. *Journal of Diabetes and Obesity* 2(4): 1-6, 2015.
- Turton R, Chami R, Treasure J. Emotional Eating, Binge Eating and Animal Models of Binge-Type Eating Disorders. *Current Obesity Reports* 6(2): 217- 228, 2017.
- Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması 2010. Beslenme durumu ve alışkanlıklarının değerlendirilmesi sonuç raporu. Erişim: www.sagem.gov.tr/TBSA_Beslenme_Yayini.pdf., Erişim tarihi: 10/04/2020.
- Ünal, SG. Duygusal Yeme ve Obezite. *Başkent Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye 2018.
- Van Strien, T. (2015). Nederlandse Vragenlijst voor eetgedrag (NVE). Handleiding. [*Dutch Eating Behaviour Questionnaire. Manual*] Amsterdam: Hogrefe.
- Van Strien, T. (2018). Causes of emotional eating and matched treatment of obesity. *Current diabetes reports*, 18(6), 1-8.

- Ventura, T., Santander, J., Torres, R., & Contreras, A. M. (2014). Neurobiologic basis of craving for carbohydrates. *Nutrition*, 30(3), 252-256.
- Willem, C., Gandolphe, M. C., Roussel, M., Verkindt, H., Pattou, F., & Nandrino, J. L. (2019). Difficulties in emotion regulation and deficits in interoceptive awareness in moderate and severe obesity. *Eating and Weight Disorders-Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*, 24(4), 633-644.
- Yalçuk Ö, Kadınlarda beden kitle indeksi, otomatik düşünceler ile yeme tutumları ilişkisinin incelenmesi. Y.D.Ü. Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.1, Lefkoşa, 2018.



An Evaluation on the Circular Economy Model and the Loops Design in the Context of Waste Management*

Evren Sapmaz Veral[†]

¹ Ankara Üniversitesi, Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7936-7416)

(First received 6 November 2018 and in final form 25 February 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.479333)

ATIF/REFERENCE: Sapmaz Veral, E. (2019). An Evaluation on the Circular Economy Model and the Loops Design in the Context of Waste Management. *European Journal of Science and Technology*, (15), 18-27.

Abstract

The linear economy, which has grown further with the technological, social and economic developments after the first two industrial revolutions, had irreversible negative consequences on the environment. While the global resource use has increased rapidly, our disposable lifestyles have transformed the planet into a 'take-make-use and throw' world and waste generation has become one of the prominent problems of this economy. It is now much clearer that the business as usual linear economy model is not sustainable; besides, increasing population along with the demand on resources makes this model even more unsustainable. Current estimates show that total global consumption has already exceeded 50% of the planet's self-renewal capacity. If nothing is done to rationalize the use of natural resources and to change those unsustainable production and consumption patterns, the situation that is already critical will continue to deteriorate further. To turn the society into a one that can create more value with less natural resource input, a new economic system based on the sustainable use of raw materials, resources and renewable energy is almost a necessity. In this respect, a recent paradigm, 'Circular Economy', is viewed as a promising approach to help to reduce our global sustainability pressures. Based on a narrative literature review, this study focuses on the circular economy, examines the model and the loops underlying the system, then analyses the respective product design strategies under the model within the scope of waste management. In its attempt to provide an analysis of the design strategies for slowing and closing the loops, the models and strategies proposed by some key earlier studies are utilized. Based on the studies, it is evident that the circular economy model would be an effective tool for waste and resource management. However, in general, it is seen that closing loops through recycling is more prominent compared to slowing loops. In the waste management hierarchy, preventing waste before it is generated has the highest priority, accordingly it is concluded that slowing loops is even more important than closing loops. Furthermore, changing only the production patterns would not be enough, it is imperative to change the consumption patterns as well.

Keywords: Circular Economy, Closed Loops, Circular Product Design Strategies, Waste Management.

Döngüsel Ekonomi Modeli ve Atık Yönetiminde Döngülerin Tasarımına İlişkin Bir Değerlendirme

Öz

İlk iki sanayi devriminden sonra teknolojik, sosyal ve ekonomik gelişmelerle hızla ilerleyen lineer ekonominin çevre üzerinde geri dönüşü olmayan olumsuz sonuçları olmuştur. Küresel kaynak kullanım hızlı bir oranda artarken, tek kullanımlık yaşam tarzlarımız gezegeni al, yap, kullan, at dünyası haline getirmiş ve atık oluşumu lineer ekonominin en belirgin sorunlarından olmuştur. Mevcut lineer ekonomi modelinin sürdürülebilir olmadığı daha da açık hale gelmektedir, bunun yanında artan nüfus ve kaynaklar üzerindeki

* This paper is based on the Ph.D dissertation of Evren Sapmaz Veral (2018) "Assessment of the EU's New Economy Model -The Circular Economy in the Context of Waste Problem" prepared under the supervision of Prof. Hakan Yigitbasioglu in Ankara University, Institute of Social Sciences.

[†] Corresponding Author: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7936-7416, esveral@gmail.com

talep bu modeli daha da sürdürülemez kılmaktadır. Mevcut tahminler, toplam küresel tüketimin gezegenin kendini yenileme kapasitesini şimdiden %50 oranında aştığını göstermektedir. Doğal kaynakların kullanımının rasyonelleşmesi ve sürdürülebilir olmayan üretim ve tüketim kalıplarının değiştirilmesi için bir şey yapılmadığı takdirde, zaten kritik olan bu durum giderek daha da kötüleşmeye devam edecektir. Toplum, daha az doğal kaynak girdisiyle daha fazla değer yarabilen bir topluma geçirmek amacıyla, hammadde, kaynak ve yenilenebilir enerji kullanımlarını esas alan yeni bir ekonomik sistemin ortaya çıkması neredeyse bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, güncel bir paradigma olan 'Döngüsel Ekonomi', küresel sürdürülebilirlik baskılarını azaltmaya yardımcı olacak umut verici bir yaklaşım olarak görülmektedir. Literatür araştırmasına dayalı bu çalışma, döngüsel ekonomi modeline odaklanmakta, modeli ve sistemin temelini oluşturan döngüleri incelemekte, model altında önerilen ilgili ürün tasarım stratejilerini atık yönetimi kapsamında değerlendirmektedir. Döngülerin kapatılması ve yavaşlatılması için tasarım stratejilerinin incelenmesi girişimi temelinde, öncü temel çalışmalar kapsamında önerilen modeller ve stratejiler kullanılmıştır. Çalışmalara dayanarak, döngüsel ekonominin atık ve kaynak yönetimi için etkili bir araç olacağı açıktır. Ancak, genel olarak geri dönüşümün, yani döngülerin kapatılmasının döngülerin yavaşlatılmasıyla karşılaştırıldığında daha fazla öne çıktığı görülmektedir. Atık yönetimi hiyerarşisinde, atıkların oluşumundan önce oluşmadan önlenmesi önceliklidir; bu doğrultuda döngülerin yavaşlatılmasının döngülerin kapatılmasından daha önemli olduğu değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, yalnızca üretim kalıplarının değiştirilmesi yeterli olmayacaktır, tüketim kalıplarının da mutlaka değiştirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Ekonomi, Kapalı Döngü, Döngüsel Ürün Tasarım Stratejileri, Atık Yönetimi.

1. Introduction

The most problematic environmental problems such as climate change, chemical emissions, and hazardous wastes have transboundary effects. Another common point of these problems is that they are closely linked to the production and consumption of products and services. As a result of our disposable lifestyles, it is much more evident that the level of human resource metabolism is not sustainable and needs to be reduced (Schaffartzik et al., 2014). A recent UN forecast suggests that the global population, currently at 7.3 billion, will grow in the coming decades to 9 billion is likely to exceed 11 billion by the end of 21st century (UN DESA, 2015), further draining the planet's already strained natural resources. Such a dramatic growth in population, purchasing power and consumption are already having and unprecedented impact on demand for many resources, moreover demand is expected to increase. (Andrews, 2015: 308). Over the last four decades, the global use of materials almost tripled, from 26.7 billion tonnes in 1970, to 84.4 billion tons in 2015. Not only has material use been increasing but it has been accelerating; resource extraction increased 12-fold between 1900 and 2015, with further doubling forecast for the next 30 years to 2050 (Circularity Gap Report, 2018: 4).

On the global scale, more pollution and waste are generated each day and the pressure on the ecosystem is increasing. It is envisaged that this amount will increase in line with the population growth, increasing income and urbanization simultaneously. Annual waste generation is estimated at 3.4-4 billion m³, and according to a OECD (2011) study, these figures indicate that about a fifth of raw materials extracted worldwide ends up as waste. In addition, a World Bank study points out that the current amount of domestic waste of 1.3 billion tons would reach 2.2 billion tons by 2025 (Wilson et al., 2012). Similarly, hazardous waste is rapidly increasing in the domestic waste composition, while new types of waste such as e-wastes are also of concern.

Waste management is an issue that concerns many aspects of society and the economy, with close relationships with health, climate change, poverty prevention, food and resource security, sustainable production and consumption. On 25 September 2015, the UN General Assembly adopted the 2030 Development Agenda titled "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development", including 17 Sustainable Development Goals (SDGs) to end poverty, combat inequality and injustice and overcome climate change by 2030. Under the SDGs, it is seen that waste management is referred both directly and indirectly. The objectives of the Goal 11 "Making cities inclusive, safe, resilient and sustainable", Goal 3 "Ensuring healthy lives and promote well-being for all at all ages" and Goal 12 "Ensuring sustainable consumption and production patterns" are directly linked to waste management.

With its rise to political prominence, 'Circular Economy' is viewed as a promising approach to help to reduce our global sustainability pressures, and it is an alternative to current and predominant linear model (Andrews, 2015: 305). Through the circular economy, focusing on waste and resource management while setting and monitoring global targets for waste management will contribute significantly to attain SDGs. The model is promoted by many governments, business advocacy bodies and international organisations. China enacted a law for the promotion of the circular economy in 2008, while in the European Union (EU), the Circular Economy Package including a comprehensive action plan and legislative proposals for waste was adopted by the European Commission on December 2, 2015 line with the objective of transition towards a resource-efficient, green and competitive low-carbon economy (Sapmaz Veral, 2018: 463). This study focuses on the circular economy model, examines the model and the loops underlying the system, then discusses the product design strategies for closing and slowing the loops within the context of waste management.

2. Material and Method

Based on narrative review, this paper reviews the literature on circular economy with the aim of improving our understanding of the loops underlying the system as well as the importance of loops design in the context of waste management. Literature and the relevant documents were searched by using "circular economy", and the search resulted in collection of both academic and non-academic literature, then through snowball sampling the reference lists of key documentation were examined. The selected studies were summarized respectively.

This paper has the following structure: After a brief introduction with the waste concept and waste management approaches, the circular economy model and the loops underlying the model were described. For the description of the model, the reports of Ellen Mac Arthur Foundation (EMF) and European Environment Agency (EEA) were taken as a starting point, since these reports have been responsible for the increased attention of business, government and other actors for the circular economy concept across Europe and worldwide. Notwithstanding, other studies which have defined the circular economy concept were regarded as well. Then, in its attempt to provide an analysis of the relevant design strategies for slowing and closing the loops in the context of waste management, the product design strategies proposed by Bocken et al., which builds on the works by Stahel and Braungart et al., were utilized. Finally, the effects of slowing and closing loops were discussed and evaluated in the context of waste management.

3. Literature Review

3.1. 'Waste' Concept and Waste Management Approaches

Although "waste" is a very broad concept, it can be defined as unwanted or discarded materials, rejected as useless, unnecessary or excess (GWMO, 2015: 23). Barles (2014: 199-226) point out that wastes that we define today emerge from three different terms in the past; in the first category there are terms related to themes of loss and uselessness (dechet in French, garbage in English, residuo in Spanish and abfall in German). The second category consists of terms that emphasize pollution (immondice in French, horridus in Latin). The last category describes the materials that make up the waste (boues in French, rubbish in English, spazzatura in Italian). Waste could also be defined as a combination of the four wrongs: a wrong substance, in a wrong quality, in a wrong place at a wrong time (Huda cited in GWMO, 2015). Although this use of the term waste is very wide, it includes undesirable outputs of human activities such as gases, liquids and solids, as well as discharges to air, water and soil (GWMO, 2015).

The Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal includes an internationally accepted, narrower definition of waste: 'substances or objects which are disposed of or are intended to be disposed of or are required to be disposed of by the provisions of national law' (Basel Convention). In the EU Waste Framework Directive 2008/98/EC, waste is defined as 'any substance or object which the holder discards or intends or is required to discard'(EC,2008).

When the waste management approaches of the different countries are examined, it is seen that the approaches and the capacities differ according to the development levels. When its historical development is examined, it is seen that periodic conditions have shaped waste management approaches. Public health, environmental concerns and resource value of waste have been the main factors shaping waste management.

Wilson et al. (2012) identifies 6 main factors driving the development of waste management. Public health problems as cholera epidemics in the 19th century have led to the development of waste collection systems, in the 1970s, the prominent environmental protection movement tackled the uncontrolled disposal issue and led to tighter technical standards. The resource value of the waste, which has been a historically important factor supporting especially the poor's livelihood in the past, still remains as an important factor. Currently, in developed countries, owing to its resource value, transition from waste management to a more integrated waste and resource management is becoming more common. Other important factors include social awareness along with corporate responsibility issues. It is also underlined that one single factor does not determine the development of waste management; it will vary among the countries in line with their conditions and perspectives. Increased disposal costs from the 1980s and increased public opposition to new sites have led developed countries to rediscover recycling for their wastes. Furthermore, with the increasing concerns related to the depletion of natural raw materials and resource scarcity, a focus on waste prevention and resource efficiency has begun.

A more recent factor shaping waste management policies is the significant negative impacts on the global environment, that is, human-induced climate change. IPCC (2013) predicts that methane emissions from solid waste management, particularly from landfill facilities, account for about 3% of global greenhouse gas emissions in 2010. Better waste and resource management will contribute much to combat climate change. Similarly, recycling replaces raw materials with a much lower cost of carbon and reduces emissions. It is stated that focusing on waste and resource management for many sectors has the potential to reduce greenhouse gases by 15-20% in the short term in combating climate change. In Germany, for example, 24% of the reduction in greenhouse gas emissions from 1990-2006 stems from solid waste management (GWMO, 2015: 8).

Consequently, while the initial focus was on waste after it had been discarded, at present, attention has moved upstream, addressing the problem at its source through, such as, designing out waste, preventing its generation, reducing both the quantities and the uses of hazardous substances, minimizing and reusing, and, where residuals do occur, keeping them concentrated and separate to preserve their intrinsic value for recycling and recovery and prevent them from contaminating other waste that still has economic value for recovery (GWMO, 2015).

Today, in developed countries, a transition from waste management to resource management is realized with complementary policy initiatives such as sustainable consumption and production, circular economy and green economy that are embodied by the UN summits.

3.2. The Circular Economy Model

The circular economy model is defined as a model of clean production enabling reuse of products and raw materials with almost zero waste generation, in which energy and all resources are used efficiently and waste is recycled through a holistic process. Haas et al. (2015: 765) describes the circular economy, as a simple, but convincing strategy, which aims at reducing both input of virgin materials and output of wastes by closing economic and ecological loops of resource flows. UNEP (2006) defines the circular economy as a model that balances economic development with the protection of the environment and resources. Circular economy

means reuse, repair, refurbishing, and recycling of the existing materials and products; what was earlier considered to be waste becomes a resource (Jurgilevich et al., 2016), while the central point of circular economy is to create value through material retention (Buruzs and Torma, 2016).

Circular economy focuses on natural systems; where, nature becomes the source of inspiration for resource efficiency, and the model mirrors natural life cycles (Andrews, 2015: 305). Circular economy is also related to the concept of cycles, including biological-chemical cycles and the recycling of products (Bocken et al., 2016). The system is not only about recycling; it focuses on the use of sustainable energy sources such as solar, wind, biomass and waste from energy; along with increase in the reuse, repair, recycling and recovery of existing materials and products (Korhonen et al., 2018: 545). Preston (2012: 3) emphasizes that in a Circular Economy, large volumes of finite resources (metals and minerals, for example) are captured and reused by closing the resource loop; other products can be made from plant-based materials, which will eventually biodegrade into fertilizers at the end of their product life. The redesign of the industry at the system level will also enable energy efficiency, while the remaining energy will be provided by renewable energy sources. At this point, as Preston (2012) underlines, spreading the logic to the whole economy requires profound changes in the basic structures of industrial systems.

The circular economy model seeks to maximize the value of natural resources. It is regenerative and restorative in terms of design; aims to eliminate waste generation through the design of materials, products, systems and business models (EASAC, 2015). The redesign of manufacturing and service supply systems in circular economy focuses on value creation (Murray, 2017: 373). In the circular economy, focusing on the lifecycle approach from the cradle to the cradle in the whole product chain, the resources are kept in use for the longest possible time, and their maximum values are attained, unlike the traditional take-make-use-throw model of the linear economy. Murray et al. (2017: 1) also states that the Circular Economy places emphasis on the redesign of materials and the cycling of materials, hence may contribute to a sustainable business model, but they criticize the lack of social dimension in most of the definitions. Korhonen et al. (2018) points out that circular economy aims not only to promote sustainable production, but it also aims to promote sustainable consumption.

A study by the EEA shows a simplified model of circular economy (Figure 1). The basic idea is to minimize waste generation and material inputs through eco-design, recycling and reuse of products. Thus, while the dependence on extraction and imports will be reduced, both economic and environmental benefits will be attained.

The outer circle represents the overall energy flows. Relevant parameters are the share of renewables and total energy efficiency, which are expected to be much higher compared to the linear model. Although the energy recovered from incineration can compensate for fuel use, the incineration should also be minimized, because the energy obtained from the incineration can only be used once and removes materials from the loop.

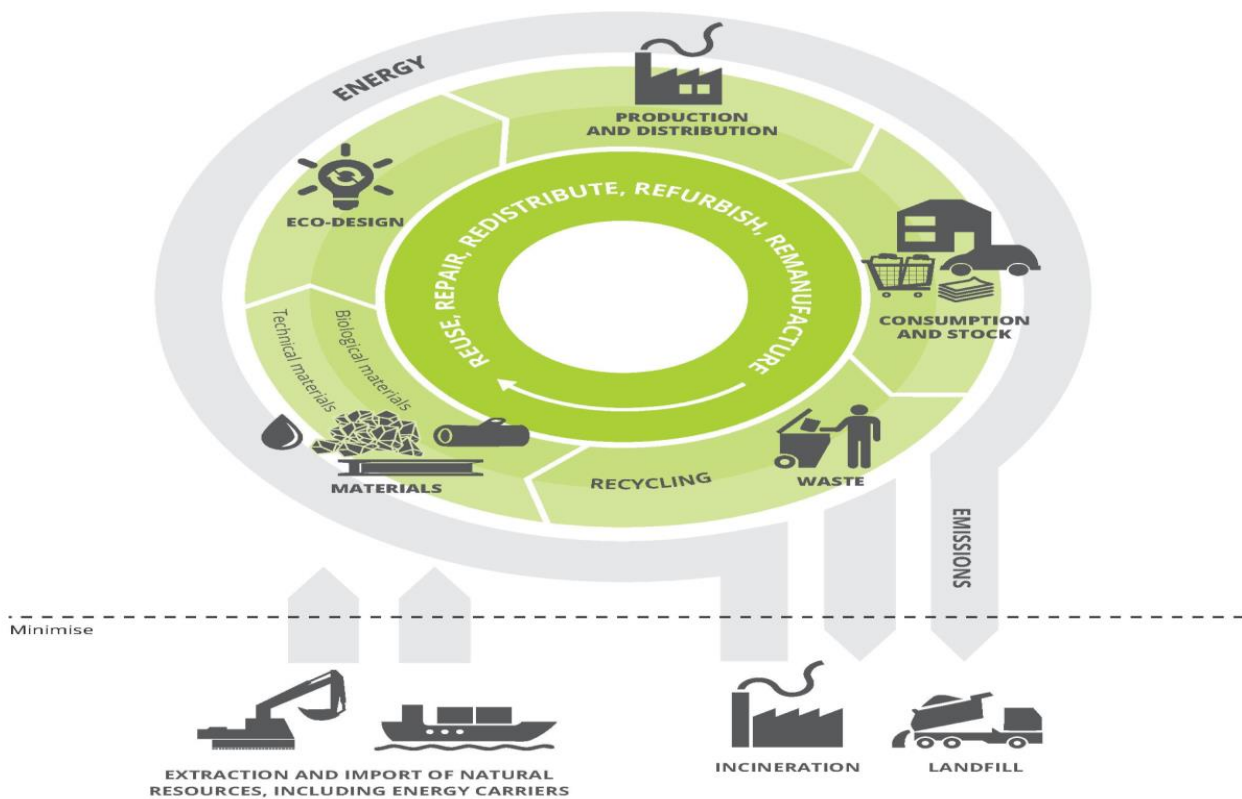


Figure 1. EEA's Circular Economy Model Outline (EEA, 2016: 10)

The middle circle represents the material flows in the recycling loop and distinguishes between abiotic technical materials such as metals and minerals and biological materials. Since they are completely renewable, it would be beneficial to increase the share of biological materials. In practice, technical and biological materials are often mixed, which has consequences for biodegradability and reversibility. On the other hand, with the use of more biological materials, there is a risk of exerting additional pressure on natural capital, with impacts on ecosystem resilience.

The inner circle represents reuse, redistribution, repair, remanufacture and refurbishment, bypassing waste generation and recycling, so that the minimum amount of resource input is possible. With these approaches, it is possible to retain the value of products, components and materials at the highest possible level (EEA, 2016: 9).

Ellen MacArthur Foundation (EMF), which advocates and supports the move to a circular economy model with business world in Europe in particular, defines the circular economy as an industrial system that is restorative or regenerative by design replacing the end-of-life concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse. At its core, a circular economy aims to design-out waste (EMF, 2015b:3). Thus, in this economy, resource extraction, emission and environmental pressures associated with waste are reduced, while the need for virgin materials and energy input is minimized. This system requires more efficient and sustainable management of natural resources throughout life cycles. As a result, it provides opportunities to create welfare, growth and new jobs while reducing environmental pressures. Eco-design, repair, reuse, renewal, remanufacturing, product sharing, waste prevention and waste recycling are all important in the circular economy. At the same time, if inevitable, the energy recovery from non-recyclable waste; landfills and incineration will be deployed, but their share will be minimized, and material losses will be reduced.

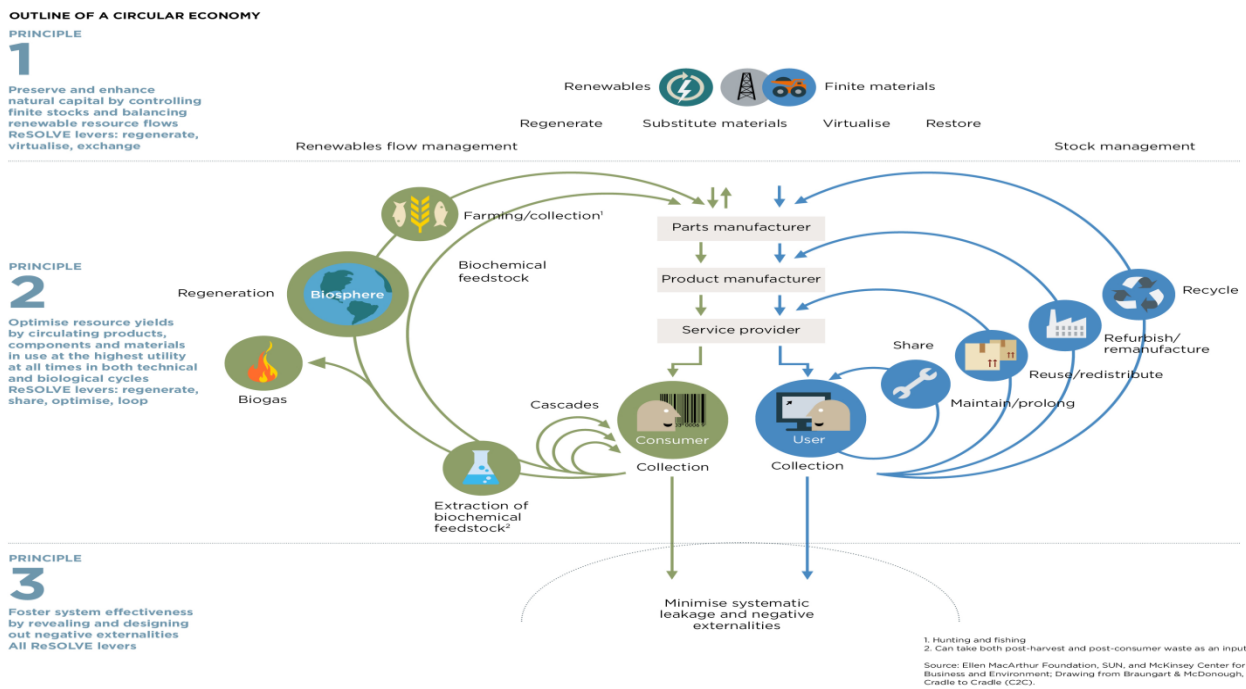


Figure 2. EMF's Circular Economy Model Outline (EMF, 2015a: 24)

3.3. The Loops under the Circular Economy Model

Although there are different definitions regarding the circular economy, it is seen that cyclical, closed-loops are widely in common (Murray et al., 2017), and there is a distinction between technical and biological cycles of resources. In the circular economy, material flows are made up either of biological materials, which after discard are available for ecological cycles; or of materials designed to circulate within the socioeconomic system with reuse and technical recycling (Haas et al, 2015: 765). As for waste materials, there are only two possible long-run fates: either recycling and reuse, or dissipative loss (Bocken et al., 2016: 308).

EMF (2015a) identifies four key elements as the sources of value creation in the circular economy with the loops (Figure 3).

- The power of the inner circle (lower cost in production): A tighter circle allows the product to return to use faster and has higher potential savings on the shares of material, labor, energy and capital embedded in the product.
- The power of circling longer (extending the life of the products): Keeping the circling longer means maximizing the number of consecutive cycles (repair, reuse, remanufacturing or recycling) and / or maximizing the time in each cycle. As a result, more material, energy and labor use necessary to create a new product or component would be avoided.
- The power of cascaded use (waste is food): This refers to diversifying reuse across the value chain, for instance, the use of cotton clothing as second-hand apparel first, then re-use of it as fiber-fill in upholstery in the furniture industry, later for reuse in stone wool insulation for construction and so on... This substitute for an inflow of virgin materials, providing important advantages.
- The power of pure circles: Uncontaminated material streams increase collection and redistribution efficiency while maintaining quality, which, in turn extends product longevity and material productivity (EMF, 2015a)

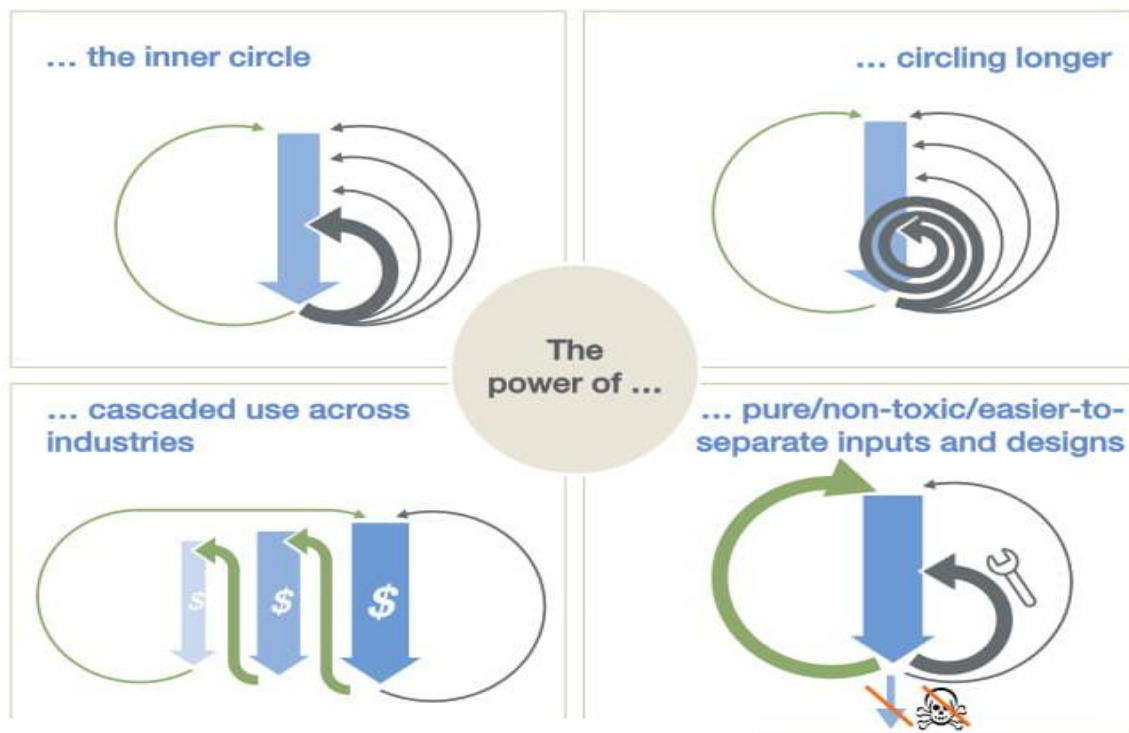


Figure 3. Sources of Value Creation for the Circular Economy (EMF, 2015a: 13)

In the closed-loop system, Stahel distinguishes between the reuse of goods and the recycling of materials in the technical loops. Recycling closes the cycle between post-waste utilization and production but does not affect the flow rate of materials or goods in the economy. Building on Stahel's work, McDonough and Braungart propose two fundamental strategies: (i) slowing resource loops and (ii) closing resource loops. In the former strategy, the utilization period of products is extended or intensified, resulting in a slowdown of the flow of resources. Rather, in the latter strategy of closing resource loops, through recycling, the loop between post-use and production is closed, resulting in a circular flow of resources (Bocken et al., 2016).

As a third approach, in the efficient use of resources or resource efficiency, it is aimed to use less primary/virgin resources; where efficiency is associated with the concept of cleaner production (Rizos, 2017: 10). At this point, Bocken et al. (2016: 310) notes that resource efficiency implies a constant flow of materials independent of time, and hence may result in further accelerating the linear flow of resources.

3.4. Product Design Strategies

It is agreed that circular economy offers significant advantages including economic, environmental and social benefits. However, the transition to a circular economy requires an entirely new way of thinking, as well as a new approach to process and product design. Whilst major strides have been made in improving resource efficiency and exploring new forms of energy, it is stressed that less thought has been given to systematically designing out material leakage and disposal (EMF, 2015a). In the concept of the circular economy, preserving the value of products for as long as possible plays a central role, and products centre-stage in the transition process (EEA, 2017: 6). Andrews (2015) argues that just as designers facilitated the development of the linear economy, they have the

potential to facilitate and even lead the development of a circular economy. McDonough (1993), defines *good design* as the one in which the things we made must not only rise from the ground but return to it, so everything that is received from the earth can be freely given back without causing harm to any living system.

Circular economy necessitates eco-friendly design of products providing the same service with less material input that increases life-times, facilitating repair and resale, product upgrades, modularity and remanufacturing, component reuse and finally facilitating recycling at the end of product life (Haas et al., 2015: 774). Bocken et al. (2016: 310) stress that it is important to make process design at the early stages of the product design process, as it is difficult to make changes after resources, processes, infrastructures and activities are associated with a specific product design. In this design for future, a systematic perspective during the design process should be adopted and the right materials should be employed for appropriate lifetime and extended future use (Circularity Gap Report, 2018).

Table 1 presents the design strategies for closing and slowing loops as proposed in the study of Bocken et al. (2016), their proposed strategies are then summarized afterwards.

Table 1. Design Strategies to Slow and Close Loops

Design Strategies to slow loops	Design strategies to close loops
Designing long-life products	Design for a technological cycle
Design for attachment and trust	Design for a biological cycle
Design for reliability and durability	Design for dis- and reassembly
Design for product-life extension	
Design for ease of maintenance and repair	
Design for upgradability and adaptability	
Design for standardization and compability	
Design for dis- and reassembly	

Reference: Bocken et al., 2016: 310

Under slowing resource loops, the first major design strategy is to design long-life products. This is to ensure longer use of products. Design for attachment and trust is concerned with the creation of products that will be loved, liked and trusted for longer periods of time. This is also referred to as the design for emotional durability. Design for durability is related to the development of products with physical durability, which take wear and tear without breaking down and in which material selection for durability is the most important part of the design process. In the design for reliability, a product will operate throughout a specified period without experiencing a chargeable failure, in which product testing to mimic normal use can help test the reliability of the product (Bocken et al., 2016: 311).

The second design strategy for slowing resource loops is designing for product-life extension. This strategy is related with the extension of the use period of goods through the introduction of service loops, including reuse of the product itself, maintenance, repair and technical upgrading, and combination of these. Users can easily repair and replace the broken parts. Another strategy for slowing the loops is design for maintenance and repair. In the design for upgradability and adaptability, products are designed in an upgradeable way allowing future expansion and modification. The third strategy, design for standardization and compliance, is about creating products that can be compatible with other products. Fourth, design for dis and reassembly is about ensuring that products and parts can be separated and reassembled easily. This strategy is essential to separate materials that will enter different biological or technological cycles (Bocken et al., 2016: 311).

Bocken et al. (2016) also emphasize that the Cradle-to-Cradle design philosophy, created by McDonough and Braungart to close loops, has inspired many companies and designers to apply an ambitious strong circular approach to product design. McDonough and Braungart developed two strategies for product design, similar to the work of Ayres. According to Ayres, there are only two possible long-run fates for waste materials: either recycling and reuse, or dissipative loss. Hence, dissipative losses are to be made compatible with biological systems, fit for the biological cycle; whereas other materials are to be completely recycled, fitting a technological cycle. Design strategy for a technological cycle is suitable for service products rather than products for consumption. When designing a technological cycle, designers aim to develop products that can be recycled into new materials or products continuously and safely.

Design for a biological cycle is suitable for products of consumption that are consumed or wear during use and results in a dissipative loss of resources. With this strategy, products for consumption are designed with so-called “biological nutrients”, safe and healthy materials, which create food for natural systems across their life cycle and biodegrade to start a new cycle. Design for dis and re-assembly, which also exists under the strategy for slowing loops, is a strategy that contributes to design for a technological and biological cycle. This strategy is fundamental to separate materials that are biologically and technologically diverse (Bocken et al., 2016).

4. Results and Discussion

In this study, it is intended to contribute to the debate for the impacts foreseen for a circular economy in the context of waste management. The literature on circular economy model is reviewed with a focus on the loops underlying the system, and the relevant design strategies for slowing and closing the loops are examined. As emphasized by Rizos et al. (2017), circular economy is a complex concept and it is unlikely that in the short term there can be an international consensus on its meaning. While there are many different definitions regarding the circular economy model, cyclical, closed-loops are widely in common.

In contrast with the dominant paradigm of traditional ‘take-make-use and throw’ linear flow of resources, in this closed-loop system, resources are kept in use for as long as possible while preserving the value of products plays a central role. For this reason, a new approach to process and product design is essential. This eco-friendly design would systematically design out material leakage and disposal, while providing the same service with less material input. The system works to reduce waste before it is produced and treats waste as a resource after it is produced. As for the proposed product design strategies, in the strategy of slowing loops, the utilization period of products is extended or intensified, resulting in a slowdown of the flow of resources; while in closing resource loops, through recycling, the loop between post-use and production is closed.

All these design strategies support a circular approach and minimize waste generation while minimizing the need for the extraction of the virgin raw-materials. As far as the waste management hierarchy is concerned, preventing waste before its generation has the highest priority. Likewise, the design strategies should follow the hierarchy as well, with the highest priority to be given to waste prevention and designing-out waste. Consequently, while closing resource loops through recycling is of vital importance, slowing loops through designing for long-life products and designing for product-life extension, facilitating repair and reuse, thus, preventing new waste generation is as important as, even more important than closing resource loops. As noted by Haas et al. (2015), circularity cannot be achieved on the basis of recycling alone, and achieving a reversal of the trend of global growth in resource consumption into a dynamic of reduction, or at least a steady-state physical economy, remains the greatest challenge of all. This would require fundamental changes not only in the production patterns but also in the consumption patterns respectively.

5. Conclusions and Recommendations

It is clear that the circular economy is promising in terms of waste and resource management. Nevertheless, as stated in an EEA report (2016), current work on indicators that track progress towards a circular economy has been driven, to a large extent, by developments in material resource efficiency and waste management but these statistics fall short of providing a basis for material losses and the qualitative aspects of recycling, while more robust data are needed on new business trends and sustainable consumption.

Regarding sustainable consumption, generally, as it is the “wants” rather than the “needs” which underlines the overconsumption in most of the developed countries, in the past, it has been assumed that it would be sustainable enough if their waste is recycled. However, circularity cannot be achieved based on recycling alone and in order to be an important tool in terms of sustainability, the system should be effective in changing the consumption patterns as well as the production patterns. In a world of increasing population and per capita consumption where planetary boundaries are at risk, rather than discarding products before their value are fully utilized, consumers should use and re-use them. In this sense, in this study, it is argued that in the product design strategies, while closing resource loops through recycling is of vital importance, slowing loops through designing for long-life products and designing for product-life extension, facilitating repair and reuse, thus, preventing new waste generation is as important as, even more important than closing resource loops. Future work and adequate number case studies will be necessary to assess the environmental, social and economic impacts of each separate product design strategies and to explore the most efficient regulatory frameworks and incentives to alter the consumers’ preferences in that sense.

References

- Andrews, D., (2015), The Circular Economy, Design Thinking and Education for Sustainability, *Local Economy*, 30(3), 305-315.
- Anonymous (2018), Basel Convention. www.basel.int, Accessed: 21.05.2008.
- Bocken, N. M., de Pauw, I., Bakker, C., & Van der Grinten, B., (2016), Product Design and Business Model Strategies for a Circular Economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320.
- Buruzs, A., & Torma, A., (2016), A Review on the Outlook of the Circular Economy in the Automotive Industry, [https://www.waset.org/downloads/15/papers/17ae060075\[6\].pdf](https://www.waset.org/downloads/15/papers/17ae060075[6].pdf), Erişim Tarihi: 11.12.2018.
- The Circularity Gap Report, (2018), <https://www.circle-economy.com/the-circularity-gap-report-our-world-is-only-9-circular/> Erişim: 24 Şubat 2018
- European Academies Science Advisory Council (EASAC) (2015), *Circular Economy: A Commentary from the Perspectives of the Natural and Social Sciences*. http://www.easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/EASAC_Circular_Economy_Web.pdf, Accessed: 20.10.2017.
- European Commission (EC) (2008), Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>, Accessed: 21.05.2008.
- European Environment Agency- EEA (2014), *Waste Prevention Report*, <https://www.eea.europa.eu/publications/waste-prevention-in-europe-2014>, Accessed: 03.11.2017.
- EEA (2016), *Circular Economy in Europe- Developing the Knowledge Base*, <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>, Accessed: 04.02.2017
- EEA (2017), *Circular by Design – Products in the Circular Economy*, EEA Report No 6/2017, European Environment Agency, Copenhagen.
- Ellen MacArthur Foundation- EMF (2015a), *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>, Accessed: 20.12.2017.
- EMF (2015b), *Delivering the Circular Economy – A Toolkit for Policymakers*. <https://tinyurl.com/ztd4f2u>, Accessed: 11.12. 2017.
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., & Heinz, M.,(2015), How circular is the global economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005, *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 765-777.
- Huda, K. M. N., (2008), *Municipal Solid Waste Management - Bangladesh Perspective*. Dhaka: Academic Press and Publishers Library.
- IPCC (2013), *Fifth Assessment Report - Climate Change 2013 - IPCC*.
- Jurgilevich, A. et al., (2016), Transition towards Circular Economy in the Food System, *Sustainability*, Vol. 8, No. 1.
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E., (2018), Circular Economy as an Essentially Contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552.
- McDonough, W., (1993), *Design, ecology, ethics and the making of things: centennial sermon on the 100th anniversary of the Cathedral of St. John the Divine*, New York City, Retrieved 7 February, 2010.
- McDonough, W. and Braungart M., (2002), *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*, New York, NY: North Point Press.
- Murray, A., Skene K. and Haynes. K., (2017), The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and its Application in a Global Context, *Journal of Business Ethics*, Vol. 140, No.3, pp. 369-380.
- Murray, S. J., Foster, P. N., & Prentice, I. C., (2012), Future Global Water Resources with respect to Climate Change and Water Withdrawals as Estimated by a Dynamic Global Vegetation Model, *Journal of Hydrology*, 448, 14-29.

OECD (2011), *Indicators. Towards Green Growth Monitoring progress*.

Preston, F. *A Global Redesign? Shaping the Circular Economy Briefing Paper*. London: Chatham House (2012): 1-20. Erişim Tarihi: Ağustos 2, 2018. <https://www.chathamhouse.org/publications/papers/view/182376>.

Rizos, V., Tuokko, K. & Behrens, A. (2017), *The Circular Economy: A review of definitions, processes and impacts*. CEPS Research Report No 2017/8, April 2017.

Sapmaz Veral, E. (2019), The Recent Measures and The Strategies of The EU Member States Towards Circular Economy Transition, *Ankara Review of European Studies*, 17 (2), 463-488. DOI: 10.32450/aacd.511998

Schaffartzik, A., Mayer, A., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Loy, C., & Krausmann, F., (2014), The Global Metabolic Transition: Regional Patterns and Trends of Global Material Flows, 1950–2010. *Global Environmental Change*, 26, 87-97.

Stahel, W. R., (1998), From Products to Services: Selling performance instead of goods, *IPTS Report*, 27.

UN DESA (2015), *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables*, Working Paper No 5ESA/P/WP.241, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.

UNEP (2006), *Circular Economy: An Alternative for Economic Development*.

Wilson, D.C., L. Rodic, A. Scheinberg et al., (2012), Comparative Analysis of Solid Waste Management in 20 Cities, *Waste Management & Research*, 30(3), 237-254

Wilson, D. C., Rodic, L., Modak, P., Soos, R., Carpintero Rogero, A., Velis, C. & Simonett, O., (2015), *Global Waste Management Outlook (GWMO)*; Prepared for United Nations Environment Programme (UNEP) and International Solid Waste Association (ISWA); Wilson, DC, Ed. UNEP International Environment Technology Centre (IETC): Osaka, Japan.